

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

MILENA DUTRA DA SILVA

**Resiliência e Susceptibilidade de Tipos
Funcionais Vegetais na Paisagem no Semiárido
Nordestino**

**RECIFE
2012**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

MILENA DUTRA DA SILVA

Resiliência e Susceptibilidade de Tipos Funcionais Vegetais na Paisagem no Semiárido Nordestino

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO) da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Geografia.

Orientadora: Dra. Rejane Magalhães de Mendonça Pimentel

Co-orientador: Dr. André Laurênio de Melo

**RECIFE
2012**

Catálogo na fonte
Bibliotecária Miriam Stela Accioly, CRB4-294

S586r Silva, Milena Dutra da
Resiliência e susceptibilidade de tipos funcionais vegetais na paisagem no semiárido nordestino / Milena Dutra da Silva. – Recife: O autor, 2012.
121 f. : il., fig., tab.; 30 cm.

Orientador: Prof. Dra. Rejane Magalhães de Mendonça Pimentel.
Co-Orientador: Dr. André Laurêncio de Melo.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco. CFCH.
Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2012.
Inclui bibliografia e anexo.

1. Geografia. 2. Paisagem florestal – Brejo da Madre Deus, PE. 3. Plantas da Caatinga – Anatomia foliar – Brejo da Madre Deus, PE. I. Pimentel, Rejane Magalhães de Mendonça (Orientadora). II. Melo, André Laurêncio de (Co-orientador). III. Título.

910 CDD (22.ed.)

UFPE (CFCH2012-38)

MILENA DUTRA DA SILVA

Resiliência e Susceptibilidade de Tipos Funcionais Vegetais na Paisagem no Semiárido Nordeste

Tese defendida e aprovada com conceito _____ pela banca examinadora:

Orientadora: _____
Profa. Dra. Rejane Magalhães de Mendonça Pimentel – UFRPE

Examinador: _____
Profa. Dra. Josiclêda Domiciano Galvêncio - UFPE

Examinador: _____
Profa. Dra. Maria Fernanda Torres Abrantes - UFPE

Examinador: _____
Prof. Dr. Kleber Andrade da Silva - UFPE

Examinador: _____
Profa. Dra. Elcida de Lima Araújo - UFRPE

Suplente: _____
Prof. Dr. Ranyére Silva Nóbrega - UFPE

Suplente: _____
Prof. Dr. José Romualdo de Souza Lima- UFRPE

**RECIFE
2012**

À minha família, em especial aos meus pais, Geraldo Vicente e Marli Dutra.

*À Priscila Gomes Corrêa (in memoriam),
minha irmã do coração.*

“Cada vez que abro a porta de uma nova descoberta já encontro Deus lá dentro”.

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

A Deus por tornar possível a realização deste trabalho através de cada pessoa e instituições abaixo mencionadas.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), pela concessão de bolsa de estudo.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Ao corpo docente do período 2008-2012 e funcionários que contribuíram para o melhor aproveitamento das oportunidades de amadurecimento científico.

À Profa. Dra. Rejane Magalhães de Mendonça Pimentel, pela orientação na realização deste trabalho, que em conjunto com o Prof. Dr. André Laurênio de Melo, atuou como peça fundamental no meu amadurecimento como pesquisadora através do grande incentivo à continuação desta caminhada em busca do aperfeiçoamento.

À Profa. Dra. Josiclêda Domiciano Galvêncio pelo apoio sempre presente em todas as atividades deste trabalho.

À Profa. Dra. Claristela Santos, por ceder a sua casa em Fazenda Nova para a acomodação de toda a nossa equipe em todas as coletas realizadas.

Ao Sr. Antonio Bezerra, proprietário da “Fazenda Incó”, onde estabelecemos a área de estudo deste trabalho.

A todos os componentes do Laboratório de Fitomorfologia Funcional/Depto Biologia/Botânica/Universidade Federal Rural de Pernambuco: Maria das Graças, Vanessa Maciel, Vanessa Bastos, Gabriela Aretakis, Ivanilson Lucena e Girlaine Pedrosa. Especialmente à Priscila Gomes Corrêa (*in memoriam*), minha amiga e companheira de laboratório, com quem compartilhei os primeiros passos em anatomia vegetal.

A todos os componentes do Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento/Depto Geografia/Universidade Federal de Pernambuco. Especialmente aos colegas Hewerton, Tiago e Liviston pela acessoria na utilização dos programas de análises de dados de sensoriamento remoto e geoprocessamento.

Aos colegas de turma, mestrado e doutorado do PPGeo/UFPE - 2008-2012, principalmente à Priscila Gomes Corrêa (*in memoriam*), Janaína Barbosa, Maria das Graças e à Danielle Gomes, pela parceria nas disciplinas e trabalhos de campo.

Aos meus pais, Geraldo Vicente da Silva e Marli Dutra da Silva, por me apoiarem em todos os meus passos na vida e colaborarem, especificamente neste trabalho, em mão-de-obra e apoio logístico para efetuação das coletas em campo.

Aos amigos Emanoella Alves, Sheilane Silva, Carlos Silva Filho, Fabrícia Albuquerque, Clébson Almeida, Domênica Barato, Marindalva Cavalcante, Dona Flor e Claudia Cintra, pelo apoio moral e amparo emocional. À amiga Gleice Miranda, também, pelo apoio em mão-de-obra nos trabalhos de campo.

Enfim, a todos que contribuíram, de forma direta ou indireta, para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE TABELAS	14
RESUMO	15
ABSTRACT	16
1. INTRODUÇÃO	17
2. REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1. Caatinga.....	20
2.2. Atributos morfoanatômicos vegetais: um suporte à resiliência das espécies da caatinga.....	22
3. REFERÊNCIA	25
4. MANUSCRITO I (<i>Composição estrutural e fitossociológica de uma paisagem de semiárido do Nordeste do Brasil</i>).....	34
Resumo.....	35
Introdução.....	36
Material e métodos.....	38
Caracterização da área de estudo.....	38
Seleção e caracterização do sítio de coleta.....	40
Procedimentos em Campo	41
Desenho experimental.....	41
Levantamento florístico.....	42
Levantamento fitossociológico.....	42
Espectrorradiometria foliar.....	44
Procedimentos em Laboratório.....	45
Detecção de mudança na paisagem.....	45
Condição biológica da vegetação (Índices de Vegetação).....	48
Resultados e discussão.....	51
Conclusões.....	67
Agradecimentos.....	68
Referências.....	68
5. MANUSCRITO II (<i>Atributos funcionais como estratégias de resiliência</i>).....	75

em plantas lenhosas em uma paisagem de semiárido do Nordeste do Brasil).

Resumo.....	76
Introdução.....	77
Material e métodos.....	78
Área de estudo.....	78
Procedimentos em Campo.....	81
Desenho experimental.....	81
Coleta de material botânico.....	81
Procedimentos em Laboratório.....	82
Análise de caracteres funcionais foliares.....	82
Resultados e discussão.....	84
Conclusões.....	94
Agradecimentos.....	95
Referências.....	95
ANEXOS.....	102

LISTA DE FIGURAS

MANUSCRITO I	Pág.
Figura 1 Localização da área de estudo e sobreposição do desenho experimental das parcelas fixadas em campo (100m ²) sobre imagem de satélite sistema TM (<i>Thematic Mapper</i>)/Landsat-5 de Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco.....	41
Figura 2 Classes de altura de espécies lenhosas em 1 hectare de uma área de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil.	53
Figura 3 Mapa de detecção de mudança da paisagem em um fragmento vegetacional de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil, ocorridos entre 1988 e 2011.....	55
Figura 4 Acúmulo diário de precipitação pluvial para o primeiro semestre dos anos de 1988 e 2011 em Caruaru, Pernambuco, Brasil.....	56
Figura 5 Distribuição fitosiográfica a partir da imagem com valores de <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> (NDVI) em um fragmento vegetacional em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil nos anos de 1988 e 2011.....	57
Figura 6 Acúmulo diário de precipitação pluvial de janeiro a agosto de 2010 em Caruaru, Pernambuco, Brasil. Seta, dia da coleta.....	58
Figura 7 Valores de <i>Plant Water Index</i> (PWI) para <i>Aspidosperma pyrifolium</i> , <i>Poincianella pyramidalis</i> , <i>Croton blanchetianus</i> e <i>Sideroxylon obtusifolium</i> , espécies lenhosas dominantes em uma área de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil.....	58
Figura 8 Valores de <i>Normalized Water Index</i> (NWI) para <i>Aspidosperma pyrifolium</i> , <i>Poincianella pyramidalis</i> , <i>Croton blanchetianus</i> e <i>Sideroxylon obtusifolium</i> , espécies lenhosas dominantes em uma área de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil.....	59
Figura 9 Valores de <i>Plant Senescence Reflectance Index</i> (PSRI) para <i>Aspidosperma pyrifolium</i> , <i>Poincianella pyramidalis</i> , <i>Croton blanchetianus</i> e <i>Sideroxylon obtusifolium</i> , espécies lenhosas dominantes em uma área de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil.....	60
Figura 10 Valores de <i>Photochemical Reflectance Index</i> (PRI) para	61

Aspidosperma pyrifolium, *Poincianella pyramidalis*, *Croton blanchetianus* e *Sideroxylon obtusifolium*, espécies lenhosas dominantes em uma área de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil.

Figura 11 Valores de *Chlorophyll Normalized Difference Index* (ChINDI) para *Aspidosperma pyrifolium*, *Poincianella pyramidalis*, *Croton blanchetianus* e *Sideroxylon obtusifolium*, espécies lenhosas dominantes em uma área de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil..... **61**

Figura 12 Valores de *Pigment Specific Simple Ratio* (PSSRa) (clorofila “a”) para *Aspidosperma pyrifolium*, *Poincianella pyramidalis*, *Croton blanchetianus* e *Sideroxylon obtusifolium*, espécies lenhosas dominantes em uma área de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil..... **62**

Figura 13 Valores de *Pigment Specific Simple Ratio* (PSSRb) (clorofila b) para *Aspidosperma pyrifolium*, *Poincianella pyramidalis*, *Croton blanchetianus* e *Sideroxylon obtusifolium*, espécies lenhosas dominantes em uma área de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil..... **62**

Figura 14 Valores de *Carotenoid Reflectance Index* (CRI) para *Aspidosperma pyrifolium*, *Poincianella pyramidalis*, *Croton blanchetianus* e *Sideroxylon obtusifolium*, espécies lenhosas dominantes em uma área de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil..... **64**

Figura 15 Valores de *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI_{hy}) a partir de dados hiperespectrais para *Aspidosperma pyrifolium*, *Poincianella pyramidalis*, *Croton blanchetianus* e *Sideroxylon obtusifolium*, espécies lenhosas dominantes em uma área de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil..... **65**

Figura 16 Vista transversal da folha de espécies lenhosas dominantes em uma área de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil: A. *Aspidosperma pyrifolium*. B. *Poincianella pyramidalis*. C. *Sideroxylon obtusifolium*. D. *Croton blanchetianus*. PE, parênquima esponjoso. PP, parênquima paliçádico. Seta, cristais. Barras, 100µm..... **67**

Figura 1 Localização da área de estudo e sobreposição do desenho experimental das parcelas fixadas em campo (100m ²) sobre imagem de satélite sistema TM (<i>Thematic Mapper</i>)/Landsat-5 de Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco.....	81
Figura 2 Dendograma de similaridade de atributos morfofuncionais foliares de espécies lenhosas naturalmente estabelecidas em uma área de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil.....	93

LISTA DE TABELAS

MANUSCRITO I

Pág.

Tabela 1 Descrição das bandas e faixas espectrais correspondentes ao sistema TM/Landsat-5. a. coeficientes mínimos de calibração; b. coeficientes máximos de calibração; $ESUN_{\lambda}$, irradiância solar espectral no topo da atmosfera.....	46
Tabela 2 Riqueza de espécies lenhosas naturalmente estabelecidas em uma área de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil.....	52
Tabela 3 Parâmetros de estrutura e fitossociológicos de espécies lenhosas de uma área de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil. DA, densidade de espécies vivas (ind/ha^{-1}). DoR, dominância relativa (%). DR, densidade relativa (%). FR, frequência relativa (%). NP, número de parcelas em que a espécie ocorre. VC, valor de cobertura (m^2). VI, valor de importância (%)......	53

MANUSCRITO II

Tabela 1 Atributos morfológicos foliares de espécies lenhosas naturalmente estabelecidas em uma área de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil.....	86
Tabela 2 Área, comprimento, largura e proporção entre comprimento e largura da lâmina foliar de espécies lenhosas naturalmente estabelecidas em uma área de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil.....	88
Tabela 3 Atributos epidérmicos foliares de espécies lenhosas naturalmente estabelecidas em uma área de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil.....	90
Tabela 4 Atributos do mesofilo foliar em espécies lenhosas naturalmente estabelecidas em uma área de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil.....	92

RESUMO

As plantas possuem grande sensibilidade aos fatores climáticos dominantes no ambiente e por isto a investigação dos seus padrões morfofuncionais são excelentes ferramentas auxiliares para a compreensão do funcionamento da paisagem e/ou ecossistema. Entre os biomas brasileiros, a caatinga se destaca por sua abrangência territorial (54% da região Nordeste e 11% do território nacional) e elevada potencialidade quanto aos recursos naturais. Estas características a tornaram alvo de exploração intensiva tornando as áreas remanescentes susceptíveis às desordens ambientais, desertificação e mudanças climáticas globais. Conhecer o padrão de respostas dos caracteres funcionais das espécies que constituem a flora nativa deste bioma indicará atributos vegetais que conferem resiliência ou aqueles mais susceptíveis à sua permanência no ambiente. Neste sentido, este estudo visou quantificar os caracteres morfoanatômicos foliares de plantas estabelecidas em uma comunidade do semiárido pernambucano e identificar a funcionalidade dos mesmos. Para isto, analisamos a estrutura e a dinâmica da vegetação, as condições biológicas das espécies estruturantes da paisagem e o padrão de respostas morfofuncionais (tipo e frequência) exibidos por estas às pressões peculiares à caatinga em um fragmento vegetacional em Pernambuco. Para isto foram utilizados métodos e técnicas usuais em levantamentos florísticos e fitossociológicos, sensoriamento remoto e geoprocessamento, análises hiperespectrais (índices de vegetação) e anatomia vegetal. O fragmento vegetacional sofreu redução na sua cobertura vegetal no período de 1988 a 2011. A identificação da riqueza e abundância de espécies lenhosas indicou a área estudada como alvo de perturbação ambiental, em etapa inicial de sucessão ecológica. A deficiência hídrica foi identificada como fator estressor para a planta. As estratégias fisiológicas e morfoanatômica adotadas pelas espécies foram diferentes entre si e são uma tentativa de ajuste específico da espécie às condições ambientais, a fim de garantir sucesso em sua manutenção no ambiente (uso eficiente da água e fotossíntese). Entre as estratégias morfofuncionais adotadas pelas espécies destacam-se como padrão: indivíduos com dossel/copas abertas, folhas mais alongadas, epiderme com cutícula espessa, elevado grau de sinuosidade das paredes anticlinais das células fundamentais da epiderme, presença de tricomas, parênquima clorofiliano diferenciado com parênquima paliçádico pluriestratificado, ocupando cerca de 50% do mesofilo foliar. A formação de grupos funcionais ocorreu independentemente da similaridade de classificação sistemática, reforçando a premissa de que o desenvolvimento dessas características é o resultado do grau de influência das condições ambientais e do grau de plasticidade das diferentes espécies ali estabelecidas, mostrando comportamentos morfofuncionais similares.

Palavras-chave: Paisagem; Plasticidade; Anatomia foliar; Caatinga; Detecção de mudança; Brejo da Madre de Deus

ABSTRACT

Plants have highly sensitive to climatic factors dominant in the environment and therefore the investigation of their standards morphofunctional are excellent supports to understanding of the functioning of the landscape and / or ecosystem. Among the biomes, the caatinga is notable for its scope territorial (54% in the Northeast and 11% of the Brazil) and high potential and natural resources. These characteristics made it the target of intensive exploration by making remaining areas susceptible to environmental disorders, desertification and global climate change. Meet the standard Functional responses of the characters constituting the species native flora of this biome indicate attributes that confer plant resilience or those most likely to stay in their environment. Thus, this study aimed to quantify the characters morphological and anatomical leaf plants established in a community semi-arid Pernambucan and identify the functionality thereof. For this, we analyzed the structure and dynamics of vegetation, biological status of species and structural landscape morphofunctional response pattern (type and frequency) displayed by peculiar to these pressures in a caatinga vegetation fragment in Pernambuco. For this we used the usual methods and techniques floristic and phytosociological surveys, remote sensing and GIS, hyperspectral analysis (indices vegetation) and plant anatomy. The fragment vegetation suffered reduction in vegetation cover in the period 1988 to 2011. The identification of the diversity and abundance of woody species study area indicated the target of environmental disturbance, in step initial ecological succession. Drought stress has been identified as a stressor for the plant. Strategies physiological and morphoanatomical adopted by the species were different and are an attempt to adjust the conditions specific species environment, to ensure success in maintaining the environment (Water use efficiency and photosynthesis). Among the strategies morphofunctional adopted by the species stand out as standard: individuals with canopy / canopy open, more elongated leaves, epidermis with thick cuticle, high degree of sinuosity of the walls anticlines basic cells of the epidermis, the presence of trichomes, mesophyll parenchyma with different pluri palisade, occupying about 50% of the mesophyll leaf. The formation occurred regardless of functional groups similarity of systematic classification, reinforcing the premise that the development of these features is the result of the degree of influence of environmental conditions and the degree of plasticity of different species established there, showing behaviors morphofunctional similar.

Key-words: Landscape; Plasticity; Leaf anatomy; Caatinga; Change detection; Brejo da Madre de Deus

1. INTRODUÇÃO

A estrutura da paisagem e a dinâmica dos elementos que a constituem refletem as ações de eventos de origem física, biológica e antrópica exercidas sobre eles.

A interação entre as plantas e as condições ambientais, clima e geomorfologia é determinante da estrutura fitofisionômica e produz ajustes nos vegetais que permitem um desempenho mais eficiente de seus mecanismos vitais relativos ao crescimento e reprodução, frente às pressões ambientais. Os processos dominantes do ecossistema atuam, então, como estímulo ambiental produzindo um padrão de respostas em plantas que compõem uma mesma comunidade (BOX, 1996; KLEYER, 1999; MÜLLER, 2005).

Os diferentes conjuntos de caracteres desenvolvidos pelos vegetais associados à variação ambiental determinam a presença e a abundância dos indivíduos na paisagem (DÍAZ *et al.*, 1992; CHAPIN *et al.*, 1993; GRIME *et al.*, 1997; PILLAR, 1999; LAVOREL e GARNIER, 2002; ACKERLY, 2004), sendo consequência da ação do ambiente a exclusão daqueles indivíduos que não apresentam caracteres que possibilitam sua adaptação (KEDDY, 1992).

Diante do reconhecimento da sensibilidade vegetal frente aos fatores dominantes no ambiente, pesquisadores das mais diversas áreas têm recorrido a investigações com a vegetação como ferramenta auxiliar para a compreensão do funcionamento da paisagem e/ou ecossistema, quer para a atualidade quer para períodos remotos (BEHLING *et al.*, 2000; BEHLING *et al.*, 2004; PAROLIN *et al.*, 2006; REIS *et al.*, 2006; PRENTICE *et al.*, 2007; NIEMANN e BEHLING, 2008; TYLIANAKIS *et al.*, 2008; JESKE-PIERUSCHKA *et al.*, 2010).

A crescente necessidade de ampliação e aprimoramento de técnicas de manejo ambiental e de políticas de preservação, conservação e uso sustentável da natureza tem estimulado a intensificação de estudos que buscam identificar um padrão de respostas/caracteres vegetais relativos à minimização dos efeitos negativos de fatores abióticos para a permanência de espécies em diferentes biomas. Nos últimos anos, as pesquisas desenvolvidas têm concentrado esforços na maior precisão de identificação e avaliação das estratégias apresentadas pelas plantas melhor aclimatadas ao ambiente (FAHN e CUTLER, 1992; ZAVALA-HURTADO *et al.*, 1995; BOEGER e WISNIEWSKI, 2003; WANG, 2003).

Uma das abordagens adotadas como ferramenta eficiente para o entendimento do ambiente através da análise vegetal tem sido a identificação de tipos funcionais vegetais (TFV). Um TFV é composto por um grupo de plantas que, independentemente de suas relações filogenéticas e/ou taxonômicas, possui similaridade quanto à frequência de ocorrência de um conjunto de atributos e comportamento semelhante frente às variações do ambiente (BOX, 1996; GITAY e NOBLE, 1997; GRIME *et al.*, 1997, ORLÓCI e ORLÓCI, 1985; PILLAR, 2003; PILLAR e ORLÓCI, 1993). A definição de um TFV é obtida mediante a ocorrência do agrupamento de caracteres, especialmente os morfológicos associados às funções vitais de fotossíntese e transporte de água no interior da planta (REICH, WRIGHT e LUSK, 2007). A maior parte da vida do vegetal é utilizada no desenvolvimento de órgãos vegetativos responsáveis por mecanismos vitais e a presença de caracteres morfológicos especializados em diferentes funções é fundamental para o sucesso de seu estabelecimento em um determinado ambiente.

A análise da composição de um TFV tem sido utilizada para descrever padrões e processos nas comunidades vegetais e é essencial para a investigação e previsão das consequências das mudanças globais sobre a vegetação (PILLAR, 2003; MÜLLER, 2005). Uma vez que os vegetais são fortemente influenciados pelo ambiente, a identificação de padrões e as interpretações dos caracteres apresentados por eles podem auxiliar na criação de modelos preditores do comportamento futuro do ecossistema. A maior parte dos dados disponíveis é relativa apenas às espécies de deserto, florestas pluviais montanas e campos (CAMERICK e WERGER, 1981; BONGERS e POPMA, 1990; MEDINA *et al.*, 1990; HALLOY e MARK, 1996; WIEMANN *et al.*, 1998; BOEGER e WISNIEWSKI, 2003); é necessária a ampliação desses estudos para tipos vegetacionais de biomas brasileiros, como a caatinga.

Entre os biomas brasileiros, a caatinga tem se destacado por sua abrangência territorial (54% da região Nordeste e 11% do território nacional) e elevada potencialidade quanto aos recursos naturais (LEAL *et al.*, 2003; ANDRADE *et al.*, 2005). Estas características a tornaram alvo de exploração intensiva e uso insustentável de recursos, ocasionando a perda de quase 50% de seu território original, com 2% reduzidos somente entre 2002 e 2008 (MMA, 2010). A presente devastação torna as áreas de caatinga remanescentes susceptíveis às desordens ambientais, desertificação e mudanças climáticas globais (MMA, 2010). Conhecer o

padrão de respostas dos caracteres funcionais das espécies que constituem a flora nativa deste bioma indicará atributos vegetais que conferem resiliência ou aqueles mais susceptíveis à sua permanência no ambiente (BÓTTA-DUKÀT, 2005; RICOTTA, 2005; PETCHEY e GASTON, 2006).

A dinâmica do ambiente, considerando a interação da vegetação com os aspectos geomorfológicos e climáticos, promove a expressão de duas situações antagônicas dos vegetais: permanecer ou desaparecer. A permanência implica na existência de caracteres mais ajustados às condições ambientais, incluindo a interação entre as espécies vegetais. O grau máximo de ajuste das plantas às variações ambientais caracteriza o efeito conhecido como resiliência. Neste caso, a resiliência será definida pela presença de caracteres reconhecidamente atuantes como resposta a determinados fatores ambientais. O desaparecimento de uma espécie resulta da existência de um número elevado de caracteres que reconhecidamente tornem a espécie susceptível aos eventos geomorfológicos e climáticos do local de estudo. Estes caracteres estarão, obrigatoriamente, associados aos processos vitais dos vegetais, como a fotossíntese e o transporte de água no interior da planta. Aqui, o desaparecimento será caracterizado pela ausência de uma dada espécie em uma comunidade similar àquela mais próxima.

Diante da escassez de estudos e da necessidade em identificar a amplitude da diversidade funcional dos caracteres morfoanatômicos das espécies vegetais da caatinga, este estudo visa quantificar os caracteres morfoanatômicos foliares de plantas estabelecidas em uma comunidade do semiárido pernambucano, identificar a funcionalidade dos mesmos e caracterizar estratégias de regeneração associadas em resposta a variáveis geomorfológicas e climáticas.

A diversidade funcional de caracteres morfoanatômicos foliares em espécies da vegetação de caatinga será identificada através do teste de duas hipóteses: a) quantificação da divergência funcional, reconhecida através da heterogeneidade dos caracteres funcionais nas espécies que constituem a comunidade e representada pela probabilidade de duas espécies, ao acaso, apresentarem o mesmo valor para um dado caractere. A segunda hipótese testará a ampla recorrência de um caractere expressado pela presença majoritária em plantas estabelecidas na comunidade. Estes resultados elucidarão a dinâmica vegetacional de um fragmento de caatinga em Pernambuco e auxiliarão na prática de gerenciamento desta formação vegetacional.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Caatinga

A caatinga é um ecossistema exclusivamente brasileiro e o principal do nordeste ocupando 54% desta região e 11% do território nacional estabelecida nos estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais totalizando em uma extensão areal próxima a 900.000 km² (ANDRADE *et al.* 2005; MMA, 2011).

O ecossistema caatinga tem como características abióticas predominantes precipitações escassas e irregulares, com acentuado período de estação seca, entre sete e dez meses, e solo com baixa capacidade de retenção de água (RADAMBRASIL 1983). Os solos estão distribuídos em mosaico bastante dividido e com tipos diferenciados, variando em profundidade, fertilidade, salinidade e constituição mineralógica (RODAL *et al.*, 1992). A vegetação é composta por espécies lenhosas e herbáceas, de pequeno porte, muitas dotadas de espinhos, sendo, geralmente, caducifólias, e por cactáceas e bromeliáceas (DRUMOND *et al.*, 2000).

Embora a caatinga se destaque quanto à sua abrangência, os saberes acerca das suas potencialidades ainda são diminutos, havendo espécies que não foram sequer descritas e pouco, ou quase nada, é conhecido acerca dos seus aspectos fisiológicos, morfológicos e funcionais. De acordo com a plataforma SCOPUS (2011), estudos relativos à caatinga tiveram suas publicações iniciadas na década de 70. Porém a quantidade de trabalhos era bastante reduzida e de cunho meramente descritivo objetivando conhecer a riqueza e diversidade de espécies que compõem o ecossistema.

A falta de conhecimento profundo da caatinga e, sobretudo do seu nível de endemismo, fez com que este ecossistema estivesse entre os menos preservados, quando comparado a outros ecossistemas brasileiros. Apenas 2% do seu território se encontram protegidos em unidades de conservação (TABARELLI *et al.*, 2000) enquanto que o percentual restante está propenso à deterioração ambiental resultante da exploração insustentável de seus recursos naturais, que implica na 1) perda de espécies, únicas e fundamentais aos processos ecológicos para a manutenção da caatinga, 2) e formação de pólos de desertificação (LEAL *et al.*, 2003).

Dados para o início da década de 90 apontavam que cerca de 30% da caatinga já havia sido alterada como consequência da atividade antrópica (IBGE, 1993). De acordo com Carvalho (2006) se os impactos ambientais produzidos pela construção de sistemas de estradas fossem considerados, este valor já seria próximo a 45% de alteração da caatinga de responsabilidade inteiramente humana. Com este percentual, a caatinga seria o ecossistema brasileiro mais modificado pelo homem, perdendo apenas para a Mata Atlântica e o Cerrado (LEAL *et al.*, 2003). Em 2008 este percentual de alteração já era equivalente a 60% (OPALC, 2008) chegando ao recorde de 80% em 2010 somados ao agravante de uma população crescente de 27 milhões de pessoas estabelecidas nas regiões de caatinga (MMA, 2010).

O principal ecossistema nordestino só recebeu maior atenção de pesquisadores para a realização de estudos mais detalhados na última década (TROVÃO *et al.*, 2004). Inventários elaborados para o ecossistema caatinga no início da primeira década de 2000 registram a presença de 148 espécies de mamíferos, 240 de peixes, 167 de anfíbios e répteis, 187 de abelhas, 62 famílias e 510 espécies de aves e quase 1000 espécies de plantas vasculares, sendo 180 endêmicas comprovando que a caatinga é um ecossistema rico em biodiversidade (GIULIETTI *et al.*, 2004; LEAL *et al.*, 2003; ZANELLA e MARTINS, 2003; ROSA *et al.*, 2003; RODRIGUES, 2003; SILVA *et al.*, 2003).

Além do grande número de espécies, a diversidade das paisagens e formações vegetacionais presentes na caatinga elevam sua complexidade com trechos que flutuam entre floresta alta a arbustos isolados e solo quase descoberto (JOLY, 1970; GIULIETTI *et al.*, 2005).

Ao estudar a vegetação de caatinga, Andrade-Lima (1981) observou essa grande variação na composição da paisagem. A presente diversidade levou o autor a propor que a caatinga fosse subdivida em feições distintas com classificação fundamentada em dados fisionômicos e florísticos associados a fatores edáficos e climáticos, subdividindo o bioma em 12 tipos de associações vegetais para o seu melhor entendimento funcional. Esta classificação pioneira suscitou que a presente diferença estrutural da paisagem era decorrente de fatores externos que influenciavam na determinação do estabelecimento vegetal.

Estudos realizados por Drumond *et al.* (2000) indicaram que a densidade, frequência e dominância dos vegetais são determinadas pelas variações

topográficas, tipo de solo e pluviosidade e corroboram as justificativas apontadas por Andrade-Lima (1981) para a diversidade da composição estrutural da vegetação e paisagem da caatinga devido a alta capacidade de ajuste dos vegetais ao ambiente.

2.2. Atributos Morfoanatômicas Vegetais: Um suporte à resiliência das espécies de caatinga

A elevada capacidade dos vegetais de se ajustar aos fatores ambientais, sobretudo climáticos e edáficos, se deve ao potencial que os mesmos apresentam para alterarem seus caracteres anatômicos, morfológicos e funcionais para viabilizar a sua sobrevivência (MAUSETH, 1988; FAHN e CUTLER, 1992; LARCHER, 2000).

Embora os caracteres morfológicos das plantas tenham determinação genética, as alterações resultantes da interação entre estes e o ambiente irão modelar a sua estruturação morfológica produzindo o efeito conhecido como plasticidade fenotípica (SCHLICHTING, 2002).

As estratégias desenvolvidas pelas plantas implicarão em vantagens para o seu estabelecimento diante das variações nas condições ambientais (MEZIANE e SHIPLEY, 1999; NAVAS e GARNIER, 2002; NIINEMETS, 1999; NODA *et al.*, 2004).

Em regiões que apresentam condições adversas de clima, solo e disponibilidade hídrica, típicos da fisionomia caatinga, a plasticidade vegetal exerce função essencial e determinante para o estabelecimento das espécies minimizando os efeitos danosos que as condições ambientais possam apresentar (DICKSON 2000; LARCHER, 2000; FUZETO e LOMÔNACO, 2000).

A máxima de ajuste das plantas às variações ambientais caracteriza o efeito conhecido como resiliência. Estes caracteres estão, obrigatoriamente, associados aos processos vitais dos vegetais, como a fotossíntese e o transporte de água no interior da planta e dão suporte para a grande diversidade de espécies e distribuição nos diferentes biomas (SCHLICHTING, 2002; DICKSON 2000, SULTAN,1995; SULTAN, 2003).

Os caracteres que atuam conjuntamente para produzir o efeito de resiliência no vegetal são melhor identificados na estrutura morfoanatômica foliar, por ser a folha o órgão de maior plasticidade vegetal revelando as respostas apresentadas pelas plantas às condições ambientais a elas impostas (FAHN e CUTLER, 1992;

LARCHER, 2000; LEWIS, 1972; MARQUES *et al.*, 1999; MENEZES *et al.*, 2003; PYYKKÖ, 1979; TAIZ e ZEIGER, 2004).

A grande necessidade de identificação do grau de resiliência vegetal, sobretudo quanto aos processos de fotoassimilação e condutividade das seivas, para fins de manejo e/ou manutenção do ecossistema, favorecem o fato de que a intensidade luminosa e disponibilidade hídrica estejam entre os fatores ambientais mais estudados acerca de sua influência sobre a estruturação vegetal (BOEGER *et al.*, 1998; SMITH *et al.*, 1997; MARQUES *et al.*, 1999; MARQUES *et al.*, 2000).

As folhas, quando submetidas à elevada intensidade luminosa e da temperatura, irão produzir caracteres de resiliência aos possíveis efeitos danosos causados por estes fatores, a exemplo da perda excessiva de conteúdo hídrico foliar para o meio, que poderá ocasionar a dessaturação celular e consequente déficit na produção de fotoassimilados (LARCHER, 2000; LEWIS, 1972; PYYKKÖ, 1979; MARQUES *et al.*, 1999).

Entre as estratégias morfoanatômicas adotadas pelas folhas, para minimizar os efeitos da alta luminosidade e temperatura, está a redução da área de captação luminosa (limbo), o aumento da densidade estomática e de tricomas, maior espessamento da cutícula, diminuição das células fundamentais da epiderme, aumento do número de camadas e/ou comprimento das células de parênquima paliçádico e consequente aumento da espessura da lâmina foliar (LEWIS, 1972; THOMPSON *et al.*, 1992; FAHMY, 1997; SMITH *et al.*, 1997; MARQUES *et al.*, 1999; HANBA *et al.*, 2002; HLWATIKA e BHAT, 2002). Lewis (1972) indica que estes caracteres, presentes na folha madura, foram influenciados pela quantidade de luz recebida pela mesma ao longo de todas as fases de desenvolvimento até a maturidade.

Além da densidade de estômatos na folha, a quantidade de luz recebida pelo órgão irá influenciar na localização dessas estruturas. Na tentativa de minimizar a perda excessiva de água para meio através dos ostíolos, em ambientes com altas taxas de luminosidade e longos períodos de raios incididos sobre as lâminas foliares, os estômatos se concentram em maior número na face foliar oposta a fonte luminosa (DICKSON, 2000). Os estômatos podem, ainda, ocorrer em caráter exclusivista na face abaxial, configurando a hipoestomatia, máxima de resiliência foliar ao aumento da temperatura na superfície do limbo e evapotranspiração

(LLERAS, 1977; GIVNISH, 1987; DONG e ZHANG, 2000; HLWATIKA e BHAT, 2002).

Outro traço foliar indicador de resiliência é o grau de sinuosidade das paredes anticlinais das células fundamentais da epiderme. Embora este caractere seja apontado como produto da determinação genética para o gênero e/ou família botânica (ARRUDA e NEVES, 2005), variações no grau de sinuosidade das paredes anticlinais foram associados à luminosidade, umidade e temperatura (MEIRELLES *et al.*, 1997; PYYKKÖ, 1966). Meirelles *et al.* (1997) afirmam que plantas, quando expostas à alta luminosidade e reduzida disponibilidade hídrica, apresentam alto grau de sinuosidade das paredes anticlinais. A resiliência conferida por esta estratégia se deve à ampliação da resistência celular que a sinuosidade das paredes produz, evitando, assim, o colapso da célula diante do déficit hídrico (HABERLANDT, 1928).

Estudos apontam que a presença de cristais em folhas de plantas de ambientes áridos auxilia na redução dos danos causados pelo sol refletindo o excesso de incidência de energia solar e, assim, preservam o parênquima clorofiliano, fundamental ao processo fotossintético (ARRUDA *et al.*, 2005; FAHN e CUTLER 1992, GIBSON e HORAK, 1978; PIMENTEL, 2010; SIMS e GAMON, 2002). A quantidade, localização e morfologia destes cristais também irão influenciar na qualidade da resposta por eles apresentada (CARRIELO *et al.*, 2003; PIMENTEL, 2010; SIMS e GAMON, 2002).

Alguns caracteres promotores da resiliência vegetal tem seu desenvolvimento ou maximização associados à baixa disponibilidade hídrica (TURNER *et al.*, 1995; BOEGER e WISNIEWSKI, 2003). Sob esta condição, as espécies tendem a apresentar folhas com a lâmina reduzida, espessamento da cutícula, maior espessura da parede periclinal externa das células epidérmicas, epiderme pluriestratificada ou hipoderme, presença de estômatos em ambas as faces epidérmicas, geralmente em depressão, aumento da densidade de tricomas, mesofilo simétrico, tecidos especializados no armazenamento de água e diminuição da área ocupada pelo xilema, tecido condutor de água, e do diâmetro dos elementos de vaso (FAHN e CUTLER, 1992; ROTH, 1984; FAHMY, 1997; TURNER *et al.*, 1995).

A identificação do aumento e/ou redução da presença e/ou qualidade de determinados traços das plantas evidenciam a resiliência das espécies e se constitui

em uma excelente ferramenta para o entendimento da interação planta-ambiente e de estratégias que propiciam a permanência das espécies que compõem a paisagem (HLWATIKA e BHAT, 2002; BRADSHAW, 1965; VIA e LANDE, 1985; SCHEINER, 1993; SULTAN 1987; SULTAN, 2000; REICH *et al.*, 2003; MARON *et al.*, 2004; CRAWLEY, 1990; WILLIAMS *et al.*, 1995).

3. REFERÊNCIAS

- ACKERLY, D. 2004. Functional strategies of chaparral shrubs in relation to seasonal water deficit and disturbance. **Ecological Monographs** **74**: 25-44.
- ANDRADE, C.A.; PEITZ, C.; CÚNICO, M.; CARVALHO, J.S.L.; ABRAHÃO, W.M.; MIGUEL, O.G.; MIGUEL, M.D. & KERBER, V.A. 2005. Avaliação da atividade antibacteriana e triagem fitoquímica das flores de *Acacia podalyriifolia* A. Cunn. Ex. G. Don. Leguminosae-Mimosoideae. **Revista Brasileira de Farmacognosia** **15**(1): 13-15.
- ANDRADE-LIMA, D. 1981. The caatingas dominium. **Revista Brasileira de Botânica** **4**(2): 149-153.
- ARRUDA, E., MELO-DE-PINNA, G.F., ALVES, M. 2005. Anatomia dos órgãos vegetativos de Cactaceae da caatinga pernambucana. *Revista Brasil. Bot.*, V.28, n.3, p.589-601.
- ARRUDA, RCO & NEVES, LJ, 2005. Anatomia foliar de *Trilepis lhotzkiana* Nees e *Trilepis ciliatifolia* T. Koyama (Cyperaceae) Juss. **Acta bot. bras.** **19**(4): 889-897.
- BEHLING, H.; ARZ, H.W.; PÄTZOLD, J. & WEFER, G. 2000. Late Quaternary vegetational and climate dynamics in northeastern Brazil, inferences from marine core GeoB3104-1. **Quaternary Science Reviews** **19**: 981–994.
- BEHLING, H.; PILLAR, V.; ORLÓCI, L. & BAUERMANN, S.G. 2004. Late Quaternary Araucaria forest, grassland (Campos), fire and climate dynamics, studied by high-resolution pollen, charcoal and multivariate analysis of the Cambará do Sul core in southern Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** **23**: 277–297.
- BOEGER, M.T.R. & WISNIEWSKI, C. 2003. Comparação da morfologia foliar de espécies arbóreas de três estádios sucessionais distintos de floresta ombrófila densa (Floresta Atlântica) no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica** **26**(1): 61-72.

- BOEGER, M.R.; WISNIEWSKI, C. 2002. Estrutura e teores de nutrientes foliares de seis espécies arbóreas ao longo de um gradiente sucessional da planície litorânea do estado do Paraná, Brasil. **Iheringia**. Série Botânica, 57(2): 243-262.
- BONGERS, F. & POPMA, J. 1990. Leaf characteristics of the tropical rain forest flora of Los Tuxtlas, México. **Botanical Gazette** 151(3): 354-365.
- BOTTA-DUKAT, Z. 2005. Rao's quadratic entropy as a measure of functional diversity based on multiple traits. **Journal of Vegetation Science** 16: 533-540.
- BOX, E.O. 1996. Plant functional types and climate at the global scale. **Journal of Vegetation Science** 7: 309-320.
- BRADSHAW AD. Evolutionary significance of phenotypic plasticity in plants. *Advances in Genetics* 1965;13(C):115-55.
- CAMERIK, A.M. & WERGER, M.J.A. 1981. Leaf characteristics of the flora of the High Plateau of Itatiaia, Brasil. **Biotropica** 13: 31-48.
- CARRIELO, F., MIRANDA, F. G., PONZONI, F. J., CARDOSO, P. A., MARTINS, S. P. 2003. **Uso da Transmissão na caracterização espectral de folhas verdes**. Anais do XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte, INPE, p. 2451-2457.
- CHAPIN III, F.S.; AUTUMN, K. & PUGNAIRE, F. 1993. Evolution of suites of traits in response to environmental stress. **American Naturalist** 142(supplement): 79-92
- CRAWLEY MJ. The population dynamics of plants. *Philosophical Transactions - Royal Society of London, B* 1990;330(1257):125-40.
- DÍAZ, S.; ACOSTA, A. & CABIDO, M. 1992. Morphological analysis of herbaceous communities under different grazing regimes. **Journal of Vegetation Science**. 3: 689-696.
- DICKISON, W.C. 2000. **Integrative plant anatomy**. Harcourt Academic Press, San Diego.
- DONG, X.; ZHANG, X. 2000. Special stomatal distribution in *Sabina vulgaris* in relation to its survival in a desert environment. **Trees** 14: 369-375.
- DRUMOND, M.A.; KILL, L.H.P.; LIMA, P.C.F.; OLIVEIRA, M.C.; OLIVEIRA, V.R.; ALBUQUERQUE, S.G.; NASCIMENTO, C.E.S. & CAVALCANTE, J. 2000. Estratégias para o uso sustentável da biodiversidade da caatinga. In: Workshop de avaliação e identificação de ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade do bioma caatinga. Petrolina, Embrapa/Cpatsa, UFPE e Conservation International do Brasil.

- FAHMY, G.M. 1997. Of anatomy and its relation to the ecophysiology of some non-succulent desert plants from Egypt. **Journal of Arid Environments** **36**: 499-525.
- FAHN, A. & CUTLER, D. 1992. **Xerophytes**. Gebruder Borntraeger, Berlin.
- FUZETO, A.P. & LOMÔNACO, C. 2000. Potencial plástico de *Cabraela canjerana* subsp. *polytricha* (Adr. Juss.) Penn. (Meliaceae) e seu papel na formação de ecótipos em área de cerrado e vereda. **Revista Brasileira de Botânica** **23**:169-176.
- GIBSON, A. & HORAK, K. 1978. Systematic anatomy and phylogeny of Mexican cacti. **Annals of the Missouri Botanical Garden** **65**:999-1057.
- GITAY, H. & NOBLE, I.R. 1997. What are functional types and how should we seek them? In: SMITH, H.H.; WOODWARD, F.I. (Eds.). **Plant functional types**. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 3-19.
- GIULIETTI, A.M., et al. 2004. **Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga**. In: J.M.C. Silva, M. Tabarelli, M.T. Fonseca & L.V. Lins (orgs.). Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação. Ministério do Meio Ambiente, Brasília. pp. 48-90.
- GIVNISH, T. J. 1987. Comparative studies of leaf form: assessing the relative roles of selective pressures and phylogenetic constraints. **New Phytologist** **106**: 131-160.
- GRIME, J.P.; THOMPSON, K.; HUNT, R.; HODGSON, J.G.; CORNELISSEN, J.H.C.; RORISON, I.H.; HENDRY, G.A.F.; ASHENDEN, T.W.; ASKEW, A.P.; BAND, S.R.; BOOTH, R.E.; BOSSARD, C.C.; CAMPBELL, B.D.; COOPER, J.E.L.; DAVISON, A.W.; GUPTA, P.L.; HALL, W.; HAND, D.W.; HANNAH, M.A.; HILLIER, S.H.; HODKINSON, D.J.; JALILI, A.; LIU, Z.; MACKEY, J.M.L.; MATTEWS, N.; MOWFORTH, M.A.; NEAL, A.M.; READER, R.J.; REILING, K.; ROSS-FRASER, W.; SPENCER, R.E.; SUTTON, F.; TASKER, D.E.; THORPE, P.C. & WHITEHOUSE, J. 1997. Integrated screening validates primary axes of specialisation in plants. **Oikos** **79**: 259-281.
- HALLOY, S.R.P. & MARK, A.F. 1996. Comparative leaf morphology spectra of plant communities in New Zealand, the Andes and the European Alps. **Journal of the Royal Society** **26**(1): 41-78.
- HANBA, Y.T.; KOGAMI, H. & TERASHIMA, I. 2002. The effect of growth irradiance on leaf anatomy and photosynthesis in *Acer* species differing in light demand. **Plant, Cell and Environment** **25**(8): 1021-1030.

- HABERLANDT, G. 1928. **Physiological Plant Anatomy Trad.** Montagu Drummod. 4. ed. London, Macmillan & Co, LTDa.
- HLWATIKA, C.N.M. & BHAT, R.B. 2002. An ecological interation. **Annals of Botany** **89**:109-114.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 1993. **Mapa de vegetação do Brasil**. IBGE, Rio de Janeiro.
- JESKE-PIERUSCHKA, V.; FIDELIS, A.; BERGAMIN, R.S.; VÉLEZ, E. & BEHLING, H. 2010. Araucaria forest dynamics in relation to fire frequency in southern Brazil based on fossil and modern pollen data. **Review of Palaeobotany and Palynology** **160**: 53-65.
- KEDDY, P.A. 1992. Assembly and response rules: two goals for predictive community ecology. **Journal of Vegetation Science** **3**:157-164.
- KLEYER, M. 1999. The distribution of plant functional types on gradients of disturbance intensity and resource supply in an agricultural landscape. **Journal of Vegetation Science** **10**: 697-708.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 531 p.
- LAVOREL, S. & GARNIER, E. (2002). Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits : revisiting the Holy Grail. **Functional Ecology** **16**: 545-556.
- LEAL, I.R.; TABARELLI, M. & SILVA, J.M.C. (Eds). 2003. *Ecologia e Conservação da Caatinga*. Ed. Universitária da UFPE, Recife.
- LEWIS, M.G. 1972. The physiological significance of variation in leaf structure. **Science Progress** **60**:25-51.
- LLERAS E 1977. Differencies in stomatal number per unit area within the some species under different microenviromental conditions: a working hypothesis. **Acta Amazonica** **4**: 473-476.
- MARON JL, VILÀ M, BOMMARCO R, ELMENDORF S, BEARDSLEY P. Rapid evolution of an invasive plant. *Ecol Monogr* 2004;74(2):261-80.
- MARQUES, A.R., GARCIA, Q.S. & FERNANDES, G.W. 1999. Effects of sun and shade on leaf structure and sclerophylly of *Sebastiania myrtilloides*(Euphorbiaceae) from Serra do Cipó, Minas Gerais, Brazil. **Boletim Botânico** **18**:21-27.

- MARQUES, A.R., GARCIA, Q.S., REZENDE, J.L.P. & FERNANDES, G.W. 2000. Variations in leaf characteristics of two species of *Miconia* in the Brazilian cerrado under different light intensities. **Tropical Ecology** **41**:47-60.
- MAUSETH JD 1988. **Plant anatomy**. Menlo Park: Benjamin Cummings.
- MEDINA, E.; GARCIA, V.; CUEVAS, E. 1990. Sclerophylly and oligotrophic environments: relationships between leaf, structure, mineral nutrient content, and drought resistance in tropical rain forest of the upper Rio Negro region. **Biotropica** **22**: 51-64.
- MEIRELLES, S.T.; MATTOS, E.A. & SILVA, A.C. 1997. Potential desiccation tolerant vascular plants from Southeastern Brazil. **Polish Journal of Environmental Studies** **6**: 17-21.
- MENEZES, N.L.; SILVA, D.C.; PINNA, G.F.M. 2003. Folha In: B. Apezato-da-Gloria & S.M. Carmello-Guerreiro (eds.).Anatomia Vegetal. Viçosa, Editora UFV.
- MEZIANE, D. & SHIPLEY, B. 1999. Interacting determinants of specific leaf area in 22 herbaceous species: effects of irradiance and nutrient availability. **Plant Cell and Environment** **22**:447-459.
- MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. 2010. Monitoramento dos biomas brasileiros: Caatinga. Brasília, março de 2010. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/_arquivos/apresentacao_minc_02mar2010_caatinga_versao_imprensa_72.pdf
- MÜLLER, S.C. 2005. Padrões de espécies e tipos funcionais de plantas lenhosas em bordas de floresta e campo sob influência do fogo. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Ecologia, UFRGS, Porto Alegre. 130p.
- NAVAS, M.L. & GARNIER, E. 2002. Plasticity of whole plant and leaf traits in *Rubia peregrina* in response to light, nutrient and water availability. **Acta Oecologica** **23**:375-383.
- NIEMANN, H. & BEHLING, H. 2008. Late Quaternary vegetation, climate and fire dynamics inferred from the El Tiro record in the southeastern Ecuadorian Andes. **Journal of Quaternary Sciences** **23** (3), 203–212.
- NIINEMETS, Ü. 1999. Research review. Components of leaf dry mass per area—thickness and density—alter leaf photosynthetic capacity in reverse directions in woody plants. **New Phytol.** **144**:35–47.

- NODA, H., MURAOKA, H. & WASHITANI, I. 2004. Morphological and physiological acclimation responses to contrasting light and water regimes in *Primula sieboldii*. **Ecological Research** **19**:331-340.
- ORLÓCI, L. & ORLÓCI, M. 1985. Comparison of communities without the use of species: model and example. **Annals of Botany** **43**: 275-285.
- PAROLIN, M.; MEDEANIC, S. & STEVAUX, J.C. 2006. REGISTROS PALINOLÓGICOS E MUDANÇAS AMBIENTAIS DURANTE O HOLOCENO DE TAQUARUSSU (MS). **Revista Brasileira de Paleontologia** **9**(1): 137-148.
- PETCHEY, O.L. & GASTON, K.J. 2006. Functional diversity: back to basics and looking forward. **Ecology Letter** **9**:741–758.
- PILLAR, V.D. & ORLOCI, L. 1993. **Character-based community analysis**: theory and application program. The Hague: SPB. Academic. 270p.
- PILLAR, V.D. 1999. On the identification of optimal plant functional types. **Journal of Vegetation Science** **10**: 631-640.
- PILLAR, V.D. 2003. **SYNCSA**, software for character-based community analysis. Versão 2.2.0. Porto Alegre: Departamento de Ecologia da UFRGS.
- PIMENTEL, R.M.M. 2010. **Mudanças Climáticas, Relações Hídricas e Propriedades Ópticas Foliares**. In: Mudanças Climáticas e Impactos Ambientais. Recife: Editora Universitária – UFPE. p. 169-177.
- PRENTICE, I.C., BONDEAU, A., CRAMER, W., HARRISON, S., HICKLER, T., LUCHT, W., SITCH, S., SMITH, B. & SYKES, M.T. 2007. Dynamic global vegetation modeling: quantifying terrestrial ecosystem responses to large-scale environmental change. In: Terrestrial Ecosystems in a Changing World (eds. J.G.Canadell, D.E.Pataki & L.F.Pitelka). Springer, Berlin. pp. 175-192.
- PYYKKÖ, M. (1979), Morphology and anatomy of leaves from some woody plants in a humid tropical forest of Venezuelan Guayana. **Acta Botanica Fennica** **112**: 1-41.
- RADAMBRASIL. 1983. **Levantamento de recursos naturais**. Rio de Janeiro/ Vitória. Ministério das Minas e Energia, Rio de Janeiro. v.32, folha S/ F. 23/ 24.
- REICH PB, WRIGHT IJ, CAVENDER-BARES J, CRAINE JM, OLEKSYN J, WESTOBY M, WALTERS MB. The evolution of plant functional variation: Traits, spectra, and strategies. *Int J Plant Sci* 2003;164(SUPPL. 3):S143-64.

- REICH, P.B., WRIGHT, I.J. & LUSK, C.H. 2007. Predicting leaf physiology from simple plant and climate attributes: a global GLOPNET analysis. **Ecological Applications** **17**: 1982-1988.
- REIS, A.M.S.; ARAÚJO, E.L.; FERRAZ, E.M.N. & MOURA, A.N. 2006. Inter-annual variations in the floristic and population structure of an herbaceous community of "caatinga" vegetation in Pernambuco, Brazil. **Revista Brasileira de Botânica** **29**(3): 497-508.
- RICOTTA, C. 2005. A note on functional diversity measures. **Basic and Applied Ecology** **6**: 479-486.
- RODAL, M.J.N.; SAMPAIO, E.V.S.B.; FIGUEIREDO, M.A. 1992. **Manual sobre métodos de estudo florístico e fitossociológico – ecossistema caatinga**. Brasília: Sociedade Botânica do Brasil/Seção Regional de Pernambuco. 24p.
- RODRIGUES, M.T. 2003. Herpetofauna da Caatinga. In: I.R. Leal, TABARELLI, M. & SILVA, J.M.C. (eds.). **Ecologia e conservação da Caatinga**. Editora Universitária, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil. pp. 181-236.
- ROTH, I. 1984. **Stratification of tropical forest as seen in leaf structure – Tasks for Vegetation Science**. Hague: Ed. H. Lieth.
- THOMPSON, W.A., KRIEDEMANN, P.E. & CRAIG, I.E. 1992. Photosynthetic response to light and nutrients in sun-tolerant and shade-tolerant rainforest trees. I. Growth, leaf anatomy and nutrient content. **Australian Journal of Plant Physiology** **19**:1-18.
- TURNER, I.M.; ONG, B.L.; TAN, H.T.W. 1995. Vegetation analysis, leaf structure and nutrient status of a Malaysian heath community. **Biotropica** **27**(1): 2-12.
- ROSA, R.S., MENEZES, N.A.; BRITSKI, H.A.; COSTA, W.J.E.M. & GROTH, F.. 2003. **Diversidade, padrões de distribuição e conservação dos peixes da Caatinga**. In: I.R. Leal, M. Tabarelli & J.M.C. Silva (eds.). **Ecologia e conservação da Caatinga**. Editora Universitária, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil. pp. 135-180.
- SCHEINER SM. Genetics and evolution of phenotypic plasticity. *Annu Rev Ecol Syst* 1993;24:35-68.
- SCHLICHTING, C.D. 2002. Origins of differentiation via phenotypic plasticity. **Evolution e Development** **5**(1):98-105.
- SCOPUS. 2011. Basic search. Disponível em <http://www.scopus.com/home.url>.

- SILVA, J.M.C.; SOUZA, M.A.; BIEBER, A.G.D. & CARLOS, C.J.. 2003. Aves da Caatinga: status, uso do habitat e sensibilidade. In: I.R. Leal, M. Tabarelli & J.M.C. Silva (eds.). Ecologia e conservação da Caatinga. Editora Universitária, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil. pp. 237-273.
- SIMS D.A. & GAMON J.A. 2002. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. **Remote Sensing of Environment** **81**:337-354.
- SMITH, W.K., VOGELMANN, T.C., DELUCIA, E.H., BELL, D.T. & SHEPHERD, K.A. 1997. Leaf form and photosynthesis: do leaf structure and orientation interact to regulate internal light and carbon dioxide? **Bioscience** **47**:785-793.
- SULTAN SE. Evolutionary implications of phenotypic plasticity in plants. *Evolutionary Biology* 1987;21:127-78.
- SULTAN SE. 2000. Phenotypic plasticity for plant development, function and life history. **Trends Plant Sci** 5(12):537-42.
- SULTAN, S.E. 2003. Phenotypic plasticity in plants: a case study in ecological development. **Evolution and Development** **5**:25-33.
- TABARELLI, M; SILVA, J.M.C. & SANTOS, A.M.M. 2000. **Análise de representatividade das unidades de conservação de uso direto e indireto no bioma Caatinga**. Documento Temático, Seminário Biodiversidade da Caatinga. Disponível em www.biodiversitas.org/caatinga.
- TAIZ, L. & ZEIGER, E. 2004. **Fisiologia vegetal**. Artmed, Porto Alegre.
- TROVÃO, D.M.B.M.; SILVA, S.C.; SILVA, A.B.; VIEIRA JÚNIOR, R.L. 2004. Estudo comparativo entre três fisionomias de caatinga no estado da Paraíba e análise do uso das espécies vegetais pelo homem nas áreas de estudo. **Revista Biologia e Ciências da Terra** **4**(2):1-5.
- TYLIANAKIS, J.M.; DIDHAM, R.K.; BASCOMPTE J. & WARDLE, D.A. 2008. Global change and species interactions in terrestrial ecosystems. **Ecology Letters** **11**: 1-13.
- VIA S, LANDE R. Genotype-environment interaction and the evolution of phenotypic plasticity. *Evolution* 1985;39(3):505-22.
- WANG, R.Z. 2003. Photosynthetic pathway and morphological functional types in the steppe vegetation from Inner Mongolia, North China. **Photosynthetica** **41**(1): 143-150.

- WIEMANN, M.C.; MANCHESTER, S.R.; DILCHER, D.L.; HINOJOSA, L.F.; WHEELER, E.A. 1998. Estimation of temperature and precipitation from morphological characters of dicotyledonous leaves. **American Journal of Botany** **85**(12): 1796-1802.
- WILLIAMS DG, MACK RN, BLACK RA. 1995. Ecophysiology of introduced pennisetum setaceum on hawaii: The role of phenotypic plasticity. **Ecology** **76**(5):1569-80.
- ZANELLA, F.C.V. & C.F. MARTINS. 2003. **Abelhas da caatinga: biogeografia, ecologia e conservação**. IN: I.R. LEAL, M. TABARELLI & J.M.C. SILVA (EDS.). ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO DA CAATINGA. PP. 75-134. Editora Universitária, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil.
- ZAVALA-HURTADO, J.A.; VALVERDE, P.L.; DIAZ-SOLI, A.; VITE, F.; PORTILLA, E. 1995. Vegetation-environment relationships base on a life-forms classification in a semiarid region of Tropical Mexico. **Revista de Biologia Tropical** **44**(2A): 581-590.

4. Manuscrito I
a ser enviado ao periódico *Progress in Physical Geography*

Composição estrutural vegetal de uma paisagem de semiárido do Nordeste do Brasil¹

Milena Dutra da Silva², Rejane Magalhães de Mendonça Pimentel²
e André Laurênio de Melo³

¹Parte da tese da primeira autora

²Programa de Pós-Graduação em Geografia, Departamento de Ciências
Geográficas, Universidade Federal de Pernambuco

³ Departamento de Biologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade
Serra Talhada

Resumo

A caatinga é um ecossistema exclusivamente brasileiro e abrange 60% da região Nordeste. Possui uma vegetação com características peculiares decorrentes do clima semiárido, disponibilidade hídrica sazonal e elevadas temperaturas. O alto índice de desmatamento destas áreas elevou a necessidade da ampliação do conhecimento deste bioma para auxiliar políticas de manejo e conservação. Neste sentido, este estudo objetivou analisar a dinâmica vegetacional da caatinga, composição estrutural e fitossociológica, bem como da análise das condições biológicas das espécies estruturantes de um fragmento vegetacional de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, em Pernambuco. Para isto foram utilizados métodos e técnicas usuais em levantamentos florísticos e fitossociológicos, sensoriamento remoto e geoprocessamento, análises hiperespectrais (índices de vegetação) e anatomia vegetal. O fragmento vegetacional sofreu redução na sua cobertura vegetal no período de 1988 a 2011. A identificação da riqueza e abundância de espécies lenhosas indicou a área estudada como alvo de perturbação ambiental, em etapa inicial de sucessão ecológica. A deficiência hídrica foi identificada como fator estressor para a planta. As estratégias fisiológicas e morfoanatômica adotadas pelas espécies foram diferentes entre si e são uma tentativa de ajuste específico da espécie às condições ambientais, a fim de garantir sucesso em sua manutenção no ambiente (uso eficiente da água e fotossíntese).

Palavras-chave: caatinga, dinâmica da paisagem, detecção de mudança, índices de vegetação.

I Introdução

A caatinga é um ecossistema exclusivamente brasileiro e se destaca no cenário nacional pela grande abrangência territorial na porção Nordeste, cobrindo 60% da área dessa região (Andrade *et al.*, 2005; MMA, 2011).

A caatinga se estende pelo domínio de clima semiárido e tem as suas características peculiares decorrentes das condições impostas pelos fatores climáticos, como a disponibilidade hídrica estacional e as elevadas temperaturas (Cunha, 2004; Mendes, 1992; Campello *et al.*, 1999).

O regime de precipitação pluviométrica na caatinga é caracterizado por sete a nove meses de estiagem associado a elevadas temperaturas, implicando em altas taxas de evapotranspiração e ampliam os períodos de escassez hídrica (Mendes, 1992; Campello *et al.*, 1999). Além disto, o solo raso, com baixa capacidade de retenção hídrica, contribui para uma baixa disponibilidade de água na caatinga.

A disponibilidade hídrica é um dos principais fatores limitantes do desenvolvimento e manutenção da vegetação. Uma vez que a água é responsável pelo transporte de nutrientes, manutenção estrutural (turgescência celular), reguladora da expansão e alongamento foliar, abertura e fechamento estomático e equilíbrio da temperatura da planta, ela garante as condições físico-químicas exigidas para o bom funcionamento dos processos metabólicos vitais, como a fotossíntese e consequente produção de biomassa (Galetti, 1982; Taiz e Zeiger, 2004).

As plantas que conseguem se estabelecer sob as condições inóspitas do clima semiárido são classificadas como xéricas e constituem uma vegetação singular de caatinga (formação decidual xerófila) ou mata seca (formação mesofílica), que expressam os ajustes às condições e níveis de aridez no ambiente (Fernandes, 1992; Souto, 2006).

A capacidade de ajustes das plantas ao ambiente, e suas variáveis (micro)climáticas e edáficas, determina que espécies irão compor a vegetação no ambiente, produzindo paisagens que refletem o sucesso do vegetal em seu estabelecimento e manutenção (Dickson, 2000; Schlichting, 1986; Sultan, 1995; Sultan, 2003).

A paisagem da caatinga apresenta uma grande variação quanto à sua composição vegetacional (Tavares *et al.*, 1975; Andrade-Lima, 1981; Rodal, 1992;

Araújo *et al.*, 1995). Embora alguns trabalhos que visam o conhecimento da composição e dinâmica vegetacional da caatinga já tenham sido desenvolvidos, sobretudo nas últimas décadas, as muitas configurações e associações da composição vegetal deste ecossistema requerem estudos os quantos forem possíveis da totalidade da caatinga para o seu melhor entendimento funcional, uma vez que as plantas respondem às variáveis locais (Box, 1996; Gitay e Noble, 1997; Grime *et al.*, 1997; Orlóci e Orlóci, 1985; Pillar, 2003; Pillar e Orlóci, 1993).

Os levantamentos fitossociológicos contribuem como precursores de estudos adicionais sobre a dinâmica vegetacional, além de fornecer informações que subsidiam a elaboração de projetos de manejo e manutenção do ecossistema.

Com o avanço científico em métodos e tecnologias, surgiram novas ferramentas passíveis de aplicação aos estudos da dinâmica vegetacional. Entre eles se destaca o sensoriamento remoto, com a descoberta da interação entre a energia eletromagnética irradiada pelo sol e os alvos fotossintetizantes (Ponzoni, 2001).

Analisando as respostas do vegetal no espectro eletromagnético é possível observar o comportamento específico da energia radiante em comprimentos de onda refletidos por uma folha isolada e/ou pelo dossel (Cardoso, 1996; Jensen, 1991; Ponzoni, 2001).

A resposta espectral detectada por sensores na região do visível e no infravermelho próximo são capazes de indicar superfícies vegetadas, permitindo a identificação e mapeamento de fragmentos vegetacionais (Parkinson, 1997). Isto possibilita o monitoramento da dinâmica apresentada pela vegetação, auxiliando no acompanhamento de mudanças ocorridas na paisagem (Junges *et al.*, 2007; Braga *et al.*, 2003; Ponzoni, 2001)

A dinâmica de ocupação vegetacional pode ser identificada através da aplicação das técnicas de programas específicos para análises de sensoriamento remoto e geoprocessamento em imagens com valores matriciais de períodos distintos (Townshend *et al.*, 1985). Alguns trabalhos como os desenvolvidos por Eastman e Fulk (1993), Nicholson e Farrar (1994), Almeida (1997), Barbosa (1998), Gutman e Ignatov (1998), Braga (2000) e Braga *et al.* (2003) mostraram que a técnica é uma ferramenta potencial para a indicação de mudanças na vegetação, cujos valores são influenciados por eventos periódicos e não periódicos .

A espectrorradiometria também tem se destacado quanto ao seu uso no estudo da vegetação. Neste método, o sensor mantém contato direto com o alvo estudado, excluindo os ruídos que ocorrem frequentemente nos produtos dos sistemas imageadores, ocasionados pela densidade da copa e/ou manchas de vegetação subjacente e do solo e pelo relevo, entre outros (Jensen, 2009; Moraes, 2002; Menezes, 2001; Silva, 2007; Steffen e Moraes, 1993; Zanini, 2008).

Os dados obtidos com a espectrorradiometria da folha permitem avaliar as condições fisiológicas da planta (pigmentação e conteúdo de água) devido à forte relação da resposta espectral foliar com as propriedades físicas e químicas contidas no órgão (Babar *et al.*, 2006; Blackburn, 1998; Gitelson *et al.*, 2002; Merton, 1998; Merzlyak *et al.*, 1999; Penuela *et al.*, 1997; Richardson *et al.*, 2002). Este tipo de análise fornece subsídios para a identificação das estratégias fisiológicas dos vegetais para sua manutenção no ambiente (Haboudane *et al.*, 2002; Pereira *et al.*, 2001; Madeira *et al.*, 2009; Blackburn, 1998; Gates *et al.*, 1965; Jensen, 2009; Cardoso, 1996; Jensen, 1991; Ponzoni, 2001).

A análise da dinâmica vegetacional, da composição estrutural e fitossociológica, bem como da análise das condições biológicas das espécies estruturantes da comunidade vegetal permite um melhor entendimento do fragmento estudado. Neste sentido, e diante da necessidade de ampliação de estudos relativos à dinâmica da caatinga, este estudo objetivou analisar, sob os referidos aspectos, um fragmento vegetacional de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, em Pernambuco.

II Material e Métodos

1. Caracterização da área de estudo

O município de Brejo da Madre de Deus está localizado na mesorregião Agreste e na microrregião Vale Ipojuca, na porção centro-leste do Estado de Pernambuco (Fig. 1), a cerca de 200 km da capital, entre as latitudes 07°50'S e 08°18'S e longitudes 36°05'W e 36°30'W. Apresenta extensão territorial de 779,3km², limitando-se, ao norte, com Santa Cruz do Capibaribe e Taquaritinga do Norte, ao sul, com Belo Jardim, Tacaimbó e São Caetano, ao leste, com Caruaru e

Toritama e, ao oeste, com Jataúba; inserido nas Folhas da SUDENE de Santa Cruz do Capibaribe e Belo Jardim na escala de 1:100.000 (BRASIL, 2005).

Brejo da Madre de Deus apresenta Patamares Compridos e Baixas Vertentes, com relevo suave ondulado, Planossolos mal drenados, fertilidade natural média e problemas com acúmulo de sais; Topos e Altas Vertentes com solos Brunos não Cálcicos, rasos e fertilidade natural alta; Topos e Altas Vertentes do relevo ondulado com solos Podzólicos drenados, fertilidade natural média e Elevações Residuais com solos Litólicos rasos, pedregosos e fertilidade natural média (BRASIL, 2005).

Quanto aos aspectos geológicos, o município está inserido no Batólito Caruaru-Arcoverde, se destacando na Província Borborema, por ser a maior unidade de associação cálcio-alcálica de alto potássio (Melo, 2000).

O clima é do tipo Tropical Semiárido com chuvas de verão, em concordância com as condições climáticas do semiárido nordestino, mostrando transição gradual de extrema semiaridez a uma maior umidade, determinadas pela topografia.

A temperatura média anual é equivalente a 22°C, atingindo as máximas durante os meses de novembro e dezembro (31°C) e mínimas durante agosto e setembro (17,9°C), esta última decorrente da orografia (BRASIL, 2005; Silva *et al.*, 2009).

Brejo da Madre de Deus apresenta vegetação de brejo e caatinga e está inserido nos domínios da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe (BRASIL, 2005). Quanto à ocupação vegetal, foi identificado que 56% da área vegetada no município potencializam o vigor e a densidade da vegetação com o aumento da altitude (Silva *et al.*, 2008). De acordo com Silva *et al.* (1998), nas referidas áreas, os tipos vegetacionais predominantes são correspondentes a uma vegetação arbustiva arbórea fechada, caracterizada por espécies com altura média de 4,0 m e indivíduos emergentes de 7,0 m, entre 550 e 750m de altitude, e ao Tipo “Brejo de Altitude”, com vegetação arbórea fechada, presença de alguns arbustos, altura média de 5,0m e indivíduos emergentes com mais de 8,0m.

A vegetação rala e esparsa recobre, aproximadamente, 40% do município (Silva *et al.*, 2008). Esta organização menos densa, aliada, entre outros, às condições decorrentes da altitude (altitude igual ou inferior a 500m), apresenta uma configuração característica de vegetação de caatinga. Silva *et al.* (1998) afirmam que, nestas áreas, a vegetação predominante é arbóreo-arbustiva aberta (caatinga),

com espécies caducifólias de altura média de 3,0m e indivíduos emergentes de 5,0m.

1.2. Seleção e caracterização do sítio de coleta

A fim de conseguir uma área que permitisse o estudo de vegetação de caatinga com acompanhamento contínuo para obtenção de medidas que necessitam a utilização de muitos métodos e equipamentos, em várias visitas técnicas para uma análise mais acurada, foi selecionado um fragmento vegetacional em Fazenda Nova, distrito do Município de Brejo da Madre de Deus, Pernambuco.

Fazenda Nova possui cobertura pedológica distinta do descrito para a sede, devido às diferenças topográficas que estimulam o desenvolvimento de caracteres fisionômicos intrínsecos (Silva *et al.*, 2009).

O solo apresenta estrutura influenciada pelo clima semiárido e seu estágio de desenvolvimento é determinado por sua posição na superfície, exposto em verdadeiras catenas de solos semiáridos (EMBRAPA – Solos, 2000). São encontrados solos do tipo Planossolo, Neossolo Regolítico e Litólico. Além destes, existe a participação de outros tipos, porém em menor expressão quanto à área da região: Argissolos, Luvisolos, Glevssolos Háplicos e os Neossolos Flúvicos, respectivamente, em ordem decrescente de extensão (Silva *et al.*, 2009; EMBRAPA – Solos, 2002).

O período chuvoso de Fazenda Nova tem início em novembro e término em julho, porém, ocorre de forma descontínua e os valores máximos de precipitação pluvial são atingidos durante os meses de março, abril e julho. Esta máxima corresponde a 50% dos 557mm registrados como precipitação média anual para a área e é justificado pela influência da zona de convergência intertropical, com apogeu no hemisfério sul em março e abril, ondas de este e pelas correntes perturbadas do sul. O período seco tem duração de sete meses (Silva *et al.*, 2009).

A temperatura média anual é equivalente ao anteriormente descrito para a sede (BRASIL, 2005; Silva *et al.*, 2009).

O fragmento vegetacional selecionado para este estudo é caracterizado pela presença de espécies arbóreo-arbustivas e caducifólias de altura média de 3,0m e indivíduos emergentes com 5,0m. As espécies estabelecidas nestes fragmentos apresentam caracteres anatômicos, morfológicos, fisiológicos e funcionais adaptados a um ambiente de intensa radiação solar, baixo teor de umidade e

precipitações escassas e irregulares devido à sua grande sensibilidade à disponibilidade de água, apresentando, em sua dinâmica populacional, uma resposta fortemente relacionada à variabilidade dos fenômenos meteorológicos atuantes sobre ela (Braga *et al.*, 2003).

2. Procedimentos Metodológicos

2.1 Procedimentos em Campo

2.1.1 Desenho experimental

Na propriedade privada Fazenda Incó, situada em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus-PE, foram delimitadas 100 parcelas de 10m x 10m (100m²), contíguas e instaladas de forma permanente, totalizando em 1 hectare (Fig. 1), seguindo recomendações para estudos de composição da paisagem de Rodrigues (1991).

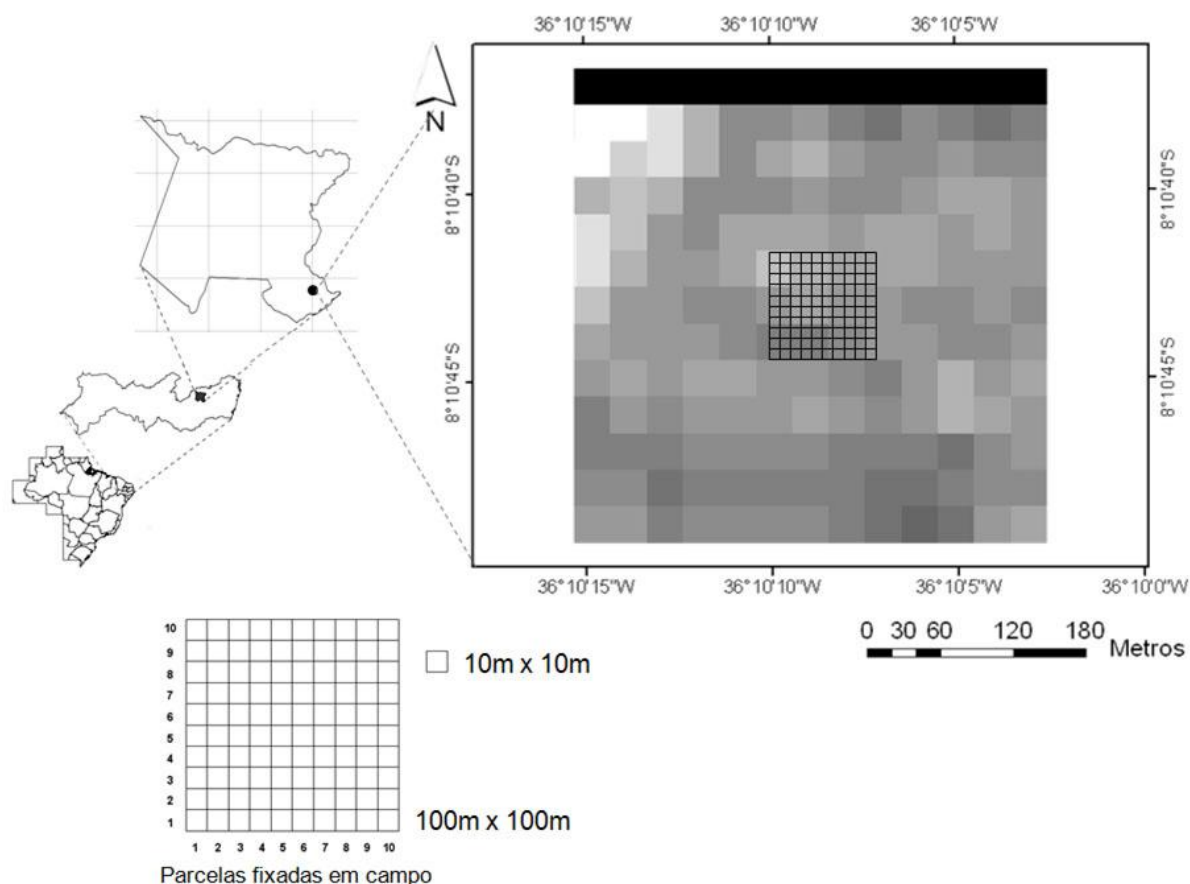


Figura 1. Localização da área de estudo e sobreposição do desenho experimental das parcelas fixadas em campo (100m²) sobre imagem de satélite sistema TM

(*Thematic Mapper*)/Landsat-5 de Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco.

2.1.2 Levantamento florístico

Foram realizadas coletas aleatórias entre os meses de maio e agosto dos anos de 2009 e 2010. Todo material botânico fértil das espécies lenhosas encontradas nas parcelas e deslocadas destas em até 1m foi coletado, devidamente etiquetado, prensado e seco em estufa de lâmpada por 3 a 5 dias.

Depois de secas e etiquetadas, as amostras foram depositadas no herbário Dárdano de Andrade Lima do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA). As plantas foram identificadas em diferentes níveis (e.g. família, gênero e espécie), seguindo o sistema de classificação de Cronquist (1981). As identificações foram realizadas com auxílio de bibliografia especializada, comparação com material de herbário e consulta aos especialistas em diversos grupos taxonômicos. A autoria dos nomes específicos foi confirmada através de consulta aos sites do Missouri Botanical Garden (<http://www.tropicos.org>) e da Flora Brasiliensis no site do Centro de Referência em Informação Ambiental-CRIA (<http://florabrasiliensis.cria.org.br>).

A descrição e a classificação da estrutura morfológica foliar seguiram a terminologia de Barroso *et al.* (2002).

2.1.3 Levantamento fitossociológico

O levantamento fitossociológico foi realizado entre os meses de maio e agosto dos anos de 2009 e 2010, mediante a utilização do método de parcela (Mueller-Dombois e Ellenberg, 1974).

Foram considerados todos os indivíduos lenhosos vivos com altura $\geq 1\text{m}$ e circunferência basal de 27cm. Destes, foram considerados: a) densidade absoluta e b) relativa, c) frequência absoluta, d) frequência relativa, e) dominância absoluta, f) dominância relativa, g) valor de importância e h) valor de cobertura, segundo a aplicação das equações abaixo:

a) *Densidade absoluta*:

$$DA = ni \cdot U/A \quad (1)$$

Onde: n_i equivale ao número de indivíduos da espécie, A se refere à área total amostra em m^2 e U a unidade amostral ($ha=10.000 m^2$).

b) Densidade relativa

$$DR_i = \frac{n_i}{N} \cdot 100 \quad (2)$$

Onde: n_i equivale ao número de indivíduos da espécie e N equivale ao número total de indivíduos.

c) Frequência absoluta

$$FA_i = \frac{P_i}{P} \cdot 100 \quad (3)$$

Onde: P_i equivale ao número total de parcelas nas quais a espécie esteve presente e P equivale ao número total de parcelas.

d) Frequência relativa

$$FR_i = \frac{FA_i}{FA_t} \cdot 100 \quad (4)$$

Onde: FA_i equivale a frequência absoluta da espécie e FA_t corresponde a frequência absoluta total ($\sum FA_i$).

e) Dominância absoluta

$$DoA = \sum Ab_i \cdot \frac{U}{A} \quad (5)$$

Onde: Ab_i equivale a área basal de indivíduos da espécie i , A corresponde a área total amostrada em m^2 e U é equivalente a unidade amostral ($ha= 10.000 m^2$).

f) Dominância relativa

$$DoR = \frac{\sum Abi}{Abt} \quad (6)$$

Onde: $\sum Abi$ equivale a soma das áreas basais dos indivíduos da espécie i e Abt corresponde a soma das áreas basais de todos os indivíduos.

g) Valor de importância

$$VI = DRi + DoRi + FRi \quad (7)$$

Onde: DRi equivale a densidade relativa da espécie i , $DoRi$ corresponde à dominância relativa da espécie i e FRi é equivalente a frequência relativa da espécie i .

h) Valor de Cobertura

$$VCi = DRi + DoRi \quad (8)$$

Onde: DRi equivale a densidade relativa da espécie i e $DoRi$ corresponde à dominância relativa da espécie i .

2.1.3 Espectrorradiometria foliar

As espécies foram selecionadas em função do valor de dominância, frequência e cobertura vegetal, seguindo metodologia de Maarel (1979). Nesta seleção, também foi observada a menor distância entre os indivíduos da mesma espécie, visando minimizar efeitos naturais de sombreamento ou algum outro tipo de interferência na estrutura das folhas e consequências nas medidas de espectrorradiometria.

As medidas foram realizadas em cinco indivíduos das espécies selecionadas, naturalmente estabelecidos nas parcelas analisadas. Foram excetuadas desta análise espécies que possuem folhas com folíolos/foliólolos com lâmina da subunidade foliar de comprimento inferior a 1cm devido a dificuldade de aquisição de dados pelo sensor do equipamento.

As medidas de reflectância foliar foram obtidas utilizando o espectrorradiômetro *FieldSpec HandHeld model, UV/VNIR* (325 – 1075 nm). As medições foram realizadas em agosto de 2010, efetuadas *in situ*, com auxílio de um *leaf clip* (acessório equivalente a uma esfera integradora) utilizando um método totalmente controlado, com incidência luminosa ortogonal e de mesma intensidade para todas as amostragens. Foram tomadas 10 medidas para cada uma das 10 folhas adultas, sadias e totalmente expostas ao sol, dos cinco indivíduos de cada espécie.

As medições foram realizadas na região mediana de folhas verdes, sadias e adultas, as quais estavam mais expostas ao sol e inseridas em ramos localizados no terço médio da copa. As leituras foram processadas para obtenção da média de reflectância foliar para cada espécie.

2.2 Procedimentos em Laboratório

2.2.1 Detecção de mudança na paisagem

A identificação da cobertura vegetal e a dinâmica da fitofisionomia foram realizadas a partir da interpretação de imagens multiespectrais de 22 de junho de 1988 e 05 de junho de 2011 do sistema “TM (*Thematic Mapper*)/Landsat-5”. Estas imagens foram selecionadas por representarem a caatinga em um período posterior às máximas de precipitação pluvial (onde as plantas, ainda que caducifólias, possuísem folhagem) e baixa densidade de nuvens, quando comparadas às demais imagens disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) no catálogo de imagens de satélites para o ponto 214, órbita 66 (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>).

O sistema TM/Landsat-5 possui como parâmetros característicos de imageamento: as bandas TM-1 (0,45 – 0,52 μm), TM-2 (0,52 – 0,60 μm), TM-3 (0,63 – 0,69 μm), TM-4 (0,76 – 0,90 μm), TM-5 (1,55 – 1,75 μm), TM-6 (10,42 - 12,50 μm) e TM-7 (2,08 – 2,35) (INPE 2006); resolução espacial de 30 m para todas as bandas, excetuando a banda TM-6, a qual apresenta resolução de 120 m; resolução temporal de 16 dias, em uma faixa de imageamento equivalente a 185km x 175km (INPE, 2006).

As imagens multiespectrais foram georreferenciadas no sistema de projeção cartográfica Transversal Universal de Mercator (UTM), coordenadas planas, com auxílio do programa ENV1 4.5. O processamento das imagens envolveu uma análise visual e estatística das características espectrais das sete bandas do sistema TM/Landsat-5, separadamente. Para o mapeamento da cobertura vegetal foram geradas imagens com valores de reflectância para cada banda analisada. Foram avaliados os pixels correspondentes às áreas amostradas em campo para análise botânica (9 pixels contíguos) e os pixels circundantes desta área.

Para obtenção das imagens com valores de reflectância foi realizada a) calibração radiométrica das imagens para obtenção da radiância espectral monocromática (Markham e Baker, 1987), com a utilização dos valores da Tabela 1, e, por fim, b) a razão entre o fluxo de radiação refletida e o fluxo de radiação incidente (reflectância) (Allen *et al.*, 2002), expressas pelas equações abaixo:

a) Radiância espectral

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{a_i + b_i}{255} ND \quad (9)$$

Onde: $L_{\lambda i}$ corresponde à radiação espectral de cada banda (Tab. 1), a_i a radiância mínima (Tab. 1), b_i a radiância máxima (Tab. 1), ND a intensidade do pixel (número inteiro entre 0 e 255).

Tabela 1. Descrição das bandas e faixas espectrais correspondentes ao sistema TM/Landsat-5. a. coeficientes mínimos de calibração; b. coeficientes máximos de calibração; $ESUN_{\lambda}$, irradiância solar espectral no topo da atmosfera.

Banda	Faixa espectral (μm)	Coeficiente de Calibração (W m ⁻² μm ⁻¹)						ESUN _λ (W m ⁻² μm ⁻¹)
		De 01/03/1984 até 04/05/2003		De 05/05/2003 até 01/04/2007		Após 02/04/2007		
		A	b	a	B	A	b	
TM-1	0,45 – 0,52	-1.52	152.10	-1.52	193.00	-1.52	169.00	1957
TM-2	0,52 – 0,60	-2.84	296.81	-2.84	365.00	-2.84	333.00	1826
TM-3	0,63 – 0,69	-1.17	204.30	-1.17	264.00	-1.17	264.00	1554
TM-4	0,76 – 0,90	-1.51	206.20	-1.51	221.00	-1.51	221.00	1036

TM-5	1,55 – 1,75	-0.37	27.19	-0.37	30.20	-0.37	30.2	215.0
TM-6	10,4 – 12,5	1.237 8	15.30 3	1.2378	15.303	1.2378	15.30 3	-
TM-7	2,08 – 2,35	-0.15	14.38	-0.15	16.50	-0.15	16.50	80.67

b) Reflectância

$$P_{\lambda i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda i}}{K_{\lambda i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad (10)$$

Onde: $L_{\lambda i}$ corresponde à radiação espectral de cada banda, $K_{\lambda i}$ a irradiância espectral solar em cada banda no topo da atmosfera, Z ao ângulo zenital e d_r ao quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol e a distância Terra-Sol em dado dia do ano.

As mudanças ocorridas na paisagem quanto à presença de vegetação foram evidenciadas através da técnica *Change Detection* do software Erdas 9.3 da sobreposição de imagens contendo valores de reflectância para os anos analisados. Como produto deste processamento obteve-se uma nova imagem classificada para identificação de perda, não-mudança e ganho de áreas com vegetação em uma escala temporal crescente.

Para a confirmação da distribuição e densidade vegetacional foi calculado o *Índice de Vegetação pela Diferença Normalizada* (IVDN). Este cálculo foi efetuado através da fórmula definida por Turck (1979) expressa abaixo:

$$IVDN = \frac{(b4 - b3)}{(b4 + b3)} \quad (11)$$

Onde: $b3$ corresponde à reflectância da banda TM-3 e $b4$ corresponde à reflectância da banda TM-4.

2.2.1.2 Precipitação pluvial

Para o conhecimento da concentração de precipitação pluvial auxiliar na análise da detecção de mudança foram utilizados valores diários acumulados dos

anos de 1988 e 2011, e para auxiliar a análise da condição biológica da vegetação foram utilizados os valores do ano de 2010, disponibilizados pelo CPTEC/INPE (2011). Como o órgão não disponibilizava os dados para o Município do Brejo da Madre de Deus foram utilizados os valores de acúmulo diário da pluviosidade do município mais próximo à área de estudo, Caruaru-PE.

2.2.1 Condição biológica da vegetação: Índices de Vegetação

Foram utilizados índices de vegetação específicos para a análise das condições fisiológicas, conteúdo hídrico e teor de pigmentação foliar, a partir dos dados obtidos através do espectrorradiômetro.

As condições hídricas apresentadas pelas folhas foram avaliadas mediante a utilização do: a) “índice de água presente na vegetação” (*PWI*, *Plant Water Index*) (Penuela et al., 1997), b) “índice de estresse da vegetação na borda vermelha” (*RVSI*, *Red-edge Vegetation Stress Index*) (Merton, 1998), c) “índice de reflectância da planta em senescência” (*PSRI*, *Plant Senescence Reflectance Index*) (Merzlyak et al., 1999), e d) “índices de água normalizado” (*NWI*, *Normalized Water Index*) modificado por Babar et al. (2006). Estes índices foram expressos pelas equações abaixo:

a) *Plant Water Index – PWI* (índice de água presente na vegetação)

$$PWI = \frac{R_{970}}{R_{900}} \quad (12)$$

Onde: R_{970} é equivalente ao valor de reflectância das folhas no comprimento de onda em 970 nm e, R_{900} , equivalente aos valores em 900 nm.

b) *Plant Senescence Reflectance Index – PSRI* (índice de reflectância da planta em senescência)

$$PSRI = R_{681} - R_{498} \quad (13)$$

Onde: R_{681} é equivalente ao valor de reflectância das folhas no comprimento de onda em 681 nm e, R_{498} , equivalente aos valores em 498 nm.

c) *Normalized Water Index* modificado – *NWI* modificado (índice normalizado de água)

$$NWI = \frac{R_{970} - R_{880}}{R_{970} + R_{880}} \quad (14)$$

Onde: R_{970} é equivalente ao valor de reflectância das folhas no comprimento de onda em 970 nm e, R_{880} , equivalente aos valores em 880 nm.

Para o estudo da eficiência fotossintética das folhas foram realizadas análises (qualitativas, quantitativas e empíricas) de pigmentos foliares, sobretudo clorofila (a e b) e carotenóides, através da utilização de índices específicos. Foram determinados: e) “índice de reflectância fotoquímica” (*PRI*, *Photochemical Reflectance Index*) (Gamon et al., 1999), f) “índice de pigmentos independente da estrutura” (*SIPI*, *Structure Insensitive Pigment Index*) (Penuelas et al., 1995), g) “índice de reflectância do carotenóide” (*CRI*, *Carotenoid Reflectance Index*) (Gitelson et al., 2002), h) “índice de clorofila pela diferença normalizadas” (*ChINDI*, *Chlorophyll normalized difference index*) (Richardson et al., 2002), i) “razão simples de pigmento específico para a clorofila a” (*PSSRa*, *Pigment Specific Simple Ratios for Chlorophyll a*) (Blackburn, 1998), j) “razão simples de pigmento específico para a clorofila b” (*PSSRb*, *Pigment Specific Simple Ratios for Chlorophyll b*) (Blackburn, 1998), e k) “índice de vegetação pela diferença normalizada” (*NDVI*, *Normalized Difference Vegetation Index*) (Penuelas e Inoue., 1999). Estes índices foram expressos pelas equações abaixo:

d) *Photochemical Reflectance Index* – *PRI* (índice de reflectância fotoquímica)

$$PRI = \frac{R_{529} - R_{569}}{R_{529} + R_{569}} \quad (15)$$

Onde: R_{529} é equivalente ao valor de reflectância das folhas no comprimento de onda em 529 nm e, R_{569} , equivalente aos valores em 569 nm.

e) *Carotenoid Reflectance Index - CRI, (índice de reflectância do carotenóide)*

$$CRI = \frac{1}{R_{508}} - \frac{1}{R_{701}} \quad (16)$$

Onde: R_{508} é equivalente ao valor de reflectância das folhas no comprimento de onda em 508 nm e, R_{701} , equivalente aos valores em 701 nm.

f) *Chlorophyll normalized difference index - ChlNDI (índice de clorofila pela diferença normalizadas)*

$$ChlNDI = \frac{R_{750} - R_{705}}{R_{750} + R_{705}} \quad (17)$$

Onde: R_{750} é equivalente ao valor de reflectância das folhas no comprimento de onda em 750 nm e, R_{705} , equivale aos valores de reflectância em 705 nm.

g) *Pigment Specific Simple Ratios for Chlorophyll a - PSSRa (razão simples de pigmento específico para a clorofila "a")*

$$PSSRa = \frac{R_{800}}{R_{675}} \quad (18)$$

Onde: R_{800} é equivalente ao valor de reflectância das folhas no comprimento de onda em 800 nm e, R_{675} , equivale aos valores de reflectância em 675 nm.

h) *Pigment Specific Simple Ratios for Chlorophyll b - PSSRb (razão simples de pigmento específico para a clorofila "b")*

$$PSSRb = \frac{R_{800}}{R_{650}} \quad (19)$$

Onde: R_{800} é equivalente ao valor de reflectância das folhas no comprimento de onda em 800 nm e, R_{650} , equivale aos valores de reflectância em 650 nm.

i) *Normalized Difference Vegetation Index – NDVI_{hy} (índice de vegetação pela diferença normalizada a partir de dados espectrais)*

$$NDVI = \frac{R_{900} - R_{680}}{R_{900} + R_{680}} \quad (20)$$

Onde: R_{846} é equivalente ao valor de reflectância das folhas no comprimento de onda em 846 nm e, R_{671} , equivale aos valores de reflectância em 671 nm.

III Resultados e Discussão

A flora arbóreo/arbustiva, componente da paisagem de caatinga em Fazenda Nova, apresentou quatorze espécies, distribuídas entre sete famílias, totalizando 1.084 indivíduos (Tab. 2).

As leguminosas (Fabaceae) se destacam pela riqueza de espécies e as Euphorbiaceae pela abundância de indivíduos (Tab. 2). Levantamentos fitossociológicos anteriores indicaram comportamento similar para famílias estabelecidas na caatinga e apontam essas famílias como as principais dominantes no bioma (Rodal, 1992; Gomes, 1979; Ferreira e Vale, 1992; Araújo; Sampaio; Rodal, 1995; Rodal *et al.*, 1998; Corrêa e Costa *et al.*, 2001; Candido *et al.*, 2002; Lemos e Rodal, 2002; Andrade *et al.*, 2005; Santana e Souto, 2006).

As Anacardiaceae e as Brassicaceae são as famílias com menor abundância de indivíduos, representadas por *Myracrodruon urundeuva* (Fr. Allem.) Engl. (Anacardiaceae) e duas espécies do gênero *Capparis* L. (Brassicaceae) (Tab. 2). Espécies destas famílias apresentam maior abundância de indivíduos em fragmentos vegetacionais em bom estado de conservação (Andrade *et al.*, 2005).

A riqueza de espécies encontrada foi muito baixa, quando comparada ao encontrado em outros levantamentos realizados para a caatinga no Estado de Pernambuco e estados vizinhos (Rodal, 1992; Gomes, 1979; Ferreira e Vale, 1992; Araújo *et al.*, 1995; Rodal *et al.*, 1998; Corrêa e Costa *et al.*, 2001; Candido *et al.*, 2002; Lemos e Rodal, 2002; Andrade *et al.*, 2005; Santana e Souto, 2006). De

acordo com Pereira (2003) e Andrade *et al.* (2005), isto é indicativo de que a área passou/passa por intensa perturbação ambiental, uma vez que a riqueza de espécies deve ser proporcional ao bom estado de conservação dos fragmentos vegetacionais.

Tabela 2. Riqueza de espécies lenhosas naturalmente estabelecidas em uma área de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil.

Espécie	Família	Nome Vulgar	Nº de Indivíduos
<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan.	Fabaceae	Angico	29
<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart.	Apocynaceae	Pereiro	131
<i>Bauhinia cheilantha</i> (Bong). Steud.	Fabaceae	Pata-de-vaca	14
<i>Capparis flexuosa</i> (L.) L.	Brassicaceae	Feijão bravo	3
<i>Capparis yco</i> Mart. & Eichler	Brassicaceae	Icozeiro	6
<i>Croton blanchetianus</i> Baill.	Euphorbiaceae	Marmeleiro	548
<i>Jatropha molissima</i> Muell. Arg.	Euphorbiaceae	Pinhão	6
<i>Mimosa tenuiflora</i> cf. (Willd.) Poir.	Fabaceae	Jurema preta	47
<i>Myracrodruon urundeuva</i> (Fr. Allem.) Engl.	Anacardiaceae	Aroeira	19
<i>Piptadenia stipulacea</i> (Benth.) Ducke	Fabaceae	Jurema branca	155
<i>Poincianella pyramidalis</i> (Tul.) L.P. Queiroz	Fabaceae	Catingueira	37
<i>Senna macranthera</i> (DC. Ex collad.) H.S. Irwin & Barnaby	Fabaceae	Fedegoso	7
<i>Sideroxylon obtusifolium</i> (Roem. & Schult.) T.D. Penn.	Sapotaceae	Quixabeira	57
<i>Ziziphus joazeiro</i> Mart.	Rhamnaceae	Juá	25

Os dados de estrutura da comunidade apontam que a cobertura vegetal total de espécies lenhosas corresponde a 52% (5.200 m²) da área amostrada. Os percentuais residuais correspondem à vegetação herbácea e/ou indivíduos lenhosos em estádios iniciais, e ao solo desnudo, com grande destaque para os afloramentos rochosos. Esta configuração de cobertura vegetal lenhosa está alinhada com a estrutura fisionômica de uma caatinga aberta (Andrade-Lima, 1981; Silva *et al.*, 2008).

A altura média dos indivíduos variou de 3m a 12m, com formação de quatro classes de altura média para o fragmento vegetacional (Fig. 2). O maior número de espécies pertence à classe 1 e corresponde aos indivíduos com até 3m de altura

(Fig.3). A média desta classe, se somada às classes 2 (3m - 3,5m) e 3 (3,5m – 4,0m), resulta em uma média de 3,5m para o fragmento vegetacional. Estudos apontam uma variação de média de altura de 2,5m a 3,5m para a caatinga (Teles *et al.*, 2005; Francelino *et al.*, 2003; Chaves *et al.*, 2002).

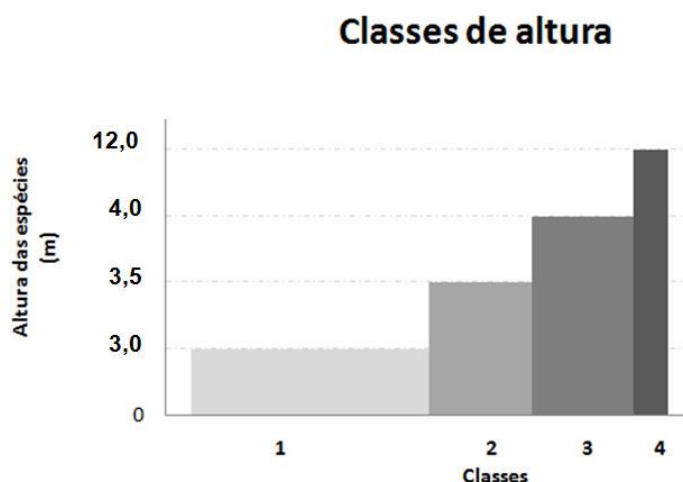


Figura 2. Classes de altura de espécies lenhosas em 1 hectare de uma área de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil.

A densidade absoluta total das espécies corresponde a 2.538,73 ind/ha⁻¹ (Tab. 3). Este valor é inferior a densidade absoluta total de outros fragmentos de caatinga a outros fragmentos de caatinga (Sampaio, 1996) e indica que o fragmento estudado apresenta estrutura fisionômica aberta. De acordo com Amorim *et al.* (2005), a densidade absoluta total de espécies por hectare para os levantamentos fitossociológicos para a caatinga nas últimas décadas foram, em sua quase totalidade, inferiores àqueles encontrados por Sampaio (1996), sugerindo um decréscimo de indivíduos por área ao longo de um determinado período de tempo.

Tabela 3. Parâmetros de estrutura e fitossociológicos de espécies lenhosas de uma área de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil. DA, densidade de espécies vivas (ind/ha⁻¹). DoR, dominância relativa (%). DR, densidade relativa (%). FR, frequência relativa (%). NP, número de parcelas em que a espécie ocorre. VC, valor de cobertura (m²). VI, valor de importância (%).

Espécie	NP	DA	DR	FR	DoR	VI	VC
---------	----	----	----	----	-----	----	----

<i>Anadenanthera colubrina</i>	22	131,8	2,67	5,37	0,02	8,08	2,70
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	72	181,9	12,50	17,60	0,11	30,21	12,61
<i>Bauhinia cheilantha</i>	9	155,5	1,34	2,20	0,01	3,55	1,35
<i>Capparis flexuosa</i>	2	150,0	0,29	0,48	0,002	0,77	0,28
<i>Capparis yco</i>	6	100,0	0,57	1,46	0,004	2,04	0,57
<i>Croton blanchetianus</i>	93	589,2	52,29	22,73	0,55	75,58	52,84
<i>Jatropha molissima</i>	4	150,0	0,57	0,97	0,004	1,55	0,57
<i>Mimosa tenuiflora</i> cf.	38	123,6	4,48	9,29	0,03	13,81	4,52
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	15	126,6	1,81	3,66	0,02	5,50	1,83
<i>Piptadenia stipulacea</i>	67	231,3	14,79	16,38	0,07	31,24	14,86
<i>Poincianella pyramidalis</i>	24	154,1	3,53	5,86	0,032	9,43	3,56
<i>Senna macranthera</i>	5	140,0	0,67	1,22	0,008	1,89	0,67
<i>Sideroxylon obtusifolium</i>	33	172,7	5,44	8,06	0,05	13,56	5,49
<i>Ziziphus joazeiro</i>	19	131,5	2,39	4,64	0,03	7,06	2,42

As espécies apresentaram abundância de indivíduos diferenciada (Tab. 2). *Croton blanchetianus* (548 indivíduos), *Piptadenia stipulacea* (155 indivíduos) e *Aspidosperma pyrifolium* (131 indivíduos) destacam-se por apresentarem maior número de indivíduos (Tab.2), correspondendo aos maiores percentuais do total de indivíduos presentes na área (frequência relativa), com 22,83%, 17,60% e 16,38%, respectivamente (Tab. 3). *Croton blanchetianus*, *Piptadenia stipulacea* e *Aspidosperma pyrifolium* também se destacam pela distribuição espacial (frequência absoluta), onde a primeira espécie esteve presente em mais de 90% das parcelas amostradas, a segunda, em 67%, e a terceira em 72% (Tab. 3). Estas espécies são citadas como plantas altamente adaptadas a uma intensa luminosidade e, portanto, frequentes em ambientes com menor densidade de indivíduos por área (Pereira *et al.*, 2001; Sampaio *et al.*, 1998; Sampaio, 1996).

Croton blanchetianus, *Piptadenia stipulacea* e *Aspidosperma pyrifolium*, reconhecidamente, atuam como pioneiras no processo de sucessão ecológica (Pereira *et al.*, 2001; Sampaio *et al.*, 1998; Sampaio, 1996). As máximas de valor de importância ecológica e funcional alcançadas por estas espécies (Tab. 3) indicam que a área se encontra em estágio sucessional inicial de ocupação/recuperação vegetal.

A análise do fragmento vegetacional, mediante a utilização da técnica de detecção de mudança ocorrida na paisagem de 1888 a 2011, indica que em uma

área de 10.500m² houve mudança em quase 6.000 m² (Fig. 3). Desta, 2.800m² correspondem a elementos acrescidos (ganho) na paisagem e 3.100 m² corresponde à perda (Fig. 3). O cenário de não-mudança corresponde a 4.550 m² e consideram, também, as perdas menos expressivas para o referido parâmetro.

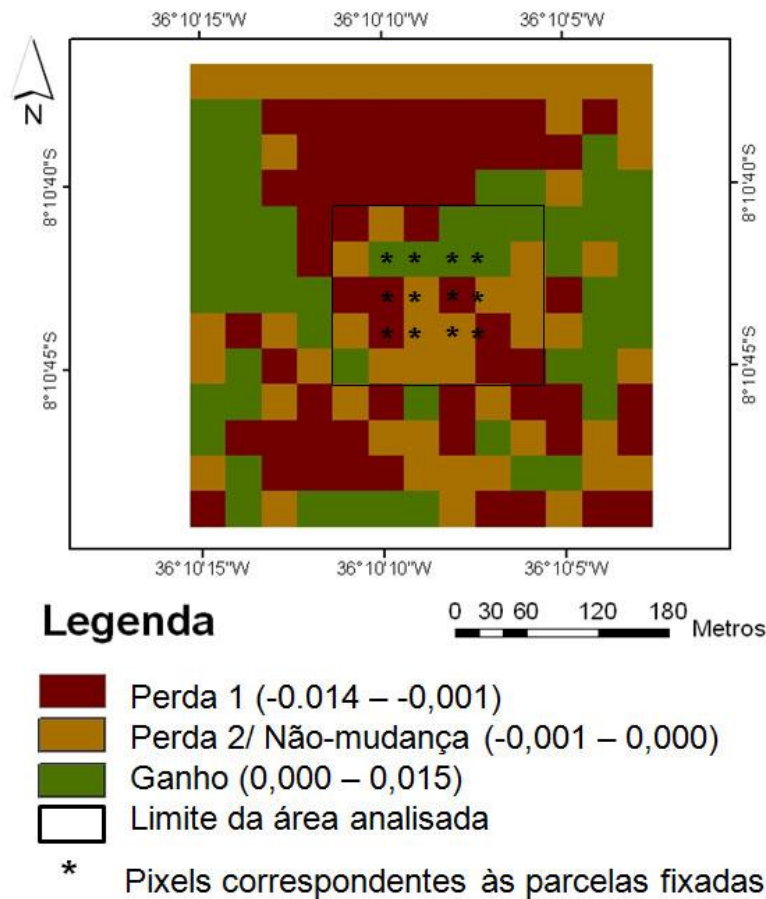


Figura 3. Mapa de detecção de mudança da paisagem em um fragmento vegetacional de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil, ocorridos entre 1988 e 2011.

A dinâmica da paisagem ocorrida entre 1988 e 2011 é justificada, entre outros processos, pelos fatores climáticos atuantes durante este período. O regime de precipitação pluvial exerce grande influência sobre a fenologia das espécies vegetais, a qual modifica a paisagem devido às respostas apresentadas às oscilações pluviais sobre as plantas. Em regiões semiáridas, a transformação ocorrida na paisagem pode ser decorrente da presença de espécies vegetais, cujos indivíduos foram suprimidos como consequência da susceptibilidade a uma restrição

hídrica ou, ainda, em função de mecanismos de adaptação a essa condição, como a caducifolia (Sampaio e Rodal, 2000).

O regime de precipitação pluvial foi distinto para o primeiro semestre dos anos de 1988 e 2011 (Fig. 4). Em 1988, houve menor precipitação que no ano de 2011 e as chuvas ocorreram com distribuição concentrada em poucos dias com valores máximos de acúmulos diários equivalentes a 25mm/dia (Fig. 4). Isto é justificado pelo fenômeno meteorológico atuante El Niño (CPTEC/INPE, 2011).

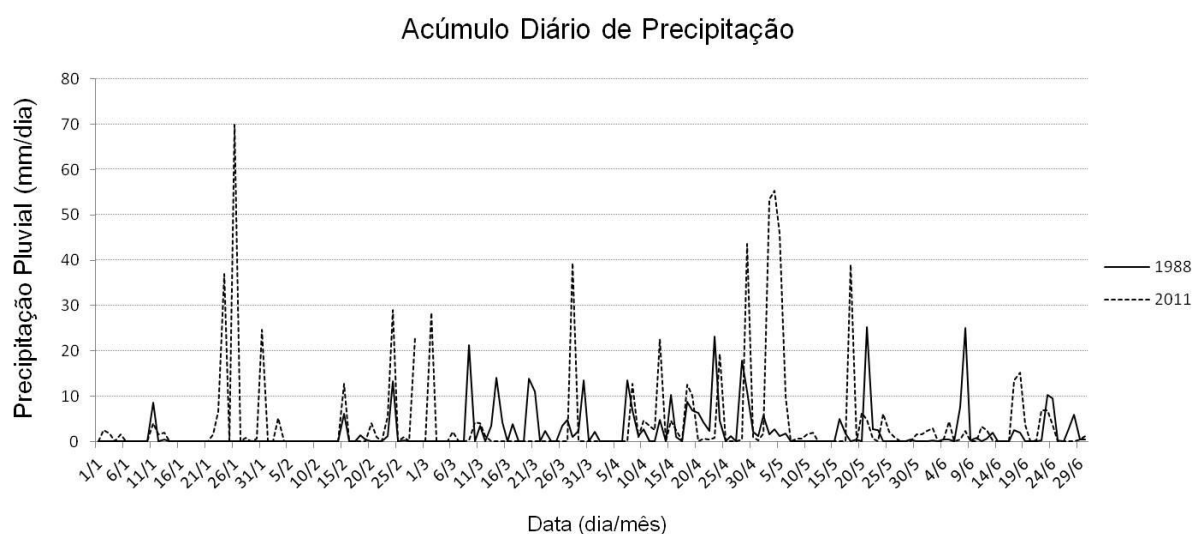


Figura 4. Acúmulo diário de precipitação pluvial para o primeiro semestre dos anos de 1988 e 2011 em Caruaru, Pernambuco, Brasil.

A maior concentração de dias chuvosos e os altos valores de acúmulo diário de precipitação em 2011 (Fig. 4) é justificada pela influência do fenômeno La Niña (CPTEC/INPE, 2011).

Embora 2011 tenha sido um ano com mais água disponível e fosse esperado um aumento no percentual de cobertura vegetal, os valores de NDVI indicam que a paisagem em 1988 apresentava uma vegetação com densidade maior que aquela em 2011 (Fig. 5). De acordo com Lourenço e Landim (2004), o valor de NDVI é proporcional à densidade e vigor de vegetação presente na paisagem.

Os dados para o ano de 2011 indicam uma redução do vigor e densidade vegetacional (folhas e/ou indivíduos) em, aproximadamente, 9.000m². Isto pode ser justificado pela influência antrópica (extração de parte das espécies para fins

diversos), danos causados pelo gado que é manejado em uma área vizinha e tem acesso ao fragmento, e/ou ainda pela dinâmica fenológica das espécies que compõem a paisagem atual (2011), a qual pode ser diferenciada daquela presente na paisagem em 1988 (Sampaio e Rodal, 2000).

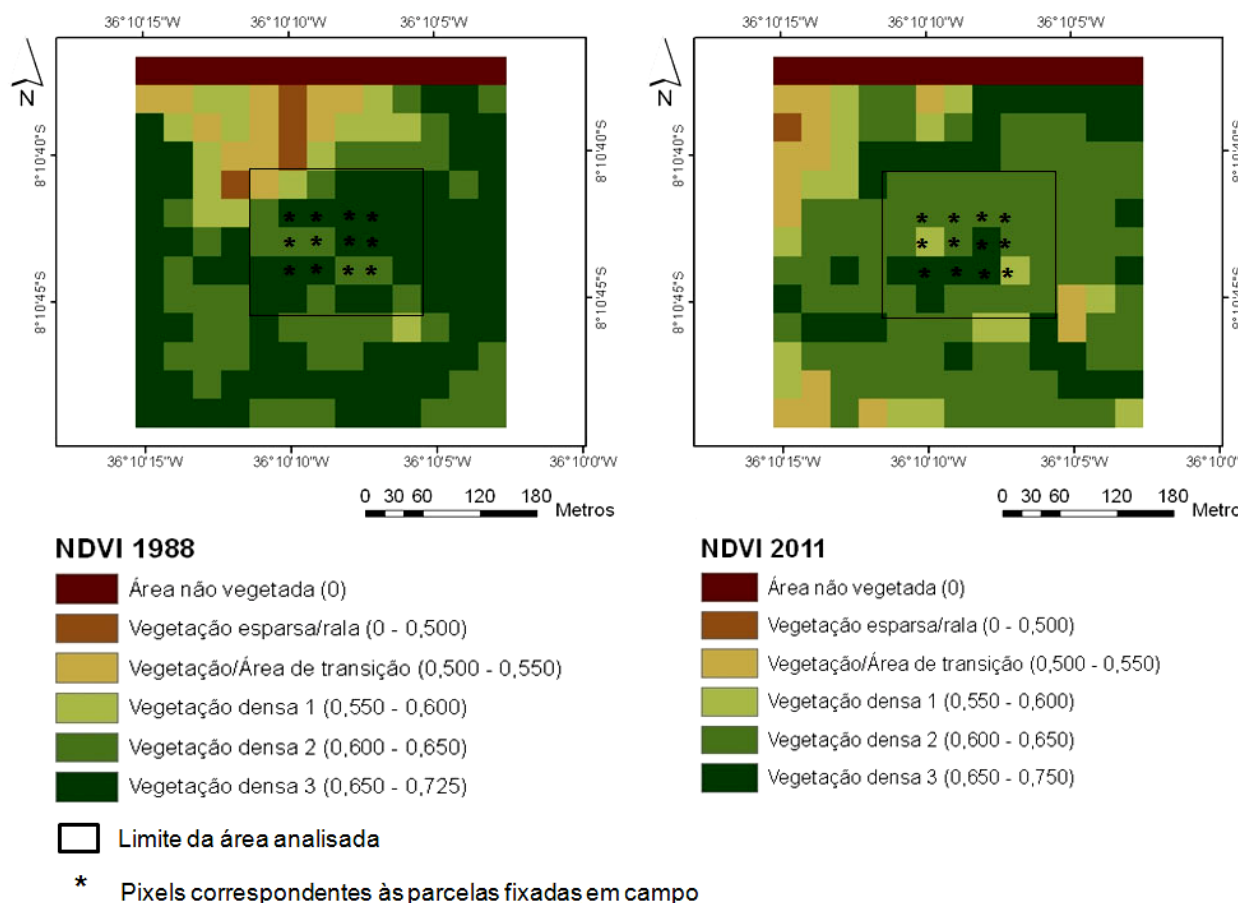


Figura 5. Distribuição fitosiográfica a partir da imagem com valores de *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) em um fragmento vegetacional em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil nos anos de 1988 e 2011.

As condições ambientais impostas por um ambiente perturbado sobre as plantas pioneiras requerem destas uma grande capacidade funcional relacionada à sua manutenção (uso eficiente da água e fotossíntese). Neste sentido, analisamos as condições biológicas de *Aspidorperma pyrifolium*, *Croton blanchetianus*, *Poincianella pyramidalis* e *Sideroxylon obtusifolium*. Os dados correspondem às condições biológicas apresentadas pelas espécies um mês após dias com precipitação (50mm/dia) contínua (Fig. 6). Quanto aos parâmetros microclimáticos, o ar apresentou umidade relativa igual a 45% e temperatura média

de 32°C. As folhas apresentaram temperatura média em suas superfícies equivalente a 27°C.

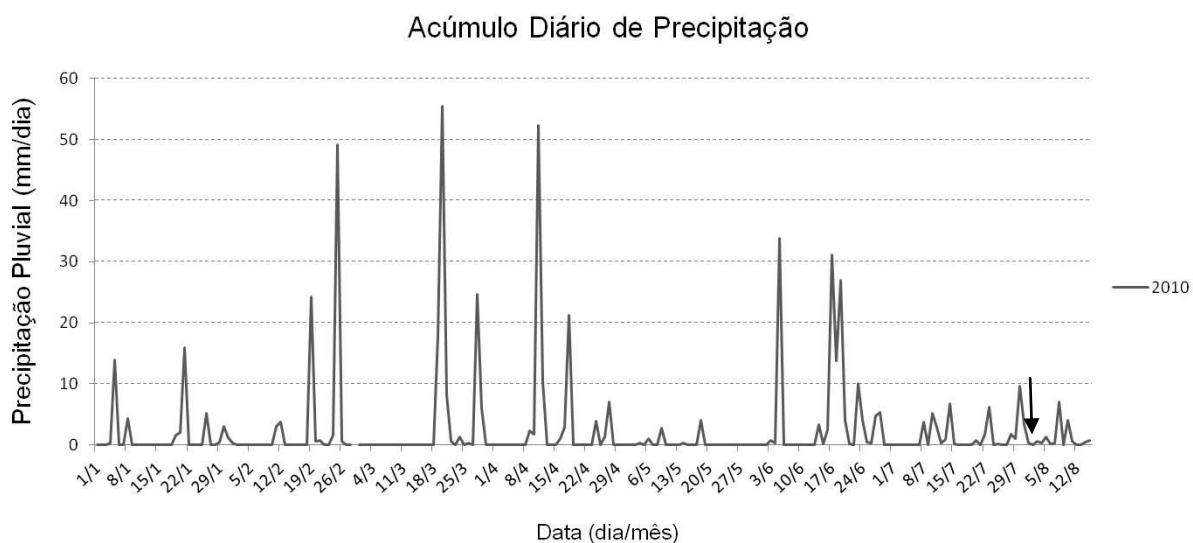


Figura 6. Acúmulo diário de precipitação pluvial de janeiro a agosto de 2010 em Caruaru, Pernambuco, Brasil. Seta, dia da coleta.

O índice de água na planta (PWI) revelou o conteúdo hídrico armazenado nas folhas (Fig. 7). Os valores de PWI indicam o maior volume hídrico nas folhas de *Poincianella pyramidalis*, seguido por *Croton blanchetianus*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Sideroxylon obtusifolium*, em ordem decrescente (Fig. 7). Embora estas espécies estejam submetidas às mesmas pressões ambientais, as diferenças relativas à quantidade de água nas folhas são decorrentes das diferentes estratégias quanto ao uso/acúmulo de água pela planta (Silva *et al.*, 2004).

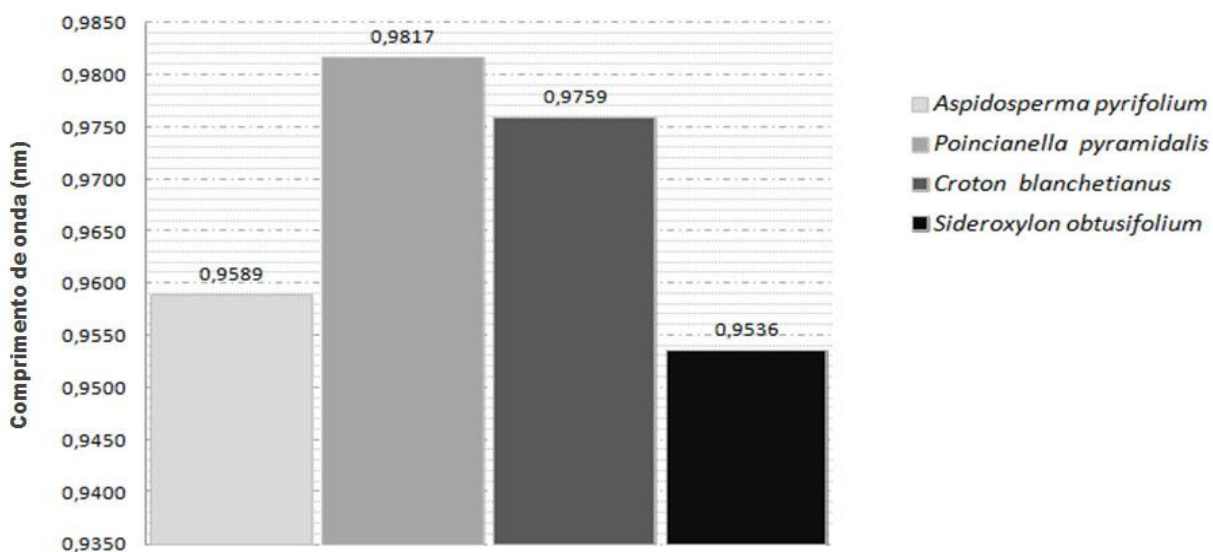


Figura 7. Valores de *Plant Water Index* (PWI) para *Aspidosperma pyrifolium*, *Poincianella pyramidalis*, *Croton blanchetianus* e *Sideroxylon obtusifolium*, espécies lenhosas dominantes em uma área de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil.

Os valores de NWI corroboram os resultados apresentados para o índice PWI para a concentração de volume de água na folha e se caracterizaram por serem inferiores a zero para todas as espécies analisadas (Fig. 8). Destas, destacam-se *Sideroxylon obtusifolium* e *Aspidosperma pyrifolium* (Fig. 8). Os valores negativos de NWI indicam que todas as espécies apresentam deficiência hídrica, comum às plantas de ambientes áridos (Oliveira *et al.*, 2010; Holanda e Guerra, 2010).



Figura 8. Valores de *Normalized Water Index* (NWI) para *Aspidosperma pyrifolium*, *Poincianella pyramidalis*, *Croton blanchetianus* e *Sideroxylon obtusifolium*, espécies lenhosas dominantes em uma área de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil.

Os valores de PSRI indicam os níveis de estresse e/ou senescência foliar, onde *Sideroxylon obtusifolium* e *Aspidosperma pyrifolium* se destacam por apresentar características de estresse (Fig. 9). O déficit hídrico foliar é um dos principais fatores estressantes para o vegetal, uma vez que uma série de processos

fisiológicos e manutenção/integridade estrutural são dependentes da disponibilidade de água na planta (Larcher, 2000; Taiz e Zeiger, 2004).

As espécies apresentaram diferentes valores para o PRI (Fig. 10). Este índice indica a eficiência foliar quanto ao uso da luminosidade para síntese de fotoassimilados, onde valores mais próximos a zero correspondem às plantas mais fotossinteticamente ativas. Neste sentido, *Croton blanchetianus* apresenta uma maior atividade fotossintética, seguido por *Sideroxylon obtusifolium* e *Aspidosperma pyrifolium*, e *Poincianella pyramidalis* encontra-se fotossinteticamente inativo/repouso (Fig. 10).

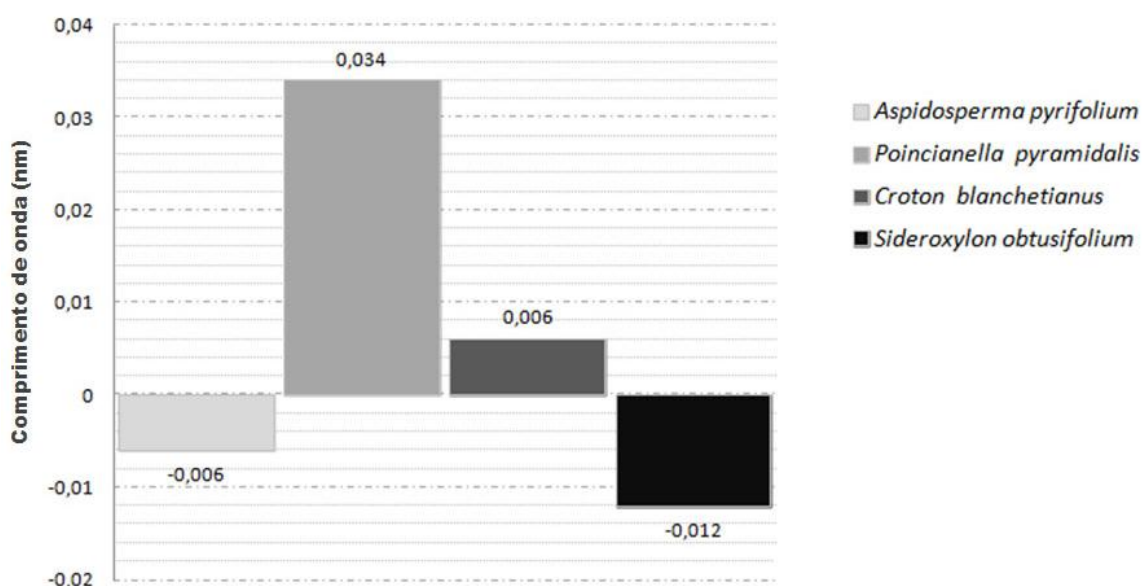


Figura 9. Valores de *Plant Senescence Reflectance Index* (PSRI) para *Aspidosperma pyrifolium*, *Poincianella pyramidalis*, *Croton blanchetianus* e *Sideroxylon obtusifolium*, espécies lenhosas dominantes em uma área de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil.

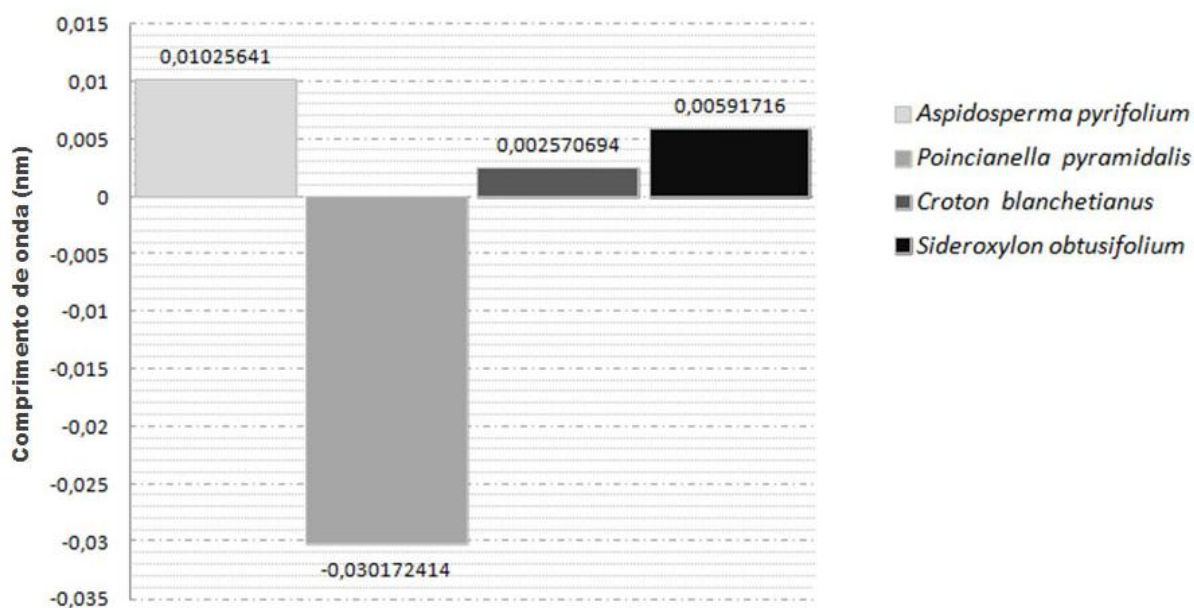


Figura 10. Valores de *Photochemical Reflectance Index* (PRI) para *Aspidosperma pyriform*, *Poincianella pyramidalis*, *Croton blanchetianus* e *Sideroxylon obtusifolium*, espécies lenhosas dominantes em uma área de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil.

Quanto à pigmentação, *Croton blanchetianus* se destaca entre as espécies por apresentar o maior valor para a clorofila total (Fig. 11). *Poincianella pyramidalis* apresentou o menor valor para o mesmo parâmetro (Fig. 11). Estudos realizados por Bjorkman e Holmgren (1963), Graça (1983), Nygren e Kellomaki (1983; 1984), Tinoco e Vazques-Yanes (1985) e Lee (1988) apontam que as espécies não apresentam resposta uniforme quanto a quantidade de clorofila total. O diferencial de valores entre as espécies correspondem ao potencial de ajustes das espécies à intensidade de luminosidade incidente sobre suas folhas (Larcher, 2000; Taiz e Zeiger, 2004; Fahn, 2000).

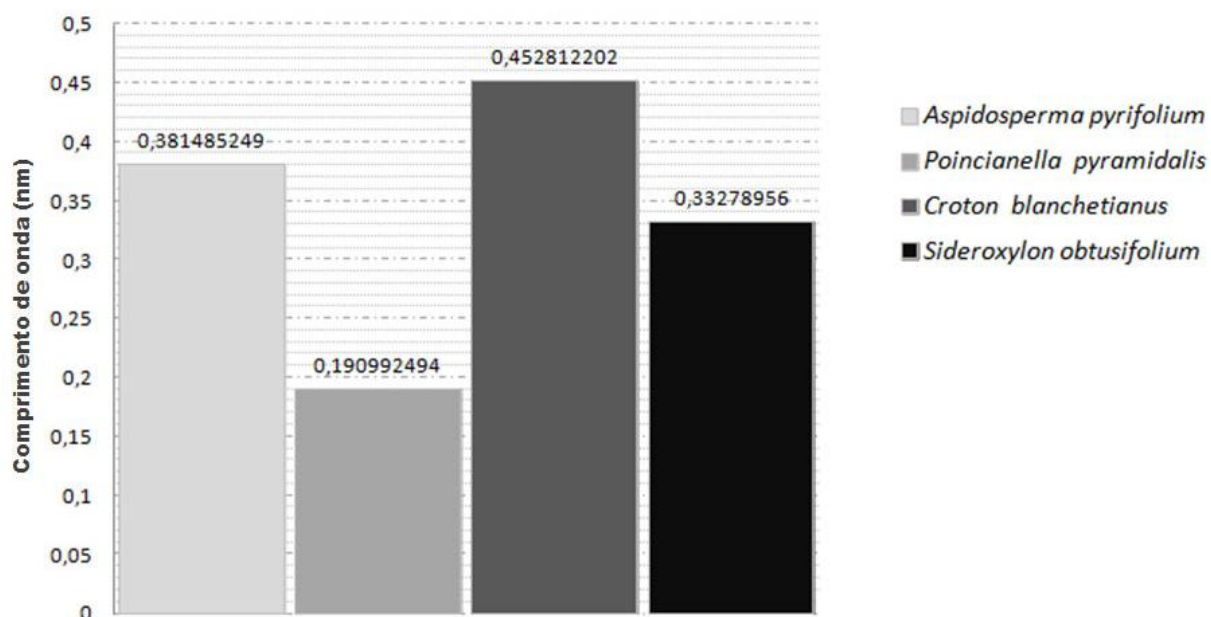


Figura 11. Valores de *Chlorophyll Normalized Difference Index* (ChINDI) para *Aspidosperma pyrifolium*, *Poincianella pyramidalis*, *Croton blanchetianus* e *Sideroxylon obtusifolium*, espécies lenhosas dominantes em uma área de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil.

Os valores de PSSRa indicaram a presença de clorofila “a”, com maiores valores em *Sideroxylon obtusifolium* e *Aspidosperma pyrifolium* (Fig. 12). Este pigmento ocorre em todas as células fotossintetizadoras e apresentam grande importância no processo da bioconservação de energia (Magalhães, 1985).

Quanto à clorofila “b”, representados através dos valores de PSSRb, *Sideroxylon obtusifolium* e *Croton blanchetianus*, apresentaram os maiores valores, estando muito próximos entre si (Fig. 13). A maior quantidade deste pigmento viabiliza a captação de energia em comprimentos de onda não referentes à clorofila “a” e a transferência desta energia à molécula de clorofila “a”, a qual realiza, de fato, os processos fotoquímicos da fotossíntese (Whatley e Whatley, 1982; Engel e Poggiani, 1991).

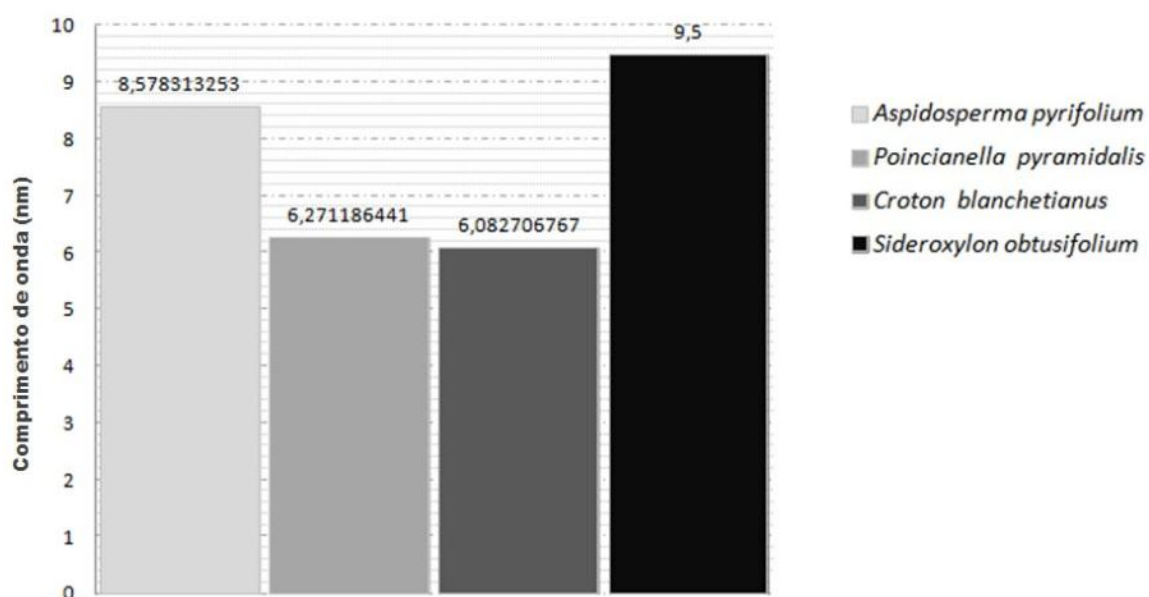


Figura 12. Valores de *Pigment Specific Simple Ratio* (PSSRa) (clorofila “a”) para *Aspidosperma pyrifolium*, *Poincianella pyramidalis*, *Croton blanchetianus* e *Sideroxylon obtusifolium*, espécies lenhosas dominantes em uma área de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil.

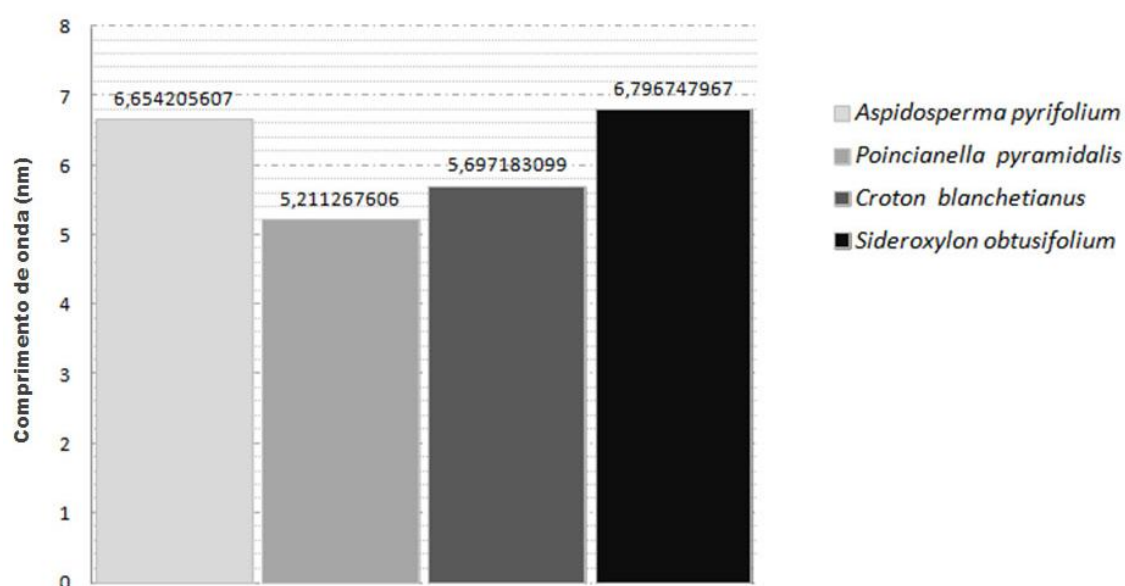


Figura 13. Valores de *Pigment Specific Simple Ratio* (PSSRb) (clorofila b) para *Aspidosperma pyrifolium*, *Poincianella pyramidalis*, *Croton blanchetianus* e *Sideroxylon obtusifolium*, espécies lenhosas dominantes em uma área de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil.

Os valores de CRI apresentados pelas espécies indicaram a concentração de carotenóides, com maior e menor valor exibidos por *Poincianella pyramidalis* e *Croton blanchetianus*, respectivamente (Fig. 14). Estes pigmentos exercem função auxiliar na captação de energia luminosa, além de atuarem como fotoprotetores contra danos oxidativos (Uenojo *et al.*, 2007).

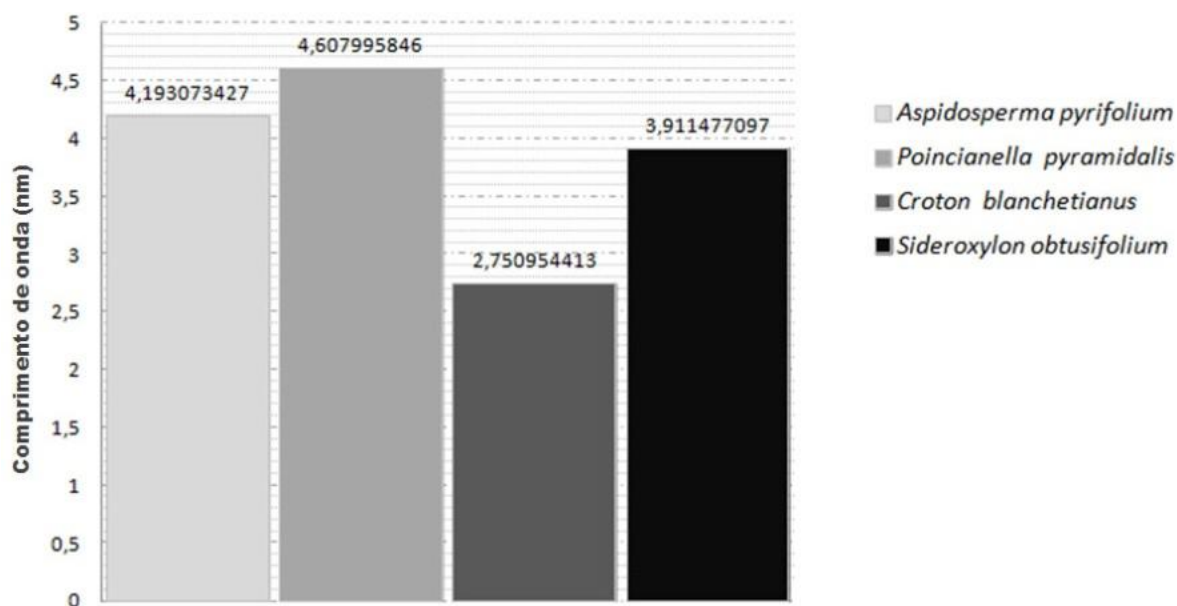


Figura 14. Valores de *Carotenoid Reflectance Index* (CRI) para *Aspidosperma pyrifolium*, *Poincianella pyramidalis*, *Croton blanchetianus* e *Sideroxylon obtusifolium*, espécies lenhosas dominantes em uma área de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil.

O valores de $NDVI_{hy}$ indicam a diferença de vigor foliar apresentado pelas espécies analisadas, com maior valor para *Sideroxylon obtusifolium* e menor, para *Croton blanchetianus* (Fig. 15). Estes valores são justificados pela configuração estrutural da folha, além do teor de água e pigmentos.

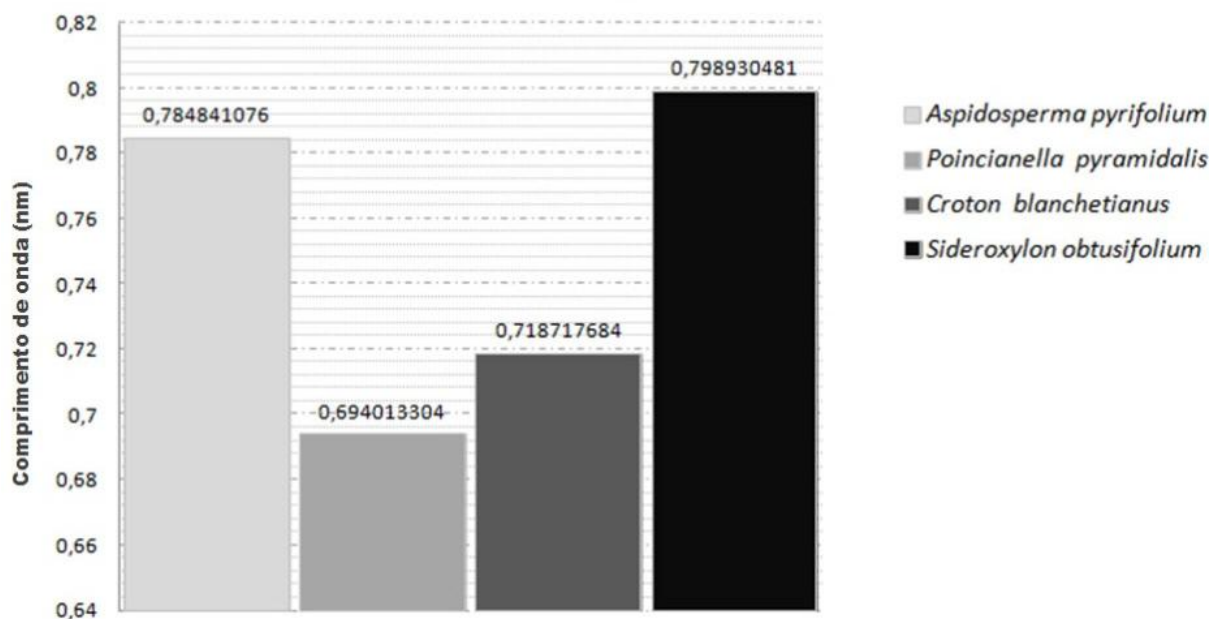


Figura 15. Valores de *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI_{hy}) a partir de dados hiperespectrais para *Aspodosperma pyriforme*, *Poincianella pyramidalis*, *Croton blanchetianus* e *Sideroxylon obtusifolium*, espécies lenhosas dominantes em uma área de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil.

Aspodosperma pyriforme, *Poincianella pyramidalis*, *Croton blanchetianus* e *Sideroxylon obtusifolium* apresentam configuração estrutural foliar que as diferenciam entre si (Fig. 16 A-D). Esta configuração estrutural justifica as diferenças encontradas para os valores de NDVI apresentados pelas espécies (Sims e Gamon, 2002; Carrielo *et al.*, 2003).

Aspodosperma pyriforme apresenta epiderme foliar unisseriada, onde ocorrem tricomas simples. A espessura total da folha é igual a $188,31 \pm 4,39 \mu\text{m}$. O mesofilo é compacto e dorsiventral, com uma camada de parênquima paliçádico com células alongadas que correspondem a mais de 50% da espessura total do mesofilo (Fig. 16 A). Idioblastos contendo drusas estão imersos no parênquima (Fig. 16 A).

Poincianella pyramidalis apresenta epiderme unisseriada e tricomas unicelulares tectores simples e escassos, ocorrendo em ambas às faces da folha. A espessura total da folha é igual a $188,18 \pm 2,01 \mu\text{m}$. O mesofilo apresenta parênquima clorofiliano compacto e dorsiventral, com uma camada de parênquima paliçádico ocupando quase 50% da espessura total do mesofilo e com três a quatro camadas de parênquima esponjoso. Não foram encontrados cristais monohídricos (Fig. 16 B).

Sideroxylon obtusifolium apresenta arquitetura foliar com epiderme unisseriada, onde ocorrem tricomas simples e ramificados (Fig. 16 C). A espessura total da folha é igual a $199,24 \pm 2,02 \mu\text{m}$, sendo a folha mais espessa entre as espécies analisadas. O mesofilo é compacto e dorsiventral, com 4 camadas de parênquima paliçádico que correspondem a 50% do mesofilo. Idioblastos contendo drusas estão imersos no parênquima.

Croton blanchetianus apresenta epiderme foliar unisseriada, onde ocorrem tricomas pluricelulares estrelados, em ambas as faces. A espessura total da folha é igual a $105,35 \pm 2,75 \mu\text{m}$. O mesofilo é compacto e dorsiventral, com uma camada de parênquima paliçádico com células alongadas que correspondem a mais de 50% da espessura total do mesofilo (Fig. 16 D). Idioblastos contendo drusas estão imersos no parênquima e ocorrem, preferencialmente, entre as células do parênquima paliçádico, naquelas imediatamente abaixo da face superior da epiderme.

As configurações estruturais apresentadas pelas espécies são típicas de ambientes xerofíticos, como a caatinga, e atuam minimizando os danos causados pela irradiação solar direta sobre a folha e atuam como refletores da luminosidade excessiva (Fahn e Cutler, 1992).

De acordo com Sims e Gamon (2002), a espessura foliar, maior número de estratos de parênquima clorofiliano, sobretudo parênquima paliçádico, ou o maior número de área ocupado por este tecido no mesofilo, aumenta a reflectância foliar. Isto justifica os valores de NDVI_{hy} das espécies analisadas, com maior valor deste índice exibido pela espécie de maior espessura total da folha, *Sideroxylon obtusifolium*.

Além da espessura foliar os tricomas e os cristais também ampliam os valores de reflectância (Gausman e Cardenas, 1968). Os tricomas atuam como barreira física à absorção da luz e os cristais, através da sua geometria estrutural multifacetada, ampliam e espalham a luz no interior da folha (Fahn e Cutler, 1992). Estes dois caracteres estiveram presentes em *Croton blanchetianus* e justificam que esta espécie, embora possua a menor espessura total foliar entre as espécies, exiba valor de NDVI_{hy} superior a uma espécie que apresenta quase que o dobro de espessura foliar, *Poincianella pyramidalis*.

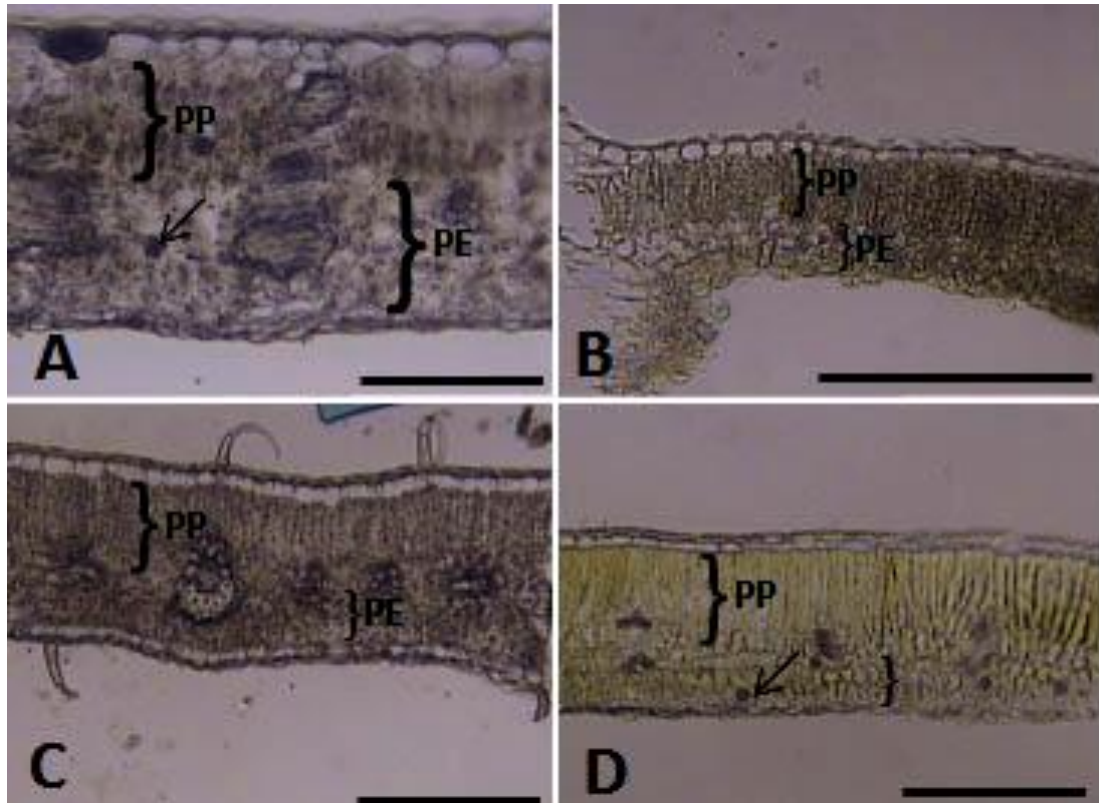


Figura 16. Vista transversal da folha de espécies lenhosas dominantes em uma área de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil: A. *Aspidosperma pyrifolium*. B. *Poincianella pyramidalis*. C. *Sideroxylon obtusifolium*. D. *Croton blanchetianus*. PE, parênquima esponjoso. PP, parênquima paliçádico. Seta, cristais. Barras, 100μm.

IV Conclusões

A análise florística e fitossociológica possibilitou a ampliação do conhecimento sobre a composição estrutural e a dinâmica da vegetação de caatinga.

A identificação da riqueza e abundância de espécies lenhosas indicou a área estudada como alvo de perturbação ambiental, em etapa inicial de sucessão ecológica. Isto foi reforçado pelo uso de ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento para o monitoramento de mudanças ocorridas na paisagem em uma série temporal de mais de 30 anos com redução na densidade de cobertura vegetal no fragmento estudado.

Os índices vegetais, a partir de dados hiperespectrais, foram excelentes ferramentas para identificação das condições biológicas das espécies estruturantes da comunidade vegetal.

A deficiência hídrica foi identificada como fator estressor para a planta. As estratégias fisiológicas e morfoanatômicas adotadas pelas espécies são uma tentativa de ajuste a esta condição, a fim de garantir sucesso em sua manutenção no ambiente (uso eficiente da água e fotossíntese).

V Agradecimentos

Agradecemos à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), pelo fomento do projeto de pesquisa e concessão de bolsa à primeira autora, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de produtividade à segunda autora.

VI Referências

- Allen, S.E.** 2002. *Analysis of vegetation and other organic materials. In Chemical analysis of ecological materials.* Eds. Allen., S.E. Blackwell Scientific Publications, Oxford. p. 46-61.
- Almeida, et al.** 1997. Life strategy and chemical composition as predictors of the selection of medicinal plants from the caatinga (NortheastBrazil). *Journal of Arid Environments* 62: 127–142.
- Amorim, I.; Sampaio, E.V.S.B. and Araújo, E.L.** 2005. Flora e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea de uma área de caatinga do Seridó, RN, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 19(3): 615-623.
- Andrade, C.A.; Peitz, C.; Cúnico, M.; Carvalho, J.S.L.; Abrahão, W.M.; Miguel, O.G.; Miguel, M.D. and Kerber, V.A.** 2005: Avaliação da atividade antibacteriana e triagem fitoquímica das flores de *Acacia podalyriifolia* A. Cunn. ex. G. Don. Leguminosae-Mimosoideae. *Revista Brasileira de Farmacognosia* 15(1): 13-15.
- Andrade-Lima, D. de.** 1981. The caatingas dominium. *Revista Brasileira de Botânica* 4: 149-153.
- Araújo, E.L.; Sampaio, E.V.S.B.; and Rodal, M.J.N.** 1995: Composição florística e fitossociológica de três áreas de caatinga de Pernambuco. *Revista Brasileira de Biologia* 55(4): 595-607.

- Araus, J.L. and Hogan, K.P.** 1994: Comparative leaf structure and patterns of photoinhibition of the neotropical palms *Scheelea zonensis* and *Socratea durissima* growing in clearing and forest understory during the dry season in Panama. *American Journal of Botany* 81(6): 726-738.
- Asthor, P.M.S. and Berlyn, G.P.** 1992: Leaf adaptations of some *Shorea* species to sun and shade. *New Phytologist* 121: 587-596.
- Barbosa, C.B.** 1998. *Estabilidade de comunidades ribeirinhas no semi-árido brasileiro*. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.
- Barroso, G.M.; Peixoto, A.L.; Ichaso, C.L.F.; Guimarães, E.F. and Costa, C.G.** 2002: *Sistemática das angiospermas do Brasil*, vol. 1. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Bjorkman, O. and Holmgren, P.** 1963. Adaptability of the photosynthetic apparatus to light intensity in ecotypes from exposed and shaded habitats. *Physiologia Plantarum* 16:899-915.
- Box, E.O.** 1996: Plant functional types and climate at the global scale. *Journal of Vegetation Science* 7: 309-320.
- Braga, C.C.; Brito, J.I.B.; Sansigolo, C.A. and Rao, T.V.R.** 2003: Tempo de resposta da vegetação às variabilidades sazonais da precipitação no Nordeste do Brasil. Santa Maria. *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 11(1): 149-157.
- BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA/CPRM - Serviço Geológico do Brasil.** 2005: *Diagnóstico do município de Brejo da Madre de Deus, estado de Pernambuco*. In **Beltrão, B.A.; Mascarenhas, J.C.; Miranda, J.L.F.; Souza Junior, L.C.; Galvão, M.J.T.G. and Pereira, S.N.** (eds.). Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Recife: CPRM/PRODEEM.
- Campello, F.B.; Gariglio, M.A.; Silva, J.A. and Leal, A.M.A.** 1999. *Diagnóstico florestal da região Nordeste*. Brasília: IBAMA/PNUD.
- Candido, H.G; Barbosa, M.P and Silva, M.J. da.** 2002: Avaliação da degradação ambiental de parte do Seridó Paraibano. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 6(2): 368-371.
- Carrielo, F.; Miranda, F.G.; Ponzoni, F.J.; Cardoso, P.A. and Martins, S.P.** 2003. Uso da Transmitância na caracterização espectral de folhas verdes, *Anais do XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Belo Horizonte, INPE, p. 2451-2457.

- Chaves, I.B. et al.** 2002. *Salinidade das águas superficiais e suas relações com a natureza dos solos na bacia escola do açude namorados e diagnóstico do uso e degradação das terras*. Relatório técnico. Campina Grande: Convenio Banco do Nordeste do Brasil/UFPB/FINEP, 114p.
- Corrêa, C. et al.** 2001: Mapeamento da Fitomassa da Caatinga do núcleo de desertificação do Seridó, pelo índice de área de planta (IAP) e o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), obtido com dados do sensor Landsat 7 tm. 2001. In: SBSR, 10., Foz do Iguaçu. *Anais X SBSR* pp. 1563 – 1573.
- CPTEC/INPE.** 2011. *Banco de dados meteorológicos e climáticos*. In: <http://www.cptec.inpe.br/>
- Cronquist A.** 1981: *An integrated system of classification of flowering plants*. Columbia University Press, New York.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA.** 2002: *Levantamento de Baixa e Média Intensidade de solos do Estado de Pernambuco*. In: <http://www.cnps.embrapa.br/zapenet/index.htm>
- Engel. V.L. and Poggiani, F.** 1991. Estudo da concentração de clorofila nas folhas e seu espectroDe absorção de luz em função do sombreamento em mudas deQuatro espécies florestais nativas. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* 3(1): 39-45.
- Fahn A.** 1990: *Plant anatomy*. Pergamon Press, Oxford.
- Fahn, A. and Cutler, D.** 1992: *Xerophytes*. Gebruder Borntraeger, Berlin.
- Fernandes, A.** 1992. *Biodiversidade da caatinga*. In: JARDIN, M. A. G.; BASTOS, M. N.do C.; SANTOS, J. I. M. (EdtS). *Desafios da Botânica do Novo Milênio: Inventário, Sistematização e Conservação da Diversidade Vegetal*. Belém: MPEG, UFRA; EMBRAPA, Brasil/ Museu Paraense Emílio Goeldi. p. 93-94.
- Ferreira, R.L.C. and Vale, A.B. do.** 1992: Subsídios básicos para o manejo florestal da caatinga. *Revista do Instituto Florestal* 4: 368-375.
- Francelino et al.** 2003. Contribuição da caatinga na sustentabilidade de projetos de assentamentos no sertão norte-rio-grandense. *Revista Árvore* 27(1): 79-86.
- Galeti, P.A.** 1982. *Conservação do Solo; Reflorestamento; Clima*. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, Campinas.

- Gitay, H.** and **Noble, I.R.** 1997: *What are functional types and how should we seek them?* In: **Smith, H.H.** and **Woodward, F.I.** (Eds.). *Plant functional types*. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 3-19.
- Gomes, M.A.F.** 1979. *Padrões de caatinga nos Cariris Velhos, Paraíba*. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1979.
- Graça, M.E.C.** 1983. *Influence of light intensity on growth nodulation and nitrogen fixation of selected woody actinorhizal species*. Philosophy Doctor Thesis- Purdue University. Purdue.
- Grime, J.P et al.** 1997: Integrated screening validates primary axes of specialisation in plants. *Oikos* 79: 259-281.
- Haberlandt, G.** 1928: *Physiological plant anatomy*. Mc Millan, London.
- Holanda, A.S.S.** and **Guerra, C.E.** 2010. Monitoramento da vegetação da região do eixo-forte no município de Santarem-PA utilizando imagens dos índices de vegetação NDVI e NDWI. *Anais III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação*. p.1-5.
- INPE.** 2006. *Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres*. In: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/n-index.php>.
- Junges, A.H.; Alves, G.** and **Fontana, D.C.** 2007. Estudo indicativo do comportamento do NDVI e EVI em lavouras de cereais de inverno da região norte do Estado do Rio Grande do Sul, através de imagens MODIS. In: *XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Florianópolis – Brasil. Anais. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). p.241-248.
- Larcher, W.** 2000: *Ecofisiologia vegetal*. Rima, São Carlos, SP.
- Lee, D.W.** 1988. Simulating forest shade to study the development ecology of tropical plants: Juvenile growth in three vines in India. *Journal of Tropical Ecology, Cambridge* 4:281-92.
- Lemos, J.R.** and **Rodal, M.J.N.** 2002: Fitossociologia do componente lenhoso de um trecho da vegetação de caatinga no Parque Nacional Serra da Capivara, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 16(1): 23-42.
- Lourenço, R.W.** and **Landim, P.M.B.** 2004. Estudo da variabilidade do “índice de vegetação por diferença normalizada/NDVI” utilizando krigagem indicativa. *Holos Environment* 4(1):38-55.

- Maarel, E. van der.** 1979. Transformation of cover-abundance values in phytosociology and its effects on community similarity. *Vegetatio* 39: 97-114,.
- Magalhães, A.C.N.** 1985. *Fotossíntese*. In: Fisiologia Vegetal. Ferri, M.G. (Ed). EPU, São Paulo. p.117-166.
- Melo, S.C.** 2000: *Estrutura, petrologia e geocronologia do batólito Brejo da Madre de Deus (estado de Pernambuco), relações com a zona de cisalhamento Pernambuco leste, Nordeste do Brasil*. Tese de Doutorado, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.
- Menezes, N.L.; Silva, D.C. and Pinna, G.F.M.** 2003: *Folha*. In: Appezzato-da-Glória, B.; Carmelo-Guerreiro, S.M. (eds). Anatomia vegetal. Viçosa: editora da Universidade de Viçosa.
- Metcalfe C.R. and Chalk L.** 1983: *Anatomy of the Dicotyledons*. 2nd. Clarendon Press, Oxford.
- MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE.** 2011: Monitoramento dos biomas brasileiros: Caatinga. In: http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/_arquivos/apresentacao_minc_25mar2011_caatinga_versao_imprensa_72.pdf
- Mueller-Dumbois, D. and Ellenberg, H.** 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. Wiley & Sons, New York.
- Nygren, M. and Kellomaki, S.** 1983/1984. Effect of shading on leaf structure and photosynthesis in young birches, *Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh. *Forest ecology and management* 7: 119-32.
- Oliveira, T. H.; Machado, C. C. C.; Silva, J. S.; Galvíncio, J. D.; Pimentel, R. M. M. and Silva. B. B.** 2010. Índice de umidade (NDWI) e análise espaço-temporal do albedo da superfície da bacia hidrográfica do rio Moxotó-PE. *Revista Brasileira de Geografia Física* 3: 55 - 69.
- Orlóci, L. and Orlóci, M.** 1985: Comparison of communities without the use of species: model and example. *Annals of Botany* 43: 275-285.
- Penuelas, J.; Estiarte, M. and Llusia, J.** 1997. Carbon-based secondary compounds at elevated CO₂. *Photosynthetica* 33: 313-316.
- Peñuelas, J. and Inoue, Y.** 2000: Reflectance assessment of canopy CO₂ uptake. *International Journal of Remote Sensing* 21: 3353–3356.

- Penuelas, J.; Baret, F. and Filella, I.** 1995. Semi-empirical indices to assess carotenoids/chlorophyll a ratio from leaf spectral reflectance. *Photosynthetica* 31:221-230.
- Pereira, I. M. et al.** 2003: Use-history effects on structure and flora of caatinga. *Biotropica* 35(2): 154-165.
- Pereira, I.M, et al.** 2001: Regeneração natural em um remanescente de caatinga sob diferentes níveis de perturbação, Agreste Paraibano. *Acta Botanica Brasilica* 15(3): 25-32.
- Pillar, V.D.** 2003: *SYNCSA, software for character-based community analysis. Versão 2.2.0.* Porto Alegre: Departamento de Ecologia da UFRGS.
- Pillar, V.D. and Orloci, L.** 1993: *Character-based community analysis: theory and application program.* The Hague: SPB. Academic.
- Ponzoni, F.J.** 2001. *Comportamento espectral da Vegetação.* In: Sensoriamento Remoto – Reflectância dos Alvos Naturais. Eds Meneses, P.R. and Madeira Netto, J.S. Universidade de Brasília – UnB. Embrapa Cerrados. Brasília, DF. p. 157-199.
- Ribeiro, M.G.; Tanajura, E.L.X. and Centeno, J.A.S.** 2007: Monitoramento de período de seca utilizando subtração de imagem NDVI: Estudo de caso do Reservatório do Irai-PR. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis, Brasil. INPE. p. 1055-1062.
- Rodal, M.J.N.** 1992: *Fitossociologia da vegetação arbustivo-arbórea em quatro áreas de caatinga em Pernambuco.* Tese de doutorado. Instituto de Biologia Universidade Estadual de Campinas.
- Rodal, M.J.N. et al.** 1998: Fitossociologia do Componente Lenhoso de um Refúgio Vegetacional no Município de Buíque, Pernambuco. *Revista Brasileira de Biologia* 58(3):17-24.
- Rodrigues, RR.** 1991. *Análise de um Remanescente de vegetação natural do rio Passa Cinco.* Dissertação (Mestrado em Biologia) – Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Sampaio, E.V.S.B. et al.** 1996: Magnetic relaxation and formation of magnetic domains in ultrathin films with perpendicular anisotropy. *Physical Review* 54(9): 64- 65.

- Sampaio, E.V.S.B. et al.** 1998: Regeneração da vegetação de Caatinga após corte e queima, em Serra Talhada, PE. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 33(5): 621-632.
- Santana, J.A.S. and Souto, J.S.** 2006: Diversidade e Estrutura Fitossociológica da Caatinga na Estação Ecológica do Seridó-RN. *Revista de Biologia e Ciências da Terra* 6(2): 37-43.
- Silva, D.G.; Melo, R.F.T. and Corrêa, A.C.B.** 2009: A influência da densidade de drenagem na interpretação da evolução geomorfológica do complexo de tanques do município de Brejo da Madre de Deus – Pernambuco, Nordeste do Brasil. *Revista de Geografia* 26(3): 28-36.
- Silva, M.D.; Pimentel, R.M.M. and Galvíncio, J.D.** 2008: Diagnóstico da ocupação vegetal do município de Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil, através do sensoriamento remoto. *Revista Brasileira de Geografia Física* 1(2): 15-29.
- Silva, P.S.; Solange, E. and Pareyn, F.G.** 1998: *Consumo de energéticos florestais do setor domiciliar no Estado de Pernambuco*. Recife: PNUD/FAO/IBAMA/Governo de Pernambuco.
- Sims, D. A. and Gamon, J. A.** 2002. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. *Remote Sensing of Environment* 81: 337-354.
- Taiz, L. and Zeiger, E.** 2004: *Fisiologia Vegetal*. 3. ed. Artmed, Porto Alegre.
- Uenojo, M.; Marostica Junior, M.R. and Pastore, G.M.** 2007. Carotenóides: propriedades, aplicações e biotransformação para formação de compostos de aroma. *Química Nova* 30(3): 616-622.
- Whatley, F.H. and Whatley, F.R.** 1982. *A Luz e a vida das plantas*. EPU-EDUSP, São Paulo. 101 p.

5. Manuscrito II
a ser enviado ao periódico *Progress in Physical Geography*

Atributos funcionais como estratégias de resiliência em plantas lenhosas em uma paisagem de semiárido do Nordeste do Brasil¹

Milena Dutra da Silva², Rejane Magalhães de Mendonça Pimentel²
e André Laurênio de Melo³

¹Parte da tese da primeira autora

²Programa de Pós-Graduação em Geografia, Departamento de Ciências
Geográficas, Universidade Federal de Pernambuco

³ Departamento de Biologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade
Serra Talhada

Resumo

A caatinga é um dos principais ecossistemas do semiárido nordestino, tendo por característica disponibilidade hídrica reduzida, e elevada temperatura e intensidade de irradiação solar, que atuam como filtro de seleção para as espécies que compõem a sua biota. Diante de características ambientais tão adversas, as plantas que compõem a caatinga produzem estratégias funcionais para viabilizar a sua permanência no ambiente. Este estudo objetivou identificar o padrão de respostas de plantas às pressões peculiares à caatinga a fim de identificar quais os recursos morfofuncionais foliares adotados como estratégia e sua frequência nestas plantas. Para isto foram adquiridos dados morfológicos e anatômicos de folhas de espécies lenhosas, naturalmente estabelecidas, em um fragmento de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, seguindo metodologia usual em análises vegetais. Entre as estratégias adotadas pelas espécies destacam-se como padrão: indivíduos com dossel/copas abertas, folhas mais alongadas, epiderme com cutícula espessa, elevado grau de sinuosidade das paredes anticlinais das células fundamentais da epiderme, presença de tricomas, parênquima clorofiliano diferenciado com parênquima paliçádico pluriestratificado, ocupando cerca de 50% do mesofilo foliar. A formação de grupos funcionais ocorreu independentemente da similaridade de classificação sistemática, reforçando a premissa de que o desenvolvimento dessas características é o resultado do grau de influência das condições ambientais e do grau de plasticidade das diferentes espécies ali estabelecidas, mostrando comportamentos morfofuncionais similares.

Palavras-chave: caatinga, tipo foliar, área foliar, índice foliar, tipo funcional vegetal.

I Introdução

A caatinga é um dos principais ecossistemas do Nordeste do Brasil, se destacando por recobrir grande parte do semiárido desta região (MMA, 2010).

As características ambientais deste bioma, como a escassez hídrica, precipitação pluvial irregular, com sete a dez meses de estiagem, solo raso e baixa capacidade de retenção hídrica, temperatura e intensidade de irradiação solar elevadas, atuam como filtro de seleção para as espécies que compõem a sua biota (Keddy, 1992).

As plantas que compõem a caatinga, frente a características ambientais adversas, intensificadas pela degradação do solo e mudanças climáticas globais, devem possuir uma elevada capacidade para apresentar mecanismos adaptativos que viabilizem sua permanência no ambiente (MMA, 2010, Souza Filho *et al.*, 2008, Noomen *et al.*, 2003).

Entre as estratégias adotadas pelos vegetais se destacam os ajustes morfológicos e funcionais desenvolvidos pela folha. Como principal órgão fotossintetizante com elevada plasticidade, a fim de garantir a produção de energia para a planta, a folha é capaz de realizar modificações que minimizam os efeitos danosos das altas temperatura e luminosidade que, entre outros fatores, ocasionam a perda excessiva de água da planta para o meio e podem interferir nos processos fisiológicos vitais do vegetal (Fahn e Cutler, 1992; Larcher, 2000; Lewis, 1972; Marques *et al.*, 1999; Menezes *et al.*, 2003; Pyykkö, 1979; Taiz e Zeiger, 2004).

Alguns dos ajustes foliares são visivelmente perceptíveis, como a redução da área foliar, modificação desta em espinhos ou acúleos. Outras estratégias ocorrem em escala microscópica, como espessamento de cutícula, aumento do comprimento de células e/ou número de camadas de tecidos especializados na produção de fotoassimilados, como o parênquima paliçádico (Araus e Hogan, 1994; Almeida *et al.*, 2009).

Estas estratégias são consequência da plasticidade vegetal frente às condições adversas do ambiente e são comuns às plantas estabelecidas em uma mesma área ou em áreas distintas que possuam caracteres ambientais semelhantes (Larcher, 2000; Bóttà-Dukàt, 2005; Ricotta, 2005; Petchey e Gaston, 2006; Zarco-Tejada *et al.*, 2004).

A presença de plantas com atributos semelhantes em uma mesma comunidade vegetal sugere a existência de padrões que se repetem frequentemente, formando

grupos de espécies similares quanto à frequência de uma série de atributos similares e com mesmo comportamento frente às variáveis do ambiente. Este grupo constitui, assim, um Tipo Funcional Vegetal (TFV) (Weiher e Keddy, 1995, 1999; Kleyer, 1999; Müller, 2005; Box, 1996; Gitay e Noble, 1997; Grime *et al.*, 1997; Orlóci e Orlóci, 1985; Pillar, 2003; Pillar e Orlóci, 1993).

A identificação de um TFV e dos atributos que o constituem têm sido utilizados como ferramenta para a determinação do comportamento das plantas na paisagem, visando avaliar a influência de fatores ambientais sobre os vegetais (Müller, 2005). Tais análises possibilitam a descrição de padrões e processos existentes nas comunidades vegetais e a quantificação do caráter adaptativo das plantas, essenciais ao estudo e prevenção de consequências advindas das mudanças globais sobre a vegetação (Pillar, 2003; Pillar e Orlóci, 1993; Díaz *et al.*, 1992; Pillar, 1999)

As plantas que apresentam sucesso no seu estabelecimento têm sido utilizadas como referência para a realização de estudos que visam ampliar o entendimento do comportamento do vegetal em um ambiente natural (Ackerly, 2004; Cornellissen *et al.*, 2003). Sendo assim, este estudo objetivou identificar o padrão de respostas de plantas às pressões características da caatinga, colaborando com o desenvolvimento do conhecimento acerca deste bioma, um dos menos preservados e mais devastados no Brasil.

II Material e Métodos

1. Área de Estudo

Para a realização deste estudo foram selecionadas espécies lenhosas, naturalmente estabelecidas em uma área de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco.

O município está localizado na mesorregião Agreste e na microrregião Vale Ipojuca, na porção centro-leste do Estado de Pernambuco e ocupa uma área de 779,3 km². Está inserido nas Folhas da SUDENE de Santa Cruz do Capibaribe e Belo Jardim na escala de 1:100.000, limitando-se, ao norte, com Santa Cruz do Capibaribe e Taquaritinga do Norte, ao sul, com Belo Jardim, Tacaimbó e São Caetano; ao leste, com Caruaru e Toritama e, ao oeste, com Jataúba (BRASIL,

2005). Localiza-se entre as latitudes 07°50'S e 08°18'S e longitudes 36°05'W e 36°30'W. A altitude aproximada da sede do município é de 627 m, distando 202,2 km da capital.

Brejo da Madre de Deus apresenta Patamares Compridos e Baixas Vertentes, com relevo suave ondulado, Planossolos mal drenados, fertilidade natural média e problemas com acúmulo de sais; Topos e Altas Vertentes com solos Brunos não Cálcicos, rasos e fertilidade natural alta; Topos e Altas Vertentes do relevo ondulado com solos Podzólicos drenados, fertilidade natural média e Elevações Residuais com solos Litólicos rasos, pedregosos e fertilidade natural média (BRASIL, 2005).

Fazenda Nova possui cobertura pedológica distinta do descrito para a sede do Município de Brejo da Madre de Deus devido às diferenças topográficas que estimulam o desenvolvimento de caracteres fisionômicos intrínsecos, influenciando na formação do solo (Silva *et al.*, 2009). O comportamento exibido pelo solo denota a sua plasticidade em relação ao meio, sobretudo quanto à quantidade de água que se infiltra ou excede na superfície. Em Fazenda Nova, a estrutura observada é consequência do clima semiárido e seu estágio de desenvolvimento é determinado por sua posição na superfície, exposto em verdadeiras catenas de solos semiáridos (EMBRAPA – Solos, 2000). Encontra-se uma variedade de solos, com destaque para os Planossolos, Neossolos Regolíticos e Litólicos. Além destes, há a participação de outros de tipos de solo, porém em menor expressão areal: Argissolos, Luvisolos, Glevssolos Háplicos e os Neossolos Flúvicos, respectivamente, em ordem decrescente de extensão (Silva *et al.*, 2009; EMBRAPA – Solos, 2002).

Quanto aos aspectos geológicos, Brejo da Madre de Deus está inserido no Batólito Caruaru-Arcoverde, se destacando na Província Borborema, por ser a maior unidade de associação cálcio-alcalina de alto potássio (Melo, 2000).

O clima é do tipo Tropical Semiárido com chuvas de verão, em concordância com as condições climáticas do semiárido nordestino, mostrando transição gradual de extrema semi-aridez à uma maior umidade, determinadas pela topografia.

O período chuvoso de Fazenda Nova tem início em novembro e término em julho, porém ocorre de forma descontínua e os valores máximos de precipitação pluvial são atingidos durante os meses de março, abril e julho. Esta máxima corresponde a 50% dos 557 mm registrados como precipitação média anual para a área e é justificado pela influência da zona de convergência intertropical, com

apogeu no hemisfério sul em março e abril, ondas de este e pelas correntes perturbadas do sul. O período seco tem duração de 7-8 meses (Silva *et al.*, 2009).

A temperatura média anual é equivalente a 22°C, atingindo as máximas durante os meses de novembro e dezembro (31°C) e mínimas durante agosto e setembro (17,9°C), esta última decorrente da orografia (BRASIL, 2005; Silva *et al.*, 2009).

O município apresenta vegetação de brejo e caatinga e está inserido nos domínios da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe (BRASIL, 2005). Quanto à ocupação vegetal, foi identificado que 56% da área vegetada em Brejo da Madre de Deus potencializam o vigor e a densidade da vegetação com o aumento da altitude (Silva *et al.*, 2008). De acordo com Silva *et al.* (1998), nas referidas áreas, os tipos vegetacionais predominantes são correspondentes ao Tipo Florestal AG 3 (vegetação arbustiva arbórea fechada), caracterizada por espécies com altura média de 4,0 m e indivíduos emergentes de 7,0 m), entre 550 e 750m de altitude, e ao Tipo Florestal AG 4, “Brejo de Altitude”, com vegetação arbórea fechada, presença de alguns arbustos, altura média de 5,0 m e emergentes com mais de 8,0 m.

A vegetação rala e esparsa representa, aproximadamente, 40% do município (Silva *et al.*, 2008). Esta organização menos densa, aliada, entre outros, às condições decorrentes da altitude (altitude igual ou inferior a 500 m), apresentam uma configuração característica de vegetação de caatinga. Silva *et al.* (1998) afirmam que nestas áreas, a vegetação predominante é Tipo Florestal AG 2, caracterizada por apresentar uma vegetação arbustiva arbórea aberta (caatinga), com espécies caducifólias de altura média de 3,0 m e emergentes de 5,0 m.

O fragmento vegetal selecionado para este estudo a feição Tipo Florestal AG 2. As espécies neste fragmento apresentam caracteres anatômicos, morfológicos, fisiológicos e funcionais adaptados a um ambiente de intensa radiação solar, baixo teor de umidade e precipitações escassas e irregulares devido à sua grande sensibilidade à presença de água disponível, apresentando, em sua dinâmica populacional, uma resposta fortemente relacionada à variabilidade dos fenômenos meteorológicos atuantes sobre ela (Braga *et al.*, 2003; Ribeiro *et al.*, 2007).

As espécies que constituem o tipo vegetal predominante em Brejo da Madre de Deus apresentam caracteres anatômicos, morfológicos, fisiológicos e funcionais adaptados a um ambiente de intensa radiação solar, baixo teor de

umidade e precipitações escassas e irregulares devido à sua grande sensibilidade à presença de água disponível, apresentando, em sua dinâmica populacional, uma resposta fortemente relacionada à variabilidade dos fenômenos meteorológicos atuantes sobre ela (Braga *et al.*, 2003; Ribeiro *et al.*, 2007).

2. Procedimentos em Campo

2.1. Desenho experimental

Para a aquisição do material botânico (folhas adultas e sadias) e obtenção de dados fitossociológicos foi selecionada uma área com vegetação de caatinga preservada pertencente à propriedade privada “Fazenda Incó”, situada no distrito de Fazenda Nova, Município de Brejo da Madre de Deus, PE.

Em uma área equivalente a 1 hectare foram fixadas 100 parcelas contíguas de 10m x 10m (Fig. 1). Todos os indivíduos arbóreos e/ou arbóreo-arbustivos, com altura superior a 1,5 m estabelecidos nas sub-parcelas ou deslocados até 1 m de distância do limite total da parcela foram contabilizados para determinação do número de espécies, frequência e dominância.

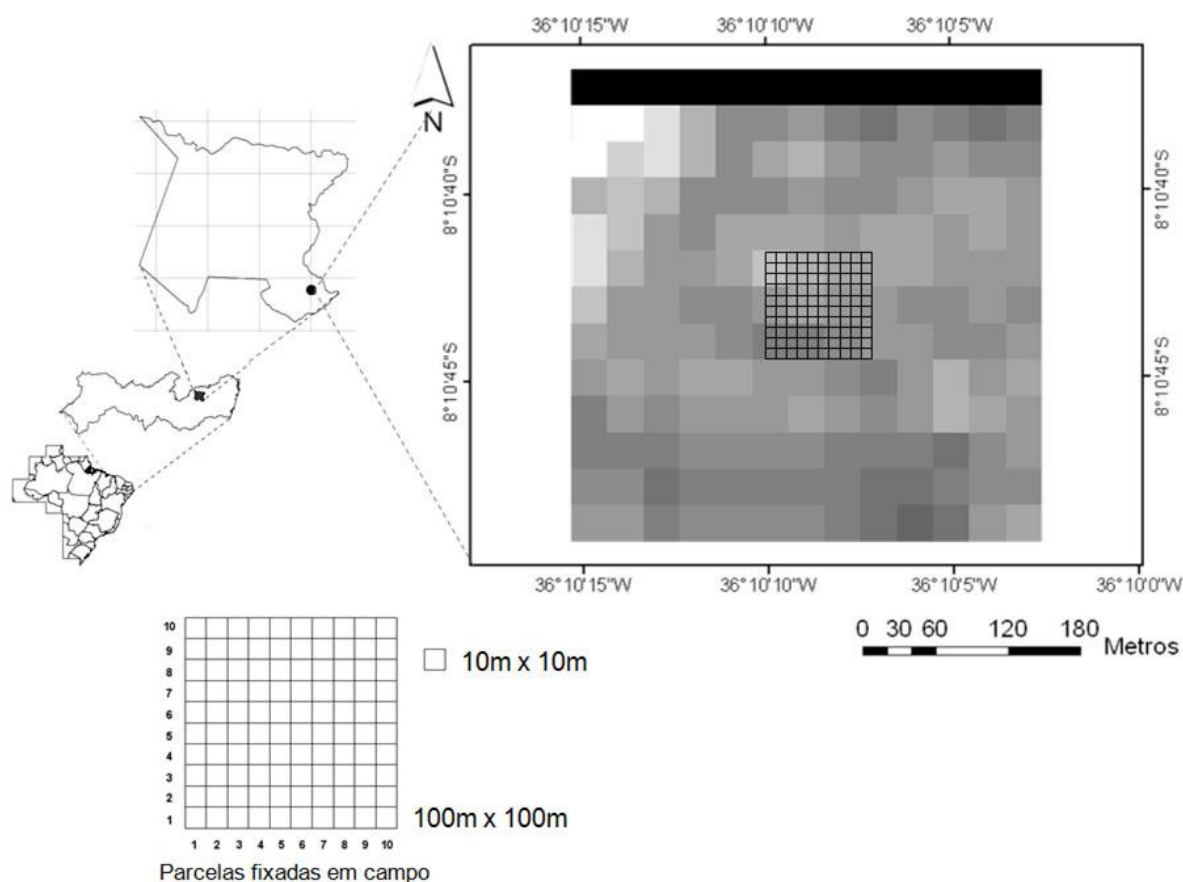


Figura 1. Localização da área de estudo e sobreposição do desenho experimental das parcelas fixadas em campo (100m²) sobre imagem de satélite sistema TM (*Thematic Mapper*)/Landsat-5 de Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco.

2.2. Coleta de material botânico

Para a identificação dos atributos morfológicos e anatômicos foliares foram coletados ramos caulinares, acondicionados em sacos plásticos, devidamente etiquetados (código e nome vulgar, mediante indicação do “mateiro”), mantidos em caixa de isopor contendo gelo e encaminhados ao Laboratório de Fitomorfologia Funcional (LAFF) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) para fixação e posterior processamento.

De todas as plantas coletadas foram selecionados ramos com flores e/ou frutos e prensados para posterior confecção de exsicatas, identificação taxonômica e tombamento em herbário.

3. Procedimentos em Laboratório

As plantas foram identificadas em diferentes níveis (e.g. família, gênero e espécie), seguindo o sistema de classificação de Cronquist (1981). As identificações foram realizadas com auxílio de bibliografia especializada, comparação com material de herbário e consulta aos especialistas em diversos grupos taxonômicos. A autoria dos nomes específicos foi confirmada através dos sites do Missouri Botanical Garden (<http://www.tropicos.org>) e da Flora Brasiliensis no site do Centro de Referência em Informação Ambiental-CRIA (<http://florabrasiliensis.cria.org.br>).

3.1. Análise de caracteres funcionais foliares

Para a análise dos atributos funcionais, a identificação de caracteres foliares (Quadro 1) foi realizada sob estereomicroscopia e microscopia de luz. Após digitalização das folhas para obtenção dos valores de área foliar e caracteres da morfologia externa, utilizando programa de análise de imagens digitais, *Image Tool* (Wilcox et al., 2002), o material foi fixado em FAA 50 para confecção de lâminas histológicas semipermanentes (Johansen, 1940). Espécies com folhas partidas em subunidades (folíolos/foliólulos) tiveram sua área foliar determinada através do

somatório do número de subunidades em uma folha multiplicado pelo valor médio da área das subunidades.

A análise das células da epiderme foi realizada em fragmentos resultantes de imersão em hipoclorito de sódio a 20, 30 ou 50%, até completa dissociação. Os fragmentos epidérmicos foram lavados em água destilada, corados com safranina e azul de astra e montados em glicerina 50% (Johansen, 1940), e as lâminas lutadas com esmalte de unhas incolor.

Para a análise do mesofilo, secções transversais das folhas foram obtidas de sub-amostras retiradas da porção mediana da lâmina foliar, incluindo a nervura principal. Todas as secções foram realizadas à mão livre, com auxílio de lâmina comum de barbear, e imersas em solução de hipoclorito de sódio a 10% até clarificação. Em seguida, os cortes foram lavados com água destilada, coloridos com safranina e azul de astra e montados em glicerina 50%.

A descrição e a classificação da estrutura morfológica foliar seguiram a terminologia de Barroso *et al.*, (2002).

Quadro 1. Lista de caracteres funcionais em folhas de espécies vegetais estabelecidas em uma vegetação de caatinga, em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil.

Caracteres funcionais	Medidas
Morfologia foliar	Forma da lamina Ápice Base Margem
Lâmina foliar	Área foliar (cm ²) Comprimento máximo (cm) Largura máxima (cm) Proporção largura <i>versus</i> comprimento (cm)
Epiderme	Número de células epidérmicas Grau de sinuosidade das paredes celulares anticliniais Estômato Tricoma
Mesofilo	Espessura total da folha

Os estômatos e tricomas foram classificados de acordo com Metcalfe e Chalk (1983).

Todas as medidas anatômicas foram realizadas em imagens digitais, em vista frontal e transversal, obtidas por câmera digital acoplada a um microscópio óptico e programa de análise de imagens *Image Tool* (Wilcox *et al.*, 2002).

A avaliação de similaridades dos atributos morfológicos e anatômicos foliares entre as espécies foi realizada através do teste de análise em cluster do programa Statística 6.0 (Statsoft, 2001).

III Resultados e Discussão

A paisagem de caatinga em Fazenda Nova é composta por quatorze espécies, distribuídas entre sete famílias (Quadro 2).

Quadro 2. Lista florística de espécies lenhosas naturalmente estabelecidas em uma área de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil.

Espécie	Família	Nome Vulgar
<i>Anadenanthera colubrina</i>	Fabaceae	Angico
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	Apocynaceae	Pereiro
<i>Bauhinia cheilanta</i>	Fabaceae	Pata-de-vaca
<i>Capparis flexuosa</i>	Brassicaceae	Feijão bravo
<i>Capparis yco</i>	Brassicaceae	Icozeiro
<i>Croton blanchetianus</i>	Euphorbiaceae	Marmeleiro
<i>Jatropha molissima</i>	Euphorbiaceae	Pinhão
<i>Mimosa tenuiflora</i> cf.	Fabaceae	Jurema preta
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	Anacardiaceae	Aroeira
<i>Piptadenia stipulacea</i>	Fabaceae	Jurema branca
<i>Poincianella pyramidalis</i>	Fabaceae	Catingueira
<i>Senna macranthera</i>	Fabaceae	Fedegoso
<i>Sideroxylon obtusifolium</i>	Sapotaceae	Quixabeira

Quanto aos atributos morfológicos foliares, as espécies apresentaram duas estratégias quanto ao tipo de folha: simples e composta (Tab. 1). A maioria delas apresentou folhas compostas. Nestas, o limbo foliar se apresenta dividido em subunidades (folíolos/foliólulos), como uma alternativa para a redução da área foliar e redução da temperatura interna das folhas, otimizando a fotossíntese (Fahn e Cutler, 1992; Larcher, 2000; Fahn 1990).

Tabela 1. Atributos morfológicos foliares de espécies lenhosas naturalmente estabelecidas em uma área de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil.

ESPÉCIE	ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS FOLIARES				
	Tipo	Forma	Ápice	Base	Margem
<i>Anadenanthera colubrina</i>	composta	oval	Agudo	Obtusa	Inteira
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	simples	oval	Agudo	Obtusa	Inteira
<i>Bauhinia cheilanta</i>	composta	oval	bilobado	Cordada	Inteira
<i>Capparis flexuosa</i>	simples	oblonga	Agudo	Obtusa	Inteira
<i>Capparis yco</i>	simples	oblonga	Agudo	Oblíqua	Inteira
<i>Croton blanchetianus</i>	simples	oblongo-ovada	Agudo	Cordada	Inteira
<i>Jatropha molissima</i>	simples	5-lobada, largamente ovada	Agudo	Cordada	Ciliada
<i>Mimosa tenuiflora</i> cf.	composta	oblonga	redondo	Oblíqua	ciliada curta
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	composta	oval	Agudo	Obtusa	Serrilhada
<i>Piptadenia stipulacea</i>	composta	oblonga	redondo	Oblíqua	Inteira
<i>Poincianella pyramidalis</i>	composta	oblonga	Agudo	Obtusa	inteira - levemente ondulada
<i>Senna macranthera</i>	composta	ovado-lanceolada	redondo	Obtusa	Inteira
<i>Sideroxylon obtusifolium</i>	composta	oval	redondo	Obtusa	Inteira
<i>Ziziphus joazeiro</i>	simples	oval	agudo	Cordada	levemente serrilhada

Quanto às formas foliares, foram observadas espécies com folhas ovais, oblongas, oblongo-ovadas e ovado-lanceoladas (Tab. 1). As margens das folhas da maioria das espécies apresentaram-se inteiras, excetuando *Myracrodruon urundeuva* e *Ziziphus joazeiro*, com margens serrilhadas, e *Jatropha molissima* e *Mimosa tenuiflora* cf., com margens ciliadas (Tab. 1).

Embora a forma da lâmina foliar seja determinada pela carga gênica, as características edáficas e climáticas poderão influenciá-la alterando a configuração foliar da espécie (Fahn e Cutler, 1992; Roth, 1984; Fahmy, 1997; Tanner e Kapos, 1982; Turner *et al.*, 1995; Larcher, 2000; Lewis, 1972; Pyykkö, 1979; Marques *et al.*, 1999).

Quanto à área foliar, as espécies que apresentaram folhas compostas, constituídas por número de subunidades variando de 4-56, apresentaram os menores valores destacando-se *Mimosa tenuiflora* cf., *Piptadenia stipulacea* e *Anadenanthera colubrina* por (Tab. 2). Alguns autores (Lewis, 1972; Ashton e Berlyn, 1992; Thompson *et al.*, 1992; Fahmy, 1997; Smith *et al.*, 1997; Marques *et al.*, 1999; Hanba *et al.*, 2002; Hlwatika e Bhat, 2002) indicam que as espécies reduzem a área foliar para minimizar a perda de água excessiva para o ambiente.

Quanto aos caracteres espaciais da lâmina foliar, as espécies apresentaram dominância de folhas mais alongadas do que largas, excetuando *Bauhinia cheilanta* (isodiamétrica) e *Senna macranthera* (folhas largas, devido a disposição dos folíolos) (Tab. 2). Isto é identificado através da relação do comprimento dividido pela largura, denominado por Reis (2003) de índice foliar, onde os valores numericamente iguais a 1 correspondem a folhas com lâminas isodiamétricas, <1 são mais largas que longas e >1 são, proporcionalmente, mais alongadas.

O investimento no maior comprimento foliar, em detrimento da largura da lâmina, em *Piptadenia stipulacea*, *Mimosa tenuiflora* cf., *Croton blanchetianus*, *Anadenanthera colubrina* (Tab. 2), mostraram influenciar na densidade das copas.

Espécies arbóreas e/ou arbóreo-arbustivas que apresentam copas densas apresentam folhas com dimensões e arranjos morfoanatômicos diferentes para aquelas que estão no interior e exterior da copa; isto é consequente da quantidade de luminosidade recebida por essas folhas. Aquelas que ocupam o interior da copa apresentam uma maior área foliar e consequente maior quantidade de tecidos fotossintetizantes, a fim de maximizar a absorção luminosa. Isto irá implicar em um maior investimento do vegetal na produção de biomassa e demanda de energia para

a sua manutenção (Lewis, 1972; Ashton e Berlyn, 1992; Thompson *et al.*, 1992; Hanba *et al.*, 2002; Hlwatika e Bhat, 2002). Neste sentido, podemos conjecturar acerca da estratégia das plantas que possuem copas menos densas, com dimensões semelhantes para as folhas no interior e exterior da copa, permitindo uma maior economia de energia na manutenção das mesmas.

Tabela 2. Área, comprimento, largura e proporção entre comprimento e largura da lâmina foliar de espécies lenhosas naturalmente estabelecidas em uma área de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil.

ESPÉCIE	LÂMINA FOLIAR			
	Área (cm ²)	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Comprimento x Largura
<i>Anadenanthera colubrina</i>	5,88±0,72	9,17±0,54	4,04±0,87	2,2698
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	15,39±3,06	5,56± 0,45	3,66±0,38	1,5191
<i>Bauhinia cheilanta</i>	44,03±8,94	7,07±1,66	7,03±0,79	0,9129
<i>Capparis flexuosa</i>	15,66±2,27	6,11±0,43	3,72±0,38	1,6424
<i>Capparis yco</i>	13,47±1,72	4,17±0,37	2,79±0,31	1,4946
<i>Croton blanchetianus</i>	27,37±3,23	8,98±1,6	4,23±0,24	2,1229
<i>Jatropha molissima</i>	83,03±6,37	23,44±2,17	15,02±1,01	1,5605
<i>Mimosa tenuiflora</i> cf.	0,78±0,19	7,52±0,56	2,17±0,58	3,4654
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	32,71±1,55	10,20±1,10	7,05±0,79	1,4468
<i>Piptadenia stipulacea</i>	0,84±0,18	8,12±0,54	2,24±0,56	3,6250
<i>Poincianella pyramidalis</i>	31,71±1,52	12,11±1,09	7,07±0,77	1,7128
<i>Senna macranthera</i>	35,77±1,27	5,13±0,22	8,11±0,79	0,6325
<i>Sideroxylon obtusifolium</i>	23,9±1,72	15,75±0,62	10,15±0,35	1,5517
<i>Ziziphus joazeiro</i>	15,28±1,03	6,54±0,35	4,06±0,38	1,6108

Quanto aos atributos epidérmicos foliares, as espécies apresentaram diferentes estratégias (Tab. 3).

O grau de sinuosidade das paredes anticlinais das células comuns da epiderme variou de reta a sinuosa (Tab. 3), com a maioria das espécies apresentando células com contorno sinuoso, em ambas as faces da epiderme. Esta sinuosidade eleva a resistência das paredes celulares de plantas da caatinga, evitando a lise celular,

frente as altas temperatura e luminosidade e reduzida disponibilidade hídrica (Meirelles *et al.*, 1997; Pyykkö, 1966; Haberlandt, 1928).

As espécies, em sua maioria, apresentaram espessamento homogêneo da cutícula em ambas as faces da epiderme (Tab. 3). Este atributo atua como barreira contra a incidência direta de raios luminosos e impermeabilização da folha, evitando a perda excessiva de água para a atmosfera (Fahn e Cutler, 1992; Roth, 1984; Fahmy, 1997; Tanner e Kapos, 1982; Turner *et al.*, 1995).

As espécies, em sua maioria, apresentaram espessamento homogêneo da cutícula em ambas as faces da epiderme (Tab. 3). Este atributo atua como barreira contra a incidência direta de raios luminosos e impermeabilização da folha, evitando a perda excessiva de água para a atmosfera (Fahn e Cutler, 1992; Roth, 1984; Fahmy, 1997; Tanner e Kapos, 1982; Turner *et al.*, 1995).

Todas as espécies investiram, aparentemente, no desenvolvimento de tricomas, excetuando *Anadenanthera colubrina*, *Capparis flexuosa* e *Piptadenia stipulacea*. Os tricomas possibilitam às espécies da caatinga uma atenuação dos danos causados pela incidência direta dos raios solares, formando um dossel sobre a lâmina foliar, aumentando a reflectância. Além disso, a presença de tricomas pode minimizar os impactos causados pelo contato direto das células comuns da epiderme com o ar em movimento em torno da folha (Niinemets, 1999; Karabourniotis *et al.*, 1999; Medeiros e Morretes, 1995).

A eficiência da estratégia associada à presença de tricomas nas folhas é maximizada quando estas estruturas ocorrem em ambas as faces, como observado em *Bauhinia cheilanta*, *Capparis yco*, *Croton blanchetianus*, *Jatropha molissima*, *Mimosa tenuiflora* cf., *Myracrodruon urundeuva*, *Poincianella pyramidalis* e *Senna macranthera* (Tab. 3)

Quanto aos estômatos, as espécies apresentaram os tipos paracítico, anomocítico, actinocítico e tetracítico, com disposição na lâmina variando entre hipostomático (localizados apenas na face abaxial) e anfiestomático (localizados em ambas as faces da epiderme) (Tab. 3). Quando em anfiestomatia, os estômatos apresentaram-se visivelmente mais abundantes na face abaxial. Embora o tipo estomático e a localização desta estrutura sejam determinados geneticamente, estudos apontam a influência do ambiente na sua densidade e maior abundância na face da epiderme sob menor insolação (Mott *et al.*, 1982; Niinemets,

Tabela 3. Atributos epidérmicos foliares de espécies lenhosas naturalmente estabelecidas em uma área de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil. AD. face adaxial; AB. face abaxial; S. sinuosa; R. reta; LS. levemente sinuosa; D. delgada; E. espessa; TE. tricoma estrelado; TS. tector simples; TPU. tector pluricelular unisseriado; TGG. glandular globoso; TGGP. glandular globoso pluricelular; P. paracítico; AN. anomocítico; ANS. anisocítico, AC. actinocítico; TTR. tetracítico.

ESPÉCIE	ATRIBUTOS EPIDÉRMICOS FOLIARES							
	Células comuns				Estruturas anexas			
	Sinuosidade		Cutícula		Tricomas		Estômato	
	AD	AB	AD	AB	Tipo	Localização	Tipo	Localização
<i>Anadenanthera colubrina</i>	S	S	D	D	Ausente		P	AB
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	R	R	E	E	TS	AD	P	AB
<i>Bauhinia cheilanta</i>	S	S	E	E	TPU	AD e AB	P	AD e AB
<i>Capparis flexuosa</i>	S	LS	E	E	Ausente		AN, ANS, TTR	AD e AB
<i>Capparis yco</i>	LS	S	E	E	TS; TE	AD e AB	AN	AB
<i>Croton blanchetianus</i>	S	S	E	E	TGG; TE	AD e AB	P	AB
<i>Jatropha molissima</i>	R	R	D	D	TS; TE	AD e AB	P	AB
<i>Mimosa tenuiflora</i> cf.	R	R	E	E	TS	AD e AB	P	AD e AB
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	S	S	E	E	TS; TGGP	AD e AB	AN	AD e AB
<i>Piptadenia stipulacea</i>	LS	S	E	D	Ausente		P	AB
<i>Poincianella pyramidalis</i>	LS	S	D	D	TPU	AD e AB	AN, P	AB
<i>Senna macranthera</i>	S	S	E	E	TS	AD e AB	P	AB
<i>Sideroxylon obtusifolium</i>	R	R	E	E	TS	AD	AC	AD e AB
<i>Ziziphus joazeiro</i>	R	R	E	E	TS	AD	AN e TTR	AB

1999; Cintron, 1970; Lleras, 1977; Givnish, 1987; Dong e Zhang, 2000; Hlwatika e Bhat, 2002).

Quanto à arquitetura do mesofilo, as espécies, em geral, apresentam estrutura dorsiventral, excetuando *Mimosa tenuiflora* cf., a qual apresenta mesofilo indiferenciado (Tab. 4).

As espécies com folhas dorsiventrais apresentaram, em sua maioria, duas ou mais camadas de parênquima paliçádico, com maior número de estratos em *Sideroxylon obtusifolium* (4 camadas) (Tab. 4). Embora *Capparis yco*, *Croton blanchetianus* e *Poincianella pyramidalis* apresentem apenas uma camada de parênquima paliçádico, as folhas destas espécies se assemelham às demais quanto a proporcionalidade na ocupação do mesofilo por este tecido. Cerca de 50% do mesofilo é ocupado por parênquima paliçádico, com percentuais superiores a 70% para *Croton blanchetianus*, a espécie de maior dominância na área.

O formato alongado das células do parênquima paliçádico e o grande número de cloroplastos localizados próximos à parede celular tornam este tecido o de maior eficiência na produção fotossintética, quando comparado aos demais tecidos fotossintetizantes. Sendo assim, quanto maior o número de camadas deste tecido ou área ocupada por ele no mesofilo, maior o potencial da planta na conversão de energia luminosa em carboidrato (Larcher, 2000; Ashton e Berlyn, 1992; Thompson et al., 1992; Hanba et al., 2002; Hlwatika e Bhat, 2002; Meirelles et al., 1997; Pyykkö, 1966; Haberlandt, 1928).

Quanto ao parênquima esponjoso, as espécies apresentaram folhas com três (*Poincianella pyramidalis* e *Senna macranthera*) a nove (*Jatropha molissima*) camadas deste tecido (Tab. 4). Além de colaborar com a produção fotossintética foliar, este tecido possui espaços intercelulares onde ocorre o armazenamento de água sob a forma de vapor e auxilia nas trocas gasosas (Larcher, 2000; Hanba et al., 2002; Hlwatika e Bhat, 2002; Meirelles et al., 1997; Pyykkö, 1966; Haberlandt, 1928).

Os espaços intercelulares também influenciaram na espessura foliar total das espécies, onde os maiores valores para este atributo foram apresentados pelas plantas com parênquima esponjoso menos compacto (Tab. 4).

Tabela 4. Atributos do mesofilo foliar em espécies lenhosas naturalmente estabelecidas em uma área de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil.

ESPÉCIE	MESOFILO				Espessura Foliar Total (µm)
	Parênquima Paliçádico		Parênquima Esponjoso		
	Camadas	Espessura (µm)	Camadas	Espessura (µm)	
<i>Anadenanthera colubrina</i>	2	33,37± 1,44	4	48,75±3,19	107,12±2,06
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	2 a 3	58,19± 1,88	5	89,12±10,31	182,31±4,39
<i>Bauhinia cheilanta</i>	2	51,20± 1,17	5 a 7	101,0±0,98	191,28±2,27
<i>Capparis flexuosa</i>	2	63,27± 6,21	5 a 7	80,41±4,83	117,41±8,79
<i>Capparis yco</i>	1	43,19± 5,57	4	62,63±9,22	135,82± 5,33
<i>Croton blanchetianus</i>	1	51,4±2,89	5	27,24±2,46	105,35± 2,75
<i>Jatropha molissima</i>	2 a 3	57,51±6,84	7 a 9	116,3±21,41	229,8±10,56
<i>Mimosa tenuiflora</i> cf.		*		127,19±2,02	140,12±2,25
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	2	64,12± 4,13	6	79,97±8,07	179,09± 3,32
<i>Piptadenia stipulaceae</i>	2 a 3	52,68±1,32	5	43,53± 3,53	133,85±1,76
<i>Poincianella pyramidalis</i>	1	75,04±2,88	3	73,77±2,21	188,18±2,01
<i>Senna mancranthera</i>	2	85,04±1,33	3	93,63±2,55	218,67±1,97
<i>Sideroxylon obtusifolium</i>	4	68,19± 7,06	5 a 6	85,69±12,29	199,24± 2,02
<i>Ziziphus joazeiro</i>	2	57,28± 3,10	4	70,43±5,15	155,75± 4,31

* Esta espécie apresentou parênquima clorofiliano indiferenciado com sete camadas de células.

De acordo com Pezzopane (2001), espécies submetidas a uma alta intensidade luminosa apresentam lâmina foliar mais espessa que espécies estabelecidas sob condições de luminosidade mais amena. O autor aponta, ainda, que o comprimento e o número de camadas de células epidérmicas e do parênquima clorofiliano, bem como as estratégias adotadas por estas, frente às oscilações ambientais, influenciarão fortemente no espessamento foliar total.

O agrupamento por nível de similaridade dos atributos foliares identificados nas plantas da caatinga de Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, permitiram a identificação de tipos funcionais vegetais (Fig. 2).

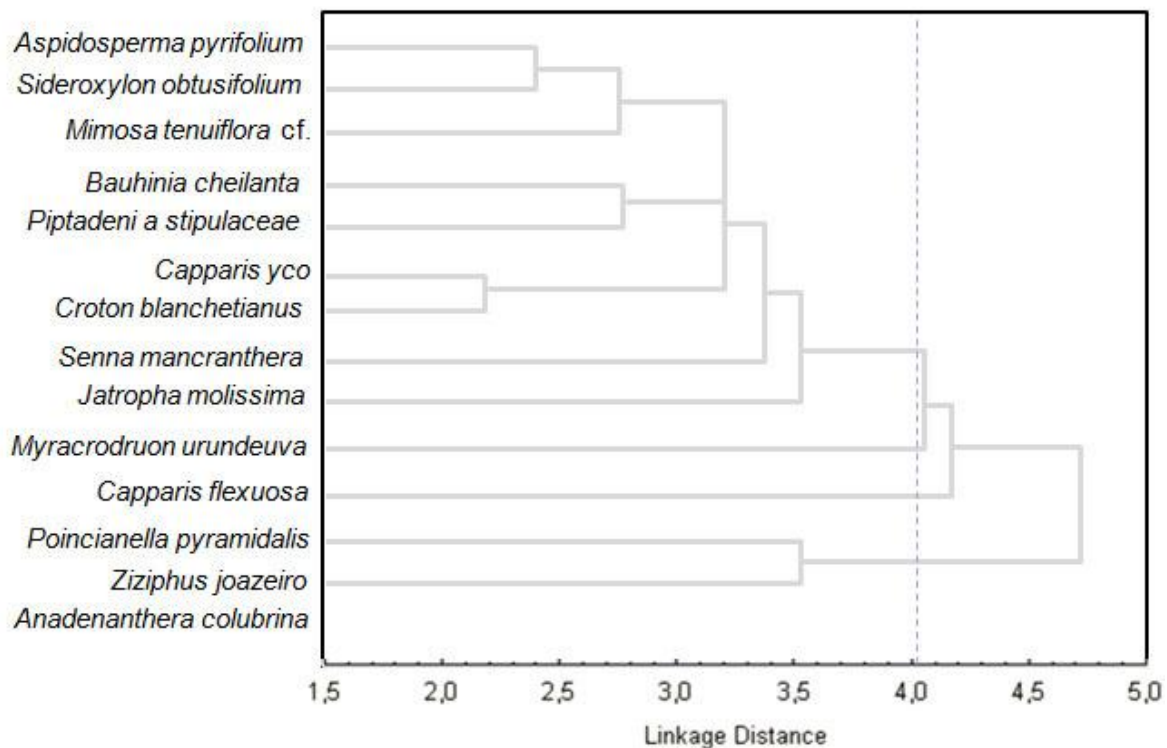


Figura 2. Dendrograma de similaridade de atributos morfofuncionais foliares de espécies lenhosas naturalmente estabelecidas em uma área de caatinga em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil.

De maneira geral, as espécies se subdividem em dois grandes blocos (Fig. 3). O primeiro corresponde às espécies que não possuem grande similaridade morfofuncional com as demais espécies analisadas (*Myracrodruon urundeuva*, *Capparis flexuosa* e

Anadenanthera colubrina). O segundo bloco corresponde às que adotaram estratégias morfofuncionais foliares semelhantes, mostrando a formação de dois grupos funcionais.

O primeiro grupo funcional é formado por duas espécies: *Poincianella pyramidalis* e *Ziziphus joazeiro* (Fig. 3). O segundo grupo concentra as demais espécies, com a formação de outros grupos com menor nível hierárquico de similaridade (Fig. 3). De acordo com Leishman e Westoby (1992), em regiões semiáridas, as análises de agrupamento têm demonstrado pequenas variações dentro de um grupo.

Embora todas as espécies pertençam à mesma classe botânica, os agrupamentos ocorreram independentemente da similaridade de classificação sistemática.

IV Conclusões

A análise permitiu a identificação das estratégias adotadas pelas espécies lenhosas da caatinga destaca-se com um padrão: indivíduos com dossel/copas menos densas, folhas mais alongadas, epiderme com cutícula espessa, elevado grau de sinuosidade das paredes anticlinais das células comuns da epiderme, presença de tricomas, parênquima clorofiliano diferenciado com parênquima paliçádico pluriestratificado, ocupando cerca de 50% do mesofilo foliar.

O padrão para o comportamento dos vegetais aqui analisados é interpretado como uma ferramenta capaz de contribuir para a minimização dos efeitos negativos da elevada intensidade luminosa e temperatura, peculiares ao ambiente, além da escassez hídrica característica para as áreas de caatinga, tornando as plantas aptas à permanência no ambiente.

A formação de grupos funcionais de espécies lenhosas da caatinga ocorreu independentemente da similaridade de classificação sistemática. Este fato ressalta que os vegetais investem em características diferentes de seus parentes filogenéticos próximos, reforçando a premissa de que o desenvolvimento dessas características é o resultado do grau de influência das condições ambientais e do grau de plasticidade das diferentes espécies ali estabelecidas, mostrando comportamentos morfofuncionais similares.

V Agradecimentos

Agradecemos à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), pelo fomento do projeto de pesquisa e concessão de bolsa à primeira autora, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de produtividade à segunda autora.

VI Referências

- Ackerly, D.** 2004: Functional strategies of chaparral shrubs in relation to seasonal water deficit and disturbance. *Ecological Monographs* 74: 25-44.
- Andrade, C.A.; Peitz, C.; Cúnico, M.; Carvalho, J.S.L.; Abrahão, W.M.; Miguel, O.G.; Miguel, M.D. and Kerber, V.A.** 2005: Avaliação da atividade antibacteriana e triagem fitoquímica das flores de *Acacia podalyriifolia* A. Cunn. ex. G. Don. Leguminosae-Mimosoideae. *Revista Brasileira de Farmacognosia* 15(1): 13-15.
- Araújo, E.L.; Sampaio, E.V.S.B.; and Rodal, M.J.N.** 1995: Composição florística e fitossociológica de três áreas de caatinga de Pernambuco. *Revista Brasileira de Biologia* 55(4): 595-607.
- Araus, J.L. and Hogan, K.P.** 1994: Comparative leaf structure and patterns of photoinhibition of the neotropical palms *Scheelea zonensis* and *Socratea duríssima* growing in clearing and forest understory during the dry season in Panama. *American Journal of Botany* 81(6): 726-738.
- Asthon, P.M.S. and Berlyn, G.P.** 1992: Leaf adaptations of some *Shorea* species to sun and shade. *New Phytologist* 121: 587-596.
- Botta-Dukat, Z.** 2005: Rao's quadratic entropy as a measure of functional diversity based on multiple traits. *Journal of Vegetation Science* 16: 533-540.
- Barroso, G.M.; Peixoto, A.L.; Ichaso, C.L.F.; Guimarães, E.F. and Costa, C.G.** 2002: *Sistemática das angiospermas do Brasil*, vol. 1. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

- Box, E.O.** 1996: Plant functional types and climate at the global scale. *Journal of Vegetation Science* 7: 309-320.
- Braga, C.C.; Brito, J.I.B.; Sansigolo, C.A. and Rao, T.V.R.** 2003: Tempo de resposta da vegetação às variabilidades sazonais da precipitação no Nordeste do Brasil. Santa Maria. *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 11(1): 149-157.
- BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA/CPRM - Serviço Geológico do Brasil.** 2005: *Diagnóstico do município de Brejo da Madre de Deus, estado de Pernambuco.* In **Beltrão, B.A.; Mascarenhas, J.C.; Miranda, J.L.F.; Souza Junior, L.C.; Galvão, M.J.T.G. and Pereira, S.N.** (eds.). Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Recife: CPRM/PRODEEM.
- Candido, H.G; Barbosa, M.P and Silva, M.J. da.** 2002: Avaliação da degradação ambiental de parte do Seridó Paraibano. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 6(2): 368-371.
- Cornelissen, J.H.C.S. et al.** 2003: handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany* 51: 335-380.
- Corrêa; C. et al.** 2001: Mapeamento da Fitomassa da Caatinga do núcleo de desertificação do Seridó, pelo índice de área de planta (IAP) e o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), obtido com dados do sensor Landsat 7 tm. 2001. In: SBSR, 10., Foz do Iguaçu. *Anais X SBSR* pp. 1563 – 1573.
- Cronquist A.** 1981: *An integrated system of classification of flowering plants.* Columbia University Press, New York.
- Díaz, S.; Acosta, A. and Cabido, M.** 1992: Morphological analysis of herbaceous communities under different grazing regimes. *Journal of Vegetation Science* 3: 689-696.
- Dong, X.; Zhang, X.** 2000: Special stomatal distribution in *Sabina vulgaris* in relation to its survival in a desert environment. *Trees* 14: 369-375.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA.** 2002: *Levantamento de Baixa e Média Intensidade de solos do Estado de Pernambuco.* In: <http://www.cnps.embrapa.br/zapenet/index.htm>

- Fahmy, G.M.** 1997: Leaf anatomy and its relation to the ecophysiology of some non-succulent desert plants from Egypt. *Arid Environments* 36: 499-525.
- Fahn, A.** and **Cutler, D.** 1992: *Xerophytes*. Gebruder Borntraeger, Berlin.
- Fahn A.** 1990: *Plant anatomy*. Pergamon Press, Oxford.
- Ferreira, R.L.C.** and **Vale, A.B. do.** 1992: Subsídios básicos para o manejo florestal da caatinga. *Revista do Instituto Florestal* 4: 368-375.
- Gitay, H.** and **Noble, I.R.** 1997: *What are functional types and how should we seek them?* In: **Smith, H.H.** and **Woodward, F.I.** (Eds.). *Plant functional types*. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 3-19.
- Givnish, T.J.** 1987: Adaptation to sun and shade: a whole-plant perspective. *Australian Journal of Plant Physiology* 15: 63-92.
- Grime, J.P et al.** 1997: Integrated screening validates primary axes of specialisation in plants. *Oikos* 79: 259-281.
- Haberlandt, G.** 1928: *Physiological plant anatomy*. Mc Millan, London.
- Hanba, Y. T.;** **Kogami, H.** and **Terashima, L.** 2002: The effects of growth irradiance on leaf anatomy and photosynthesis in *Acer* species differing in light demand. *Plant Cell and Enviroment* 25(8): 1021-1030.
- Hlwatika, C.N.M.** and **Bhat, R.B.** 2002: An ecological interation. *Annals of Botany* 89:109-114.
- Johansen, D. A.** 1940: *Plant Microtechnique*. McGraw-Hill Book, New York.
- Karabourniotis, G.;** **Bornman, J.F.** and **Liakoura, V.** 1999: Different leaf surface characteristics of three grape cultivars affect leaf optical properties as measured with fibre optics: possible implication in stress tolerance. *Australian Journal of Plant Physiology* 26: 47–53.
- Keddy, P.A.** 1992: Assembly and response rules: two goals for predictive community ecology. *Journal of Vegetation Science* 3:157-164.
- Kleyer, M.** 1999: The distribution of plant functional types on gradients of disturbance intensity and resource supply in an agricultural landscape. *Journal of Vegetation Science* 10: 697-708.
- Larcher, W.** 2000: *Ecofisiologia vegetal*. Rima, São Carlos, SP.

- Leishman, M.R. and Westoby, M.** 1992: Classifying Plants into Groups on the Basis of Associations of Individual Traits-Evidence from Australian SemiArid Woodlands. *The Journal of Ecology* 80(3):417-424.
- Lemos, J.R. and Rodal, M.J.N.** 2002: Fitossociologia do componente lenhoso de um trecho da vegetação de caatinga no Parque Nacional Serra da Capivara, Brasil. *Acta Botanica Brasílica* 16(1): 23-42.
- Lewis, M.G.** 1972: The physiological significance of variation in leaf structure. *Science Progress* 60: 25-51.
- Lleras, E.** 1977: Differences in stomatal number per unit area within the same species under different micro-environmental conditions: a working hypothesis. *Acta Amazonica* 7(4): 473-476.
- Marques, A.R., Garcia, Q.S. and Fernandes, G.W.** 1999: Effects of sun and shade on leaf structure and sclerophylly of *Sebastiania myrtilloides* (Euphorbiaceae) from Serra do Cipó, Minas Gerais, Brazil. *Boletim Botânico da Universidade São Paulo* 18: 21-27.
- Medeiros, J.D. and Morretes, B.L.** 1995: Dimensões da folha e herbivoria em *Miconia cabucu*. *Hoehne Biotemas* 8: 97-112.
- Meirelles, S.T.; Mattos, E.A. and Silva, A.C.** 1997: Potential desiccation tolerant vascular plants from Southeastern Brazil. *Polish Journal of Environmental Studies* 6: 17-21.
- Melo, S.C.** 2000: *Estrutura, petrologia e geocronologia do batólito Brejo da Madre de Deus (estado de Pernambuco), relações com a zona de cisalhamento Pernambuco leste, Nordeste do Brasil*. Tese de Doutorado, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.
- Menezes, N.L.; Silva, D.C. and Pinna, G.F.M.** 2003: *Folha*. In: Appezzato-da-Glória, B.; Carmelo-Guerreiro, S.M. (eds). *Anatomia vegetal*. Viçosa: editora da Universidade de Viçosa.
- Metcalf C.R. and Chalk L.** 1983: *Anatomy of the Dicotyledons*. 2nd. Clarendon Press, Oxford.
- MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE.** 2010: Monitoramento dos biomas brasileiros: Caatinga. In:

http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/_arquivos/apresentacao_minc_02mar2010_caatinga_versao_imprensa_72.pdf

- Mott, K.A.; Gibson, A.C. and O'leary, J.W.** 1982: The adaptative significance of amphistomatic leaves. *Plant, Cell and Environment* 5: 455-460.
- Müller, S.C.** 2005: *Padrões de espécies e tipos funcionais de plantas lenhosas em bordas de floresta e campo sob influência do fogo*. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Ecologia, UFRGS, Porto Alegre.
- Niinemets, U.** 1999: Components of leaf dry mass per area – thickness and density – alter leaf photosynthetic capacity in reverse directions in wood plants. *New Phytologist* 144(1):35-47.
- Noomen M.F., Skidmore A.K. and Van der Meer, F.D.** 2003: Detecting the Influence of Gas Seepage on Vegetation using Hyperspectral Remote Sensing. *Geological Survey of Canada* 47: 257-278.
- Orlói, L. and Orlói, M.** 1985: Comparison of communities without the use of species: model and example. *Annals of Botany* 43: 275-285.
- Pereira, I.M, et al.** 2001: Regeneração natural em um remanescente de caatinga sob diferentes níveis de perturbação, Agreste Paraibano. *Acta Botanica Brasilica* 15(3): 25-32.
- Pereira, I. M. et al.** 2003: Use-history effects on structure and flora of caatinga. *Biotropica* 35(2): 154-165.
- Petchey, O. L. and Gaston, K. J.** 2006: Functional diversity: back to basics and looking forward. *Ecology Letter* 9: 741–758.
- Pezzopane, J.E.M.** 2001: *Caracterização microclimática, ecofisiológica e fitossociológica em uma floresta secundária, em Viçosa, MG*. Tese de Doutorado. Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa.
- Pillar, V.D. and Orloci, L.** 1993: *Character-based community analysis: theory and application program*. The Hague: SPB. Academic.
- Pillar, V.D.** 1999: On the identification of optimal plant functional types. *Journal of Vegetation Science* 10: 631-640.

- Pillar, V.D.** 2003: *SYNCSA, software for character-based community analysis. Versão 2.2.0.* Porto Alegre: Departamento de Ecologia da UFRGS.
- Pyykko, M.** 1966: The leaf anatomy of East Patagonian erophytic plants. *Annales Botanici Fennice* 3(4): 453-622.
- Pyykkö, M.** 1979: Morphology and anatomy of leaves from some woody plants in a humid tropical forest of Venezuelan Guayana. *Acta Botanica Fennica* 112: 1-41.
- Reis, N. S.** 2003: *Variações fenotípicas em espécies lenhosas do Cerrado em três áreas no Triângulo Mineiro.* Dissertação de Mestrado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais. UFU. Uberlândia-MG.
- Ribeiro, M.G.; Tanajura, E.L.X. and Centeno, J.A.S.** 2007: Monitoramento de período de seca utilizando subtração de imagem NDVI: Estudo de caso do Reservatório do Irai-PR. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis, Brasil. INPE. p. 1055-1062.
- Ricotta, C.** 2005: A note on functional diversity measures. *Basic and Applied Ecology* 6: 479-486.
- Rodal, M.J.N. et al.** 1998: Fitossociologia do Componente Lenhoso de um Refúgio Vegetacional no Município de Buíque, Pernambuco. *Revista Brasileira de Biologia* 58(3):17-24.
- Rodal, M.J.N.** 1992: *Fitossociologia da vegetação arbustivo-arbórea em quatro áreas de caatinga em Pernambuco.* Tese de doutorado. Instituto de Biologia Universidade Estadual de Campinas.
- Roth, I.** 1984: *Stratification of tropical forest as seen in leaf structure – Tasks for Vegetation Science.* H. Lieth, Hague.
- Sampaio, E.V.S.B. et al.** 1998: Regeneração da vegetação de Caatinga após corte e queima, em Serra Talhada, PE. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 33(5): 621-632.
- Sampaio, E.V.S.B. et al.** 1996: Magnetic relaxation and formation of magnetic domains in ultrathin films with perpendicular anisotropy. *Physical Review* 54(9): 64- 65.
- Santana, J.A.S. and Souto, J.S.** 2006: Diversidade e Estrutura Fitossociológica da Caatinga na Estação Ecológica do Seridó-RN. *Revista de Biologia e Ciências da Terra* 6(2): 37-43.

- Silva, P.S.; Solange, E. and Pareyn, F.G.** 1998: *Consumo de energéticos florestais do setor domiciliar no Estado de Pernambuco*. Recife: PNUD/FAO/IBAMA/Governo de Pernambuco.
- Silva, D.G.; Melo, R.F.T. and Corrêa, A.C.B.** 2009: A influência da densidade de drenagem na interpretação da evolução geomorfológica do complexo de tanques do município de Brejo da Madre de Deus – Pernambuco, Nordeste do Brasil. *Revista de Geografia* 26(3): 28-36.
- Silva, M.D.; Pimentel, R.M.M. and Galvêncio, J.D.** 2008: Diagnóstico da ocupação vegetal do município de Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil, através do sensoriamento remoto. *Revista Brasileira de Geografia Física* 1(2): 15-29.
- Smith, W.K.; Volgelmann, T.C.; Delucia, E.H.; Bell, D. T. and Shepherd, K.A.** 1997: Leaf Form and Photosynthesis: Do leaf structure and orientation interact to regulate internal light and carbon dioxide? *Bioscience* 47: 785-793.
- Statsoft.** 2001: Statistica, version 6.0. Tulsa, StatSoft Inc.
- Taiz, L. and Zeiger, E.** 2004: *Fisiologia Vegetal*. 3. ed. Artmed, Porto Alegre.
- Tanner, E.V.J. and Kapos, V.** 1982: Leaf structure of jamaican montane rain-forest trees. *Biotropica* 14:16-24.
- Thompson, W. A.; Kriedemann, P. E. and Craig, I. E.** 1992: Photosynthetic Response to light and nutrients in sun-tolerant and shade-tolerant rainforest trees. I. growth, leaf anatomy and nutrient content. *Australian Journal of Plant Physiology* 19: 1–18.
- Turner, I.M.; Ong, B.L. and Tan, H.T.W.** 1995: Vegetation analysis, leaf structure and nutrient status of a Malaysian heath community. *Biotropica* 27(1): 2-12.
- Weiher, E. and Keddy, P.A.** 1995: Assembly rules, null models, and trait dispersion: new questions from old patterns. *Oikos* 74(1):159-164.
- Weiher, E. and Keddy, P.A.** 1999: Assembly rules, null models and trait dispersion: new question form old patterns. *Oikos* 74: 159-164.
- Wilcox, D.; Dove, B.; McDavid, D. and Greer, D.** 2002: *Image Tool*. University of Texas Health Science Center. San Antonio. Texas.
- Zarco-Tejada, P.J.; Miller, J.R.; Morales, A.; Berjón, A. and Agüera, J.** 2004: Hyperspectral indices and model simulation for chlorophyll estimation in open-canopy tree crops. *Remote Sensing Environment* 90: 463–764.

6. ANEXOS

Manuscript Submission Guidelines

Progress in Physical Geography

1. Peer review policy

Progress in Physical Geography operates a conventional double-blind reviewing policy in which the reviewer's and submitting author's names are always concealed from each other. Each manuscript is reviewed by at least two referees once accepted for review.

2. Article types

Progress in Physical Geography is an international journal, encompassing an interdisciplinary approach incorporating the latest developments and debates within Physical Geography and interrelated fields across the Earth, Biological and Ecological System Sciences. Contributions which review progress to date; which blend review material with new and original findings; or which introduce material, methods or techniques at the forefront of current knowledge, while setting directions for future work are welcomed. Authors need not be uncritically exhaustive in synthesizing research on a particular topic, but should concentrate on what they consider to be the most promising recent productive trends and developments which are likely to be transformative. They should further aim at the widest possible international coverage and should consider the relevance of tangential or parallel developments to their fields. In addition, authors are encouraged to evaluate the general significance of research to date, including practical and policy applications where relevant.

This prestigious journal covers all aspects of:

· Geomorphology · Climatology · Biogeography & landscape ecology · Human-environment interaction

Papers include the widest possible international coverage and consider the relevance of tangential and parallel developments in other fields.

Each issue now also includes:

· Research Resource Reviews of books and other research-related resources, including DVD, media and WWW · A review of a classic book or paper In 2011, *Progress in Physical Geography* will be publishing a new section, intended as a complement to its long-running Classics Revisited features.

Articles in this new section are intended to illuminate progress in physical geography in terms of the evolution of ideas over time. They need not be focussed on any one paper or book but can involve several related publications. Unlike 'Classics' they may well focus on the more obscure, less well known but nevertheless significant aspects of the evolution of the subject.

Especially welcome would be new light shed on older ideas from either published or hitherto unpublished material. This may involve the unearthing of material which may place a development in context or clarify an original meaning. Sometimes we may find when we look back that recently we might have re-invented the wheel, or the answer to a current puzzle may possibly lie in some overlooked article. We may well also learn something about the history of science from the thought processes of earlier researchers.

Contributions of 2,500 - 3,500 words will be welcome. At this early stage, we are open to different interpretations of the approach, and we would welcome any preliminary discussion of potential author's ideas. Please contact ppgeditor@sagepub.co.uk in the first instance.

3. How to submit your manuscript

Before submitting your manuscript, please ensure you carefully read and adhere to all the guidelines and instructions to authors provided below. Manuscripts not conforming to these guidelines may be returned.

Progress in Physical Geography is hosted on SAGE track a web based online submission and peer review system powered by ScholarOne™ Manuscripts. Please read the Manuscript Submission guidelines below, and then simply visit <http://mc.manuscriptcentral.com/pipg> to login and submit your article online.

IMPORTANT: Please check whether you already have an account in the system before trying to create a new one. If you have reviewed or authored for the journal in the past year it is likely that you will have had an account created. For further guidance on submitting your manuscript online please visit ScholarOne Online Help.

All papers must be submitted via the online system. If you would like to discuss your paper prior to submission, please refer to the contact details below.

When preparing your paper: - Use the minimum of formatting. - Roman, bold and italic type can be used, but only one typeface and size should be used. - Capitals should be used only where they are to appear in the finished text. - Headings and paragraphs should be separated by two carriage returns. - There should be only one space between words and only one space after any punctuation.

For more detailed guidance please click [here](#) to review guidelines on SAGE House Style.

4. Journal contributor's publishing agreement

Before publication, SAGE requires the author as the rights holder to sign a Journal Contributor's Publishing Agreement. SAGE's Journal Contributor's Publishing Agreement is a exclusive licence agreement which means that the author retains copyright in the work but grants SAGE the sole and exclusive right and licence to publish for the full legal term of copyright. Exceptions may exist where an assignment of copyright is required or preferred by a proprietor other than SAGE. In this case copyright in the work will be assigned from the author to the society. For more information please visit our Frequently Asked Questions on the SAGE Journal Author Gateway.

5. Declaration of conflicting interests

Within your Journal Contributor's Publishing Agreement you will be required to make a certification with respect to a declaration of conflicting interests. *Progress in Physical Geography* does not require a declaration of conflicting interests but recommends you review the good practice guidelines on the SAGE Journal Author Gateway.

6. Other conventions

None applicable.

7. Acknowledgements

Any acknowledgements should appear first at the end of your article prior to your Declaration of Conflicting Interests (if applicable), any notes and your References.

All contributors who do not meet the criteria for authorship should be listed in an 'Acknowledgements' section. Examples of those who might be acknowledged include a person who provided purely technical help, writing assistance, or a department chair who provided only general support. Authors should disclose whether they had any writing assistance and identify the entity that paid for this assistance.

7.1 Funding Acknowledgement

To comply with the guidance for Research Funders, Authors and Publishers issued by the Research Information Network (RIN), *Progress in Physical Geography* additionally requires all Authors to acknowledge their funding in a consistent fashion under a separate heading. All research articles should have a funding acknowledgement in the form of a sentence as follows, with the funding agency written out in full, followed by the grant number in square brackets:

This work was supported by the Medical Research Council [grant number xxx]. Multiple grant numbers should be separated by comma and space. Where the research was supported by more than one agency, the different agencies should be separated by semi-colons, with "and" before the final funder. Thus:

This work was supported by the Wellcome Trust [grant numbers xxxx, yyyy]; the Natural Environment Research Council [grant number zzzz]; and the Economic and Social Research Council [grant number aaaa].

In some cases, research is not funded by a specific project grant, but rather from the block grant and other resources available to a university, college or other research institution. Where no specific funding has been provided for the research we ask that corresponding authors use the following sentence:

This research received no specific grant from any funding agency in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Please include this information under a separate heading entitled "Funding" directly after any other Acknowledgements prior to your "Declaration of Conflicting Interests" (if applicable), any Notes and your References.

Important note: If you have any concerns that the provision of this information may compromise your anonymity dependent on the peer review policy of this journal outlined above, you can withhold this information until final accepted manuscript. For more information on the guidance for Research Funders, Authors and Publishers, please visit: <http://www.rin.ac.uk/funders-acknowledgement>.

8. Permissions

Authors are responsible for obtaining permission from copyright holders for reproducing any illustrations, tables, figures or lengthy quotations previously published elsewhere.

For further information including guidance on fair dealing for criticism and review, please visit our Frequently Asked Questions on the SAGE Journal Author Gateway.

9. Manuscript style

9.1 File types

Only electronic files conforming to the journal's guidelines will be accepted. Your paper should be submitted in Word format.

9.2 Journal Style

Progress in Physical Geography conforms to the SAGE house style. Click [here](#) to review guidelines on SAGE UK House Style

9.3 Reference Style

Progress in Physical Geography adheres to the SAGE Harvard reference style. Click [here](#) to review the guidelines on SAGE Harvard to ensure your manuscript conforms to this reference style.

For a sample page of references from *Progress in Physical Geography* please click [here](#).

If you use EndNote to manage references, download the SAGE Harvard output style by following this link and save to the appropriate folder (normally for Windows C:\Program Files\EndNote\Styles and for Mac OS X Harddrive:Applications:EndNote:Styles). Once you've done this, open EndNote and choose "Select Another Style..." from the dropdown menu in the menu bar; locate and choose this new style from the following screen.

9.4. Manuscript Preparation

The text should be double-spaced throughout and with a minimum of 3cm for left and right hand margins and 5cm at head and foot. Text should be standard 10 or 12 point. SI units should be used throughout the text.

9.4.1 Keywords and Abstracts

The title, keywords and abstract are key to ensuring that readers find your article online through online search engines such as Google. Please refer to the information and guidance on how best to title your article, write your abstract and select your keywords by visiting SAGE's Journal Author Gateway Guidelines on How to Help Readers Find Your Article Online.

9.4.2 Corresponding Author Contact details

Provide full contact details for the corresponding author including email, mailing address and telephone numbers. Academic affiliations are required for all co-authors.

9.4.3 Guidelines for submitting artwork, figures and other graphics

For guidance on the preparation of illustrations, pictures and graphs in electronic format, please visit SAGE's Manuscript Submission Guidelines.

If, together with your accepted article, you submit usable colour figures, these figures will appear in colour online regardless of whether or not these illustrations are reproduced in colour in the printed version. If a charge applies you will be informed by your SAGE Production Editor. For specifically requested colour reproduction in print, you will receive information regarding the costs from SAGE after receipt of your accepted article.

9.4.4 Guidelines for submitting supplemental files

Progress in Physical Geography does not currently accept supplemental files.

9.4.5 English Language Editing

Non-English speaking authors who would like to refine their use of language in their manuscripts should have their manuscript reviewed by colleagues with experience of preparing manuscripts in English.

Alternatively it might be useful to consider using a professional editing service. Visit <http://www.uk.sagepub.com/journalgateway/msg.htm> for further information.

10. After acceptance

10.1 Proofs

We will email a PDF of the proofs to the corresponding author.

10.2 E-Prints and Complimentary Copies

SAGE provides authors with access to a PDF of their final article. For further information please visit [Offprints and Reprints](#). We additionally provide the corresponding author with a complimentary copy of the print issue in which the article appears up to a maximum of 5 copies for onward supply by the corresponding author to co-authors.

10.3 SAGE Production

At SAGE we place an extremely strong emphasis on the highest production standards possible. We attach high importance to our quality service levels in copy-editing, typesetting, printing, and online publication (<http://online.sagepub.com/>). We also seek to uphold excellent author relations throughout the publication process.

We value your feedback to ensure we continue to improve our author service levels. On publication all corresponding authors will receive a brief survey questionnaire on your experience of publishing in *Progress in Physical Geography* with SAGE.

10.4 OnlineFirst Publication

Progress in Physical Geography benefits from OnlineFirst, a feature offered through SAGE's electronic journal platform, SAGE Journals Online. It allows final revision articles (completed articles in queue for assignment to an upcoming issue) to be hosted online prior to their inclusion in a final print and online journal issue which can significantly reduce the lead time between submission and publication. For more information please visit our [OnlineFirst Fact Sheet](#)

11. Further information

Any correspondence, queries or additional requests for information on the Manuscript Submission process should be sent to the Editorial Office as follows: Prof. Nick Clifford Managing Editor – *Progress in Physical Geography* Department of Geography King's College London Strand London, WC2R 2LS, UK. E-mail: ppgeditor@sagepub.com