



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE



**A VEGETAÇÃO DAS DUNAS COSTEIRAS DO LITORAL
NORDESTINO: RIQUEZA, COMPOSIÇÃO, FATORES
AMBIENTAIS E IMPACTOS ANTRÓPICOS**

Recife-PE

2023

ARIADE NAZARÉ FONTES DA SILVA

**A VEGETAÇÃO DAS DUNAS COSTEIRAS DO LITORAL
NORDESTINO: RIQUEZA, COMPOSIÇÃO, FATORES
AMBIENTAIS E IMPACTOS ANTRÓPICOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós
Graduação em Biodiversidade da
Universidade Federal Rural de
Pernambuco como requisito para
obtenção do título de Doutora em
Botânica

ORIENTADORA: Pra. Dra. Carmen Silvia Zickel

COORIENTADOR: Prof. Dr. Eduardo Bezerra de Almeida Jr.

Recife-PE

2023

A VEGETAÇÃO DAS DUNAS COSTEIRAS DO LITORAL NORDESTINO: RIQUEZA, COMPOSIÇÃO, FATORES AMBIENTAIS E IMPACTOS ANTRÓPICOS

Presidente da Banca/Orientador:

Profa. Dra. **Carmen Silvia Zickel** - Orientadora
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE

Prof. Dr. **Francisco Soares Santos-Filho** – Titular
Universidade Estadual do Piauí

Prof. Dr. **Kleber Andrade da Silva**– Titular
Universidade Federal de Pernambuco

Dr. **Jefferson Rodrigues Maciel** – Titular
Pesquisador do Jardim Botânico de Recife.

Dra. **Rafaela Alves Pereira da Silva** – Titular
Pós-doutorado pela UFRPE

Profa. Dra. **Elcida de Lima Araújo** – Suplente
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. **Danielle Melo dos Santos** – Suplente
Bióloga – SEDUC/PE

Recife-2023

PE

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S586v Silva, Ariade Nazaré Fontes da Silva
A Vegetação das Dunas Costeiras do Litoral Nordestino: Riqueza, Composição, Fatores Ambientais e Impactos Antrópicos / Ariade Nazaré Fontes da Silva Silva. - 2023.
64 f.

Orientador: Carmen Silvia Zickel.
Coorientador: Eduardo Bezerra de Almeida. Jr..
Inclui referências.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Botânica, Recife, 2023.

1. Checklist. 2. litoral setentrional. 3. litoral oriental. 4. fatores bioclimáticos. I. Zickel, Carmen Silvia, orient. II. Jr., Eduardo Bezerra de Almeida., coorient. III. Título

CDD 581

In Memoriam

A minha mãe

Benedita Nogueira Fontes

DEDICO

*A comunidade negra do mundo que todos os dias lutam por respeito,
dignidade e igualdade!*

*A minha família, meus pais Benedita Nogueira Fontes (in memoriam) e
José Ribamar Moraes da Silva
Aos meus irmãos; Ana Patrícia Fontes da Silva, Ana Caroline Fontes da
Silva e Daniel Arthur Fontes da Silva por todo apoio ao longo da minha
trajetória*

AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa.

A Carmen Silvia Zickel, pela amizade, parceria, orientação, incentivo, dedicação e carinho. Estes anos de doutoramento não foram fáceis, principalmente em decorrência da pandemia de COVID -19, mas você sempre esteve incentivando para que, eu e Renata, continuássemos até o fim. Muito obrigada por tudo!!!!

A Eduardo Bezerra de Almeida Jr., meu coorientador. Sua habilidade de enxergar que eu posso ir além, continua, desde a graduação, me surpreendendo e emocionando. Muito obrigada pela amizade e parceria.

A mestra Catherine Rios Santos por sua enorme colaboração na realização das análises estatísticas. Minha gratidão a você será eterna.

Ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade-PPGB/UFRPE por todo apoio concedido para o cumprimento desta tese.

Aos amigos do LAFLEC, Angélica Cândida, Carmen Zickel, Cassia Zickel, Carlos Henrique Correia, Maria Claudjane Alves, Patrícia Lima, Renata Gabriela de Lima e Tássia Pinheiro pelo carinho e amizade que transcendem o espaço do laboratório.

Aos membros do LEB, Alessandro Silva, Camila Pires, Ana Carolina Aleixo, Catherine Rios, Dayane Sousa, Elias Oliveira, Fabricio Drummond, Felipe Correa, Antonio Fernando Costa, Gabriela Amorim, Gustavo Alves, Gustavo Lima, Hauanen Araujo, Ingrid Amorim, Karla da Silva, Luann Costa, Maira Rodrigues, Marlla Arouche, Rafaela Santos, Rhaunda Barbosa, Rodrigo Campos, Samuel Diniz, Sandro Silva, Ubirajara Carvalho, Thaunana Oliveira e Zulma Alves. Obrigada pela acolhida e atenção em todas as vezes que volto ao laboratório.

A minha mãe, Benedita Fontes, que logo no início do doutorado partiu desta terra. Eu só tenho a agradecer por seu amor, incentivo e dedicação para que, eu e meus irmãos, estudássemos e buscássemos a nossa independência para sermos negros livres. O maior legado que minha mãe deixou na minha vida, foi sempre acreditar que a educação é o caminho transformador. Saudades!!!!

Ao meu pai, José Ribamar Morais e aos meu irmãos, Ana Patrícia Fontes, Ana Carolina Fontes e Daniel Arthur Fontes, por todo apoio e carinhoso em toda minha trajetória. Amo vocês!!!

A família França de Morais pelo acolhimento, aprendizado e afeto. As amigas Tereza França e Oluyia França por sempre ressignificar meu doutoramento, me mostrando que apesar das dificuldades, sou uma mulher preta que conseguiu ir além, chegando a lugares que poucos da nossa cor conseguem ocupar. E a Onilê França, por todo afeto e, principalmente, pelo acolhimento e paciência nos momentos mais difíceis.

A Renata Gabriela de Lima, pela amizade e companheirismo. Durante esta trajetória tivemos muitos momentos de tristeza, desespero e muita ansiedade mas também muitas alegrias e conquistas. Apesar tudo, sempre estivemos nos ajudando, compartilhando as dores e, principalmente, nos fortalecendo para chegarmos até o final. Obrigada por tudo!!

Aos amig@s André Borba, Camila Pires, Carmen Zickel, Catherine Rios, Eduardo Almeida Jr., Flavia Serra, Gabriela Amorim, Janilo Dantas, Marlla Arouche, Monielle Alencar, Michelle Lacerda, Natália Rocha, Renata Almeida, Renata Gabriela de Lima, Thayrone Casablanca e Wesley Cordeiro que de longe ou de perto e nas mais diversas formas de afeto acompanham e apoiam a minha jornada. A vocês, meu muito obrigadaaa!

As, Profa. Dra. Ariadne Moura e Profa. Dra. Maria Rita Sales, por todo apoio durante o doutorado.

A Cynara Leleu, secretária do PPGb, você é maravilhosa!!! Obrigada pela disponibilidade em esclarecer e resolver as dúvidas e problemas que apareceram nesta trajetória. Além disso, obrigada pela amizade, vou sentir falta de te apanhar.

A psicóloga Isabelle Myzmann por sua dedicação e profissionalismo do qual tem sido fundamental nesta jornada. Obrigada!

A todas e todos, muito obrigada!!!

SUMÁRIO

Resumo.....	10
Abstract.....	11
Introdução geral.....	12
Revisão de literatura.....	14
Ecosistema de dunas costeiras.....	14
A vegetação de dunas costeiras no Brasil.....	17
A composição vegetal das dunas costeiras do Nordeste.....	19
Padrões globais e regionais de riqueza e diversidade de angiospermas.....	21
Referências.....	24
Introdução.....	36
Matérias e Métodos	37
Área de estudo.....	37
Amostragem dos dados.....	41
Análise dos dados.....	41
Resultados.....	41
Discussão.....	43
Agradecimentos.....	46
Referências bibliográficas.....	46
Introdução.....	53
Área de estudo.....	53
Material e Métodos.....	55
Coleta de dados.....	56
Análise dos dados.....	57
Resultados.....	57
Discussão.....	59
Agradecimentos.....	60
Declaração de Interesse.....	60
Referências bibliográficas.....	61
Considerações Finais	64
Normas das revistas.....	65

RESUMO

A vegetação que se estabelece nas dunas costeiras é responsável pela condição estática dos sedimentos e manutenção da biodiversidade. No entanto, atividades humanas voltadas para a urbanização e turismo descaracterizam o ecossistema. Diante disso, tem se buscando estratégias de conservação que unam o uso socioeconômico e a manutenção dos processos ecológicos deste ecossistema. No Brasil, as dunas estão presentes, principalmente, na costa nordestina. Fatores geográficos e oceanográficos possibilitaram a divisão do Nordeste em duas vertentes; o Litoral Nordestino Setentrional (LNS), que abrange os estados do Maranhão ao Ceará e parte do Rio Grande do Norte e na outra vertente, o Litoral Nordestino Oriental (LNO) que se concentra do restante do Rio Grande do Norte a Bahia. Embora, existam informações sobre a vegetação da região, estes dados são poucos se considerarmos a toda extensão territorial. Assim, nosso objetivo é investigar a riqueza e composição da vegetação de dunas costeiras da região nordeste, indicar as relações florísticas das plantas lenhosas de dunas com os domínios fitogeográficos vizinhos e correlacionar quais variáveis bioclimáticas e geográficas agem como filtros ambientais da vegetação de dunas, em escala regional. Considerando as informações supracitadas, nesta tese, testamos as seguintes hipóteses: A diversidade vegetal das dunas costeiras do Nordeste apresenta diferentes formas de vida e espécies indicadoras. As dunas do litoral oriental apresentam riqueza e composição vegetal distinta das dunas do litoral setentrional devido a diferenças nas relações florísticas. Em escala regional, a riqueza e composição das dunas costeiras estão diretamente relacionados aos fatores bioclimáticos devidos as diferenças geográficas da região. A tese está dividida em dois capítulos. No primeiro capítulo apresentamos um panorama sobre a riqueza e composição vegetal, com uma lista das espécies, formas de vida e origem, realizamos uma análise de similaridade e fornecemos informações sobre as políticas públicas de conservação das dunas costeiras. No segundo capítulo, investigamos a relação da vegetação lenhosa de dunas costeiras com os domínios fitogeográficos vizinhos e correlacionamos os fatores bioclimáticos e geográficos. Realizamos uma Análise de Componentes Principais e obtivemos que as diferenças entre os litorais setentrional e oriental são determinadas pelos regimes de chuvas. Ao concluir esta tese pudemos corroborar com as hipóteses propostas, demonstrando que a distinção entre a vegetação do LNS e LNO. Concluímos a tese, demonstrando diferenças entre a vegetação do LNS e mostrando a diversidade vegetal das dunas costeiras do Nordeste, Brasil.

Palavras Chaves: Checklist, litoral setentrional e oriental, fatores bioclimáticos

ABSTRACT

The vegetation that establishes itself in the coastal dunes is responsible for the static condition of the sediments and maintenance of biodiversity. However, human activities aimed at urbanization and tourism mischaracterize the ecosystem. In view of this, conservation strategies have been sought that unite the socioeconomic use and the maintenance of the ecological processes of this ecosystem. In Brazil, the dunes are mainly present on the northeastern coast. Geographical and oceanographic factors made it possible to divide the Northeast into two areas; the Northern Northeastern Coast (LNS), which covers the states of Maranhão to Ceará and part of Rio Grande do Norte and on the other side, the Eastern Northeastern Coast (LNO) which concentrates from the rest of Rio Grande Norte to Bahia. Although there is information about the region's vegetation, these data are few if we consider the entire territorial extension. Thus, our objective is to investigate the richness and composition of the vegetation of coastal dunes in the northeast region, to indicate the floristic relationships of the woody plants of the dunes with the neighboring phytogeographical domains and to correlate which bioclimatic and geographic variables act as environmental filters of the dune vegetation, in regional scale. Considering the aforementioned information, in this thesis, we tested the following hypotheses: The plant diversity of the Northeast coastal dunes presents different forms of life and indicator species. The dunes on the eastern coast have a different richness and plant composition than the dunes on the northern coast due to differences in floristic relationships. On a regional scale, the richness and composition of coastal dunes are directly related to bioclimatic factors due to geographic differences in the region. The thesis is divided into two chapters. In the first chapter we present an overview of plant richness and composition, with a list of species, life forms and origin, we carry out a similarity analysis and provide information on public policies for the conservation of coastal dunes. In the second chapter, we investigate the relationship between woody vegetation of coastal dunes and neighboring phytogeographic domains and correlate bioclimatic and geographic factors. We performed a Principal Component Analysis and found that the differences between the northern and eastern coasts are determined by rainfall patterns. Upon concluding this thesis, we were able to corroborate the proposed hypotheses, demonstrating that the distinction between the vegetation of the LNS and LNO. We concluded the thesis, demonstrating differences between the vegetation of the LNS and showing the vegetal diversity of the coastal dunes of the Northeast, Brazil.

Keywords: Checklist, northern and eastern coast, bioclimatic factors

INTRODUÇÃO GERAL

A dinâmica ambiental das dunas costeiras é movida pelas características locais e/ou regionais, a organização da comunidade, riqueza e zoneamento das plantas que pode ser diretamente relacionada aos fatores abióticos como; matéria orgânica (FENU et al., 2012), pH e carbonato de cálcio do solo (ANGIOLINI et al., 2018) e os fatores climáticos (DELGADO-FERNANDEZ et al., 2019). Os padrões da vegetação que se estabelecem nas dunas costeiras estimulam o desenvolvimento de pesquisas ecológicas voltadas para o conhecimento da riqueza, composição e diversidade, pois as dunas costeiras estão sujeitas a diversos estresses ambientais que impulsionam o zoneamento da vegetação (ACOSTA, BLASI, STANICI, 2000; CICARELLI et al., 2012; DU & HESP, 2020). A comunidade vegetal das dunas costeiras é parte importante dos processos geomorfológicos e sedimentológicos.

Os processos ecológicos das dunas costeiras fornecem diversos serviços ecossistêmicos, que são importantes para manutenção da biodiversidade e benéficos para qualidade de vida humana (MASCARENHAS & JAYAKUMAR, 2008; HAYASAKA et al., 2012; BARBIER 2017; BONITO et al. 2017). Contudo, as dunas costeiras estão sob ameaça de fatores antrópicos que promovem a exploração dos recursos e poluição (MENICAGLI, BALESTRI, LARDICCI, 2019; PRISCO, ACOSTA, STANISCI, 2021). São disponibilizados na literatura vários relatos de modificações na paisagem das dunas costeiras através de projetos de urbanização e turismo que promovem a contenção da água e do vento, extração dos sedimentos arenosos, fragmentação do habitat, alteram a cobertura vegetal natural e impulsionam a invasão biológica (YILMAZ, 2002; PÁGAN et al., 2017; HERNÁNDEZ-CORDERO et al., 2018; SANROMUALDO-COLLADO et al., 2021).

Em vista disso, existe um consenso sobre a necessidade de conservação das dunas, buscando quantificar os impactos das ações antropogênicas sob a biodiversidade, bem como, demonstrar que é possível manter a diversidade vegetal e o uso socioeconômico das áreas de dunas costeiras (GRUNEWALD, 2006; GRUNEWALD e SCHUBERT 2007; CARBONI et al., 2009; GRAFALS-SOTO, 2012; LUCREZI et al., 2014; CICCARELLI et al., 2017; ŠILC et al., 2017; MALAVASI et al., 2018).

No Brasil, as dunas são encontradas em maior extensão na região nordeste, onde informações geológicas, oceanográficas e climáticas da região contribuíram para propor

a divisão da costa nordestina em duas vertentes; o Litoral Nordestino Setentrional (LNS) ou Costa Semiárida Brasileira e Litoral Nordestino Oriental (LNO) ou Costa dos Recifes, sendo os aspectos climáticos, a principal característica que difere o LNS do LNO (SILVEIRA, 1964; AB'SABER 2001, 2006; DINIZ & OLIVEIRA 2016). Os estudos sobre a vegetação iniciaram em meados da década de 90 (FREIRE 1990; BRITO et al. 1993; DAMASO 2009; OLIVEIRA e LANDIM 2020, para a costa litorânea oriental e os trabalhos de CABRAL FREIRE e MONTEIRO 1993; MATIAS e NUNES 2001; AMORIM et al. 2016; ARAUJO et al. 2016; SILVA et al. 2016; AMORIM 2017; MOURA et al. 2019; SANTOS et al. 2019 para o litoral setentrional).

No entanto, estes estudos apresentam dados pontuais sobre a vegetação e em algumas áreas existem algumas lacunas de conhecimento ecológico, principalmente para a costa Norte e Nordeste do Brasil, onde a acessibilidade e o número reduzido de intuições de pesquisas restringem o conhecimento científico nestas áreas, sobretudo, se comparado ao volume de informações disponíveis para as regiões sul e sudeste do Brasil (OLIVEIRA et al., 2021).

Considerando as informações supracitadas, esta tese é baseada nos seguintes questionamentos i) Existe variação na composição vegetal entre as dunas costeiras do LNS e LNO? ii) Ecossistemas adjacentes influenciam na composição vegetal de dunas costeiras? iii) Existem espécies indicadoras para as dunas costeiras? iv) O padrão de riqueza e composição vegetal das dunas costeiras estão correlacionados a fatores bioclimáticos ou geográficos? Baseados nestes questionamentos, nós testamos as seguintes hipóteses: (1) A diversidade vegetal das dunas costeiras do Nordeste apresenta todas as formas de vida da classificação de Raunkiaer e espécies indicadoras. (2) Em escala regional, a riqueza e composição das dunas costeiras estão diretamente relacionados aos fatores bioclimáticos devidos as diferenças geográficas da região. (3) As dunas costeiras da região Nordeste apresentam padrões florísticos distintos devido à proximidade com os domínios fitogeográficos da Amazonia, para LNS com algumas espécies generalistas da Caatinga e Cerrado e para o LNO espécies da Floresta Atlântica.

REVISÃO DE LITERATURA

As dunas se caracterizam pela formação em relevo resultante do acúmulo de sedimentos arenosos depositados sob ação eólica em áreas lagunares, estuarinas, oceânicas e praias (MARTÍNEZ, PSUTY, LUBKE, 2004). Nesta revisão daremos enfoque para as dunas costeiras, apresentando as principais características do ecossistema, a importância da vegetação e os avanços científicos em escala global. Dissertaremos sobre o conhecimento da vegetação de dunas costeiras no Brasil e na região nordeste ressaltando os dados florísticos e ecológicos da vegetação da região. Além disso, abordaremos sobre os padrões globais e regionais de riqueza e diversidade de angiospermas para destacar a relevância da relação entre a vegetação e o clima.

Ecossistema de dunas costeiras

Ocupando cerca de 20% das áreas litorâneas do mundo, as dunas costeiras constituem uma zona de transição entre áreas terrestres e marinhas, dos quais as particularidades locais e/ou regionais, como a quantidade e tamanho do sedimento disponível, tipo de praia, regime dos ventos, temperatura, precipitação e a vegetação são fatores essenciais para determinar o tamanho, forma e extensão das dunas (CICCARELLI, BACARO, CHIARUCCI, 2012; DURÁN e MOORE, 2013; RUZ e HESP, 2014). Além dos fatores abióticos e bióticos, processos naturais (erosão) e antropogênicos podem causar mudanças na paisagem das dunas costeiras (PROVOOST, JONES, EDMONDSON, 2011).

As dunas são classificadas em livres e/ou móveis, semifixas ou vegetadas (GIANNINI et al., 2005). Quando livres, ocorre o deslocamento das massas de areia, da praia em direção ao interior, formando as dunas transgressivas. Já as dunas vegetadas, se caracterizam pela forte presença da vegetação, sendo reconhecidas como frontais incipientes (embrionárias) e estabelecidas (GIANNINI et al., 2005). Nas regiões, temperada e tropical, a vegetação das dunas tem sido estudada ao longo dos séculos XX e XXI.

Nestes trabalhos têm se destacado a importância das plantas no processo de sedimentação, pois em dunas móveis, o estabelecimento da vegetação reduz a ação do vento no transporte dos grãos de areia estimulando o crescimento das dunas e os estágios iniciais de sucessão da vegetação (ACOSTA et al., 2007; MILLER, GORNISH, BUCKLEY, 2010; WALKER e ZINNERT, 2022). Assim, com o aumento da cobertura vegetal há uma redução da mobilidade do sedimento e maior estabilização das dunas

(ACOSTA et al., 2007; ÁLVAREZ-MOLINA et al., 2012). Estudo recente mostra que em escala global, nos últimos 30 anos (1984 a 2017), houve uma expansão na cobertura vegetal de dunas costeiras tornado estática a dinâmica deste ecossistema no mundo (JACKSON et al., 2019).

Com as informações supracitadas, fica claro que existe uma relação direta entre a sucessão ecológica e a idade das dunas, de modo que, as dunas fixas apresentam maior cobertura, riqueza e diversidade vegetal quando comparada a dunas móveis (MUSILA et al., 2003; ÁLVAREZ-MOLINA et al., 2012). Essa maior diversidade se dá pela formação de zonas e/ou mosaicos vegetacionais, que se estabelecem da faixa de praia ao interior, no sentido continente, formando diferentes comunidades vegetais (CICCARELLI, 2015; SCIANDRELLO, TOMASELLI, MINISALE, 2015).

No mosaico vegetacional das dunas costeiras se estabelecem espécies psamófila-reptantes, estoloníferas e rizomatosas, que são as primeiras a colonizar as áreas e consideradas estabilizadoras por exercerem um controle sobre a topografia da área (CORDAZZO et al. 2006) e distante da linha da praia, temos a composição herbácea e lenhosa. Outro fato importante, a vegetação costeira apresenta respostas morfológicas, fisiológicas e anatômicas a dinâmica instável das dunas, a exemplo dessas respostas temos; tolerância a salinidade, acúmulo de solutos, indumentos na folha, predomínio de espécies com vias fotossintéticas C₄ e CAM, dentre outros (HESP, 1991; BRITO et al., 1993; CORDAZZO et al., 2006; MOURA et al., 2019; CALDERISI et al, 2021).

Desta forma, as dunas costeiras se destacam por abrigar uma comunidade vegetal especializada e por isso, é considerado um ecossistema de grande diversidade ecológica (PINNA et al., 2019). Contudo, a biodiversidade das dunas está sob impactos naturais, a exemplo da erosão costeira que pode ser ocasionada por maré alta e/ou fortes tempestades (ANFUSO, PRANZINI, VITALE, 2011; HÉQUETTE et al., 2019; TÜRKER, YAGCI, KABDASLI, 2019) e atividades humanas (FARRIS et al., 2013).

O estado de conservação das dunas é um fator preocupante, devido principalmente ao impacto humano (NORDSTROM, 2010). São relatados, na literatura, mudanças na paisagem devido a fragmentação das áreas, urbanização e turismo desordenado, atividades industriais, agrícolas, pastoreio, pecuárias e militares (ZUNZUNEGUI et al., 2012; PÉREZ-MAQUEO, MARTÍNEZ, NAHUACATL, 2017; AUSTRICH et al., 2021; PRISCO, ACOSTA, STANISCI, 2021). E como consequências destas atividades tem-se o desaparecimento de espécies raras, corte da vegetação, estabelecimento e predomínio de espécies invasoras (GRUNEWALD, 2006; KOHYANI et al., 2008; SANTORO et al.,

2012; FARRIS et al., 2013; LUCREZI et al., 2014; GALLEGO-FERNÁNDEZ et al., 2019; FANTINATO et al., 2023)

Desta forma, um número crescente de pesquisas multidisciplinares tem sido realizadas para identificar, quantificar e gerir os impactos das ações antropogênicas sobre a geomorfologia e biodiversidade das dunas, além disso, as pesquisas tem demonstrado que é possível manter a diversidade vegetal e o uso socioeconômico do ecossistema (GRUNEWALD, 2006; GRUNEWALD e SCHUBERT, 2007; CARBONI, CARRANZA, ACOSTA, 2009; GRAFALS-SOTO, 2012; LITHGOW et al., 2013; LUCREZI et al., 2014; CICCARELLI et al., 2017; ŠILC et al., 2017; MALAVASI et al., 2018; VAN der BIEST et al., 2020).

As ações de conservação das dunas costeiras integram diferentes esforços para ressaltar a sua importância (MARTÍNEZ et al., 2007). A exemplo temos a implementação de índices como: Grunewald e Schubert (2007) que implementaram o índice H'_{dune} a partir do índice de diversidade de Shannon (H'), o índice de Vulnerabilidade (GARCÍA-MORA et al., 2001), índice de Vulnerabilidade das Dunas do Mediterrâneo (CICCARELLI et al., 2017) e o índice de Restauração - ReDune (LITHGOW, MARTÍNEZ, GALLEGO-FERNÁNDEZ, 2015). Outro método que tem sido aplicado, é identificar os serviços ecossistêmicos prestados, com o objetivo de enfatizar as características ambientais e sociais, além de auxiliar no planejamento de políticas públicas para proteção das dunas costeiras (NEHREN et al., 2016; VAN der BIEST et al., 2017; CARRANZA et al., 2020; MENDOZA-GONZÁLEZ et al., 2021).

A vegetação de dunas costeiras no Brasil

A região costeira do Brasil se estende por aproximadamente 9.200 km e se caracteriza pela formação de planícies costeiras constituídas de sedimentos arenosos do Quaternário (SUGUIO e TESSLER, 1984). São regiões de grande heterogeneidade ambiental, diversidade ecológica e apresentam vários ecossistemas como manguezais, recifes de corais, praias, restingas e dunas (BRANDÃO, 2008).

No Brasil, as dunas costeiras estão presentes, principalmente na costa norte-nordeste, do qual se destaca Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, considerado o maior depósito eólico da América do Sul, além de dunas no litoral do Rio de Janeiro e na costa meridional da região sul (BRANDÃO, 2008). Os estudos sobre a riqueza e composição vegetal das dunas costeiras do Brasil, foram iniciados em meados das décadas de 70 e 80, especificamente no estado do Rio Grande do Sul, trazendo os

primeiros registros sobre a flora costeira do estado (VALLS, 1975; LINDEMAN et al., 1975; PFADENHAUER e RAMOS 1979; CORDAZZO e SEELIGER 1987).

A partir dos anos 90 tem-se as primeiras publicações científicas sobre a comunidade vegetal nas regiões nordeste e norte e alguns estudos para a região sul (FREIRE 1990; BRITO et al., 1993; CABRAL FREIRE e MONTEIRO, 1993; NETO, 1993; CORDAZZO e SEELIGER, 1993; SANTOS e ROSÁRIO, 1998). E a partir dos anos 2000, nota-se um acréscimo de estudos florísticos por todo país (MATIAS e NUNES, 2001; LEITE & ANDRADE, 2004; AMARAL, FERREIRA e SILVA, 2013; AMORIM et al., 2016; SILVA et al., 2016; CASTELO e BRAGA, 2017; MELO Jr. & BOEGER, 2018; RODRIGUES et al., 2018; CARVALHO et al., 2020; GUTERRES et al., 2019; GUTERRES et al., 2020; OLIVEIRA e LANDIM, 2020).

Em algumas destas áreas, também formam divulgados estudos fitossociológicos do estrato herbáceo (ASSIS et al., 2000; PALMA & JARENKOW, 2008; MENEZES et al., 2012; GIARETTA, MENEZES, PEREIRA. 2013; ARAUJO et al., 2016; AMORIM, SANTOS-FILHO, ALMEIDA Jr., 2016; AMORIM, 2017; RIBEIRO & MELO JR., 2016; MELO JUNIOR et al., 2017; MOURA et al., 2019; SANTOS et al., 2019; SILVA, et al., 2019;; DEWES et al., 2021; AMORIM et al., 2023) e lenhoso (DAMASO, 2009; PAIVA e ALMEIDA Jr., 2020) além de estudos fenológicos e dispersão (CASTELLANI, CAUS, VIEIRA, 1999; CASTELLANI ALBUQUERQUE, CAMARGO, MENDONÇA, 2007; NASCIMENTO et al., 2021; PIRES, NASCIMENTO & ALMEIDA Jr., 2021).

Atualmente, observa-se um aumento de publicações sobre as dunas costeiras do Brasil, no entanto, as informações se concentram na região sul do país, onde podemos encontrar dados sobre espécies invasoras nas dunas (FISCHER et al., 2014; BARBOSA, DECHOUM, CASTELLANI, 2017; PORTZ et al., 2021), traços funcionais (BONA et al., 2020), lixo nas dunas (RAMOS et al., 2021) e outros. Com destaque ao estudo de Bertoni et al. (2019) que avaliaram as condições ambientais das dunas costeiras da Ilha de São Francisco do Sul (Santa Catarina, Brasil) e da costa Pisan (Toscana, Itália) comparando os dados obtidos nas duas áreas.

Os autores utilizaram o Índice de Vulnerabilidade das dunas costeiras (CDVI) a partir da compilação dos índices propostos por García-Mora et al. (2001), Idier et al. (2013) e Ciccarelli et al. (2017) que avaliaram cinco parâmetros (Condição Geomorfológica do Sistema Dunar – GCD; Influência Marinha – MI; Efeito Eólico – AE; Condição da Vegetação – VC; e Efeito Humano – HE). A partir das análises realizadas, Bertoni et al. (2019) concluíram que as áreas apresentam vulnerabilidade média sob forte

influência das condições geomorfológicas (GDC), influência marinha (MI) e efeito humano (HE), além de sugerirem a utilização do índice como uma ferramenta eficiente e flexível para gestão das dunas costeiras.

A gestão e conservação das dunas costeiras é uma situação preocupante, pois apesar de leis federais garantirem que dunas vegetadas e restingas são Áreas de Proteção Permanente (APP), o que vemos é a degradação causada pela intensa especulação imobiliária e atividades industriais (SOARES, BARROS e GUERRA, 2022). Amaral et al. (2019) mapearam a área do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses (PNLM) para analisar a estrutura da paisagem e as implicações a conservação da área. Os autores utilizaram como medida; a cobertura de vegetação nativa (NV-COV), de modo que, os fragmentos que apresentaram $NV-COV > 60\%$ necessitam de ações de regularização fundiária, pois a redução das pressões antrópicas possibilitará a regeneração e cobertura das unidades amostradas, já nas áreas onde $NV-COV < 60\%$, os autores sugeriram que sejam feitas ações de gestão voltadas para implementação de um sistema agroflorestal que garanta a manutenção dos fragmentos, sendo estabelecido um Termo de Compromisso com a comunidade local que chega a cerca de 1160 famílias.

Rockett et al. (2022) analisaram a geodiversidade e geoconservação das dunas de Itapeva, Rio Grande do Sul, que apesar de ser uma unidade de conservação (Parque Estadual de Itapeva), encontraram alguns impactos naturais e antrópicos (erosão, tráfico de veículos e retirada de areia) ocorrentes na área. Assim, como proposta de mitigação, foi sugerido o uso da geoeducação, no intuito de promover ações de sensibilização da comunidade que frequenta a praia do parque. Já Soares, Barros e Guerra (2022) discutem o descaso do governo brasileiro ao revogar a legislação de proteção de dunas móveis e eólicas, ressaltando que todas as fisionomias de dunas (vegetadas, móveis e eólicas) devem ser protegidas pelos gestores públicos municipais, estaduais e federais. Como estratégia de gestão, os autores sugeriram a criação de parques, a exemplo do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses (Maranhão) e o Parque Estadual das Dunas de Natal (Rio Grande do Norte).

Apesar de se tratar de trabalhos pontuais, as informações supracitadas mostram que a ciência brasileira tem buscado soluções para amenizar a rápida degradação dos ecossistemas costeiros, indicando estratégias congruentes com a urgência na conservação e buscando soluções de baixo custo aos cofres públicos. Cabe aos gestores públicos consolidar parcerias com a comunidade científica para que as ações de conservação de todos os ecossistemas do país sejam efetivadas.

A composição vegetal das dunas costeiras do Nordeste

Devido à grande extensão do litoral nordestino, várias classificações foram propostas a esta região, sendo estas, condizentes com os processos e os elementos geológicos, oceanográficos e climáticos que a formaram (SILVEIRA 1964; SUGUIO & TESSLER 1984). Aqui destacamos a proposta de divisão da costa nordestina em duas vertentes considerando principalmente os aspectos climáticos da região, assim temos: o litoral Nordeste Setentrional (LNS) que se caracteriza por apresentar um clima subsúmido a semiárido e o litoral Nordeste Oriental (LNO), onde predomina o clima tropical úmido (SILVEIRA 1964; AB'SABER 2001, 2006; DINIZ & OLIVEIRA 2016).

O LNS ou Costa Semiárida Brasileira abrange o território da Ponta dos Mangues Secos (Maranhão) até ao Cabo Calcanhar (Rio Grande do Norte). Este trecho se caracteriza por apresentar um litoral retilíneo, com ampla disponibilidade de sedimentos móveis (DINIZ & OLIVEIRA, 2016). Diniz e Oliveira (2016) propuseram que esta costa seja dividida em três feições; a Costa dos Deltas, denominada assim pela presença do delta do rio Parnaíba; Costa das Dunas onde se tem o predomínio de campos de dunas quase contínuos; e a Costa Branca que recebe este nome devido à alta salinidade litorânea que resulta em grandes empreendimentos industriais.

Já o LNO ou Costa dos Recifes, se estende do Cabo Calcanhar, no Rio Grande do Norte) até a Bahia de Todos os Santos, na Bahia, onde predominam o Grupo Barreiras com falésias ativas. A região pode ser subdividida em; Costa Mista de Dunas e Falésias que se caracteriza por apresentar praias planas e planícies costeiras estreitas; Costa das Falésias denominada assim devido a extensa presença de falésias ativas e inativas e baixo registro de dunas decorrente da disponibilidade de sedimentos ser reduzida e a Costa dos Cordões Arenosos, onde predominam cordões arenosos e campos de dunas (DINIZ & OLIVEIRA, 2016).

Nos últimos 30 anos, nota-se que as dunas costeiras do Nordeste estão sendo bastante estudadas, no entanto, ainda existem lacunas sobre os atributos ecológicos da comunidade vegetal. Nesta região, os estudos sobre a comunidade vegetal ocorrem de modo diferenciados, de modo que no LNO, onde os primeiros levantamentos florísticos foram realizados, são encontrados poucos dados ecológicos. Já no LNS, houve um aumento nas publicações florísticas e ecológicas, principalmente para o estado do Maranhão.

De modo geral, a composição vegetal das dunas costeiras da região nordeste se destaca pela representatividade da família Leguminosae, sendo está a maior em número de espécies no Rio Grande do Norte (FREIRE, 1990), Bahia (BRITO et al., 1993), Sergipe (OLIVEIRA e LANDIM, 2020) e Maranhão (AMORIM et al., 2016; SILVA, ARAUJO, ALMEIDA Jr., 2016; GUTERRES et al., 2020). Apesar do predomínio de Leguminosae, outras famílias também se sobressaem com algumas diferenças entre as costas, assim no LNO evidenciam espécies de Poaceae e Asteraceae (FREIRE, 1990; BRITTO et al., 1993; OLIVEIRA e LANDIM, 2020), enquanto no LNS, são as famílias Poaceae, Cyperaceae e Rubiaceae (MATIAS e NUNES, 2001; AMORIM et al., 2016; SILVA, ARAUJO, ALMEIDA Jr., 2016; RODRIGUES et al., 2018; MOURA et al., 2019; GUTERRES et al., 2020).

A riqueza de espécies nas dunas costeiras é variada. No LNO o número de espécies varia entre 91 spp. e 410 spp. (Bahia 410 espécies, Rio Grande do Norte (Natal) com 264 spp. e Sergipe com 91 spp.), já no LNS, os estudos florísticos mostram uma diferença de 87 espécies a 286 spp. registradas (Ceará com 87 spp. e Maranhão com 117 spp., 118 spp., 129 spp. e 286 spp.). *Anacardium occidentale* L. (Anacardiaceae) e *Chrysobalanus icaco* L. (Chrysobalanaceae) são mencionadas em todos os estudos florísticos de dunas costeiras do Nordeste (FREIRE, 1990; BRITO et al., 1993; CABRAL FREIRE e MONTEIRO, 1993; MATIAS e NUNES, 2001; AMORIM et al., 2016; SILVA, ARAUJO, ALMEIDA Jr., 2016; RODRIGUES et al., 2018; GUTERRES et al., 2020; OLIVEIRA e LANDIM, 2020).

Foram encontrados três estudos fitossociológicos para o LNO e seis pesquisas para o LNS. No Parque Estadual das Dunas de Natal (Rio Grande do Norte), as espécies arbustivas e arbóreas apresentam, caules delgados, ramificação em mais de 30% dos indivíduos amostrados, a exemplo de *Guettarda platypoda* DC., *Coccoloba ramosissima* Wedd., *Coccoloba alnifolia* Casar., *Chamaecrista ensiformis* (Vell.) H. S. Irwin & Barneby e *Manilkara salzmännii* (A.DC.) H. J. Lam. (DAMASO, 2009). Já nas dunas de Massarandupió, Bahia, a comunidade herbácea arbustiva se distribui em moitas com alturas variáveis, além disso, as espécies mais representativas são *Rhynchospora riparia* (Nees) Boeckeler (com maior valor de importância e cobertura), *Chamaecrista ramosa* (Vogel) H.S. Irwin & Barneby e *Comolia ovalifolia* (DC.) Triana (SILVA et al., 2019).

A espécie *Paspalum maritimum* Trin. se destaca por apresenta maior valor de importância nos estudos do estrato herbáceo realizados nas dunas costeiras do Maranhão. Araujo, Silva, Almeida Jr. (2016) e Amorim, Santos-Filho, Almeida Jr. (2016) destacam

a capacidade da espécie de formar moitas nas dunas, bem como, sua contribuição na fixação do sedimento. Já Santos, Amorim e Almeida Jr. (2019) relatam que as condições ambientais das dunas são favoráveis ao sucesso reprodutivo da espécie. Ainda no estado, Paiva e Almeida Jr. (2020) encontraram *Anacardium occidentale* L. com maior valor de importância para a estrutura da comunidade e foram encontrados serviços de provisão, regulação, suporte e cultural fornecidos pela vegetação da área.

Informações fitossociológicas contribuem para identificar possíveis alterações na estrutura e composição da vegetação, principalmente em ambientes com histórico de pressão antrópica, neste contexto, Moura et al. (2019) e Amorim et al. (2023) analisaram áreas de dunas urbanizadas e não urbanizadas e evidenciaram diferenças na composição vegetal. Moura et al. (2019) avaliaram as dunas da praia de Coqueiro e Macapá no Piauí e encontraram 23 espécies para as dunas não urbanas, enquanto nas dunas urbanas foram identificadas 12 spp. As espécies que se destacaram em ambas as áreas foram *Richardia grandiflora* Britton e *Euploca polyphylla* (Lehm) J. I. Melo & Semir. Já Amorim et al. (2023) tiveram como hipótese que as dunas urbanas apresentam menor riqueza e diversidade do que as dunas não urbanas. No entanto, os resultados mostram que as dunas urbanas tiveram maior riqueza (78 espécies), porém com menor diversidade e uniformidade, sugerindo que esta diferença se deve a presença de espécies consideradas ruderais nas dunas urbanizadas.

Padrões globais e regionais de riqueza e diversidade de angiospermas

Desde as primeiras viagens dos naturalistas nos séculos 18 e 19 (RICKLEFS, 2005), os padrões globais e regionais e/ou locais de riqueza e diversidade dos grupos taxonômicos de Angiospermas e as relações florísticas em gradientes ambientais vem sendo amplamente estudado, assim estas análises têm constatado a importância dos processos ecológicos, evolutivos, biogeográficos e ambientais para determinar os padrões encontrados para este grupo vegetal. (QUIAN, 1999; COWLING e LOMBARD, 2002; PÄRTEL, 2002; FRANCIS e CURRIE, 2003; QUIAN e RICKLEFS 2004; KIER et al., 2005; HAWKINS et al., 2011; ZOBEL, 2015) Dando enfoque as questões ambientais, sabemos que a riqueza de espécies de angiospermas está relacionada ao clima contemporâneo (HAWKINS et al., 2011).

Francis e Currie (2003) provocaram discussões críticas entre os pesquisadores ao afirmar que a riqueza global das angiospermas está principalmente relacionada ao clima (a temperatura média anual, déficit hídrico anual, à evapotranspiração potencial anual e

déficit hídrico), enquanto outros fatores (históricos, evolutivos, características do solo, dentre outros) devem ser considerados em menor escala. Quian e Ricklefs (2004) publicaram em resposta ao estudo de Francis e Currie, (2003) que, independentemente das questões ambientais, fatores históricos e evolutivos devem ser considerados relevantes em análises de padrões de diversidade sejam regionais ou entre diferentes regiões. Para esclarecer este embate, Hawkins et al. (2011) se basearam na hipótese de conservadorismo tropical (TCH) e concluíram que o clima contemporâneo está relacionado a riqueza de famílias de angiospermas e ressaltam que todos os fatores (ecológicos, evolutivos e históricos) são fundamentais no gradiente de riqueza, sendo estes, não excludentes entre si.

Em abordagem regionais, especificamente no Brasil, os estudos sobre a heterogeneidade em gradientes florísticos de diversos ecossistemas tem apresentado os fatores climáticas que contribuem para explicar padrões florísticos, principalmente para o estrato lenhoso. De acordo com Oliveira-Filho e Fontes (2006), a diferença entre a floresta pluvial e a floresta semidecídua do sudeste do Brasil está relacionada ao regime de pluviométrico, destacando que a composição vegetal da floresta semidecídua é um subconjunto da floresta pluvial, com espécies capazes de sobreviver a condições ambientais mais secas, além disso não houve similaridade florística entre as florestas da região e a vegetação amazônica e de cerrado. Já na Floresta Atlântica Subtropical do estado de Santa Catarina, a variação florística pode ser explicada pela umidade do Oceano Atlântico, temperaturas baixas e a distância geográfica (REZENDE et al., 2015).

Sainter et al. (2016) modelaram a rotatividade de espécies ao longo da região central da Floresta Atlântica testando se o Rio Doce está associado a marcadores biogeográficos e investigaram como as mudanças regionais de composição se correlacionam com as variáveis geoclimáticas. Os autores identificaram três grandes regiões florísticas que são: Floresta do Interior da Bahia, Floresta do Litoral da Bahia e Floresta Krenák-Waitaká. A rotatividade de espécies entre as regiões apresenta uma contribuição relativa da radiação do trimestre mais úmido, índice médio de umidade do trimestre mais quente e precipitação do mês seco. Baseados nos resultados encontrados, Sainter et al. (2016) atestam o papel da disponibilidade de água e energia na manutenção dos padrões florísticos. Oliveira et al. (2019), apresentaram como uma das hipóteses do seu estudo, que o clima tem um peso maior em relação ao solo para determinar a composição vegetal do semiárido brasileiro. Porém, os resultados obtidos refutaram esta hipótese e os autores perceberam que um combinado dos dois grupos (clima e solo) explica melhor a

variabilidade vegetal. Além disso, é mencionado no estudo que a interferência antrópica deve ser considerada uma fator de diferenciação entre comunidades vegetais do semiárido brasileiro.

Em relação a diferenciação florística do litoral nas regiões sul e sudeste, foi encontrado por Marques et al. (2010) dois grupos florísticos (floresta e a restinga) que ocorrem em climas distintos. A restinga ocorre em clima mais seco nos estados do Espírito Santo, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul e a floresta ombrófila com clima mais úmido nos estados de Santa Catarina, Paraná e São Paulo. Além disso, a precipitação e a área do solo causam diferenças florísticas corroborando para a separação dos dois grupos.

Neste contexto, de diferenciação florística do litoral brasileiro, destaco Scarano (2002) que explica que a composição vegetal da costa brasileira compreende espécies provenientes das florestas adjacentes e de outros ecossistemas próximos. Já o estudo de Castro et al. (2012) afirmam que no LNS a variação entre os climas subsumidos e semiáridos e a proximidade com a vegetação dos domínios fitogeográficos da Caatinga, Cerrado, Floresta Atlântica e Amazônia propicia que as áreas litorâneas do LNS apresentem um complexo vegetacional ecotonal com predomínio de espécies dos domínios supracitados. Enquanto, o clima tropical úmido do LNO favorece que espécies da Floresta Atlântica colonizem as áreas litorâneas. Poucos estudos abordaram a relação do climas com a diferenciação florística do litoral brasileiro.

REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER A.N. **Litoral do Brasil**. São Paulo, Metalivros. 2001
- AB'SÁBER A.N. **Brasil: paisagens de exceção: o litoral e o pantanal mato-grossense: patrimônios básicos**. Cotia, Ateliê Editorial. 2006.
- ACOSTA, A., BLASI, C., STANISCI, A. Spatial connectivity and boundary patterns in coastal dune vegetation in the Circeo National Park, Central Italy. **Journal of Vegetation Science**, v. 11, p. 149-154, 2000, <https://doi.org/10.2307/3236787>
- ACOSTA, A., ERCOLE, S., STANISCI, A., PILLAR, V. DE P., BLASI, C. Coastal Vegetation Zonation and Dune Morphology in Some Mediterranean Ecosystems. **Journal of Coastal Research**, v. 23 (6 (236)), p. 1518–1524, 2007.
- ALBUQUERQUE, P. M.C. de, CAMARGO, J. M. F. de, MENDONÇA, J. A. C. Bee Community of a Beach Dune Ecosystem on Maranhão Island, Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. v. 50 (6) p.1005-1018, 2007.
- AMARAL, R. F., FERREIRA, M. C. S. D., SILVA, C. B. Levantamento florístico como subsídio para implantação de trilhas em dunas no litoral oriental do Rio Grande do Norte. *Nature and Conservation*, Aquidabã, v.6 (2), p.59 69, 2013. DOI:<http://dx.doi.org/10.6008/ESS2318-2881.2013.002.0006>
- AMARAL, Y. T., SANTOS, E. M. DOS, RIBEIRO, M. C., BARRETO, L. Landscape structural analysis of the Lençóis Maranhenses national park: implications for conservation, **Journal for Nature Conservation**, v.51, 125725, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2019.125725>.
- AMORIM, G. dos S., AMORIM, I. F. F., ALMEIDA Jr., E. B. Flora de uma área de dunas antropizadas na praia de Araçagi, Maranhão. **Revista Biociências**, Taubaté, v. 22, n. 2, p. 18-29, 2016.
- AMORIM, I. F. F., SANTOS-FILHO, F.S., ALMEIDA Jr., E. B. Fitossociologia do Estrato Herbáceo De Uma Área de Dunas em Araçagi, Maranhão. In: ALMEIDA Jr., E. B.; SANTOS-FILHO. **Biodiversidade do Meio Ambiente; conhecimentos ecológicos e aplicações**. Curitiba, CVC, 2016.
- AMORIM I.F.F. **Herbáceas em áreas de dunas da Ilha do Maranhão: diversidade, riqueza e conservação**. Dissertação. Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Conservação. Universidade Federal do Maranhão. Maranhão, 2017.
- AMORIM, I.F.F., LIMA, P.B., SANTOS-FILHO, F.S., ALMEIDA Jr., E. B. Diversity and richness of the herbaceous plants on urbanized and non-urbanized dunes on the Brazilian Amazonian coast. **Urban Ecosyst**. 2023. <https://doi.org/10.1007/s11252-023-01341-z>
- ANFUSO, G.; PRANZINI, E.; VITALE G. An integrated approach to coastal erosion problems in northern Tuscany (Italy): Littoral morphological evolution and cell distribution. **Geomorphology**, v. 129 (3-4), p. 204–214, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.01.023>.

ARAUJO, A.C. M.; SILVA, A. N.F., ALMEIDA Jr. Caracterização estrutural e status de conservação do estrato herbáceo de dunas da Praia de São Marcos, Maranhão, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 46(3), p. 247 – 258, 2016. <https://doi.org/10.1590/1809-4392201504265>

ASSIS, A. M. de, CANAL, M., ZAMBOM, O., PEREIRA, O. J. **Estrutura da vegetação sobre as dunas frontais de Ulé, municípios de Guarapari e Vila Velha, ES**. In: 5º Simpósio de Ecossistemas Brasileiros: Conservação, 2000, Vitória. Anais. São Paulo: ACIESP, 2000. v. 1, p. 430-438.

AUSTRICH, A., MAPELLI, F.J., MORA, M.S., Kittlein, M.J. Landscape Change and Associated Increase in Habitat Fragmentation During the Last 30 Years in Coastal Sand Dunes of Buenos Aires Province, Argentina. **Estuaries and Coasts** v. 44, p. 643–656, 2021. <https://doi.org/10.1007/s12237-020-00798-x>

BARBOSA, C., DECHOUM, M. DE S., CASTELLANI, T. T. Population structure and growth of a non-native invasive clonal plant on coastal dunes in Southern Brazil. **Neotropical Biology and Conservation**, v. 12 (3), p. 214-223, 2017.

BERTONI, D., SARTI, G., ALQUINI, F., CICCARELLI, D. Implementing a coastal dune vulnerability index (CDVI) to support coastal management in different settings (Brazil and Italy). **Ocean & Coastal Management**, v.180, 2019 <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104916>.

BONA, C., PELLANDA, R. M., CARLUCCI, M. B., MACHADO, R. G. DE P. CICCARELLI, D. Functional traits reveal coastal vegetation assembly patterns in a short edaphic gradient in southern Brazil, **Flora**, v. 271, 151661, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151661>.

BONITO, A., et al. CO₂ sequestration in two mediterranean dune areas subjected to a different level of anthropogenic disturbance. **Estuarine Coastal and Shelf Science**, 196, 22–30. 2017.

BRANDÃO, R. de L., Regiões Costeiras p 89 a 97 em SILVA, C. R. **Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro**, Rio de Janeiro: CPRM, 264 p, 2008.

BRITTO, I. C. et al. Flora fanerogâmica das dunas e lagoas de Abaeté, Salvador, Bahia. **Sitientibus**, v. 11, p. 31-46, 1993.

CABRAL-FREIRE, M.C.C., MONTEIRO, R. Florística das praias da Ilha de São Luiz, estado do Maranhão (Brasil): diversidade de espécies e sua ocorrência no litoral brasileiro. **Acta Amazonica**, v. 23, p. 125-140, 1993.

CALDERISI, G., COGONI, D., PINNA, M. S., FENU, G. Recognizing the relative effects of environmental versus human factors to understand the conservation of coastal dunes areas **Regional Studies in Marine Science**, v. 48, 102070, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.102070>.

CARBONI, M., CARRANZA, M. L., ACOSTA, A. Assessing conservation status on coastal dunes: A multiscale approach **Landscape and Urban Planning**, v. 91(1), p.17–25. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.11.004>.

CARVALHO, L. M., PIRES, C. DOS S., SANTOS, C. R., AMORIM, G. DOS S., AROUCHE, M. M., ABREU, M. C. DE, ALMEIDA JR., E. B. Potencial de Uso de Espécies Vegetais de Áreas de Dunas em São Luís, Maranhão, Brasil. **Biodiversidade**, v.19 (4), p. 186- 204, 2020.

CASTELLANI, T.T., CAUS, C. A., VIEIRA, S. Fenologia de uma Comunidade de Duna Frontal no Sul do Brasil. **Acta Botanica Brasilica** 13(1), p. 99-114.1999.

CASTELO, A. J., BRAGA, J. M. A. Checklist of sand dune vegetation on the tropical southeastern Brazil coast. **Check List**, v. 13(2) doi: <https://doi.org/10.15560/13.2.2058>.

CASTRO, A.S.F., MORO, M.F., MENEZES, M.O.T.. O Complexo Vegetacional da Zona Litorânea no Ceará: Pecém, São Gonçalo do Amarante. *Acta Botanica. Brasilica*. v. 26, p. 108-124. 2012

CICCARELLI, D., BACARO, G. & CHIARUCCI, A. Coastline Dune Vegetation Dynamics: Evidence of No Stability. **Folia Geobot** 47, 263–275, 2012. <https://doi.org/10.1007/s12224-011-9118-5>.

CICCARELLI, D. Mediterranean coastal dune vegetation: Are disturbance and stress the key selective forces that drive the psammophilous succession? **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v 165, p 247-253, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2015.05.023>.

CICCARELLI, D., PINNA, M.S., ALQUINI, F., COGONI, D., RUOCCO, M., BACCHETTA, G., SARTI, G., FENU, G. Development of a coastal dune vulnerability index for Mediterranean ecosystems: A useful tool for coastal managers?, **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 187, p. 84-95, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2016.12.008>.

CORDAZZO, C. V., SEELIGER, U. Composição e distribuição da vegetação nas dunas costeiras ao sul do Rio Grande (RS). **Ciência e Cultura**, v. 39(3), p. 321-324, 1987.

CORDAZZO, C. V., SEELIGER, U. Zoned Habitats of Southern Brazilian Coastal Foredunes. **Journal of Coastal Research**, v. 9 (2), p. 317-32, 1993.

CORDAZZO, C. V., PAIVA, J.B. de SEELIGER, U. **Plantas das Dunas da Costa Sudoeste Atlântica**, Pelotas USEB,107p, 2006.

COWLING, R.M. & LOMBARD, A.T. Heterogeneity, speciation/extinction history and climate: Explaining regional plant diversity patterns in the cape floristic region. *Diversity and Distributions*, v.8(3), p. 163– 179. 2002.

DAMASO, P. P. **Vegetação dunar: Caracterização estrutural de dunas no município de Natal-RN como subsídio para a implantação de técnicas de reflorestamento, recuperação e conservação do ecossistema**. 79f. Dissertação

(Mestrado em desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2009.

DEWES, T. da S., PELISSER, A., GONZATTI, F., BORDIN, J. Riqueza e fitossociologia de plantas vasculares em dunas costeiras de Torres, Rio Grande do Sul, Brasil. **Iheringia, Série Botânica**, v.76, 2021. <https://doi.org/10.21826/2446-82312021v76e2021001>

DINIZ, M.T.M., OLIVEIRA, G.P. Proposta de compartimentação em mesoescala para o litoral do nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 17: 3, 2016. <http://dx.doi.org/10.20502/www.ugb.org.br/rbg.v17i3.844>.

DU, J., HESP, P.A. Salt Spray Distribution and Its Impact on Vegetation Zonation on Coastal Dunes: a Review. **Estuaries and Coasts**, v. 43, p. 1885–1907, 2020. <https://doi.org/10.1007/s12237-020-00820-2>

FANTINATO, E., TOZZI, F.P., STANISCI, A., BUFFA, G. Alien plant colonisation and community homogenisation: cause or consequence? A test in coastal dunes, **Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology**, 2023 DOI: 10.1080/11263504.2023.2176941.

FARRIS, E., PISANU, S., CECCHERELLEU, G., FILIGHEDDU, R. Human trampling effects on Mediterranean coastal dune plants. **Plant Biosystems**, v.14 (4), p.1043–105, 2013. <https://doi.org/10.1080/11263504.2013.861540>.

FISCHER, F. M., OLIVEIRA, J. M., DRESSENO, A. L.P., PILLAR, V.D. The role of invasive pine on changes of plant composition and functional traits in a coastal dune ecosystem, **Natureza & Conservação**, v. 12 (1), p. 19-23, 2014, <https://doi.org/10.4322/natcon.2014.004>.

FREIRE M. S. B. Levantamento Florístico do Parque Estadual das Dunas do Natal, **Acta Botânica Brasileira**. 4(2), p. 41-59, 1990.

GALLEGO-FERNÁNDEZ, J. B., MARTÍNEZ, M. L., GARCÍA-FRANCO, J. G., ZUNZUNEGUI, M. The impact on plant communities of an invasive alien herb, *Oenothera drummondii*, varies along the beach-coastal dune gradient. **Flora**, v. 260, 151466, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.flora.2019.151466>.

GARCÍA-MORA, M.R., GALLEGU-FERNANDEZ, J.B., WILLIAMS, A.T. GARCÍA-NOVO, F. A. Coastal Dune Vulnerability Classification. A Case Study of the SW Iberian Peninsula. **Journal of Coastal Research**, v.17 (4), p. 802-811, 2001.

GIARETTA A., MENEZES, L. F. T. DE. PEREIRA, O. J. Structure and floristic pattern of a coastal dunes in southeastern Brazil. **Acta Botanica Brasilica** v. 27(1), p. 87-107, 2013.

GRAFALS-SOTO R. Effects of sand fences on coastal dune vegetation distribution. **Geomorphology**, v.145, p. 45–55, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.12.004>.

GRUNEWALD, R. Assessment of damages from recreational activities on coastal dunes of the southern Baltic Sea. **Journal of Coastal Research**, v. 22(5), p. 1145–1157, 2006.

GRUNEWALD R, SCHUBERT H. The definition of a new plant diversity index “H’ dune” for assessing human damage on coastal dunes – Derived from the Shannon index of entropy H’ **Ecological Indicators**, v. 7, p. 1-21, 2007. doi: [10.1016/j.ecolind.2005.09.003](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2005.09.003).

GUTERRES, A. V. F., AMORIM, I. F. F. SILVA, A. F. C. DA, ALMEIDA JR., E. B. Flora do Estrato Herbáceo da Restinga da Praia do Caúra, São José de Ribamar, Maranhão **Biodiversidade**, v. 29 (2), p. 1 - 10, 2019.

GUTERRES, A. V. F., AMORIM, I. F. F. SILVA, A. F. C. DA, ALMEIDA JR., E. B. Levantamento Florístico e Fisionômico da Restinga da Praia da Guia, São Luís, Maranhão. **Biodiversidade**, v.19 (4), p. 57 - 72, 2020.

HESP, P. A. Ecological processes and plant adaptations on coastal dunes. **Journal of Arid Environments**, v. 21(2), p. 165-191, 1991. [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(18\)30681-5](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(18)30681-5).

HÉQUETTE, A., RUZ, M-H., ZEMMOUR, A., MARIN, D., CARTIER, A., SIPKA, V. Alongshore Variability in Coastal Dune Erosion and Post-Storm Recovery, Northern Coast of France. **Journal of Coastal Research** v.88, p. 25–45, 2019 doi: <https://doi.org/10.2112/SI88-004.1>.

IDIER, D. CASTELLE, B. POUMADÈRE, M. BALOUIN, Y. BOHN, R.B. BOUCHETTE, F. BOULAHYA, F. BRIVOIS, O. CALVETE, D. CAPO, S. CERTAIN, R. CHARLES, E. CHATEAUMINOIS, E. DELVALLÉE, E. FALQUÉS, A. FATTAL, P. GARCIN, M. GARNIER, R. HÉQUETTE, A. LARROUDÉ, P. LECACHEUX, S. LE COZANNET, M. MAANAN, C. MALLET, A. MASPATAUD, C. OLIVEROS, M. PAILLART, J.P. PARISOT, R. PEDREROS, C. ROBIN, N. ROBIN, M. ROMIEU, E. RUZ, M.H. THIÉBOT, J. VINCHON, C. Vulnerability of sand coasts to climate variability **Climate. Research.**, 57 (2013), pp. 19-44, 10.3354/cr01153

JACKSON, D. W.T., COSTAS, S., GONZÁLEZ-VILLANUEVA, R., COOPER, A. A global ‘greening’ of coastal dunes: An integrated consequence of climate change? **Global and Planetary Change**, v.182, 103026, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2019.103026>.

JR, J. C. F. M., & BOEGER, M. R. T. Riqueza e estrutura de uma comunidade vegetal de dunas na planície costeira de Santa Catarina. *Iheringia, Série Botânica.*, v. 73(3), p. 290–297, 2019. <https://doi.org/10.21826/2446-8231201873306>

KIER, G.; MUTKE, J.; DINERSTEIN, E.; RICKETTS, T.H.; KÜPER, W.; KREFT, H.; BARTHLOTT, W. Global patterns of plant diversity and floristic knowledge. *Journal Biogeography*, v.32, p. 1107–1116, 2005.

KOBYANI, T., BOSSUYT, B., BONTE, D., HOFFMANN, M. Grazing as a management tool in dune grasslands: evidence of soil and scale dependence of the effect of large herbivores on plant diversity. **Biological Conservation**, v.141, p. 1687-1694, 2008.

LEITE, A. V. de L., ANDRADE, L. de H. C. Riqueza de espécies e Composição Florística em um Ambiente de Duna Após 50 anos de Pressão Antrópica: um Estudo na Praia de Boa Viagem, Recife, PE, Brasil, **Biotemas**, v, 17 (1), p. 29 - 46, 2004.

LINDEMAN, J. C., BAPTISTA, L. R. M., IRGANG, B. E., PORTO, M. L., GIRARDI-DEIRO, A. M., BAPTISTA, M. L. L. Estudos botânicos no Parque Estadual de Torres, Rio Grande do Sul- Brasil. **Iheringia. Série Botânica**, v. 21, p. 15-22, 1975.

LITHGOW, D., MARTÍNEZ, M.L., GALLEGO-FERNÁNDEZ, J.B., HESP, P. A., FLORES, P., GACHUZ, S., RODRÍGUEZ-REVELO, N., JIMÉNEZ-OROCIO, O., MENDOZA-GONZÁLEZ, G., ÁLVAREZ-MOLINA, L.L. Linking restoration ecology with coastal dune restoration, **Geomorphology** v. 199, p. 214-224, 2013, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.05.007>.

LITHGOW, D. MARTÍNEZ, M. L., GALLEGO-FERNÁNDEZ, J. B. The “ReDune” index (Restoration of coastal Dunes Index) to assess the need and viability of coastal dune restoration, **Ecological Indicators**, v. 49, p. 178-187, 2015 <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.10.017>.

LUCREZI S, SAAYMAN M, VAN DER MERWE, P. Influence of infrastructure development on the vegetation community structure of coastal dunes: Jeffreys Bay, South Africa. **Journal Coastal Conservation**, v. 18, p.193–211, 2014. <https://doi.org/10.1007/s11852-014-0307-2>

LUNA, M. C. M. de M., PARTELI, E. J. R., DURÁN, O., HERRMANN, H. J. Model for the genesis of coastal dune fields with vegetation, *Geomorphology*, Volume 129 (3–4), p 215-224, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.01.024>.

MALAVASI, M., BARTAK, V., CARRANZA, M.L., SIMOVA, P., ACOSTA A.T.R. Landscape pattern and plant biodiversity in Mediterranean coastal dune ecosystems: Do habitat loss and fragmentation really matter? *Journal of Biogeography*, v.45, p. 1367-1377, 2018. doi: 10.1111/jbi.13215.

MATIAS, L.Q; NUNES, E.P. Levantamento Florístico da área de Proteção Ambiental de Jericoacoara, Ceará. **Acta bot. bras.** v.15(1), p. 35-43, 2001.

MASCARENHAS, A., JAYAKUMAR, S. An environmental perspective of the post-tsunami scenario along the coast of Tamil Nadu, India: Role of sand dunes and forests. **Journal of Environmental Management**, 89 (1, SI), 24–34. 2008.

MELO JÚNIOR, J. C. F. de, FERRARI, A., GERN, A. F., DANIEL, A. MAIA, A. C. da, HARTELT, B.T., POSSAMAI, B. T., VANZUITA, C. A., DUMKE, D., SILVA, D. da, TUSSOLINI, E. G. R., HAFEMANN, F., SILVA, G. R. da, OLIVEIRA, G. B. de JANTSCH, G., BATISTA, J. M., FERREIRA, J., CRUZZETA, K. M., TEIXEIRA, L. R. R. V., BURMESTER, L. P., SANTOS, M. C. dos, SABINO, P.C., VALDEZ, R. E.,

- JASPER, R. B., PINTO, R. F., OLIVEIRA, S. de, SEIFERT-NETO, V. R., Fitossociologia Comparada da Comunidade Herbácea Subarbusiva de Restinga em duas Geoformas de Dunas na Planície Costeira de Santa Catarina **Acta Biológica Catarinense** v.4(2), p. 5-15, 2017.
- MENDOZA-GONZÁLEZ, G., PAREDES-CHI, A., MÉNDEZ-FUNES, D., GIRALDO, M., TORRES-IRINEO, E. ARANCIBIA, E., RIOJA-NIETO, R. Perceptions and Social Values Regarding the Ecosystem Services of Beaches and Coastal Dunes in Yucatán, Mexico. **Sustainability**, v.13 (3592) p. 1-22, 2021. <https://doi.org/10.3390/su13073592>.
- MENEZES, C. M., ESPINHEIRA, M. J. C. L., DIAS, F. J. K., SILVA, V. Í. S. DA Composição florística e fitossociologia de trechos da vegetação praial dos litorais norte e sul do Estado da Bahia. **Revista Biociências**, v. 18 (1) p. 35 - 41, 2012
- MILLER, T.E., GORNISH, E.S. BUCKLEY, H.L. Climate and coastal dune vegetation: disturbance, recovery, and succession. *Plant Ecol* 206, 97–104, 2010. <https://doi.org/10.1007/s11258-009-9626-z>
- MOURA, M. R.B., CRUZ, A.V.C., ARAÚJO, J.S., SANTOS-FILHO, F.S. A pioneering community in dunes: does anthropization modify floristic composition? **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.12 (07), p. 2645-2659, 2019.
- NASCIMENTO, A.D., COSTA, L.B.D., LACERDA, D.M.A., ALMEIDA Jr., E. B. Woody plants phenology of the coastal dunes in eastern Amazon, Brazil. **Brazilian Journal of Botany** v.44, p. 741–752, 2021. <https://doi.org/10.1007/s40415-021-00716-w>
- NEHREN, U., DAC THAI, H., MARFARI, M. A., RAEDIG, C., ALFONSO, S., SARTOHADI, J., CASTRO, C. Ecosystem-Based Disaster Risk Reduction and Adaptation in Practice. In F. et al. Renaud (Ed.), **Ecosystem-Based Disaster Risk Reduction and Adaptation in Practice**, v. 42, p. 401–423, 2016. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-43633-3>.
- NETO, C. da S. A Flora e Vegetação das Dunas de São Jacinto. **Finisterra**, p 101- 148, 1993.
- OLIVEIRA FILHO, A. T. AND FONTES, M. A. L. Patterns of floristic differentiation among Atlantic forests in Southeastern Brazil and the influence of climate, *Biotropica*, v. 32, p. 793–810, 2000. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2000.tb00619.x>
- OLIVEIRA, G. DE C., FRANCELINO, M. R., ARRUDA, D. M., FERNANDES-FILHO, E. I., SCHAEFER, C. E. G. R. Climate and soils at the Brazilian semiarid and the forest-Caatinga problem: new insights and implications for conservation. *Environmental. Research. Letters.*, v. 14 (10). doi 10.1088/1748-9326/ab3d7b
- OLIVEIRA E.V.S., LANDIM M.F. Dunes in the North coast of Sergipe, Brazil: plant species and their ecological traits. **Rodriguésia** 71, p.2-18, 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/2175-7860202071021>.

OLIVEIRA, E.V.S., ALVES, D.M.C., LANDIM, M. F., GOUVEIA, S. F. Sampling effort and the drivers of plant species richness in the Brazilian coastal regions. **Oecologia**, v. 195, p. 163–171, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00442-020-04805-7>

PAIVA, B. H. I., ALMEIDA Jr., E. B. Diversidade, Análise Estrutural e Serviços Ecossistêmicos da Vegetação Lenhosa da Restinga da Praia da Guia, São Luís, Maranhão, Brasil. **Biodiversidade** - v.19, (2), p. 46- 60, 2020.

PALMA, C. B. & JARENKOW, J. A. Estrutura de uma formação herbácea de dunas frontais no litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil, **BIOCIÊNCIAS**, v. 16 (2), p. 114-124, 2008.

PÄRTEL M. Local plant diversity patterns and evolutionary history at the regional scale. *Ecology* v. 83, p. 2361–2366, 2002. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2002\)083\[2361:LPDPAE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[2361:LPDPAE]2.0.CO;2)

PFADENHAUER, J., RAMOS, R. F. Um complexo de vegetação entre dunas e pântanos próximo a Tramandaí – Rio Grande do Sul, Brasil. **Iheringia. Série Botânica**, v.25, p.17-26, 1979.

PINNA, M.S., BACCHETTA, G., COGONI, D., FENU, G. Is vegetation an indicator for evaluating the impact of tourism on the conservation status of Mediterranean coastal dunes?, **Science of The Total Environment**, v. 674, p. 255-263, 2019 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.120>.

PIRES, C. DOS S., NASCIMENTO, A.D., ALMEIDA JR., E.B. Dispersão de frutos e sementes do componente lenhoso nas dunas da praia de São Marcos, São Luís, Maranhão, nordeste do Brasil. **Biota Amazônia**, v. 11(1) p. 68-74, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v11n1p68-74>

PORTZ, L., MANZOLLI, R. P., ALCÁNTARA-CARRIÓ, J., ROCKETT, G. C., BARBOZA, E. G. Degradation of a transgressive coastal Dunefield by pines plantation and strategies for recuperation (Lagoa Do Peixe National Park, Southern Brazil). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 259, 107483, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2021.107483>.

PRISCO, I., ACOSTA, A.T.R., STANISCI, A. A bridge between tourism and nature conservation: boardwalks effects on coastal dune vegetation. **Journal of Coastal Conservation** v. 25, 14, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11852-021-00809-4>

PROVOOST, S., JONES, M.L.M., EDMONDSON, S.E. Changes in landscape and vegetation of coastal dunes in northwest Europe: a review. **Journal of Coastal Conservation**, v. 15, p.207–226, 2011. <https://doi.org/10.1007/s11852-009-0068-5>.

QIAN, H. Spatial Pattern of Vascular Plant Diversity in North America North of Mexico and its Floristic Relationship with Eurasia, *Annals of Botany*, v. 83 (3), p. 271-283, 1999, <https://doi.org/10.1006/anbo.1998.0816>.

RAMOS, B. DE, ALENCAR, M. V., RODRIGUES, F. L., LACERDA, A. L. DE F., PROIETTI, M. C. Spatio-temporal characterization of litter at a touristic sandy beach in

South Brazil, **Environmental Pollution**, v. 280, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116927>.

REZENDE, V.L., EISENLOHR, P.V., VIBRANS, A.C., OLIVEIRA-FILHO, A. T. de Humidity, low temperature extremes, and space influence floristic variation across an insightful gradient in the Subtropical Atlantic Forest. *Plant Ecology*, v. 216, p.759–774, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11258-015-0465-9>

RIBEIRO, P. Y. & MELO JR., J. C. F. de. Richness and community structure of sand dunes (restinga) in Santa Catarina: subsidies for ecological restoration. **Acta Biológica Catarinense**, v.3(1), p.25-35, 2016.

ROCKETT, G.C., HESP, P., PORTZ, L., BARBOZA, E. G. Aeolian Geodiversity of the Itapeva Dunefield (Brazil) and Geoconservation in the Management of Protected Areas. **Geoheritage** 14, 111 (2022). <https://doi.org/10.1007/s12371-022-00744-2>

RODRIGUES, M. L., MOTA, N. F. DE O., PEDRO LAGE VIANA, P. L., KOCH, K. A., SECCO, R. de S. Vascular flora of Lençóis Maranhenses National Park, Maranhão State, Brazil: checklist, floristic affinities and phytophysognomies of restingas in the municipality of Barreirinhas. **Acta Botanica Brasilica**, v. 33(3), p. 498-516. 2019. doi: 10.1590/0102-33062018abb0421

RUZ, M. H., HESP, P. A. Geomorphology of high-latitude coastal dunes: a review. *Geological Society, London, Special Publications*, v. 388, p. 199 – 212, 2014 <https://doi.org/10.1144/SP388.17>.

SAITER, F.Z., BROWN, J.L. THOMAS, W.W. OLIVEIRA-FILHO, A.T. DE CARNAVAL, A.C. Environmental correlates of floristic regions and plant turnover in the Atlantic Forest hotspot *Journal of Biogeography*, v. 43, p. 2322-2331, 2016. <https://doi.org/10.1111/jbi.12774>

SANTOS, J. U. M. dos, ROSARIO, C. da S. Levantamento da Vegetação Fixadora das Dunas de Algodual- Pará, **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, v. 4 (1), 1988.

SANTOS, C.R., AMORIM, I.F.F., ALMEIDA JR., E.B. Caracterização Fitossociológica do Componente halófilo-psamófilo em uma área de Dunas, São Luís, Maranhão, Brasil. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, v. 29, p. 1-8, 2019.

SANTORO, R., JUCKER, T., PRISCO, I. CARBOI, M., BATTISTI, C., ACOSTA, A.T.R. Effects of Trampling Limitation on Coastal Dune Plant Communities. **Environmental Management** v.49, p.534–542, 2012. <https://doi.org/10.1007/s00267-012-9809-6>

SANROMUALDO-COLLADO, A., GARCÍA-ROMERO, L., PEÑA-ALONSO, C., HERNÁNDEZ-CORDERO, A. I., FERRER-VALERO, N., HERNÁNDEZ-CALVENTO, L. Spatiotemporal analysis of the impact of artificial beach structures on biogeomorphological processes in an arid beach-dune system, **Journal of Environmental Management**. v 282, 111953, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.111953>.

SCARANO, F.R. Structure, Function and Floristic Relationships of Plant Communities in Stressful Habitats Marginal to the Brazilian Rainforest, *Annals of Botany*. 2002 <https://doi.org/10.1093/aob/mcf189>.

SCIANDRELLO, S., TOMASELLI, G., MINISSALE, P. The Role of Natural Vegetation in the Analysis of the Spatio-Temporal Changes of Coastal Dune System: A Case Study in Sicily. **Journal Coastal Conservation** v.19, p.199–212, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11852-015-0381-0>

SCHEINER, S.M., REY-BENAYAS, J.M. Global patterns of plant diversity. *Evolutionary Ecology*, v. 8, p.331–347, 1994. <https://doi.org/10.1007/BF01238186>

ŠILC, U., ČAKOVIĆ, D., KÜZMIČ, F., STEŠEVIĆ, D. Trampling Impact on Vegetation of Embryonic and Stabilised Sand Dunes in Montenegro. **Journal of Coastal Conservation**, v.21, p.15–21, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11852-016-0468-2>.

SILVA, A. N. F.; ARAUJO, A. C. M.; ALMEIDA Jr. Flora Fanerogâmica das dunas da praia de São Marcos, São Luís, MA p 11 a 28 In: ALMEIDA Jr., E. B.; SANTOS-FILHO. **Biodiversidade do Meio Ambiente; conhecimentos ecológicos e aplicações**. Curitiba, CVC, 2016.

SILVA, L. P., AMORIM, I. F.F., ALMEIDA Jr., E. B., SANTOS, V. de J. Levantamento Fitossociológico da Vegetação Herbácea-Subarbusiva das Dunas da Praia de Massarandupió, Município de entre Rios, Bahia. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, v. 29 (2), p. 1-9, 2019.

SILVEIRA J. D. Morfologia do litoral. In: AZEVEDO, A. (Org.). **Brasil, a terra e o homem**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 253-305, 1964.

SOARES, M. O., BARROS, E. L., GUERRA, R. G. P. Not just sand: The folly of dismantling the environmental protection of dunes in Brazil. **Land Use Policy**, v.112, 105803, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105803>.

SUGUIO, K., TESSLER, M.G. Planície de cordões litorâneos quaternários do Brasil: origem e nomenclatura. Pp. 15-25, 1984. In: L.D. Lacerda; D.S.D. Araujo; R. Cerqueira & B. Turq (eds.). **Restingas: Origem, Estrutura e Processos**. Niterói.

TÜRKER, U., YAGCI, O. & KABDASLI, M.S. Impact of nearshore vegetation on coastal dune erosion: assessment through laboratory experiments. **Environ Earth Sci** 78, 584, 2019. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8602-8>.

VALLS, J. F. M. Estudos botânicos no Parque Estadual de Torres, Rio Grande do Sul. I. Levantamento florístico da área da Guarita. **Iheringia. Série Botânica** v. 20, p. 35-58, 1975.

VAN DER BIEST, K., NOCKER, L. D., PROVOOST, V., BOEREMA, V., STAES, J., MEIRE, P. Dune dynamics safeguard ecosystem services. **Ocean & Coastal**

Management, v.149, p.148-158, 2017.

<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.10.005>.

WALKER, S. L., ZINNERT, J. Whole plant traits of coastal dune vegetation and implications for interactions with dune dynamics. *Ecosphere*, v.13 (5), 2022.

<https://doi.org/10.1002/ecs2.4065>.

URBIS, A., POVILANSKAS, R., NEWTON, A. Valuation of aesthetic ecosystem services of protected coastal dunes and forests, *Ocean & Coastal Management*, v. 179, 2019, 104832, <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104832>.

ZOBEL, M. (2016). The species pool concept as a framework for studying patterns of plant diversity. *Journal of Vegetation Science*, v. 27(1), p. 8–18.

<https://doi.org/10.1111/jvs.12333>

ZUNZUNEGUI, M., ESQUIVIAS, M.P., OPPO, F., GALLEGU-FERNÁNDEZ, J. B. Interspecific competition and livestock disturbance control the spatial patterns of two coastal dune shrubs. **Plant Soil** v.354, p.299–309, 2012. <https://doi.org/10.1007/s11104-011-1066-6>

Primeiro Capítulo

OVERVIEW OF THE COASTAL DUNE VEGETATION IN NORTHEASTERN BRAZIL

Ariade Nazaré Fontes da Silva¹, Eduardo Bezerra de Almeida Jr.², Carmen Sílvia
Zickel³

Submetido a The Botanical Review de Qualis A2

OVERVIEW OF THE COASTAL DUNE VEGETATION IN NORTHEASTERN BRAZIL

Ariade Nazaré Fontes da Silva¹, Eduardo Bezerra de Almeida Jr.², Carmen Sílvia Zickel³

¹Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n. Dois Irmãos, CEP:52171-900, Recife, PE. Brasil. Email: ariadefontes@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-9368-0986>

²Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação, Universidade Federal do Maranhão. Av. dos Portugueses, 1966, Campus do Bacanga. CEP: 65085-580 São Luís, MA, Brasil. Email: eduardo.almeida@ufma.br <https://orcid.org/0000-0001-7517-4775>

³Departamento de Biologia, Área de Botânica, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n. Dois Irmãos, CEP:52171-900, Recife, PE. Brasil. Email: carmen.zickel@ufrpe.br <https://orcid.org/0000-0002-1323-4717>
Author for Correspondence: email: ariade_22@hotmail.com

Abstract

Coastal dunes are highly ecologically diverse due to the constant environmental heterogeneity and plant composition. However, information about dune vegetation for the tropics is scarce, especially for Brazil. Thus, the objectives of this work are to provide information about the plant community of the coastal dunes in the Northeast Region (based on data about richness, species origin and life forms), compare the plant composition between the Northern Northeast Coast (LNS) and Southern Northeast Coast (LNO), and infer about public policies related to the conservation of dunes in Brazil. We created a list of angiosperm species using the Google Scholar and ISI Web of Science databases. With this list, we conducted a similarity analysis based on the Jaccard index and an analysis of indicator species, which were both made with the program RStudio. We recorded 942 species, 453 genera, and 112 families. The most representative family is Leguminosae, while *Cyperus* has the greatest number of species. The predominant life forms are therophytes and microphanerophytes. We recorded 567 native species, of which 325 are endemic, 45 naturalized species, and five cultivated species. The similarity analysis revealed that the dune vegetation is distinct, and four indicator species were found. Our study provides comprehensive information about the vegetation composition and highlights that these data can contribute to new scientific studies about coastal dunes in the Northeast Region, as well as to the conservation of the biological diversity of coastal dunes in Brazil.

Keywords: coastline, vegetation, similarity, indicator species, conservation.

Introduction

Coastal dunes occupy approximately 20% of the coastal areas of the world and are transition environments strongly influenced by continental, marine, and other environmental factors (Martínez et al., 2008, Carranza et al., 2018). The amount of available sediment, wind regime, and type of beach are essential factors that determine the size and area occupied (Durán & Moore, 2013). Thus, the processes mentioned result

in the formation of diverse topographic features of dunes in coastal regions throughout the world (Martínez et al., 2008).

Coastal dunes have high ecological diversity due to the constant environmental heterogeneity and plant composition (Acosta et al., 2009; Carboni et al., 2009; Sperandii et al., 2019). The plant community comprises species in different habitats that form heterogeneous mosaics, and, because of this, many studies note the importance of the vegetation to understand ecological and sedimentological processes. The vegetation of coastal dunes, mainly psamophilous, creeping and herbaceous species, form barriers that reduce the mobility of sediment, allowing dune fields to become established (Hesp, 1991; Cordazzo et al., 2006; Nascimento et al., 2021).

In addition to the biological diversity, dunes provide diverse ecosystem services by contributing to sequestering carbon (Bonito et al. 2017), resisting natural phenomena (Mascarenhas & Jayakumar 2008, Hayasaka et al., 2012), controlling flooding and stabilizing the coast, as well as providing areas for social and ecotourism activities (Carboni et al. 2009, Barbier 2017, Paiva & Almeida Jr., 2020). However, in various regions of the world, coastal dunes are highly threatened by humans, compromising the integrity of this ecosystem and, consequently, the flora and fauna (Pinna et al., 2015; Sarmati et al., 2019). The main anthropogenic disturbances are due to population increases that result in unplanned urbanization, tourism, agricultural, and livestock activities exploratory (Yilmaz, 2002; Zinnert et al., 2016; Págan et al., 2017; Hernández-Cordero et al., 2018).

Various studies, mainly in temperate regions, have used vegetation as the main bioindicator to evaluate the conservation state of dunes. Vegetation richness, composition, diversity, cover, and structure have been considered (Grunewald & Schubert, 2007; Attorre et al., 2013; Cicarrelí, 2014; Pinna et al., 2015). In tropical regions, there have not been many of these types of analyses. However, it is important to know the flora, so it is possible to categorize the conservation state of dune areas and identify endemic species (Carboni et al., 2009; Ngumbau et al., 2020). This would contribute to making a global meta-analysis of the composition of coastal dunes in the tropics (Brunbjerg et al., 2014).

For Brazil, the flora of coastal dune vegetation has been documented using floristic inventories, especially in the Northeast Region. The first records were published in the 1990s by Freire (1990), Britto et al. (1993), Cabral Freire and Monteiro (1993). After the year 2000, the studies were done by Matias and Nunes (2000), Silva et al. (2016), Rodrigues et al. (2019), Silva et al. (2019), Guterres et al. (2020), and Oliveira and Landin (2020). However, since it is very long and under an accelerated process of degradation, more thorough analyses of the dune vegetation in the Northeast Region of the country are needed (Amorim et al., 2016; Araujo et al., 2016).

Due to the need to outline conservation actions, this study focused on the following: (1) analyzing the richness, origin of species and composition of life forms; (2) comparing the composition of coastal dunes of the Northern Northeast Coast (LNS) to Southern Northeast Coast (LNO) in the Northeast Region of Brazil; (3) identifying indicator species for the regions; and (4) making inferences about public policies to conserve coastal dunes in Brazil.

Materials and Methods

Study Area

The Northeast Region is approximately 1,561,177 km² divided into nine states (Figure 1). Of the coastal regions in Brazil, the Northeast Region has the longest coastline. In this region, Bahia has the longest (932 km) coastline and Piauí has the shortest (66 km)

coastline (Silva et al., 2012). In the Northeast Region, the extensions of the coastal dunes are greatest mainly between São Marcos Bay (Maranhão) and *cabo Calcanhar* (Rio Grande do Norte) and in the coastal plain of the São Francisco River between Sergipe and Alagoas (Brandão, 2008).

The northeastern coast differs in climatic aspects, and based on this it was proposed to divide the coast into two areas: the LNS and LNO (Silveira, 1964; Ab'Saber, 2001a, 2006b; Diniz & Oliveira, 2016). The differences in climatic conditions have resulted in differences in the biological spectrum along the entire coast (Lima & Almeida Jr., 2018).

Considering climatological parameters (Koppen, 1948), Alvares et al. (2013) demonstrated that the climate in the Northeast Region varies between tropical and dry semiarid (Table 1). The LNS (Figure 2) predominantly has a subhumid to semiarid climate, includes the states of Maranhão, Piauí, Ceará and part of Rio Grande do Norte, and is mentioned as “the curve of South America”. The LNO (Figure 3) has a tropical humid climate and encompasses the rest of Rio Grande do Norte and the states of Alagoas, Paraíba, Sergipe, and Bahia (Silveira, 1964; Ab'Saber, 2001a, 2006b; Castro et al., 2012, Diniz & Oliveira, 2016).

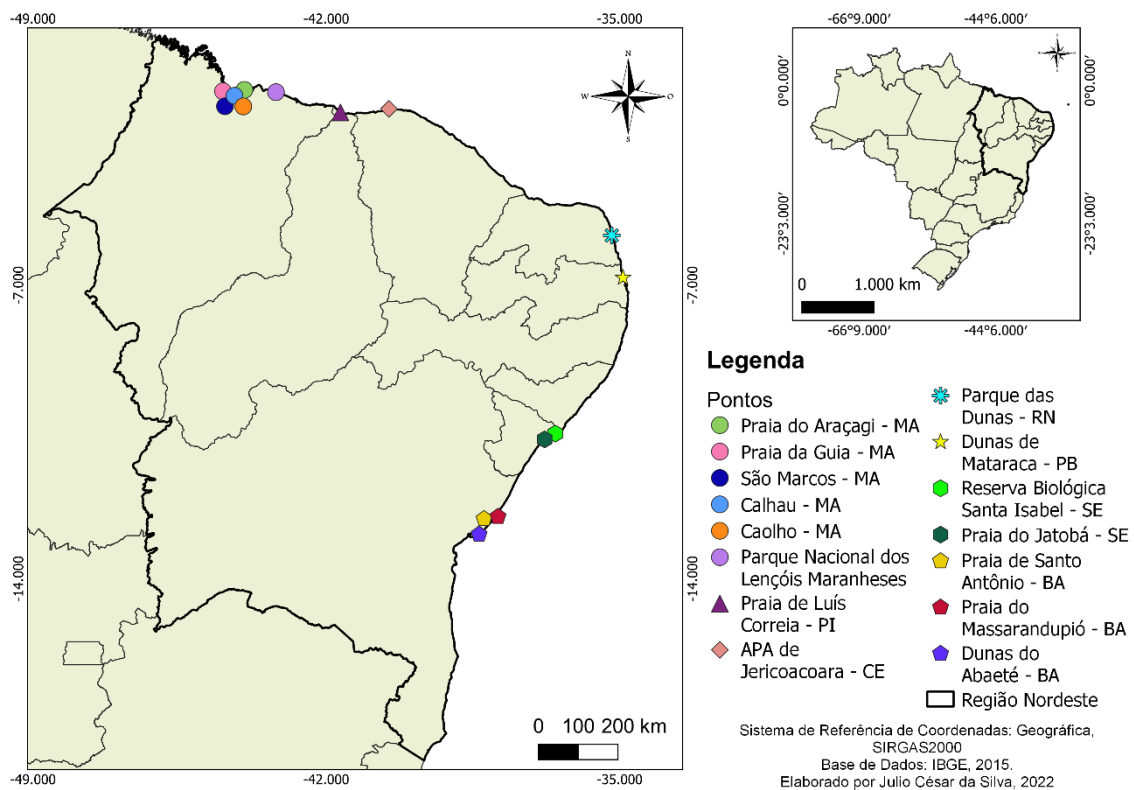


Fig. 1 - Indication of areas of coastal dunes sampled in the Northeast region, Brazil.



Fig. 2 - Dune areas of LNS; a- praia de São Marcos (MA); b- praia do Caolho (MA); c- praia da Guia (MA); d - Parque Nacional dos Lenções Maranhenses (MA); e-f praia de Jericoacoara (CE); g- praia do Coqueiro (PI). Google Earth Photos, 2022



Fig. 3 - Dune areas of LNO; h- Parque das Dunas e Lagoas de Abaeté (BA); i- praia de Massarandupió (BA); j-k Parque das Dunas (RN); l-m Reserva Biológica Santa Isabel (SE). Google Earth Photos, 2022

Data sampling

To obtain the species of coastal dunes in the Northeast Region, we consulted the Google Scholar and Web of Science databases using the following descriptors (in Portuguese and English): coastal*; dune* “coastal dune”; “coastal dunes” AND vegetation*; plant*; flor* AND northeast*AND Brazil* AND “vegetation coastal dune”; “vegetation coastal dunes”, “floristic coastal dune” AND “floristic coastal dunes.” Based on these criteria, we obtained 25 studies published in English and Portuguese about floristics, phytosociology and floral biology, among other subjects, from eight states in the Northeast Region (Bahia, Sergipe, Alagoas, Rio Grande do Norte, Paraíba, Ceará, Piauí and Maranhão) that have occurrence records from coastal dunes (Table 2).

With the data obtained, a list of angiosperm species was made for all vegetation strata. We excluded subspecies, varieties, and species not listed on the “Flora e Funga do Brasil” site, as well as species with doubtful identifications and aquatic plants. The scientific names and origin of the specie were checked on the Flora e Funga do Brasil (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>) site. The life forms were classified based on Raunkiaer (1934) with modifications by Martins and Batalha (2011). The families are organized based on APG IV (2016).

Data analyses

A similarity analysis was conducted after reviewing and updating the names of the taxa. For this, a presence-absence matrix was made from only the floristic survey studies that used the exploratory walking method (Supplementary material - Table 3). The matrix included 780 species (Supplementary Material 1). Subsequently, a cluster analysis (UPGMA) was conducted based on the Jaccard index to evaluate the floristic similarity among the dune areas. This generated a dendrogram from a cophenetic analysis using Pearson's correlation. The analyses were conducted in the program RStudio version 3.0.1 (R Development Core Team, 2016) with the Vegan package (Oksanen et al., 2016).

An indicator species analysis (Dufrêne & Legendre, 1997) was also conducted to detect typical species of coastal dunes in the LNS and LNO. With the presence-absence matrix, we estimated the exclusivity of the species among the coastal areas, which was analyzed based on the indicator value (IV). Statistical significance was considered using the randomization process. The analysis was conducted in the program RStudio version 3.0.1 (R Development Core Team, 2016) using the *labdsv* package.

Results

The total vegetation richness on the coastal dunes in Northeast Brazil is represented by 942 species, 453 genera, and 112 families (Supplementary material - Table 2). Considering the northeastern coastal division, of the total, 473 species were cataloged for the LNS and 589 species were cataloged for the LNO.

The most representative families were Fabaceae (135 spp.), Poaceae (77 spp.), Cyperaceae (65 spp.), Asteraceae (48 spp.), Rubiaceae (47 spp.), Myrtaceae (35 spp.), Euphorbiaceae (32 spp.), Malvaceae (31 spp.), Apocynaceae (24 spp.), Orchidaceae (21 spp.), Convolvulaceae (17 spp.), and Amaranthaceae, Polygalaceae and Malpighiaceae (15 spp. each). These families represent 61.25% of the species listed.

For life forms, there were 201 microphanerophytes (21.33%), 162 therophytes (17.19%), 155 camephytes (16.45%), 118 nanophanerophytes (12.52%), 89 mesophanerophytes (9.05%), 69 lianas (7.32%), 63 hemicryptophytes (6.68%), and 32 vines (3.39%). The predominant life form in the LNS it was therophyte, with 122 species while in the LNO was microphanerophyte, with 142 species, (Figure 4).

For the origin, we recorded 567 native species of Brazil (60.19%), 325 endemic species of Brazil (34.50%), 45 naturalized species (4.77%), and five cultivated species (0.53%) (Figure 5). Our analysis of the plant composition in the LNS and LNO alone showed that all coast in the Northeast Region has predominantly native species.

Among the families with naturalized species, Poaceae is notable (15 spp.), followed by Asteraceae and Fabaceae (5 spp., each). Of the total number of naturalized species, there are 21 therophytes, 10 camephytes, six microphanerophytes, three nanophanerophytes, and one vein. The cultivated species are *Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai, (Cucurbitaceae), *Manilkara zapota* (L.) P. Royen (Sapotaceae), *Acacia mangium* Willd., *Phaseolus vulgaris* L. (Fabaceae), and *Turnera ulmifolia* L. (Turneraceae).

In the similarity analysis, the cophenetic correlation value was 0.90, demonstrating high clustering. The result of the similarity analysis showed that the dune vegetation of the LNS is distinct from that of the LNO since they were in two separate groups. Additionally, there is dissimilarity between the areas of each coast (LNS and LNO). Only two groups exhibiting greater similarity, the first group comprises the Calhau (CA) and Caolho (CO) beaches and the second group comprises the São Marcos (SM) and Guia (GU) beaches.

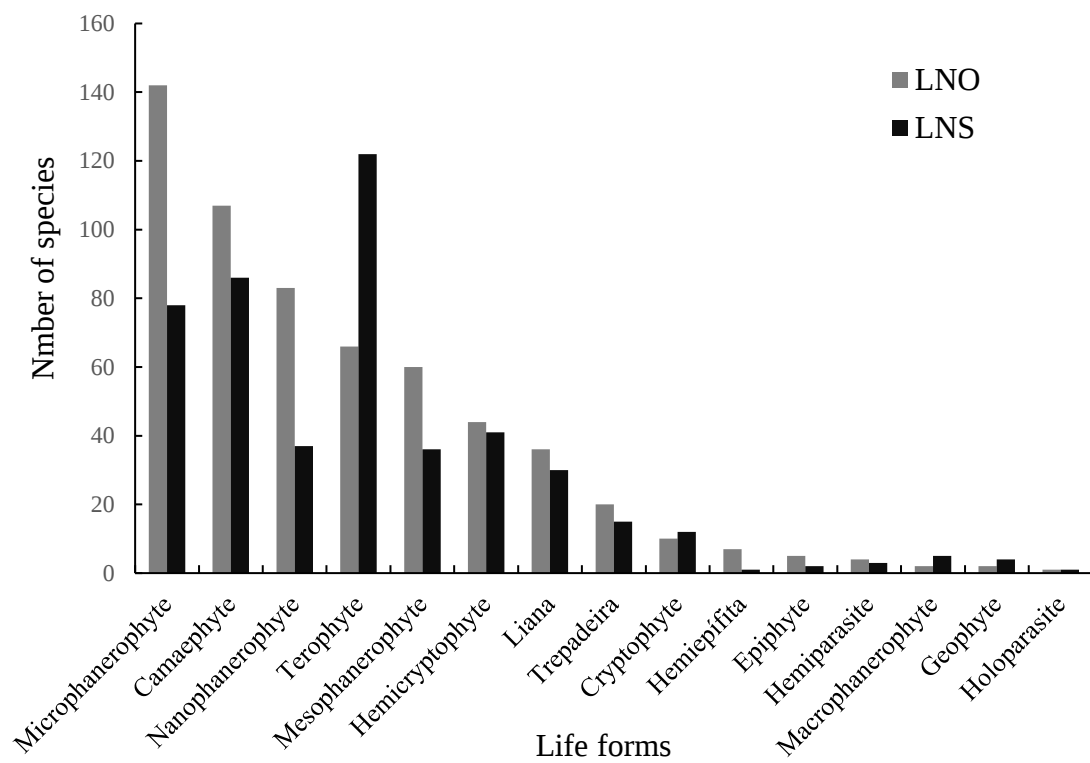


Fig. 4 - Distribution in terms of life forms of dune species on the Northern Northeast Coast (LNS) and Southern Northeast Coast (LNO) coast, northeastern Brazil.

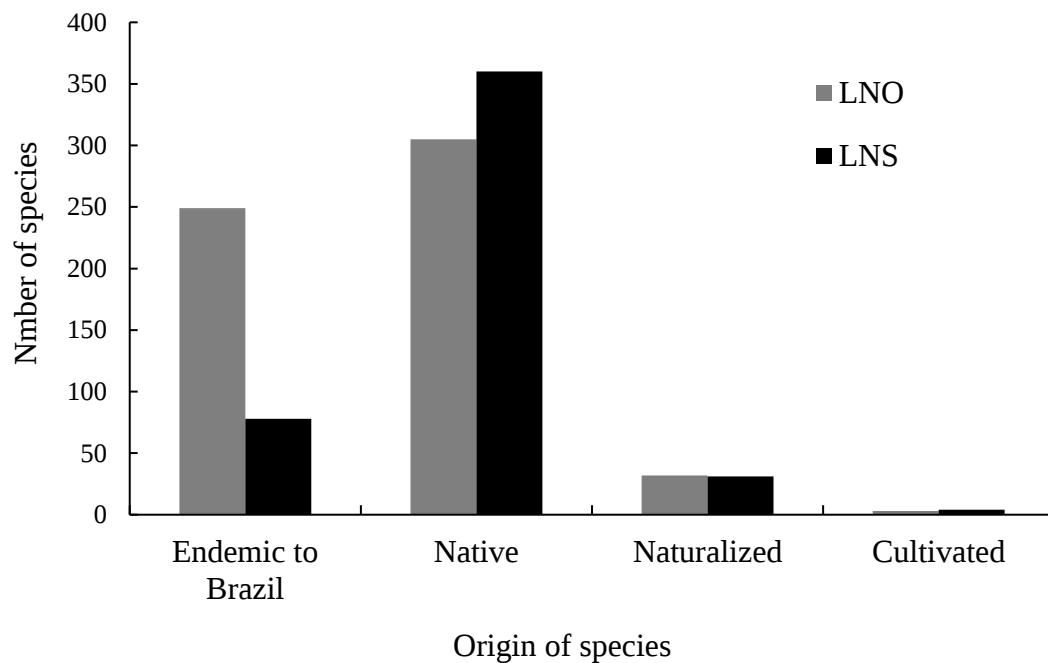


Fig. 5 - Distribution according to the origin of the dune species on the Northern Northeast Coast (LNS) and Southern Northeast Coast (LNO) coast, northeastern Brazil.

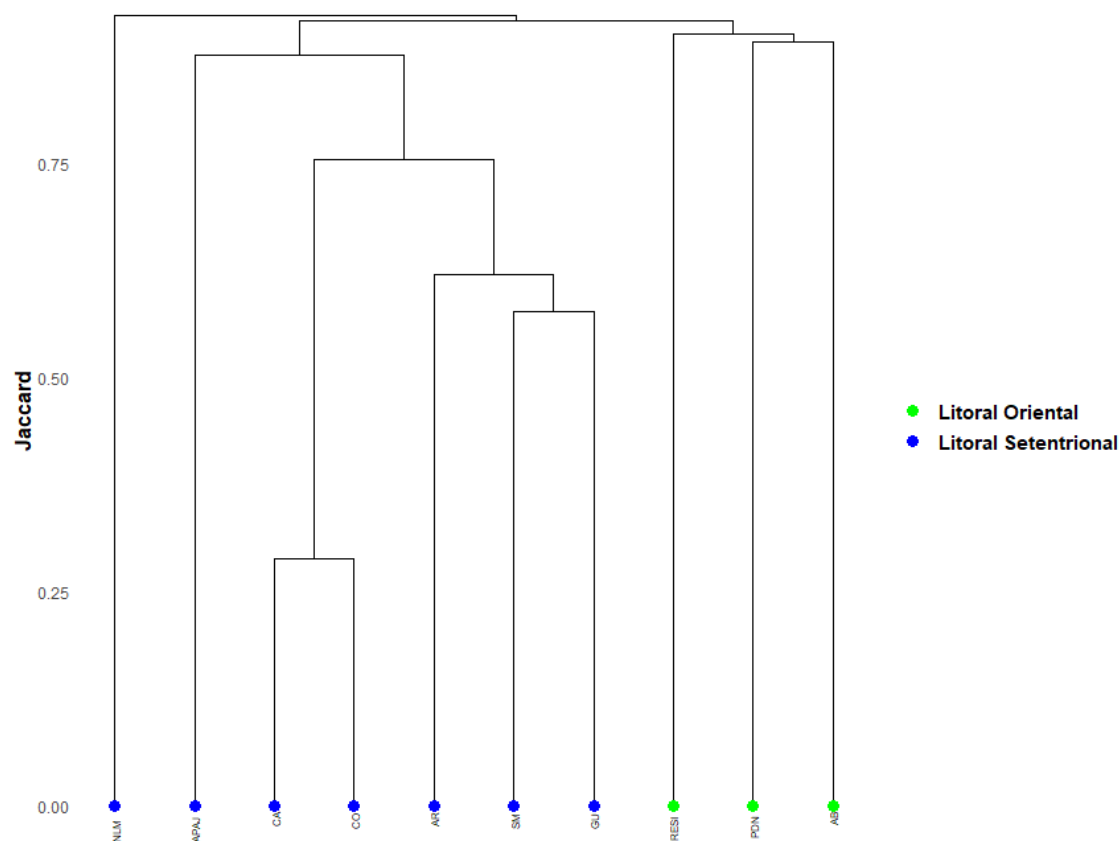


Fig. 6 - Dendrogram of floristic similarity between dune areas in the Northeast region. Acronyms: In the LNO: RESI - Reserva Ecológica Santa Isabel (Sergipe); ABA-Abaetê (Bahia); PDN- Parque das Dunas de Natal (Rio Grande do Norte). In the LNS: PNLMB - Parque Nacional do Lençóis Maranhenses, AR- Araçagi beach, SM- São Marcos, CA - Calhau beach, CO - Caolho beach GU - Guia beach (Maranhão); APAJ - APA de Jericoacoara (Ceará).

For the indicator species analysis, four species were found for the LNO (Table 4). However, the analysis did not find significant indicator species values for the LNS ($p < 0.06$). In the LNO, the first species on the list is *Ageratum conyzoides* L (Asteraceae), with the largest indicator value (IV^a), followed by *Anthurium affine* (Araceae), *Coccoloba laevis* Casar. (Polygonaceae), and *Philodendron imbe* Schott ex Kunth.

Discussion

The results show that at a regional scale, the plant community of the coastal dunes has a high richness of species. This can be expressed in the total richness, number of life forms, and origin of the species. Further, the coastal dune vegetation of the LNS is distinct from that of the LNO in both richness and composition. One of the factors that can explain the differences found for the coastal dunes of the LNS and LNO is related to the morphology of the dunes (Hesp, 1991), which refers to the level of sandy sedimentation and geomorphological units of the areas.

Musila et al. (2003) noted there is a direct relationship between geomorphological units of dunes and plant richness. Sand dunes can be classified as dunes without vegetation that can be mobile, partially vegetated, that also can be mobile, and totally vegetated and/or fixed (Tsoar, 2005). On partially vegetated dunes, herbaceous plants are predominant and on totally vegetated dunes, in addition to herbs, there are mostly woody species (Tsoar, 2005). Thus, the most stable dunes (fixed) tend to have a higher richness of species because they have plants from all vegetation strata. At a global scale, fixed coastal dunes are richest in species compared to other coastal dune geomorphological units (Tordoni et al., 2021). Based on our results, we can infer that the coastal dunes are fixed, presented a high percentage of phanerophytes (nanophanerophytes, mesophanerophytes and macrophanerophytes), indicating the presence of forest formations on the dunes on the coast of the Northeast Region of Brazil.

Scarano (2002) notes that the coastal vegetation in Brazil is formed by a mosaic of species in adjacent forests of different ecosystems near the coast. The results of this study show that species of Myrtaceae and Rubiaceae are among the main phanerophytes listed. These families are highly rich in forest domains in Amazonia and the Atlantic Forest (Borges et al., 2017; Amorim & Almeida Jr., 2020). Amazonian forest and the Atlantic Forest are notable for being the main domains that contribute to the establishment and colonization of species in coastal areas. Rodrigues et al. (2018) affirm that shrub formations in Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses (PNLM) are concentrated in groups at the tops of dunes, and shrub and tree species have twisted trunks that are sometimes submersed in the sand. The woody vegetation on São Marcos Beach (Maranhão) also forms dense thickets on secondary dunes, highlighting the importance of these plants in the composition of the flora of LSN dunes (Silva et al., 2016; Pires et al., 2021).

The phanerophytes *Anacardium occidentale* L., *Chrysobalanus icaco* L., and *Guapira pernambucensis* (Casar.) Lundell are notable because of their wide distributions in coastal dune vegetation in the Northeast Region of Brazil (Freire, 1990; Britto et al., 1993; Matias & Nunes 2011; Amorim et al., 2016; Silva et al., 2016). *Calycolpus legrandii* Mattos is endemic to Brazil and only occurs in coastal areas of Bahia (Flora do Brasil, 2020). *Eugenia stictopetala* Mart. ex DC., *Eugenia ligustrina* (Sw.) Willd., and *Myrciaria tenella* (DC.) O. Berg are native and widely distributed in the Amazon, Caatinga, Cerrado, and Atlantic Forest phytogeographic domains (Flora do Brasil, 2020).

Native and endemic species of Brazil on coastal dunes give the dunes naturalistic value and maintain the ecological diversity (Pinna et al., 2019). Other factors are climatic aspects (Delgado-Fernandez et al., 2019). At a global scale, hot, wet coastal areas exhibit greater plant richness and probably a low number of endemic species (Hesp, 1991). In contrast, arid and/or semiarid coastal areas have low species richness and possibly more endemic species. At a regional scale (tropical and the dry semiarid), due to the climatic conditions of the coastal northeastern region (Castro et al., 2012) allows the plant composition of dunes to have widely distributed native plant species and endemic species, as demonstrated by our results.

At a regional scale, we found 78 endemic species of Brazil for the LNS and 249 endemic species of Brazil for the LNO. The high richness of endemic species in the LNO could be related to the colonization of species from the Atlantic Forest, which is on the margin of the LNO dunes (Scarano 2002) and is known for its high diversity and endemism (Lima et al., 2020; Peres et al., 2020). For the coastal dunes analyzed, 45 naturalized species and five cultivated species were found. The naturalized plants in present study belong to the families Poaceae, Fabaceae and Asteraceae and, for these species, therophyte is the most representative life form. Wohlwend et al. (2021) noted

that the worldwide pattern of naturalized species richness can be influenced by climatic conditions and anthropogenic changes. For Poaceae and Fabaceae, niche availability favors the establishment of naturalized species of these families in areas of the Pacific.

When analyzing the similarity of the composition of the dunes, we verified there are two groups for the areas in Maranhão. These groups reflect the different levels of disturbance in the areas. The beaches are near and/or in urban centers and, due to this, are under high anthropogenic pressure. Urban growth favors the establishment of invasive, exotic, naturalized, and cultivated species (Amorim et al., 2016; Araujo et al., 2016; Pereira et al., 2016; Silva et al., 2016; Lima & Almeida Jr., 2018; Machado & Almeida Jr., 2019; Moura et al., 2019; Guterres et al., 2020). Muñoz-Vallés and Cambrollé (2015) affirm that many invasive species can result in the loss of functionality of coastal dunes because of changes in plant composition and soil properties. For the dunes in Maranhão, in addition to the state of conservation, the geographic proximity (to beaches in the metropolitan region on Maranhão Island) and climatic seasonality that is distinct from that in the other states in the Northeast Region are factors that contribute to the flora that is similar among the areas sampled (Lima & Almeida Jr. 2018).

In relation to the indicator species analysis, we obtained significant results only for the LNO. The non-categorization of the indicator species of the LNS could be related to the ecotonal characters of the vegetation on the coast. Castro et al. (2012) noted that the LNS coast can serve as an ecological corridor where the climatic variations allow species of the Cerrado, Atlantic Forest, Caatinga, and Amazonia to colonize coastal areas. It is possible that the mosaic of species on the coastal dunes in the LNS belongs to different phytogeographic domains, which resulted in the analysis not finding a particular plant group.

Thus, we think it would be important to investigate the relationship between plant composition and climatic factors of the northeast coast (LNS and LNO). To identify which parameters may be contributing to the floristic differentiation of coastal dunes in the Northeast.

Considering public policy actions directed at conserving coastal dunes, it is worth noting the strong anthropogenic pressure in various coastal regions of the world (Cicarelli, 2014; Pinna et al., 2015; Lithgow et al., 2020). The Northeast Region has the highest populations indices in Brazil (Soares et al., 2022), which increases this pressure. The Brazilian federal law nº 12.651/2012 (article 4^a paragraph VI – restingas fixed dunes or stabilize mangroves) states that the dunes are within a permanent preservation area, which guarantees the vegetation is protected. However, this is not enforced. Real estate development, fires, agricultural activities, over collecting of fruits, unplanned tourist trails, and parking lots still threaten the vegetation (Araujo et al., 2016; Amaral et al., 2019).

In a discussion about enforcing this law, Pinheiro et al. (2013) notes that although it is important to conserve Brazilian coastal ecosystems, the law only guarantees the protection of fixed dunes (vegetated) and excludes other geomorphological features moving dunes, semifixed dunes and paleodunes). These authors stress that the absence of laws that effectively guarantee the protection of the dune features results in anthropogenic exploration that causes the degradation and/or loss of all the ecosystems, including those mentioned in the law.

In relation to the coastal dunes in the Northeast Region of Brazil, of the 13 studies found for the LNS only two were conducted in conservation units (Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses in Maranhão State and the Área Proteção Ambiental de Jericoacoara in Ceará State). The other study sites are in urban areas where various anthropogenic impacts have been reported (Freire 1990; Amorim et al. 2016; Araujo et

al. 2016; Moura et al. 2019; Silva et al. 2019; Carvalho et al. 2020). For the LNO of the nine studies found, six were conducted on coastal dunes in conservation units (Reserva Biológica Santa Isabel in Sergipe State, and Parque Estadual das Dunas de Natal in Rio Grande do Norte State), and permanently protected areas (Parque do Abaeté, and Massarandupió Beach in Bahia State).

Soares et al. (2022) emphasize that, in addition to federal laws, the protection of coastal dunes can be guaranteed by state and municipal laws through the creation of Parques, for example, Parque Estadual das Dunas in Rio Grande do Norte State. Soares et al. (2002) also discuss the environmental impacts of revoking CONAMA 303/2002 by part of the Brazilian federal government. The authors highlight the resolution that guarantees, from the legal basis, that the dunes must be considered as an ecosystem and must be legally protected at the federal level. Although they were neglected in law nº 12.651/2012 (Forestry Code). Additionally, they emphasize the importance of the dunes as a source of hydric resources, especially in the Northeast Region where there are long dry periods. The creation of federal, state, and municipal parks of dunes is necessary so these areas can be properly monitored (Guarnier et al., 2022).

Finally, we emphasize that despite the efforts of the Brazilian scientific community to warn about the socio-environmental impacts of anthropic pressure, there is a lack of protective measures on the part of public decision-makers to ensure the conservation of biological diversity in the coastal dunes of Brazil. In addition, government interventions are urgently needed to carry out management and conservation actions related to vegetation on coastal dunes.

Acknowledgments

The authors would like to thank the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), finance code 001, for the grant of the first author's scholarship. The Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) for project financing. The Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico for the second author's research productivity grant (CNPq; grant 316031/2021-6 to EBAJ).

Bibliographic References

- Ab'Sáber, A.N. 2001. Litoral do Brasil. Metalivros.
- Ab'Sáber A. N. 2006. Brasil: paisagens de exceção: o litoral e o pantanal mato-grossense: patrimônios básicos. Cotia, Editorial Ateliê.
- Acosta, A., Carranza, M.L., & Izzi, C.F. 2009. Are there habitats that contribute best to plant species diversity in coastal dunes. *Biodiversity and Conservation* <https://doi.org/10.1007/s.10531-008-9454-9>.
- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M., & Sparovek, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22: 711-728.
- Amaral, Y.T., Santos, E.M., Ribeiro, M.C., & Barreto, L. 2019. Landscape structural analysis of the Lençóis Maranhenses national park: implications for conservation, *Journal for Nature Conservation*. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2019.125725>.
- Amorim, G. dos S., Amorim, I.F.F., & Almeida Jr., E.B. 2016. Flora de uma área de dunas antropizadas na praia de Araçagi, Maranhão. *Revista Biociências* 22:18-29.
- Amorim, I.F.F., Santos-Filho, F.S. & Almeida Jr., E.B. 2016. Fitossociologia do Estrato Herbáceo de uma Área de Dunas em Araçagi, Maranhão. In E. B. Almeida Jr., F.S. Santos-Filho (Eds) *Biodiversidade do Meio Norte: conhecimento ecológicos e aplicações* (1ª ed., pp. 29-44). CRV.

- Amorim, I.F. F. 2017. Herbáceas em áreas de Dunas da Ilha do Maranhão: Diversidade, Riqueza e Conservação. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação, Universidade Federal do Maranhão.
- Amorim, G. dos S., & Almeida Jr. E.B. 2020. A família Myrtaceae nas restingas da Ilha do Maranhão, Brasil. *Iheringia, Série Botânica*, 76: e2021008.
- APG IV - Angiosperm Phylogeny Group. 2016. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society* 181: 1-20.
- Araujo, A.C.M., Silva, A.N.F, & Almeida Jr. E.B. 2016. Caracterização estrutural e status de conservação do estrato herbáceo de dunas da Praia de São Marcos, Maranhão, Brasil. *Acta Amazonica* doi: <https://doi.org/10.1590/1809-4392201504265>.
- Attorre, F., Maggini, A., Di Traglia, M., De Sanctis, M, & Vitale, M. 2013. A methodological approach for assessing the effects of disturbance factors on the conservation status of Mediterranean coastal dune systems. *Applied Vegetation Science* <https://doi.org/10.1111/avsc.12002>
- Barbier, E.B. 2017. Marine ecosystem services, *Current Biology*. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.03.020>.
- Barbosa, M.C.F. 2019. Influências Geoambientais nas Diferentes Fitofisionomias nos Sítios Dunares do Parque das Dunas, Salvador, Bahia-Brasil. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia.
- Bonito, A., Ricotta, C., Iberite, M., Gratani, L, & Varone, L. 2017. CO₂ sequestration in two mediterranean dune areas subjected to a different level of anthropogenic disturbance. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.06.040>.
- Borges, R.L., Jardim, J.G, & Roque, N. (2017). Rubiaceae na Serra Geral de Licínio de Almeida, Bahia, Brasil. *Rodriguésia* <https://doi.org/10.1590/2175-7860201768220>
- Brandão, R.L. 2008. Regiões Costeiras. In C. R. Silva (Ed.) *Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro* (1ª ed., pp 89-97). Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.
- Britto, I.C., Queiroz, L.P., Guedes, M.L.S., Oliveira, N.C, & SILVA, LB. 1993. Flora Fanerogâmica das Dunas Lagoas do Abaeté, Salvador, Bahia, *Sitientibus* 11:31-46.
- Cabral-Freire M.C, & Monteiro, R. 1993. Florística das praias da Ilha de São Luiz, Estado do Maranhão (Brasil): Diversidade de espécies e suas ocorrências no litoral brasileiro. *Acta Amazonica*. 23: 125-140.
- Brunbjerg, A.K., Cavender-Bares, J., Eiserhardt, W.L., Ejrnæs, R., Aarssen, L.W., Buckley, H.L., Forey, E., Jansen, F., Kattge, J., Lane, C., Lubke, R.A., Moles, A.T., Monserrat, A.L., Peet, R.K., Roncal, J., Wootton, L., & Svenning, J.C. 2014. Multi-scale phylogenetic structure in coastal dune plant communities across the globe. *Journal of Plant Ecology* <https://doi.org/10.1093/jpe/rtt069.cvb>
- Carboni, M., Carranza, M.L, & Acosta, A. 2009. Assessing conservation status on coastal dunes: A multiscale approach. *Landscape and Urban Planning* <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.11.004>.
- Castro, A.S.F., Moro, M.F., & Menezes, M.O.T. 2012. O Complexo Vegetacional da Zona Litorânea no Ceará: Pecém, São Gonçalo do Amarante. *Acta Botanica. Brasilica*. 26: 108-124.
- Carranza, M.L., Drius, M., Malavasi, M., Frate, L., Stanisci, A., & Acosta, A.T.R. 2018. Assessing land take and its effects on dune carbon pools. An insight into the Mediterranean coastline. *Ecological Indicators*. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.10.052>.

- Ciccarelli, D. 2014. Mediterranean Coastal Sand Dune Vegetation: Influence of Natural and Anthropogenic Factors. *Environmental Management* <https://doi.org/10.1007/s00267-014-0290-2>.
- Carvalho, L.M., Pires, C.S., Santos, C.R., Amorim, G.S., Arouche, M.M., Abreu, M.C, & Almeida Jr., E.B. 2020. Potencial de Uso de Espécies Vegetais de Áreas de Dunas em São Luís, Maranhão, Brasil. *Biodiversidade* 19 (4):186.
- Cordazzo, C.V., Paiva, J.B, & Seeliger, U. 2006. Plantas das Dunas da Costa Sudoeste Atlântica. USEB, 107p.
- Cunha, L.O., Fontes, M.A.L., Oliveira, A.D, & Oliveira-Filho, A.T. 2003. Análise Multivariada da Vegetação como Ferramenta para Avaliar a Reabilitação de Dunas Litorâneas Mineradas em Mataraca, Paraíba, Brasil. *Árvore*, 27(4):503-515.
- Damaso, P.P. 2009. Vegetação dunar: Caracterização estrutural de dunas no município de Natal-RN como subsídio para a implantação de técnicas de reflorestamento, recuperação e conservação do ecossistema. 79f. Dissertação (Mestrado em desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- Delgado-Fernandez, I., O'Keeffe, N., Davidson-Arnott, R.G.D. 2019. Natural and human controls on dune vegetation cover and disturbance, *Science of The Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.494>.
- Diniz, M.T.M., & Oliveira, G.P. 2016. Proposta de compartimentação em mesoescala para o Litoral do Nordeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Geomorfologia* <http://dx.doi.org/10.20502/17i3.844>.
- Dufrêne, M. & Legendre, P. 1997. Species Assemblages and Indicator Species: The Need for a Flexible Asymmetrical Approach. *Ecological Monographs*. [https://doi.org/10.1890/0012-9615\(1997\)067\[0345:SAIST\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9615(1997)067[0345:SAIST]2.0.CO;2)
- Durán, O. & Moore, L.J. 2013. Vegetation controls on the maximum size of coastal dunes. *PNAS* <https://doi.org/10.1073/pnas.1307580110>
- Flora do Brasil (2020). Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: < <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/> >. Acesso em: 20 out. 2021.
- Freire, M.S.B. 1990. Levantamento Florístico do Parque Estadual das Dunas do Natal, *Acta Botânica Brasileira*. 4:41-59.
- Grunewald, R, & Schubert, H. 2007. The definition of a new plant diversity index “H’dune” for assessing human damage on coastal dunes-Derived from the Shannon index of entropy H’. *Ecological Indicators* <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2005.09.003>.
- Hayasaka, D., Goka, K., Thawatchai, W, & Fujiwara, K. 2012. Ecological impacts of the 2004 Indian Ocean tsunami on coastal sand-dune species on Phuket Island, Thailand. *Biodiversity and Conservation* 21:1971–1985.
- Hernández-Cordero, A.I., Hernández-Calvento, L., Hesp, P.A., & Pérez-Chacón, E. 2018. Geomorphological changes in an arid transgressive coastal dune field due to natural processes and human impacts. *Earth Surface Process and Landforms*. doi: 10.1002/esp.4382.
- Guarnier, J.C., Dutra, V.F., Valadares, R.T., Silva, H.L., Freitas, V.C., & Mota, R.H. 2022. Angiosperm checklist and conservation of one the richest restingas in southeastern Brazil. *Rodriguésia*. <http://dx.doi.org/10.1590/2175-7860202273027>.
- Guterres, A.V.F., Amorim, I.F.F., Silva, A.F.C, & Almeida Jr. E.B. 2019. Flora do Estrato Herbáceo da Restinga da Praia do Caúra, São José de Ribamar, Maranhão. *Boletim do Laboratório de Hidrobiologia* 29: 1-10.

- Guterres, A.V.F., Amorim, I.F.F., Silva, A.F.C., & Almeida Jr., E.B. 2020. Levantamento Florístico e Fisionômico da Restinga da praia da Guia, São Luís, Maranhão, Biodiversidade 19: 57-72.
- Hesp, P. 1991. Ecological processes and plant adaptations on coastal dunes. *Journal of Arid Environments*. 21:165-191.
- Koppen, W. 1948. *Climatologia: con un Estudio de los Climats de la Tierra*. Fondo de Cultura Economica. México. 479 pp.
- Lima, G.P., & Almeida Jr., E.B. 2018. Diversidade e similaridade florística de uma restinga ecotonal no Maranhão, Nordeste do Brasil. *Interciencia* 43:275-282.
- Lima, R. A. F. de, Souza, V. C., Siqueira, M. F. de, & ter Steege, H. 2020. Defining endemism levels for biodiversity conservation: Tree species in the Atlantic Forest hotspot. *Biological Conservation*, <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108825>.
- Lithgow, D.M., Martínez, L., Gallego-Fernández, J.B., Pérez-Maqueo, O., & Silva, R. 2020. Assessing the current state and restoration needs of the beaches and coastal dunes of Marismas Nacionales, Nayarit, Mexico. *Ecological Indicators*. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106859>.
- Machado, M.A., & Almeida Jr., E.B. 2019. Spatial structure, diversity and edaphic factors of an area of Amazonian coast vegetation in Brazil. *Journal of the Torrey Botanical Society*. <https://doi.org/10.3159/TORREY-D-18-00025>.
- Martins F.R., & Batalha, M.A. 2011. Formas de vida, espectro biológico de Raunkiaer e fisionomia da vegetação. Em Felfili J.M, Eisenlohr P.V, Melo M.M.R.F, Andrade L.A, Meira-Neto JAA (Eds.) *Fitossociologia no Brasil: Métodos e Estudos de Caso*. UFV. Viçosa, Brasil. pp. 44-85.
- Martínez, M.L., Psuty, N.P., Lubke, R.A. 2008. A Perspective on Coastal Dunes. In: Martínez, M.L., Psuty, N.P. (eds) *Coastal Dunes. Ecological Studies*, vol 171. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74002-5_1
- Mascarenhas, A., & Jayakumar, S. 2008. An environmental perspective of the post-tsunami scenario along the coast of Tamil Nadu, India: Role of sand dunes and forests. *Journal of Environmental Management*, 89: 24–34.
- Matias, L.Q., & Nunes, E.P. 2001. Levantamento florístico da Área de Proteção Ambiental de Jericoacoara, Ceará. *Acta Botanica Brasilica*.15: 35-43.
- Menezes, C.M., Espinheira, M.J.C.L., Dias, F.J.K., & Silva, V.I.S. 2012. Composição florística e fitossociologia de trechos da vegetação praial dos litorais norte e sul do Estado da Bahia. *Revista Biociências*, Taubaté 18:35-41.
- Moura, M.R.B., Cruz, A.V.C., Araújo, J.S., & Santos-Filho, F.S. 2019. A pioneering community in dunes: does anthropization modify floristic composition? *Revista Brasileira de Geografia Física* 12: 2645-2659.
- Muñoz-Vallés, S., Cambrollé, J. 2015. The threat of native-invasive plant species to biodiversity conservation in coastal dunes. *Ecological Engineering*, <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.03.002>.
- Musila, W.M., Kinyamario, J.I., & Jungerius, P.D. 2003. Vegetation dynamics of coastal sand dunes near Malindi, Kenya. *African Journal of Ecology*. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2028.2001.00294.x>
- Nascimento, A.D., Costa, L.B.D., Lacerda, D.M.A., & Almeida Jr., E.B. 2021. Woody plants phenology of the coastal dunes in eastern Amazon, *Brazilian Journal of Botany*. <https://doi.org/10.1007/s40415-021-00716-w>
- Ngumbau, V.M., Luke, Q., Nyange, M., Wanga, V.O., Watuma, B.M., Mbuni, Y.M., Munyao, J.N., Oulo, M.A., Mkala, E.M., Kipkoech, S., Itambo, M., Hu, G.W., & Wang, Q.F. 2020. An annotated checklist of the coastal forests of Kenya, East Africa. *PhytoKeys* doi:10.3897/phytokeys.147.49602.

- Oksanen, J., Blanchet, F.G., Friendly, M., Kindt, R., & Legendre, P. et al. 2016. Vegan: Community Ecology Package. R package version 2.4-1. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=vegan>>.
- Oliveira, E.V.S., & Landim, M.F. 2020. Dunes in the North coast of Sergipe, Brazil: plant species and their ecological traits. *Rodriguésia*. <http://dx.doi.org/10.1590/2175-786020207102>.
- Paiva, B.H.I., & Almeida Jr., E.B. 2020. Diversidade, análise estrutural e serviços ecossistêmicos da vegetação lenhosa da restinga da praia da Guia, São Luís, Maranhão, Brasil. *Biodiversidade* 19:46-60.
- Pereira, L.C.C., Nascimento Trindade, W., da Silva, I.R., Vila-Concejo, A., Short, A.D. 2016. Maranhão Beach Systems, Including the Human Impact on São Luís Beaches. In: Short, A., Klein, A. (eds) *Brazilian Beach Systems*. Coastal Research Library, 17. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-30394-9_5.
- Peres, E.A., Pinto-da-Rocha, R., Lohmann, L.G., Michelangeli, F.A., Miyaki, C.Y., Carnaval, A.C. 2020. Patterns of Species and Lineage Diversity in the Atlantic Rainforest of Brazil. In: Rull, V., Carnaval, A. (eds) *Neotropical Diversification: Patterns and Processes*. Fascinating Life Sciences. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-31167-4_16.
- Pinna, M.S., Cogoni, D., Fenu, G., & Bacchetta, G. 2015. The conservation status and anthropogenic impacts assessments of Mediterranean coastal dunes, Estuarine, Coastal and Shelf Science <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2015.07.002>.
- Pinna, M.S., Bacchetta, G., Cogoni, D., & Fenu, G. (2019). Is vegetation an indicator for evaluating the impact of tourism on the conservation status of Mediterranean coastal dunes? *Science of The Total Environment* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.120>.
- Pinheiro, M.V de A, Moura-Fé, M.M., & Freitas, E.M de N. 2013. Os Ecossistemas Dunares e a Legislação Ambiental Brasileira. *Geo UERJ* <http://dx.doi.org/10.12957/geouerj.2013.5546>.
- Pires, C.S., Nascimento, A.D., & Almeida Jr., E.B. 2021. Dispersão de frutos e sementes do componente lenhoso nas dunas da praia de São Marcos, São Luís, Maranhão, nordeste do Brasil. *Biota Amazonica* 11(1): 68-74. <http://dx.doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v11n1p68-74>.
- R Core Team. 2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>
- Raunkiaer, C. 1934. *The Life Forms of Plants and Statistical Plant Geography*. Clarendon. Oxford, Inglaterra. 632 pp.
- Rodrigues, M.L., Mota, N.F.O., Viana, P.L., Koch, A.K., & Secco, R.S. 2019. Vascular flora of Lençóis Maranhenses National Park, Maranhão State, Brazil: checklist, floristic affinities and phytophysognomies of restingas in the municipality of Barreirinhas. *Acta Botanica Brasilica* doi: 10.1590/0102-33062018abb0421.
- Santos, S.S.C., Reis, V.S., Furlan, A., S, & Melo & Souza, R. 2011. Biodiversidade e potencial fitoindicador da vegetação de dunas costeiras da Barra dos Coqueiros, Sergipe, Brasil. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, Aquidabã, 2: 5-20.
- Santos, C.R., Amorim, I.F.F., & Almeida Jr., E.B. 2019. Caracterização Fitossociológica do Componente Halófilo-psamófilo em uma Área de Dunas, São Luis, Maranhão, Brasil. *Boletim do Laboratório de Hidrobiologia* 29:1-8.
- Santos, S.S.C., & Souza, R.M. 2015. Potencial fitoindicador de espécies dunares a partir da modelagem preditiva na Praia do Jatobá – Barra dos Coqueiros, SE. *GEOUSP – Espaço e Tempo* 19:128 – 141.

- Sarmati, S. Bonari, G. & Angiolini, C. 2019. Status de conservação dos habitats de dunas costeiras do Mediterrâneo: distúrbios antropogênicos podem dificultar a atribuição de habitat. *Rend. Fis. Acc. Lincei* 30, 623–636
<https://doi.org/10.1007/s12210-019-008237>.
- Scarano, F.R. 2002. Structure, Function and Floristic Relationships of Plant Communities in Stressful Habitats Marginal to the Brazilian Rainforest, *Annals of Botany*. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf189>.
- Silveira, J.D. 1964. Morfologia do litoral In: A. Azeredo, (ed), *Brasil; a terra e o homem*. Companhia Editora Nacional, São Paulo. 253-305.
- Silva, A.N.F. Araujo, A.C.M., & Almeida JR., E.B. 2016. Flora Fanerogâmica das Dunas da Praia de São Marcos, São Luís, Maranhão. In: E. B. Almeida JR., F.S. Santos-Filho (Eds.). *Biodiversidade do Meio Norte do Brasil, conhecimentos ecológicos e aplicações* (1ª ed., pp. 11) CRV.
- Silva, L.P. Amorim, I.F.F. Almeida Jr., EB. & Santos, V.J. 2019. Levantamento fitossociológico da vegetação Herbácea-subarbustiva das dunas da praia de Massarandupió, município de entre Rios, Bahia. *Boletim do Laboratório de Hidrobiologia*. 29 (2): 1-9.
- Soares, M.O., Barros, E.L., & Guerra, R.G.P. 2022. Not just sand: The folly of dismantling the environmental protection of dunes in Brazil, *Land Use Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105803>.
- Sperandii, M.G. Bazzichetto, M. Acosta, A.T.R. Barták, V. & Malavasi, M. 2019. Multiple drivers of plant diversity in coastal dunes: A Mediterranean experience. *Science of the Total Environment* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.299>.
- Tordoni, E., Bacaro, G., Weigelt, P., Cameletti, M., Janssen, J.A.M., & Acosta, A.T.R. et al. 2021. Disentangling native and alien plant diversity in coastal sand dune ecosystems worldwide. *Journal of Vegetation Science*, 32, e12961
<https://doi.org/10.1111/jvs.12961>.
- Tsoar, H. 2005. Sand dunes mobility and stability in relation to climate, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* <https://doi.org/10.1016/j.physa.2005.05.067>.
- Viana, B.F. Silva, F.O. & Kleinert, A.M.P. 2006. A flora apícola de uma área restrita de dunas litorâneas, Abaeté, Salvador, Bahia. *Revista Brasileira Botânica* 29(1):13-25.
- Yilmaz, K.T. 2002. Evaluation of the phytosociological data as a tool for indicating coastal dune degradation. *Israel. Journal of Plant Sciences*, 50 (3): 229-238.
- Wohlwend, M.R., Craven, D., Weigelt, P., Seebens, H., Winter, M., Kreft, H., Zurell, D., Cabral, J.S., Ess, F., van Kleunen, M., Perg, J., Pyšek, P., Knight, T.M. 2021. Anthropogenic and environmental drivers shape diversity of naturalized plants across the Pacific. *Biodiversity Research*. <https://doi.org/10.1111/ddi.13260>
- Zinnert, J.C., Shiflett, S.A. Via, S., Bissett, S., Dows, B., Manley, P., & Young, D.R. 2016. Spatial–Temporal Dynamics in Barrier Island Upland Vegetation: The Overlooked Coastal Landscape. *Ecosystems* <https://doi.org/10.1007/s10021-016-9961-6>.

Segundo Capítulo

PADRÕES FLORÍSTICOS E BIOCLIMÁTICOS DA VEGETAÇÃO COSTEIRA DO NORDESTE DO BRASIL

Ariade Nazaré Fontes da Silva¹, Catherine Rios Santos², Eduardo Bezerra de Almeida
Jr.³, Carmen Sílvia Zickel⁴

Submetido a Plant Ecology & Diversity de Qualis A3

PADRÕES FLORÍSTICOS E BIOCLIMÁTICOS DA VEGETAÇÃO COSTEIRA DO NORDESTE DO BRASIL

Ariade Nazaré Fontes da Silva¹, Catherine Rios Santos², Eduardo Bezerra de Almeida Jr.³, Carmen Sílvia Zickel⁴

¹Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n. Dois Irmãos, CEP:52171-900, Recife, PE. Brasil. Email: ariadefontes@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-9368-0986>

²Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, Universidade Federal de Minas Gerais, Avenida Presidente Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, CEP:31270-901, Belo Horizonte - MG, <https://orcid.org/0000-0003-1580-3765>

³Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação, Universidade Federal do Maranhão. Av. dos Portugueses, 1966, Campus do Bacanga. CEP: 65085-580 São Luís, MA, Brasil. Email:eduardo.almeida@ufma.br <https://orcid.org/0000-0001-7517-4775>

⁴Departamento de Biologia, Área de Botânica, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n. Dois Irmãos, CEP:52171-900, Recife, PE. Brasil. Email:carmen.zickel@ufrpe.br <https://orcid.org/0000-0002-1323-4717>
Author for Correspondence: email: ariade_22@hotmail.com

Resumo

Foco

A composição vegetal das dunas costeiras da região nordeste pode estar relacionada a influência de ecossistemas adjacentes e ao clima.

Objetivo

Investigar as relações florísticas de dunas costeiras com os domínios fitogeográficos vizinhos e correlacionar as variáveis bioclimáticas e geográficas com a vegetação.

Métodos

Elaboramos um banco de dados com as espécies litorâneas das regiões nordeste e norte do Brasil e das dunas costeiras da região. Para correlacionar a vegetação com as variáveis bioclimáticas e geográficas, realizamos uma Análise de Componentes Principais.

Resultados

As plantas de dunas do litoral setentrional estão relacionadas com a Amazônia em altos níveis de precipitação e no litoral oriental se tem baixos regimes de precipitação, com predomínio de espécies da Floresta Atlântica.

Conclusão

As dunas costeiras da região nordeste apresentam uma composição vegetal distinta devido a diferenças na influência de ecossistemas vizinhos e no regime pluviométrico.

Palavras-chaves: plantas lenhosas, dunas costeiras, ecossistemas florestais, precipitação e temperatura

Introdução

As pesquisas ecológicas buscam argumentar, por meio da elaboração de várias hipóteses, sobre os fatores que explicam os padrões de biodiversidade (Gaston 2000). Análises globais têm constatado a importância dos processos ecológicos, evolutivos, biogeográficos e ambientais para determinar a riqueza e diversidade em diversos grupos taxonômicos (Cornell 1978; Currie 1991; Ricklefs, 1999; Currie et al. 2004). Em relação as angiospermas, os fatores climáticos são um dos principais impulsionadores de riqueza dessas espécies em comunidades regionais (Francis e Currie, 2003). Desta forma, entender quais fatores ambientais regionais e locais impulsionam a riqueza vegetal faz-se necessário para propor ações de conservação e uso sustentável.

A dinâmica e a heterogeneidade ambiental tornam as dunas costeiras ecossistemas importantes para abordagens ecológicas que investiguem os gradientes ambientais (Fenu et al. 2014; Conti et al. 2017). Esses gradientes podem impulsionar a riqueza vegetal, pois, conforme as particularidades locais e/ou regionais, a organização da comunidade, diversidade e riqueza nas dunas costeiras podem ser diretamente relacionados aos fatores abióticos e climáticos (Fenu et al. 2012; Angiolini et al. 2018; Delgado-Fernandez et al. 2019). Diferentes comunidades vegetais se estabelecem nas dunas costeiras formando zonas de vegetação que se estendem da costa ao interior (sentido continente). Essa vegetação minimiza os efeitos eólicos sobre os sedimentos arenosos e possibilita a estática das dunas. Além disso, as adaptações morfológicas e fisiológicas tornaram a vegetação das dunas especializada para aguentar aos estresses ambientais deste ecossistema (Hesp 1991; Acosta e Carranza 2009; Ciccarelli 2015; Jackson et al. 2019)

No Brasil, a costa litorânea se caracteriza pela deposição de sedimentos do Quaternário onde se estabelece um mosaico de espécies herbáceas, arbustivas em formações abertas e fechadas e floresta de dossel (Suguio e Tessler 1984; Araujo 1992). A composição vegetal do litoral se destaca por não apresentar espécies exclusivas a este ecossistema, sendo a flora proveniente de domínios fitogeográficos circunvizinhos a costa, como a Floresta Atlântica na costa atlântica e, na costa semiárida, as savanas e a floresta amazônica (Scarano 2002; Castro et al. 2012).

Na costa brasileira, as dunas ocorrem principalmente na região nordeste, onde são encontrados o maior campo de dunas eólicas da América do Sul (Brandão 2008). A região apresenta particularidades geológicas, geográficas e oceanográficas que foram utilizadas para propor uma divisão da costa. Porém, considerando apenas a variação climática, foi proposto que a costa nordestina do Brasil seja dividida em duas vertentes; o Litoral

Nordestino Setentrional (LNS) que apresenta clima subsumido a semiárido e o Litoral Nordeste Oriental (LNO) como clima tropical úmido (Silveira 1964; Diniz e Oliveira 2016).

Considerando as diferenças climáticas da região nordeste, propomos as seguintes questões; Os fatores, bioclimáticos ou geográficos, estão correlacionados com a riqueza e composição da vegetação de dunas costeiras da região nordeste? Qual o vínculo florístico da vegetação lenhosa de dunas em relação aos domínios fitogeográficos adjacentes? A partir destas questões testaremos as seguintes hipóteses: 1- As dunas costeiras da região Nordeste apresentam padrões florísticos distintos devido à proximidade com os domínios fitogeográficos da Amazonia, para LNS com algumas espécies generalistas da Caatinga e Cerrado e para o LNO espécies da Floresta Atlântica. 2- Em escala regional, a composição das dunas costeiras do LNS e LNO está diretamente relacionada a diferença nos fatores bioclimáticos.

Material e Métodos

Área de estudo

A região nordeste está localizada entre 1°N e 18°S e 34,5°W e 48,5°W ocupa uma ampla área territorial que abrange nove estados. O LNS (Litoral Nordeste Setentrional) se caracteriza por apresentar clima Tropical de Zona Equatorial que varia de subúmido a semiárido (Alvares et al. 2013; Diniz e Oliveira 2016). No Maranhão e Piauí predominam o clima do tipo Aw', enquanto no Ceará o clima é do tipo As' e BSh'. (Alvares et al. 2013). No LNS, os ventos, em maioria, são alísios, sendo os de maior velocidade para costa brasileira, além disso, no LNS se destacam as feições geomorfológicas de cordões arenosos e falésias com destaque para o Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses no Maranhão e o Parque Nacional de Jericoacoara no estado do Ceará (Koppen 1948; Alvares et al. 2013; Diniz e Oliveira 2016). A costa litorânea do LNS é margeada pelos domínios fitogeográficos da Caatinga, Cerrado, e em alguns trechos, a Floresta Atlântica e Amazônia (Castro et al. 2012; Soares et al. 2021)

O LNO (Litoral Nordeste Oriental) apresenta clima tropical úmido e variações dos sistemas meteorológicos com atuação da Zona de Convergência Intertropical e a Massa Tropical Atlântica (Diniz e Oliveira 2016). No Rio Grande do Norte predominam o clima dos tipos BSh e As', já no estado da Bahia, o clima é do tipo Aw'', contudo, na região litorânea do estado o clima é do tipo Am'' e esta variável climática também se

estende ao litoral dos estados de Pernambuco a Alagoas (Alvares et al. 2013). Predominam os ventos alísios e o Grupo Barreiras e as falésias ativas são feições geomorfológicas que se sobressaem (Diniz e Oliveira 2016). As características supracitadas favorecem que espécies da Floresta Atlântica colonizem áreas litorâneas do LNO (Castro et al. 2012).

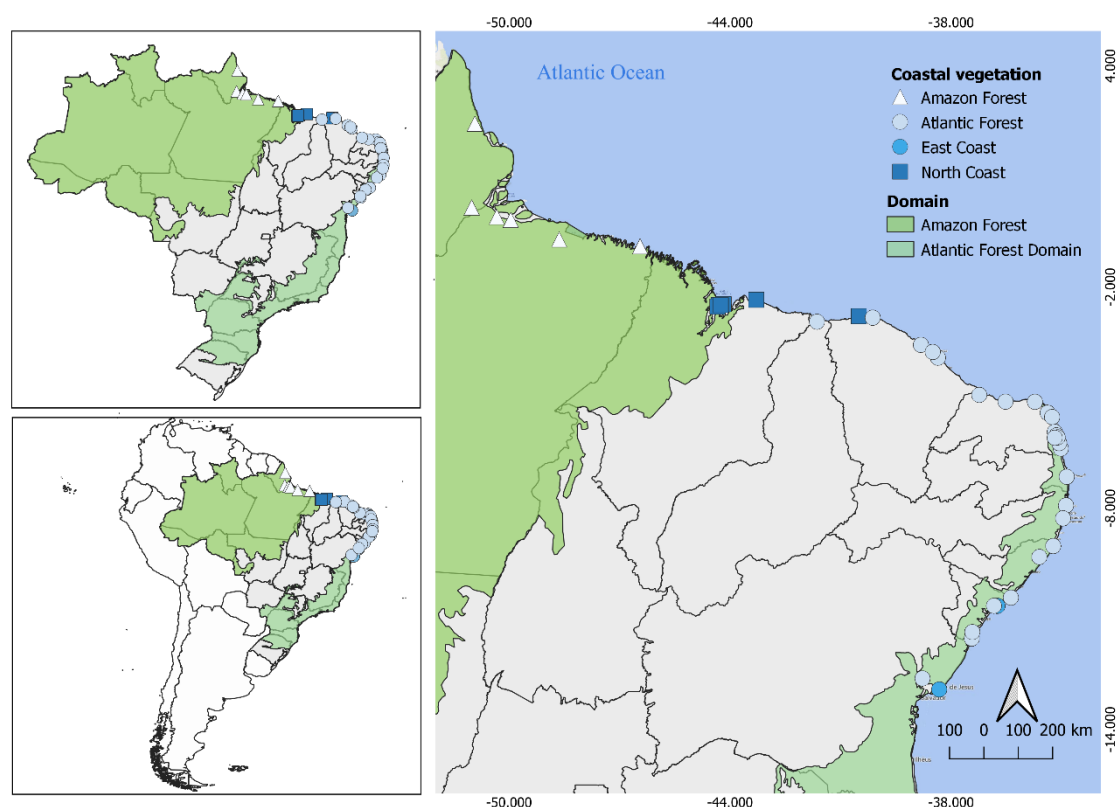


Figure 1: Mapa de localização das áreas costeiras do Norte e Nordeste do Brasil analisadas neste estudo.

Coleta dos dados

Elaboramos um banco de dados contendo a lista de espécies de 89 áreas litorâneas das regiões nordeste e norte do Brasil (Tabela 1; Figura 1) abrangendo oito áreas do domínio Amazônico, 27 áreas da Floresta Atlântica, 35 áreas de Caatinga e 17 do Cerrado. Foram incluídas na lista, a vegetação lenhosa de dunas costeiras de três áreas do LNO e sete áreas do LNS (Tabela 2).

A lista de espécies do litoral norte e nordeste foi consultada no site Neotropree (<http://www.neotropree.info/data/countrysearch>), a partir da busca por ecorregião: Planícies Costeiras Sedimentares Amazônicas, ecorregião: Mata Atlântica do Litoral

Nordeste; Litoral Nordeste do Atlântico, ecorregião: Caatinga da Costa Atlântica para os estados do Rio Grande do Norte e Ceará, ecorregião: Caatingas Arenosas do Norte para os estados do Piauí e Maranhão, ecorregião: Cerrados do Nordeste, neste caso foi considerado a proximidade com o litoral em cada estado. Já a composição vegetal das dunas costeiras foi obtida de estudos florísticos do LNO e LNS. A grafia correta das espécies foi consultada no site Flora e Funga do Brasil (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>). Deste modo, a listagem total consta com 1883 espécies (Material Suplementar).

Para cada localidade foram selecionadas 19 variáveis bioclimáticas (Tabela 3) obtidas na base de dados WorldClim (<https://worldclim.org/data/bioclim.html>), com resolução de 30 segundos (aproximadamente 1km). Por se tratar de áreas de dunas, também foi obtido para cada localidade a elevação, na resolução de 30 segundos. Os dados geográficos (latitude e longitude) e bioclimáticos foram obtidos a partir do pacote *geodata*, versão 0.5-3 no R Studio (Robert et al., 2023).

Análise dos dados

Para testarmos a correlação das variáveis bioclimáticas e geográficas e identificar os gradientes florísticos do litoral nordestino, realizamos uma Análise de Componentes Principais (PCA). Os componentes foram submetidos a uma análise de correlação de Person, sendo considerados significativos os valores $>0,49$. As análises, de PCA e correlação de Pearson, foram elaboradas no R Studio utilizando os pacotes *stats* (versão 4.2.1) e as funções *prcomp*, *ds* (versão 4.0) e *discor*.

Resultados

O diagrama da PCA mostrou uma distribuição heterogênea (Figura 2). O primeiro eixo do componente principal está correlacionado com quatro variáveis (precipitação do mês mais chuvoso (BIO13), temperatura mínima do mês mais frio (BIO6), precipitação do trimestre mais úmido (BIO16) e precipitação do trimestre mais frio (BIO19), enquanto o segundo eixo se correlaciona a quatro variáveis; precipitação do trimestre mais seco (BIO17), precipitação do mês mais seco (BIO14), precipitação do trimestre mais quente (BIO18) e sazonalidade de temperatura (BIO4).

As variáveis bioclimáticas (precipitação e temperatura) se correlacionaram com a vegetação, enquanto os dados geográficos (latitude, longitude e elevação) não foram significativos e, por isso, não foram inseridos no diagrama da PCA.

Analisando as informações do diagrama, podemos observar uma clara distinção em dois grupos. O primeiro grupo compreende a vegetação de dunas costeiras do LNS que apresenta correlação, em maioria, com espécies do litoral amazônico e algumas espécies do Cerrado e poucas da Caatinga. Neste grupo os fatores bioclimáticos que se correlacionam com a vegetação são; temperatura mínima do mês mais frio (BIO6), precipitação do mês mais chuvoso (BIO13), precipitação do trimestre mais úmido (BIO16) e precipitação do trimestre mais frio (BIO19).

No segundo grupo, tem-se a composição vegetal de dunas costeiras do LNO (eixo 2) com forte relação com as áreas litorâneas da Floresta Atlântica e algumas espécies da Caatinga. As variáveis bioclimáticas que se destacam são; sazonalidade de temperatura (BIO4), precipitação do mês mais seco (BIO14), precipitação do trimestre mais seco (BIO17) e precipitação do trimestre mais quente (BIO18).

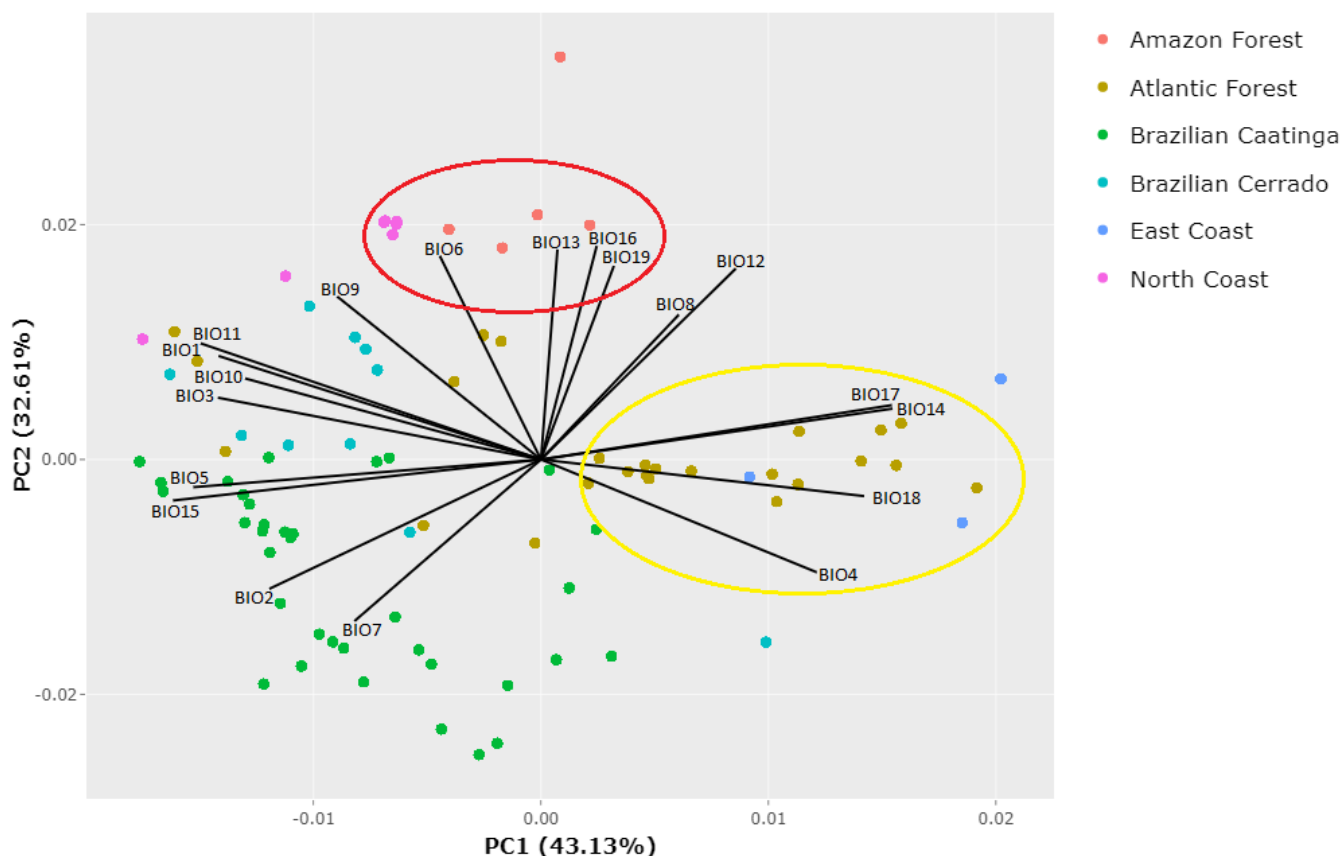


Figure 2. Diagrama de Análise de Componentes Principais contendo informações sobre variáveis bioclimáticas, vegetação costeira de dunas do Litoral Nordeste Leste e Litoral Nordeste correlacionadas com áreas costeiras de Mata Atlântica, Amazônia, Cerrado e Caatinga.

Discussão

A partir das análises realizadas, as hipóteses propostas foram corroboradas, assim os nossos resultados mostram que as dunas costeiras da região nordeste apresentam uma composição vegetal distinta, de modo que, as dunas do LNO apresentam vínculos florísticos com a Floresta Atlântica e algumas espécies da Caatinga, já no LNS, a relação florística compreende espécies amazônicas e uma pequena proporção de espécies do Cerrado e Caatinga.

Marques et al. (2010) explicam existe uma variação florística da Floresta Atlântica na costa brasileira e esta variação está relacionada aos ecossistemas circunvizinhos, destacando as conexões entre a Floresta Atlântica e a Caatinga nos estados da Paraíba, Pernambuco e Alagoas e as floresta estacional semidecídua e cerrado nos estados da Bahia e Espírito Santo. Massante e Gastauer (2023), ao analisarem os padrões de habitats marginais do sudeste da Floresta Atlântica, encontraram que a vegetação de restinga compreende espécies da floresta pluvial e semidecídua, que também são encontradas em outros domínios fitogeográficos do Brasil.

As relações florísticas encontrados no nosso estudo podem ser atribuídos a espécies de ampla plasticidade ecológica ou a especialização de habitat de espécies potenciais, já que algumas plantas da floresta tropical foram capazes de se ajustar a condições ambientais extremas para colonizar ecossistemas geologicamente recentes, a exemplo das restingas e dunas (Scarano 2002; Massante e Gastauer 2023). No nosso estudo, das 1883 espécies listadas apenas *Anacardium occidentale* L., *Tapirira guianensis* Aubl., *Curatella americana* L. *Hirtella ciliata* Mart. & Zucc. *Eugenia punicifolia* (Kunth) DC., *Myrcia multiflora* (Lam.) DC., *Tocoyena brasiliensis* Mart. foram encontradas em todos os ecossistemas amostrados.

Em relação as variáveis bioclimáticas e geográficas, encontramos que a principal diferença entre a vegetação do LNO e LNS está correlacionada principalmente aos regimes de precipitação e a duas variáveis de temperatura. No LNS, a média de precipitação aumenta de leste a oeste à medida que se aproxima da floresta Amazônica (Diniz e Oliveira 2016). Essas informações são condizentes com os resultados encontrados para o LNS pois, das sete áreas analisadas neste litoral, seis estão inseridas no estado do Maranhão, onde estudos florísticos e fitossociológicos mostram que espécies amazônicas colonizam as áreas litorâneas do Estado (Serra et al. 2016; Lima e Almeida Jr. 2018; Rodrigues et al. 2018; Machado e Almeida Jr. 2019; Almeida Junior et al. 2020)

O digrama da PCA mostra que poucas espécies da Caatinga conseguem se estabilizar nas dunas costeiras do LNS, confirmando o que foi mencionado por Castro et al. (2012) que afirmam que a composição vegetal entre o litoral e a Caatinga devem ser diferentes devido a disparidade pluviométrica da região nordeste já que a precipitação anual pode atingir cerca de 1800 mm na costa, enquanto nas áreas centrais do Nordeste o volume de chuvas chega a cerca de 400mm (Silva 2004).

No LNO, a vegetação de dunas costeiras está correlacionada aos baixos níveis de precipitação e a vegetação esta correlacionada com a Floresta Atlântica. Eisenlohr e Oliveira-Filho (2015) destacam a importância da precipitação para explicar padrões florísticos da vegetação lenhosa da Floresta Atlântica. Já Marques et al. (2010) encontraram que vegetação de restinga das regiões sul e sudeste ocorre em climas mais secos.

Baseado nestes resultados, pode-se concluir que as diferenças na composição vegetal das dunas costeiras do LNS e LNO está diretamente relacionada aos fatores bioclimáticos, com destaque para a discrepância nos regimes pluviométricos da região Nordeste. Além disso, as relações com os ecossistemas adjacentes na composição da flora das dunas indicam, que apesar da forte pressão antropogênica que as dunas sofrem, os fatores bioclimáticos parecem explicar melhor a diferenciação das dunas da LNS e LNO.

Acknowledgments

The authors would like to thank the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), finance code 001, for the grant of the first and second author's scholarship. The Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) for project financing. The Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico for the second author's research productivity grant (CNPq; grant 316031/2021-6 to EBAJ).

Declaração de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse

Referências Bibliográficas

Acosta, A, Carranza, ML., Izzi, CF. 2009. Are there habitats that contribute best to plant species diversity in coastal dunes?. *Biodivers Conserv* v.18, p. 1087–1098
<https://doi.org/10.1007/s10531-008-9454-9>.

Almeida Júnior EB, Correia, BEF, Santos-Filho FS. 2020. Diversidade e estrutura da comunidade lenhosa de uma restinga no litoral de Alcântara, Maranhão, Brasil. *Acta Brasiliensis*, v. 4(2), p. 85-90,. ISSN 2526-4338. doi: <https://doi.org/10.22571/2526-4338261>.

Alvares,CA, Stape, JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLM, Sparovek, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22: 711-728.

Araujo DSD. 1992. Vegetation Types of Sandy Coastal Plains of Tropical Brazil: A First Approximation. *Physiological Ecology*, p. 337-347. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-092567-7.50027-1>.

Brandão, R de L. 2008. Regiões Costeiras p 89 a 97 em SILVA, C. R. Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro, Rio de Janeiro: CPRM, 264 p,

Bruelheide, H. et al. (2019). sPlot –A new tool for global vegetation analyses. *Journal of Vegetation Science*, 30(2), 161- 401.

Chase, JM. 2003. Community assembly: when should history matter?. *Oecologia* 136, 489–498 <https://doi.org/10.1007/s00442-003-1311-7>

Connell J.H. Diversity in tropical rain forests and coral reefs *Science*; 199 1302- 1310, 1978.

Conti, L, Bello F de, Lepš J, Acosta, ATR, Carboni M. 2017. Environmental gradients and micro-heterogeneity shape fine-scale plant community assembly on coastal dunes. *Journal Vegetation Science*, v. 28(4), p. 762-773. <https://doi.org/10.1111/jvs.12533>

Currie DJ, Mittelbach GG, Cornell, HV, Guégan R.J-F, Hawkins BA, Kaufman DM, Kerr JT, Oberdorff T, O'Brien E, Turner JRG. 2004. Predictions and tests of climate-based hypotheses of broad-scale variation in taxonomic richness. – *Ecology Letters* 7: 1121–1134. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00671.x>

Denelle P, Violle C, Consortium D, Munoz F. 2020. Generalist plants are more competitive and more functionally similar to each other than specialist plants: insights from network analyses. *Journal of Biogeography* v. 47(9), 1922-1933, <https://doi.org/10.1111/jbi.13848>.

Diniz MTM, Oliveira, GP. 2016. Proposta de compartimentação em mesoescala para o litoral do nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 17: 3. <http://dx.doi.org/10.20502/www.ugb.org.br/rbg.v17i3.844>.

Fenu G, Carboni M, Acosta ATR, Bacchetta G. 2013. Environmental Factors Influencing Coastal Vegetation Pattern: New Insights from the Mediterranean Basin. *Folia Geobotanica* v.48, p.493–508. <https://doi.org/10.1007/s12224-012-9141-1>

Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: < <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/> >. Acesso em: 06 jun. 2023.

Francis AP, Currie, DJA. 2003. globally-consistent richness–climate relationship for angiosperms. *Am. Nat.*, 161, 523 – 536.

Gaston, K. 2000. Global patterns in biodiversity. *Nature* 405, 220–227 <https://doi.org/10.1038/35012228>

Jackson DWT, Costas S, González-Villanueva R., Cooper A. 2019. A global ‘greening’ of coastal dunes: An integrated consequence of climate change? *Global and Planetary Change*, v.182, 103026, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2019.103026>.

Koppen W. 1948. *Climatologia: con un Estudio de los Climas de la Tierra*. Fondo de Cultura Economica. México. 479 pp.

Lima GP, Almeida Jr, EB. 2018. Diversidade e similaridade florística de uma restinga ecotonal no Maranhão, Nordeste do Brasil. *Interciencia* 43:275-282.

Machado MA, Almeida Jr, EB. 2019. Spatial structure, diversity and edaphic factors of an area of Amazonian coast vegetation in Brazil. *Journal of the Torrey Botanical Society*, 146(1), 58-68. <https://doi.org/10.3159/TORREY-D-18-00025>.

Marques MCM, Swaine MD, Liebsch D. 2011. Diversity distribution and floristic differentiation of the coastal lowland vegetation: implications for the conservation of the Brazilian Atlantic Forest. *Biodiversity and Conservation* v. 20, p. 153–168. <https://doi.org/10.1007/s10531-010-9952-4>

Massante JC, Gastauer M. 2023. Evolutionary history of marginal habitats regulates the diversity of tree communities in the Atlantic Forest, *Annals of Botany*, v. 131(2,1), p. 261–274, <https://doi.org/10.1093/aob/mcac111>

Oliveira-Filho AT. 2017. NeoTropTree, Flora arbórea da Região Neotropical: Um banco de dados envolvendo biogeografia, diversidade e conservação. Universidade Federal de Minas Gerais. (<http://www.neotropree.info>).

Palharini RSA, Vila DA. 2017. Climatological Behavior of Precipitating Clouds in the Northeast Region of Brazil, *Advances in Meteorology*. <https://doi.org/10.1155/2017/5916150>

Rodrigues ML, Mota NFO, Viana PL, Koch AK, Secco RS. 2019. Vascular flora of Lençóis Maranhenses National Park, Maranhão State, Brazil: checklist, floristic affinities and phytophysiognomies of restingas in the municipality of Barreirinhas. *Acta Botanica Brasilica* doi: 10.1590/0102-33062018abb0421.

Ricklefs RE, Latham RE, Qian H. 1999. Global Patterns of Tree Species Richness in Moist Forests: Distinguishing Ecological Influences and Historical Contingency. *Oikos*, 86 (2) 369-373. <https://doi.org/10.2307/3546454>

Scarano FR. 2012. Structure, Function and Floristic Relationships of Plant Communities in Stressful Habitats Marginal to the Brazilian Rainforest, *Annals of Botany*. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf189>.

Serra FCV, Lima PB, Almeida Jr EB. 2016. Species richness in restinga vegetation on the eastern Maranhão State, Northeastern Brazil. *Acta Amazonica*, v. 46(3), p. 271 - 280 <https://doi.org/10.1590/1809-4392201504704>

Silva,V de PR da. 2004. On climate variability in Northeast of Brazil, *Journal of Arid Environments*, v 58 (4), p. 575-596, <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2003.12.002>.

Silveira J.D. 1964. Morfologia do litoral. In: AZEVEDO, A. (Org.). *Brasil, a terra e o homem*. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 253-305, 1964.

Soares MO, Campos CC, Carneiro PBM, Barroso HS, Marins RV, Teixeira CEP, Menezes MOB, Pinheiro LS, Viana MB, Feitosa CV, Sánchez-Botero JI, Bezerra LEA, Rocha-Barreira CA, Matthews-Cascon H, Matos FO, Gorayeb A, Cavalcante MS, Moro MF, Rossi S, Belmonte G, Melo VMM, Rosado AS, Ramires G, Tavares TCL, Garcia TM. 2021. Challenges and perspectives for the Brazilian semi-arid coast under global environmental changes, *Perspectives in Ecology and Conservation* 19 (3), 267-278. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2021.06.001>.

Van der Biest K, de Nocker L, Provoost S, Boerema A, Staes J, Meire P. 2017. Dune dynamics safeguard ecosystem services, *Ocean & Coastal Management*, 149, 148-158. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.10.005>.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As dunas costeiras são conhecidas mundialmente por suas paisagens exuberantes que são formadas devido ação conjunta da heterogeneidade ambiental e da diversidade biológica. No entanto, as dunas, estão sob constante pressão antropogênica devido a implementação de infraestruturas de urbanização e turismo que causam, de modo geral, mudanças na paisagem e perda da biodiversidade nativa. No Brasil, a maior concentração de dunas costeiras está no Nordeste, região que também apresenta os maiores índices populacionais em áreas costeiras do país.

Os resultados apresentados nesta tese, mostram a grande diversidade vegetal das dunas costeiras da região nordeste que é expressa na elevada riqueza de espécies, na composição vegetal que compreende diferentes formas de vidas e a presença, em maioria, de espécies nativas e endêmicas que contribuem para manutenção dos processos ecológicos da dunas na região. Conseguimos corroborar que existem diferenças na composição vegetal de dunas costeiras entre os LNS e LNO destacando a atuação dos domínios fitogeográficos vizinhos e da discrepâncias nos regimes pluviômetros nesta diferença. Nesta tese enfatizamos a necessidade de uma ação conjunta entre os gestores públicos federais, estaduais e municipais e a comunidade científica para que ações de conservação das dunas sejam efetivadas para todas as feições geomorfológicas (dunas moveis, vegetadas e eólicas).

NORMAS DAS REVISTAS

The Botanical Review

<https://www.springer.com/journal/12229/submissionguidelines#Instructions%20for%20Authors>

Plant Ecology & Diversity

<https://www.tandfonline.com/action/authorSubmission?show=instructions&journalCode=tped20#prep>