

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS/UFAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE BIOLÓGICA E CONSERVAÇÃO NOS
TRÓPICOS/PPG-BIBICT

LUIS HERNÁN ACOSTA SALVATIERRA

VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA COBERTURA DE VEGETAÇÃO DA CAATINGA, USANDO O
ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NORMALIZADA (NDVI)

MACEIÓ

2016

LUIS HERNÁN ACOSTA SALVATIERRA

**VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA COBERTURA DE VEGETAÇÃO DA CAATINGA, USANDO O
ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NORMALIZADA (NDVI)**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Biológica e Conservação nos Trópicos da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em CIÊNCIAS BIOLÓGICAS, área de concentração em Conservação da Biodiversidade Tropical.

Orientadora: Dr^a. Ana C. M. Malhado

Co-Orientador: Dr. Humberto Barbosa

Co-Orientador: Dr. Richard J. Ladle

MACEIÓ

2016

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

A182v Acosta Salvatierra, Luis Hernán.
 Variação espaço-temporal da cobertura de vegetação da caatinga, usando
 o Índices de vegetação normalizada (NDVI) / Luis Hernán Acosta Salvatierra.
 – 2016.
 87 f. : il.
 Orientador: Ana C. M. Malhado.
 Coorientador: Humberto Barbosa.
 Coorientador: Richard J. Ladle.
 Dissertação (Mestrado em Diversidade Biológica e Conservação nos
Trópicos) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Biológicas
e da Saúde. Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade biológica e
Conservação nos Trópicos. Maceió, 2016.

1. Mudança climática. 2. Seca. 3. Desertificação. 4. Brasil. 6. Semiárido.
7. Caatinga. 8. Unidades de conservação. I. Título.

CDU: 551.583

Folha de aprovação

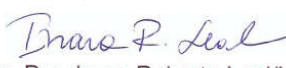
Luis Hernán Acosta Salvatierra

**VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA COBERTURA DE
VEGETAÇÃO DA CAATINGA, USANDO OS ÍNDICES DE
VEGETAÇÃO NORMALIZADA (NDVI)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Conservação nos Trópicos, Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do título de Mestre em CIÊNCIAS BIOLÓGICAS, área de concentração em Conservação da Biodiversidade Tropical.

Dissertação aprovada em 19 de fevereiro de 2016.


Profa. Dra. Ana Cláudia Mendes Malhado /UFAL
Orientadora


Profa. Dra. Inara Roberta Leal/UFRPE
(membro titular)


Profa. Dra. Chiara Bragagnolo/UFAL
(membro titular)


Profa. Dra. Juliana Stropp/UFAL
(membro titular)

MACEIÓ - AL
Fevereiro / 2016

Dedicada as minhas musas que inspiraram o presente trabalho:

*A mi pequeña hija Keila Ayelen, quien fue la fuerza y voluntad en todo momento para seguir
adelante.*

*Al Fray Andrés Lagner (Q.E.P.D.), quien en el transcurso del tiempo se tornó en un ejemplo de
persona a seguir, pese a la vocación que uno como persona tenga se pueden lograr muchas,
cosas con tan solo proponérselas.*

AGRADECIMENTOS

Desejo expressar meus maiores agradecimentos as Instituições e pessoas que fizeram possível a realização deste trabalho.

Em primeiro momento, agradeço a OEA-grupo Coimbra, pela oportunidade que me concedeu, para fazer o curso de Pós-graduação, na UFAL.

Aos coordenadores do PPG-BIBICT, por toda a ajuda dispensada.

Aos professores do PPG-BIBICT, pelos ensinamentos ministrados a minha formação.

Aos meus orientadores Dra. Ana C.M. Malhado, Dr. Humberto Barbosa e Dr. Richard Ladle, pela confiança e orientação que tiveram para concluir este trabalho de pesquisa.

Ao Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélites (LAPIS), por facilitar os dados para o presente trabalho, agradecer também a todo pessoal pela ajuda e amizade gerada, em especial a Leandro Macedo, Anselmo dos Santos e Eduardo.

Ao Laboratório de Conservação do Século XXI, pelas contribuições durante a fase de elaboração do projeto, e pela amizade gerada.

Ao Ricardo Correia, por toda a ajuda no desenvolvimento dos capítulos da dissertação.

Ao Amesson Costa, muito grato pelo ensino de uma das ferramentas que foram muito úteis em minha pesquisa (ArcGis).

A Juliana Stropp e Adriana Costa, muito obrigado pelos comentários e sugestões no documento da Dissertação.

A Dra. Kallianna Danta e a seu pessoal do Laboratório, pelo apoio na fase de campo nas localidades de Olho D'Água do Casado e Delmiro Gouveia.

A Kathia Rivero chefe da área de Zoologia do Museu de História Natural Noel Kempff Mercado, pelo apoio e amizade incondicional.

A Dra. Luoise H. Emmons por toda ajuda e fé depositada em minha pessoa.

Ao Dr. Damian I. Rumiz e Rosa Strem, por toda a ajuda dispensada na elaboração dos artigos.

A meus companheiros de mestrado a todos e cada um de eles muito grato pela amizade gerada.

A Gustavo Ruano, Merybeth Fernandez e Raiza Velasco, muito obrigado pela amizade gerada durante minha estada.

A todos meus amigos da Bolívia em especial ao Carlos Terceros, Lena Patiño, José Miguel Castro e Jose Luis Poma.

A minha irmã Maria Rosario e Marcelo Cardoso pelo apoio fornecido e fé depositada.

A meus pais (Mario e Betty) e irmãos (Ricardo, Alexander e Mario) muito obrigado pelo apoio fornecido.

A minha família (Lorena e Keila) fico muito agradecido pela paciência e fé depositada em minha pessoa.

RESUMO

É evidente que mudanças climáticas alteram ecossistemas em escala global. Nas últimas décadas, observamos um aumento no degelo das calotas polares e geleiras das cadeias montanhosas, aumento na temperatura, escassez de água, risco de extinção de diversos organismos, colocando em risco a segurança alimentar do homem. No Brasil, efeitos das mudanças climáticas já são observados em algumas regiões, como chuvas torrenciais em lugares que tinham pouca precipitação e diminuição das chuvas em outros locais. Do mesmo modo, os biomas brasileiros estão sujeitos não somente a mudanças climáticas, mas também a mudanças antrópicas, como o desmatamento, a perda gradual da abundância e diversidade microbiana, estão comprometendo sua existência. A região da Caatinga, por exemplo, enfrenta secas cada vez mais prolongadas, fortes pressões antrópicas e fracas políticas ambientais. Todos estes fatores ameaçam a conservação desta região única no Brasil. Assim, o presente trabalho tem como objetivo principal demonstrar a grande importância das Unidades de Conservação, frente aos eventos climáticos extremos na Caatinga no período de 2008 a 2013, com ênfases na seca ocorrida em 2012. Para isso foram utilizados dados mensais de NDVI, precipitação e dados vetoriais (Shapefile) de desmatamento (IBAMA) e de Unidades de Conservação (MMA). Os dados foram analisados com o Modelo Linear Generalizado (GLM) para ver qual é a relação entre os valores mensais do NDVI e precipitação, nas áreas com desmatamentos e unidades de conservação.

Os resultados mostram que: i) existe uma forte relação entre os valores mensais de NDVI, precipitação e as unidades de conservação (Estimate = -0.019, SE = 0.004, p-value = <0.001), ii) observa-se que as unidades de conservação cumprem um papel importante nos eventos de seca extrema na vegetação da Caatinga.

Palavras chaves: Mudança climática. seca. NDVI. desertificação. Brasil. semiárido. Caatinga. Unidades de Conservação

ABSTRACT

It is evident that climate change is altering ecosystems on a global scale. In recent decades, there has been an increase in the melting of the polar ice caps and snowy peaks in the mountain chains, as well as the increase in temperature, water shortages and the risk of extinction in several organisms, resulting at the same time in a risk increase of food security for the people. In Brazil, effects of climate change are already observed in some regions, some effects are increase of torrential rain in areas where rainfall was very low, as well as the rainfall decrease elsewhere. Similarly, the Brazilian biomes are subject not merely to climate change, but also to anthropogenic changes, such as deforestation, that compromises the existence of these Biomes. The Caatinga biome for example, face increasingly prolonged droughts, strong anthropic pressures and weak environmental policies. All those factors threaten the conservation of this biome that is unique in Brazil. The present study aims to seek to demonstrate the high value that conservation units have against extreme climatic events in the Caatinga. For this, NDVI monthly values were used, as well as precipitation and vector data (Shapefile) of deforestation (IBAMA) and the Conservation Units (MMA). In the Chapter, we analyze which is the relation between NDVI monthly values and precipitation in areas with deforestation and conservation units, using a generalized linear model (GLM). The results showed that: i) there is a strong relationship between monthly NDVI, precipitation and conservation units (Estimate = -0.019, SE = 0.004, p-value = <0.001), ii) it also show that the conservation units play an important role in the events of extreme drought in the Caatinga vegetation.

Key Word: Climate change. drought. NDVI SEVIRI. desertification. Brazil. semi-arid. Caatinga. Conservation Unit

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Biogeographical regionalisation of the Neotropical Region / <i>Regionalização Biogeografica da região Neotropical (Imagem extraída de Morrone, 2014)</i>	16
Figure 2- Brazilian Biomes map / <i>Mapa classificação dos Biomas de Brasil (Elaborado dos Shapefile gerado pelo IBGE, 2012).</i>	17
Figura 3- Brazilian vegetation map / <i>Mapa da classificação da vegetação do Brasil (Elaborado dos Shapefile gerado pelo IBGE, 2012)</i>	28
Figura 4- Caatinga Ecoregion / <i>Ecorregões da Caatinga, (Os dados foram extraídos do Shapefile elaborado pelo Velloso et al., 2002)</i>	31

SUMÁRIO

	Pag.
1 APRESENTAÇÃO	13
2 INTRODUÇÃO.....	14
2.1 Revisão da Literatura.....	15
2.1.1 Sub-regiões do Brasil	15
2.1.2 Biomas terrestres do Brasil.....	17
2.2 Classificação da Vegetação do Brasil	20
2.3 A Caatinga Semiárida	28
2.3.1 Ecorregiões da Caatinga	29
2.3.2 Fauna	31
2.3.3 Clima, precipitação e temperatura.....	32
2.3.4 Geologia e geomorfologia	34
2.3.5 Solos	34
2.3.6 População	35
2.3.7 Problemas da Caatinga	36
2.3.8 Conservação da Caatinga.....	36
2.4 Sensoriamento remoto aplicado a estudos ambientais	38
2.4.1 Algumas experiências de sensoriamento remoto na Caatinga	39
2.4.2 Satélite Meteosat Second Generation (MSG-2)	39
2.4.3 Índices de Vegetação Normalizada (NDVI)	40
2.4.4 O índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) nos estudos de Conservação da Natureza	42
REFERÊNCIAS.....	44
ANEXO	66

ANEXO A. LISTA DE ILUSTRAÇÃO DO ARTIGO SUBMETIDO AO JOURNAL BIODIVERSITY AND CONSERVATION.....	67
ANEXO B. LISTA DE TABELAS DO ARTIGO SUBMETIDO AO JOURNAL BIODIVERSITY AND CONSERVATION.....	68
ANEXO C. ARTIGO SUBMETIDO AO JOURNAL BIODIVERSITY AND CONSERVATION	69
CONCLUSÕES GERAIS.....	90

1 APRESENTAÇÃO

A presente dissertação apresenta uma análise da variação espaço-temporal da vegetação da região da Caatinga, através do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), nos períodos 2008-2013, com ênfases na seca extrema de 2012. Esta dissertação foi estruturada da seguinte maneira:

Inicialmente apresenta-se um parágrafo de introdução, seguido de uma revisão de literatura, onde são identificadas as características mais representativas das sub-regiões e os biomas brasileiros com foco na sua vegetação. Em seguida, é apresentada uma descrição da região da Caatinga, detalhando a vegetação, fauna, clima, geologia, solos, população, problemas e conservação. Finalmente, descrevemos as ferramentas para análises espaciais como o sensoriamento, MSG2 (Meteosat Second Generation) e o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada).

Na sequência da revisão da literatura, apresentamos um capítulo (Anexo) redigido em formato de artigo científico. O presente artigo é intitulado: *Protected Areas buffer Caatinga vegetation from Climate Change* e será submetido a revista Biodiversity and Conservation.

2 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas a nível geral são uma realidade muito palpável, onde alguns processos naturais como: as correntes oceânicas, acúmulo do gelo na terra, os processos associados à atmosfera (temperatura atmosférica, umidade, nebulosidade) podem ocasionar uma mudança abrupta no clima (Alley *et al.*, 2002; Norwine, 2013). Além disso, as atividades antrópicas como desmatamento de milhões de hectares para a implementação de monocultivos, industrialização em grande escala, uso de energia fóssil, entre outras coisas, estão produzindo uma aceleração das mudanças climáticas naturais e tendo como resultado o encolhimento das geleiras, perda da biodiversidade, desertificação, escassez de água em algumas regiões do planeta, surgimento de novas doenças, entre outros impactos (Beniston, 2010).

O avanço da tecnologia e da ciência oferecem ferramentas para diferentes tipos de pesquisa para detectar mudanças de uso da terra. Um claro exemplo é a teledetecção, que é empregada para diversos tipos de estudos como: análise da dinâmica e mudança do uso de solo, estabelecimento de parâmetros que indicam os diferentes graus de degradação em determinadas áreas, na conservação dos recursos naturais e na cobertura vegetal entre outros (Chuvieco, 1995). O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é um indicador derivado a partir de imagens de satélite e é amplamente empregado para análise da cobertura vegetal, como comportamento dos cultivos e da floresta natural (Rouse Jr *et al.*, 1973). No Brasil, em particular, o NDVI tem sido empregado para determinar as zonas de riscos de degradação (Aquino e Oliveira, 2012; Rios e Do Vale, 2014), e para o monitoramento da biomassa vegetal (Gondim e Franca-Rocha, 2011).

Uma recente revisão na revista *Nature*, realizada por Rammig e Mahecha, (2015) indicam que os ecossistemas estão respondendo favoravelmente ao evento de clima extremo, e que as zonas semiáridas podem ser as mais vulneráveis às secas de longo prazo no futuro. Por outro lado, Maestre *et al.* (2015) indicam que as mudanças climáticas podem por em riscos os ecossistemas semiáridos, provocando a redução na abundância e diversidade microbiana, o que pode causar impactos negativos nos serviços ecossistêmicos, que são peça chave para os ecossistemas semiárido do mundo. Como a Caatinga é considerada um ecossistema semiárido, que é exclusivo do Brasil, ela pode ser vulnerável a

tais mudanças já que as secas são prolongadas e intensas. Apesar de que as variabilidades extremas nas secas, provavelmente sejam causadas pela combinação dos padrões das circulações térmicas regionais (Moura e Shukla, 1981) ou pelas anomalias na temperatura da superfície do mar (Pereira *et al.*, 2014; Roucou *et al.*, 1996)

A vulnerabilidade da Caatinga pode ser comprometida pelos eventos climáticos futuros, devido aos altos níveis de degradação atual do habitat (desmatamento para a agricultura e extração mineral, sobrepastoreio, urbanização entre outros), (Leal *et al.*, 2005; Leal *et al.*, 2003; MMA, 2015; Prado, 2003). Uma consequência disso, é a existência de poucas áreas bem conservadas da vegetação semi-árida da Caatinga, as mesmas encontram-se agrupadas em um descompensado número de áreas protegidas de proteção integral, que se encontram espalhadas por toda a região, cobrindo aproximadamente apenas 1% do território (de Oliveira *et al.*, 2012; Leal *et al.*, 2005).

O presente trabalho tem como objetivo principal determinar a importância das Unidades de Conservação (MMA) com relação a precipitação, classes de vegetação (elaborados pelo IBGE), desmatamento (IBAMA), por meio da variação espaço - temporal do NDVI, para isso, foram calculados médias mensais de valores NDVI a partir de imagens diárias de satélites do MSG2 (Satélite Meteosat Second Generation) e as médias mensais de precipitação, dentro e fora das Unidades de Conservação e zonas com desmatamento. O uso destas ferramentas permite uma melhor compreensão de como uma vegetação adaptada a um sistema semiárido, está respondendo as secas mais prolongadas reportadas nas últimas décadas, neste caso concreto foi estudar o papel fundamental que tem as Unidades de Conservação, frente as secas prolongadas.

2.1 Revisão da Literatura

2.1.1 Sub-regiões do Brasil

Segundo a proposta da regionalização de América Latina e do Caribe em base uma análise panbiogeografica nos táxons de plantas e animais (Morrone, 2014), o território Brasileiro faz parte da região Neotropical, a mesma compreende duas sub-regiões: a **Brasileira**, com o Domínio *Brasileiro Boreal* o qual compreende as Províncias: Imerí, Pantepui, Campanhas das Guianas, Roraima, Pará), o domínio *Brasileiro Sul* com suas Províncias: Madeira, Rondônia; e por ultimo a sub-região **Chaquenha**, com o Domínio

Amazônia Sudeste e suas Província: Xingu-Tapajós, *Chaquenha* (Província: Caatinga, Cerrado), e *Paraná* (Província: Atlântica, Floresta de Paraná, Floresta Araucária) (figura 1). A Sub-região Brasiliense, inclui à porção sul e centro de México, América Central e Nordeste de América do Sul, fazem parte os domínios de Meso-América, Pacífico, Brasil Boreal e Sudoeste da Amazônia. Em quanto que a Sub-região Chaquenha, ocupa a porção Sudeste de América do Sul, compreendendo os domínios do Chaco, Paraná e o Sudeste da Amazônia (Morrone, 2014).



Figura 1 Biogeographical regionalisation of the Neotropical Region / *Regionalização Biogeografica da região Neotropical* (Imagem extraída de Morrone, 2014)

2.1.2 Biomas terrestres do Brasil

Segundo os esforços realizado pelo Ministério de Meio Ambiente o território Brasileiro é dividido em seis biomas (figura 2), graça a um árduo trabalho que tinham o desafio de mapear a cobertura vegetal dos diferentes biomas do Brasil, por meio de Imagens de satélite LandSat obtidas geralmente no ano 2002 (www.mma.gov.br/portallbio). Dentre eles, existem biomas com uma alta umidade e precipitação como é o caso da Amazônia, assim também temos biomas com baixíssima precipitação, como é o caso da Caatinga. Estes biomas caracterizam-se por conter um alto grau de diversidade de espécies e endemismos, entre eles destacam-se:

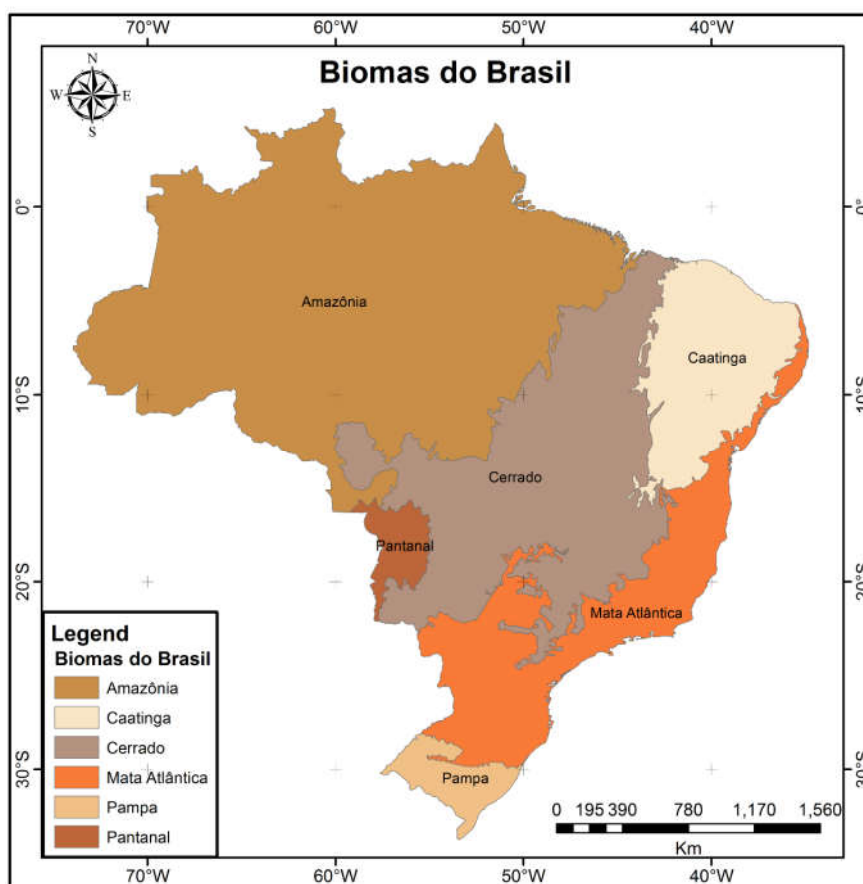


Figure 2 Brazilian Biomes map / *Mapa classificação dos Biomas de Brasil* (Elaborado dos Shapefile gerado pelo IBGE, 2012).

Bioma da Amazônia. É considerado o maior bioma do Brasil e também o mais diverso do planeta (em plantas e animais). Ocupa uma área aproximada de 6.000.000 km², caracteriza-se por conter uma quinta parte de toda a água doce do planeta e tem a capacidade de regular o clima global e regional (Boubli e Hrbek, 2012). Apresenta a maior bacia hidrográfica

do planeta (Goch, 2012). A floresta amazônica tem uma vegetação heterogênea, sua variação pode estar regida pela dominância de suas espécies e pelas cartografias de suas faixas (Ab'saber, 2002) podendo ser dividida em: igapó, várzea, terra firme, campinas e campinarana (Boubli e Hrbek, 2012).

Bioma do Cerrado. Apresenta uma ampla distribuição no território brasileiro, com cerca de 2.000.000 km² o que representa 24% da superfície do Brasil. Devido ao seu grau de endemismo e as ameaças que tem, é considerado um dos *hotspots* mais importantes no mundo (Scariot *et al.*, 2005). É composto principalmente por diversos tipos de savanas, algumas com muita cobertura vegetal (Cerrado e Cerradão), outras com menor cobertura (Campo limpo e Campo sujo). Segundo Henriques (2005) esta diferença na cobertura vegetal pode ser influenciada pela umidade e profundidade do solo. É uma vegetação adaptada aos processos pirogênicos, porque a ação do fogo tem um efeito positivo na composição de espécies do cerrado.

Bioma da Mata Atlântica. Cobre aproximadamente uma área de 147.018 km² (Fundação SOS Mata Atlântica e INPE, 2009), apresenta um clima tropical úmido, é considerado como um dos biomas mais diversos do planeta e também como um dos mais ameaçados pela intervenção antrópica (Franke *et al.*, 2005). Além disso é considerado o segundo maior bioma da América do Sul depois da Amazônia, e assim como o Cerrado também é considerado um do *Hotspot* da diversidade. A Mata Atlântica compreende muitas topologias vegetais, que localizam-se na faixa litorânea do Brasil, sendo as formações mais representativas as: Floresta Ombrófila Densa, Floresta estacional e Encraves de Campos e Brejos de altitudes, vegetações associadas a ecossistemas costeiros da restingas, Manguezais e Mangues, as temperaturas medias variam entre 14-21°C, e a máxima pode chegar a 35°C, as precipitações medias variam de 1500-2000mm/ano, em áreas montanhosa chegam de 3600-4500mm/ano (Guedes *et al.*, 2005)

Bioma da Caatinga. A caatinga é um bioma endêmico da América do Sul, exclusivamente brasileiro, com aproximadamente 800.000 km², compreendendo os estados de: Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Alagoas, Sergipe, Bahia e a parte norte de Minas Gerais (Tabarelli e Da Silva 2003). É considerada uma vegetação decídua xerofítica de regiões semiáridas, uma das principais características desta zona é que apresenta um clima semiárido onde a deficiência da água é muito forte (Motta *et al.*, 2002). Quase 50% do

bioma recebe menos de 750 mm de chuva ao ano, sendo que existem alguns sítios onde a precipitação é ainda menor (500 mm) como o caso do Raso da Catarina e uma grande extensão dos estados de Pernambuco e Paraíba (Prado, 2003). A época seca na região é muito variável, tem áreas onde a seca prolonga-se de 2-3 meses (Brejos úmidos), outras onde a seca tem duração de 6 a 9 meses (maior parte de região), ou até mesmo locais, como o Raso da Catarina, que pode ter uma duração de até 10-11 meses. Uma das características mais marcante da Caatinga é o sistema das chuvas irregular que muda ano após ano (Leal *et al.*, 2003).

A palavra Caatinga vem do idioma Tupi-Guarani que significa "floresta branca" que faz referência à floresta na época seca, quando suas árvores perdem suas folhas e os troncos e arbustos ficam na cor branco e brilhoso (Prado, 2003).

Bioma do Pantanal. Este bioma ocupa cerca de um terço do território Brasileiro (140.000 km²) está presente nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, se estendendo até a Bolívia e Paraguai. No pantanal, a altitude que varia de 60-150m, ainda se observa alguns afloramentos rochosos dentro da planície. A temperatura média anual é de 25°C, sendo que as máximas ultrapassam os 40°C nos meses de setembro a dezembro. Este bioma apresenta um ciclo de inundação, com áreas que podem ser alagadas temporária ou permanentemente, embora exista áreas livre de inundação. Cerca de 11.000 a 110.000 km² é a área inundável com uma média de 53.00Km². Tanto a fauna como a flora do pantanal são influenciadas pela Amazônia, Chaco, Cerrado e Mata Atlântica (Fernandes, Signor, *et al.*, 2010). O Pantanal abriga uma fauna ecológica muito interessante, onde ocorrem os movimentos de migrações de aves. Cerca de 463 espécies de aves entre residentes, migrantes e vagantes; cerca de 269 de peixes; anfíbios pelos menos 40 spp.; morcegos 61 spp., ocorrem no pantanal (Chupel e Aragona, 2010; Da Silva e Marques, 2010; Fernandes, Zuanon, *et al.*, 2010; Signor e Pinho, 2010; Valério-Brun *et al.*, 2010).

Bioma Pampas. É considerado como um dos biomas menos conhecidos do Brasil, do ponto de vista de sua biodiversidade. Este bioma é também conhecido como Estepes (Campanha Gaúcha) e Savana estépicas (Campanha) e localiza-se ao sul do país, formado pelas regiões climáticas tropical e temperada, apresenta um verão quente e um inverno frio. Grande parte da sua biodiversidade é compartilhada com a Mata Atlântica. Na atualidade, cerca de 19 espécies são consideradas endêmicas neste Bioma, entre elas destacam: cinco espécies de

mamíferos, duas de aves e 12 de peixes (MMA-SBF, 2000). Floristicamente é composto por mosaicos de campos com vegetação arbustiva. Uma das principais ameaças a este bioma é o sobre pastoreio de gado, que causa a diminuição da cobertura da vegetal solo e consequente erosão (Overbeck *et al.*, 2009).

2.2 Classificação da Vegetação do Brasil

O Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE, 2012) classifica a vegetação do território brasileiro de acordo com três critérios: 1) Florístico, 2) Fisionômico-Ecológico e 3) Fitossociológico- Biológico.

Classificação Florística

O sistema classificação florística do Brasil, segue os critérios proposto por Drude (1897) citado no IBGE (2012), onde dividem a vegetação conforme a influência tropical que tem as zonas florística na terra, por exemplo a Zona Paleotropical que engloba a região Tropical de Ásia e África, a zona Neotropical que abarca do México até Argentina. Além disso é proposta uma subdivisão destas zonas, fazendo ênfases a classificação da vegetação por: **a) regiões:** é aquela vegetação que está determinada por seus gêneros endêmicos; **b) domínios:** faz referência as comunidades com espécies endêmicas; e **c) setores:** são os ambientes localizados e assinalados por variedades também endêmicas (IBGE, 2012).

Classificação Fisionômico-Ecológico

Esse sistema de classificação segue Ellenberg & Muler-Dombois (1967) citado por IBGE (2012), que separa as classes de vegetação de acordo com o tipo de sua formação, ou seja, pelas estruturas fisionômicas que são as encarregadas de delimitar sua forma de vida dominante. Estas classes podem ser agrupadas em: Florestas composta por macrofanerófitos (brotos 22-50m) e mesofanerófitos (brotos 10-22m) e Floresta composta por microfanerófitos (brotos 2-10m) e nanofanerófitos (brotos < 2m). Cada classe é dividida em subclasses, estas caracterizam-se por dois parâmetros ligados ao clima que podem ser Ombrófilos ou Estacional. As subclasses congregam-se em grupo de formação, ver figura 3 (IBGE, 2012).

Classificação da vegetação Brasileira segundo o sistema fisionômico-ecológico

Floresta Ombrófila Densa (Floresta Tropical Pluvial)

Caracteriza-se por desenvolver-se em climas tropicais com elevadas temperaturas (25°C, temperatura média) e altas precipitações, onde praticamente não existe um período seco biologicamente falando (10-60 dias sem chuvas). Em algumas regiões como o nordeste do Estado de Mato Grosso apresenta um período seco de 3-5 meses, em quanto que no Estado de Amazônia ela diminui para dois meses. A vegetação Ombrófila Densa, encontra-se dividida em 5 formações, segundo a hierarquia topográfica, o que condiciona as diferentes fisionomias, (IBGE, 2012): Floresta Ombrófila Densa Aluvial; Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas; Floresta Ombrófila Densa Submontana; Floresta Ombrófila Densa Montana; Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana (IBGE, 2012).

Floresta Ombrófila Aberta (Faciações da Floresta Ombrófila Densa)

Este tipo de vegetação foi tratado durante muito tempo como uma floresta de transição da floresta Amazônia, no projeto RADAMBRASIL (1975), é denominado recentemente como Floresta Ombrófila Aberta. Na atualidade apresenta quatro tipos de formações (Floresta Ombrófila Aberta Aluvial, Floresta Ombrófila Aberta das Terras Baixas, Floresta Ombrófila Aberta Submontana, Floresta Ombrófila Aberta Montana), todos separados pelos gradientes climáticos > 60 dias secos (IBGE, 2012).

Os solos onde desenvolvem-se este tipo de vegetação são os areníticos do Cenozoico e do Terciário, as comunidades vegetais desta floresta estão compostas por palmeiras as quais estão presentes em toda a Amazônia e também fora dela, por outro lado na região ocidental da Amazônia a vegetação está composta por Bambu, em áreas onde esta espécie é abundante são sítios onde se explorarão algumas madeiras nobres como: Cedrela, Ocotea e Aspidosperma (IBGE, 2012).

Floresta Ombrófila Mista (Floresta de Araucária)

Na atualidade é conhecida como a mata da Araucária ou Pinheiral, é uma vegetação típica do planalto meridional, onde antigamente ocorria com maior frequência. Atualmente encontra-se distribuída de maneira disjunta nas serras do Mar e Mantiqueira. A presença dos gêneros primitivos como Drymis e Podocarpus, dentro de sua composição florística sugerem que tem uma ocupação recente a partir dos Refúgios Altos-montanos. Este tipo de vegetação apresenta 4 tipos de formações que são as seguintes: Floresta Ombrófila Mista

Aluvial, Floresta Ombrófila Mista Submontana, Floresta Ombrófila Mista Montana e Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana (IBGE, 2012).

Floresta Estacional Sempre-Verde (Floresta Estacional Perenifólia)

A denominação de Floresta Estacional Sempre-Verde, foi recentemente incluído ao Sistema de Classificação da Vegetação Brasileira pelo IBGE, prévio a isso muitos pesquisadores e instituições colaboraram para alcançar isso. Este tipo de vegetação caracteriza-se por apresentar uma alta produção de folha no período de estiagem, pelo geral ocorre no Estado de Mato Grosso e se estende por toda a região da bacia Sedimentar dos Parecis, nas depressões dos Rios Guaporé, Paraguai, Araguaia e do planalto de Tapirapuã (IBGE, 2012). Segundo o Ivanauskas *et al.* (2008), tomam em consideração a borda Sul da Amazônia no Mato Grosso e a região do Rio Xingu como Floresta Estacional Sempre-Verde. Atualmente este tipo de vegetação está composta por três formações que são as seguintes: Floresta Estacional Sempre-Verde Aluvial, Floresta Estacional Sempre-Verde das Terras Baixas, Floresta Estacional Sempre-Verde Submontana (IBGE, 2012).

Floresta Estacional Semidecidual (Floresta Tropical Subcaducifólia)

Esta floresta desenvolve-se em climas estacionais, o que condiciona a folhagem da vegetação para que seja semideciduo. Cresce em solos aluvias (ao longo dos Fluvios), nas regiões sub-montanas e montanas caracteriza-se por apresentar um dossel uniforme com emergentes, nos solos aluvias está vegetação distende-se desde 5-300m, nas zonas montanhosa a partir de 400-1000m (IBGE, 2012).

Floresta Estacional Decidual (Floresta Tropical Caducifólia)

Este tipo de vegetação tem uma distribuição descontínua no território brasileiro, suas árvores perdem cerca do 50% de suas folhas nas épocas da seca. Atualmente, ocupa áreas de maneiras descontínuas no Cerrado (Floresta Ombrófila Aberta e Savana), no Leste para o Oeste na Caatinga do Sertão Árido (Savana-Estépica), até as Floresta Tropical Subcaducifólia (Floresta Estacional Semidecidual), até as áreas subtropical do Rio Uruguai entre as Floresta de Araucária (Floresta Ombrófilas Mistas) do palato Meridional e a Estepe (Campos Gaúchos) (IBGE, 2012).

Esta vegetação pode ser identificada em duas situações: a primeira quando está presente uma estação chuvosa seguido de um período seco (zona tropical); no segundo caso

apresenta não só um período seco, em contrapartida conta com um inverno frio, cujas temperaturas médias mensais são $\leq 15^{\circ}\text{C}$ (zona subtropical), entres os gêneros mais representativo para estas duas zonas estão: *Peltophorum*, *Anadenanthera*, *Apuleia*, entre outros (IBGE, 2012).

Este tipo de floresta ocorre em solos aluviais, onde apresenta um dossel uniforme. Em terra baixa surge a partir dos 30-600m, conta com um dossel uniforme com algumas árvores emergentes. Na região submontana pode ser encontrado a partir dos 30-600m de altitude, apresenta um dossel uniforme com emergentes, na zona de montanha está estabelece-se nos 400-200m, com um dossel uniforme com emergentes (IBGE, 2012).

Campirana (Caatinga da Amazônia, Caatinga-Gapó e Campinga da Amazônia)

Esta vegetação encontra-se, na região ocidental norte da Amazônia. Inicialmente foi descrita nas bacias do Alto do Rio Negro e Médio do rio Branco, na atualidade sabe-se que ocorre de maneira disjunta nas Hileia do Estado do Acre ao Estado de Pará, chegando a penetrar na Colômbia e na Venezuela.

No projeto de RADAMBRASIL, o mapeamento desta vegetação foi denominado dentro do domínio de Campinarana (Falso campo), mas a denominação deste termo foi muito ampla porque engloba uma variedade bem diversa fisiologicamente falando. O IBGE trata a essa vegetação como Caatinga Amazônia, Caatinga Gapó (vegetação mais densa ou arborizada), e Campina da Amazônia (vegetação mais aberta ou campestre) (IBGE, 2012).

Savanas (Cerrado)

Caracteriza-se a vegetação da savana ou cerrado como xeromorfa, por ocorrer sob distintos tipos de climas, apresenta uma ampla distribuição na zona tropical e uma maior extensão no território Brasileiro (Região Central). Dentro do território nacional é conhecida por diferentes nomes, por exemplo de Tabuleiros Agrestes ou Chapadas na região Nordeste; Campina ou Gerais, no Norte dos Estados de Minas Gerais, Tocantins, Bahia e no Estado de Roraima.

Savana Estépica (Savanas secas e/ou úmidas: Caatinga do Sertão Árido, Campos de Roraima, Chaco Mato-Grossense do Sul e Parque de Espinilho da Barra do Rio Quarai)

Para as savanas estépicas brasileiras, as Caatingas do Sertão Árido Nordeste são as áreas mais representativas, elas se caracterizam por apresentar dois períodos secos anuais,

um longo seguido por chuvas intermitentes e outro curto que pode ou não contar com chuvas torrenciais. Existem três disjunções, uma no Estado de Roraima, na região Chaco-Mato-Grossense-do-Sul, e ao sudeste do Estado de Rio Grande do Sul, estas têm certo grau de independência entre si, desde o ponto de vista estrutural (fitofisionomicamente) e por suas particularidades. No primeiro caso (Estado de Roraima), compreende a Chapada do Surumu, localizada entre as planuras de acumulação do gráben do Tacutu (localizado na porção centro-nordeste do estado de Roraima), e continua até o Planalto de Venezuela, enquanto que ao Oeste limita com a floresta Ombrófila Densa Montana, fitofisionomicamente tem uma semelhança as Caatingas Nordestina a nível de caráter Xeromorfo (Elementos lenhosos decíduos, que geralmente carecem de espinhas e gramíneas, nas épocas desfavorável), além disso tem a presença de alguns gêneros de cactáceas como: *Cereus* e *Melocactus* (Veloso e Klein, 1957). No segundo caso (Chaco Mato-Grossense do Sul), é considerada uma fase úmida da Savana Estépica, pelo geral apresenta três meses frios com chuvas fracas, o que ocasiona uma seca fisiológica nas plantas, logo segue um período chuvoso longo, para depois apresentar um mês com déficit hídrico. Distribui-se desde a confluência do Rio Apa com o Rio Paraguai, seguindo as serras da Bodoquena e o Rio Paraguai, encontra-se disperso até as margens do Rio Guaporé, o afluente do Rio Mamoré no Estado de Matogrosso. Esta separação é considerada como o centro de dispersão para a plataforma Brasileira, já que ali convergem a maioria dos gêneros citados anteriormente. E por último está a pequena disjunção do Estado do Rio Grande do Sul (Campos da Campanha e Parque Espinho), caracteriza-se por estar associada aos climas sem períodos secos, apresentam uma marcada aglomeração de *Prosopis juliflora* e *P. affinis*, muito próximos a Barra de Quaraí (IBGE, 2012).

Estepe (Campos do sul do Brasil)

Segundo Leite (1994), este tipo de vegetação são aqueles campos que estão em contato com a região de Savana (Cerrado), nas proximidades da cidade de Ponta Grossa, até próximo do 25° Sul, até o extremo Sul do Brasil. As Estepes se encontram amplamente distribuída nos seguintes ambientes: 1. Planalto de Araucárias e 2. Superfícies meridionais Gaúchas do Planalto do Rio Grande do Sul, Planalto da Campanha e da Depressão Central.

Na atualidade são conhecidos três tipos de formações:

- Estepes Arborizadas (Arbórea e Aberta)

- Estepes Parque (campo sujo ou Parkland)
- Estepes Gramíneo-Lenhosa (Campo Limpo), (Para uma maior compreensão ver o documento do IBGE, 2012).

Sistema Edáfico de Primeira Ocupação (Áreas das Formações Pioneiras)

É aquela vegetação que está em constante sucessão e em geral encontra-se ao longo do litoral, planícies fluviais, nas depressões aluviais como pântanos, lagoas e lagoas. A vegetação caracteriza-se por ser uma das primeiras em estabelecer-se edaficamente, ocupam áreas de deposições marinhas e na Restinga. Ecologicamente a vegetação está sempre adaptada aos ambientes pioneiros, entre os gêneros mais representativos estão: *Remirea*, *Rhizophora* e *Avicennia* (Manguezais) e *Typha* (Pântanos) (IBGE, 2012).

Vegetação com Influência Marinha (Restinga)

Este tipo de vegetação depende das águas marinhas, onde os gêneros mais representativos são: *Remirea* e *Salicornia*. Existem outros tipos de vegetação que se estabelecem em áreas mais altas, estas são afetadas pelas marés equinociais, onde suas espécies mais representantes são: *Ipomoea pes-caprae*, *Canavalia rosea*, e entre os gêneros destacam: *Paspalum* e *Hydrocotyle*. Nas áreas mais altas tem outros gêneros que contribuem na estrutura das comunidades pioneiras como: *Acicarpa*, *Achyrocline*, *Polygala*, *Spartina*, *Vigna*. Enquanto nas regiões das Dunas, estas estão compostas geralmente por nanofanerófitos e *Schinus terebinthifolius* (IBGE, 2012).

No Pontal Rochoso apresenta uma vegetação pioneira que difere das comunidades arenosas, cuja característica é a presença espécies típicas como: *Clusia cruvia* que se encontra associada com os gêneros de Cactaceae como: *Cereus* e *Opuntia*, como assim também de muitas espécies de Bromeliaceae dos gêneros: *Vriesea*, *Bromelia*, *Canistrum*, *Aechmea* entre outros. Encontram-se presente nos Estados de Paraná, Santa Catarina e do Rio Grande do Sul (IBGE, 2012).

Sistema de Transição Tensão Ecológica

É denominado como aquele tipo de vegetação que entra em contato com duas ou mais regiões, onde existe uma transição florística um contato edáfico. No primeiro caso é chamado como mosaico específico ou Ecótono, segundo Clements (1949) o segundo caso faz

referência aos Mosaicos das áreas edáficas, onde cada região mantém sua identidade ecológica (Encrave), sem se misturar (IBGE, 2012).

Sistema dos Refúgios Vegetacionais (Comunidades Relíquias)

Para que um sistema seja considerado como um refúgio ecológico são tomados em consideração alguns aspectos como por exemplo: as diferentes composições florísticas e fisionômicas ecológicas da flora dominante de uma região fitoecológica, onde em muitas ocasiões estas regiões convertem-se numa vegetação relíquia, composta geralmente por espécies endêmicas, alguns exemplos são aquelas comunidades que se desenvolvem em altitudes acima de 1.800m. Os refúgios ecológicos estão condicionados por ambientes naturais muito específicos como: alta sensibilidade a qualquer tipo de intervenção, a zonas tortuosas, tendência a desenvolver-se em diferentes altitudes. A vegetação pode apresentar uma fisionomia campestre, conhecida também com o nome de campos de altitudes ou arbustivas. Na área se caracteriza por apresentar uma alta precipitação, quase sempre o céu está coberto de nuvens produto condensação da unidade oceânica (IBGE, 2012).

Sistema da Vegetação Secundária (Tratos Antrópicos)

São aquelas áreas que em algum momento sofreram algumas intervenções humanas, seja para fins agrícolas, pecuárias ou mineira. São consideradas também aquelas áreas que foram abandonadas ou que apresentam algum grau de sucessão ou recuperação, e também leva em conta aqueles solos que perderam seu material orgânico (IBGE, 2012).

- *Sucessão natural*: Geralmente são áreas agrícolas que foram abandonadas, ela ainda pode-se observar um processo de sucessão de plantas primitivas que podem ocorrer em solos pouco fértil, por exemplo, *Imperata brasiliensis* (Gramíneas), coloniza as áreas degradadas nas terras baixas (IBGE, 2012).

- *Sucessão natural (Primeira fase)*: É considerada como a fase inicial da sucessão (Regressão Ecológica), é aqui onde interatuam os hemicriptófitos pioneiros das famílias mais primitivas, em quanto alguns de eles tem uma distribuição mundial como: *Pteridium arachnoideum*, outras de distribuição Neotropical como é o caso de *Imperata brasiliensis* (Poaceae) (IBGE, 2012).

- *Sucessão natural (Segunda fase)*: Caracteriza-se pela presença de hemicriptófitos tipo graminóides, caméfitos rosulados e nanofanerófitos baixos como: *Paspalum* (Poaceae),

Solanum (Solanaceae), *Mikania* e *Vernonia* (Asteraceae), se observam também algumas plantas lenhosas do gênero *Baccharis* (Asteraceae), *Leandra*, *Miconia* e *Tibouchina* (Melastomataceae) (IBGE, 2012).

- *Sucessão natural (Terceira fase)*: Esta fase se caracteriza ainda pela presença do gênero *Baccharis*, e pela diminuição de plantas herbáceas, observa-se também uma maior presença de plantas lenhosa de porte baixo. É apreciável como o gênero *Vernonia* vai tornando-se mais abundante a tal ponto que vai substituindo ao *Baccharis* (IBGE, 2012).

- *Sucessão natural (Quarta fase)*: Nesta fase a vegetação torna-se um pouco complexa, se observa uma dominância dos microfanerófitos de 5m de altura, nas serras altas predomina *Tibouchina pulchra*, enquanto que nas terras baixas é abundante *Tibouchina urvilleana* (IBGE, 2012).

- *Sucessão natural (Quinta fase)*: Nesta fase a vegetação é eminente a presença de plantas lenhosas, sem emergentes, a vegetação alcança uma altura que ultrapassam os 15m, nas serras e montanhas os gêneros, mais representativos são: *Cariniana*, *Virola*, *Xylopia*, *Miconia cinnamomifolia*, *Hieronima alchorneoides*, *Xylopia brasiliensis*, *Nectandra lanceolata*, entre outras. Em uma etapa mais desenvolvida (capoeirão) se pode apreciar a: *Ocotea catharinensis* e *Aspidosperma pyricollum* (IBGE, 2012).

- *Agricultura*: Tem uma divisão de acordo com sua importância: A agricultura cíclica, que incluem as plantações de soja, trigo, arroz, e cana de açúcar, em alguns municípios (Irecê, Bahia) o feijão; a agricultura permanente como as plantações de café, laranja e cacau (IBGE, 2012).

- *Pecuária*: Leva em conta as zonas de pastagem que na maioria dos casos são empregados para a criação extensiva e pastoreio do gado (IBGE, 2012).

- *Reflorestamento e/ou Florestamento*: Neste ponto refere-se ao reflorestamento de algumas áreas com plantas exóticas (*Eucalyptus*, *Pinus* e *Coníferas*), ou com plantas nativas, segundo os dados de IBGE (2012), em escalas de semidetalhes a detalhes com ajuda de fotos aéreas é possível a diferenciação destes tipos de reflorestamento (IBGE, 2012).

- *Outras*: Neste parágrafo tomam em conta os perímetros urbanos, áreas degradadas pela mineração ou a sobre-exploração (IBGE, 2012).

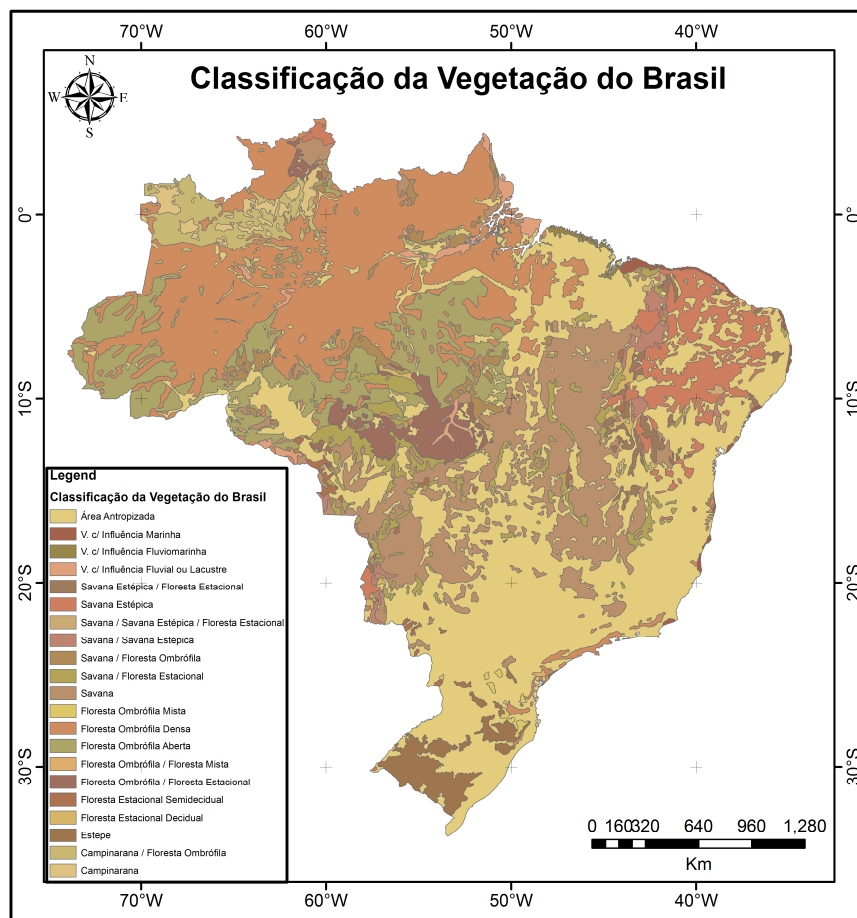


Figura 3 Brazilian vegetation map / *Mapa da classificação da vegetação do Brasil (Elaborado dos Shapefile gerado pelo IBGE, 2012)*

2.3 A Caatinga Semiárida

A Caatinga é considerada uma região semiárida, cuja característica é a presença de um clima quente, com secas muito prolongadas, e as precipitações tem a tendência de estar por debaixo dos 1000 mm/ano (Velloso *et al.*, 2002; Prado, 2003), seus solos são considerados um mosaico muito complexo, eles podem estar compostos desde solo rasos e pedregosos, até solos arenosos e profundos, a sua fertilidade é muito variável (Velloso *et al.*, 2002). Estas particularidades fazem que a Caatinga seja uma região muito vulnerável as mudanças climáticas, segundo Rammig e Mahecha (2015), comentam que no futuro as zonas semiáridas serão muito afetadas pelas secas prolongadas, apesar de que os ecossistemas naturais ainda estão respondendo favoravelmente ao clima extremo, do mesmo modo Salazar *et al.* (2007), indicam que as alterações climáticas no futuro irão causar secas cada vez mais severas em todo o Nordeste do Brasil, levando a uma desertificação mais generalizada.

Além disso a Caatinga vem sofrendo uma constante degradação do habitat (desmatamento para a agricultura e extração mineral, sobrepastoreio, urbanização entre outros) (Leal *et al.*, 2005; Leal *et al.*, 2003; MMA, 2015; Prado, 2003), em quanto uma atividade praticada nesta região são as perturbações Crônicas e Agudas. Entenda-se como perturbação crônica a uma perturbação devagar e progressiva mais igualmente destrutiva, a qual é feita por algumas atividades como: extrações de lenha, forragem, produtos vegetais não madeireiros entre outros, apesar de que este tipo de perturbação não dá tempo suficiente para se recuperar a flora nativa, devido a que ela é realizada de uma maneira progressiva e sem parar (Singh, 1998), esse tipo de perturbação tem efeitos na distribuição e reprodução em algumas plantas nativas (Portilla-Alonso e Martorell, 2011), na região da Caatinga este tipo de perturbação tem um impacto negativo com a vegetação, além disso, o extrativismo de subsistência pode colocar em risco as comunidades de plantas nativas (Ribeiro *et al.*, 2015). Em quanto que as perturbações agudas, são aquelas que alteram o meio natural de uma maneira mais pontual no espaço e tempo o qual permite que o ecossistema possa se recuperar (Uhl *et al.*, 1990; Ceccon, 2013).

2.3.1 Ecorregiões da Caatinga

A caatinga é um mosaico muito complexo formado por diferentes tipos da paisagem, composta por uma vegetação heterogênea e diferentes tipo de solos, no trabalho de Velloso *et al.*, (2002) foram propostas oito ecorregiões (entenda-se como ecorregião as subdivisões reais da biodiversidade da Caatinga), como ser: Complexo de Campo Maior, Complexo Ibiapaba-Araripe, Complexo da Chapada Diamantina, Depressão Sertaneja Setentrional, Depressão Sertaneja Meridional, Planalto da Borborema, Dunas do São Francisco e Raso da Catarina, (ver figura 4). Para a classificação da Caatinga, estas foram determinadas seguindo alguns critérios estabelecidos pelos mesmos autores como ser: dados de tipos de solos, clima, vegetação, geomorfologia, geologia da região, imagens de satélites e o conhecimento de especialistas da Região Semiárida.

As diferentes ecorregiões da Caatinga apresentam certas particularidades que caracterizam a cada uma delas, algumas caracterizam-se por apresentarem altas precipitações como é o caso do Complexo de Campo Maior e Complexo da Chapada Diamantina, 1000-1300 mm/ano respectivamente, em quanto que outras podem apresentar precipitações muito baixas como ocorre na região norte de Raso de Catarina 450mm/ano;

outras por sua parte podem apresentar solos pedregosos conformados por rochas, cuja fertilidade é media-alta (Depressão Sertaneja Setentrional), ou os solos podem ser arenosos e profundo cuja fertilidade é baixa como acontece nas Dunas do São Francisco (Velloso *et al.*, 2002).

Um recente trabalho realizado por Moro *et al.* (2014), propõe uma nova classificação para as ecorregiões da Caatinga, isso em suporte de uma árdua revisão de bases bibliográficas, trabalhos em diversidade, fitossociologia nas comunidades de vegetação, entre outras. Estes autores propõem 11 ecorregiões, onde se destacam: Crystalline Caatinga, Sedimentary Caatinga, Transition crystalline/sedimentary, Inselbergs, Riverine forests, Agreste communities, Caatinga of the Chapada Diamantina, Arboreal Caatinga, Caatinga in Campo Maior, Aquatic communities, Unclassified Caatinga, (para uma maior compreensão ver Moro *et al.*, 2014).

Segundo os dados apresentados por Moro *et al.* (2014), indicam que a Caatinga apresenta um total de 1737 espécies de plantas, onde as ecorregiões mais rica em espécies são: Crystalline Caatinga com 753 spp seguido de Inselbergs com 655 spp, em quanto que as ecorregiões pobremente representadas foram: a Caatinga in Campo Maior com 85spp e Arboreal Caatinga com 118 sp. Dentre as espécies de plantas lenhosas que são endêmicas e popularmente mais conhecidas nesta região destacam-se: *Amburana cearensis* (Imburana-de-cheiro), *Anadenanthera colubrina* (Angico-monjolo), *Aspidosperma pyrifolium* (Pereiro) *Poincianella pyramidalis* (Catingueira), *Cnidoscolus quercifolius* (Faveleiro), *Commiphora leptophloeos* (Imburana), *Myracrodruon urundeuva* (Aroeira), *Schinopsis brasiliensis* (Brauna), *Handroanthus impetiginosus* (Ipê-roxo), dentre outras. Existem também algumas espécies suculentas que pertencem as famílias Cactaceae e Bromeliaceae. A caatinga abriga ainda espécies perenifólias como o: *Ziziphus joazeiro* (Juazeiro), *Colicodendron yco* (Icó), *Copernicia prunifera* (Carnaúba), *Maytenus rigida* (Bom-nome), *Licania rigida* (Oiticica), dentre outras. É também observada a presença de plantas herbáceas efêmeras composta principalmente pelas famílias: Malvaceae, Portulacaceae e Poaceae (Prado, 2003; Moro *et al.*, 2014).

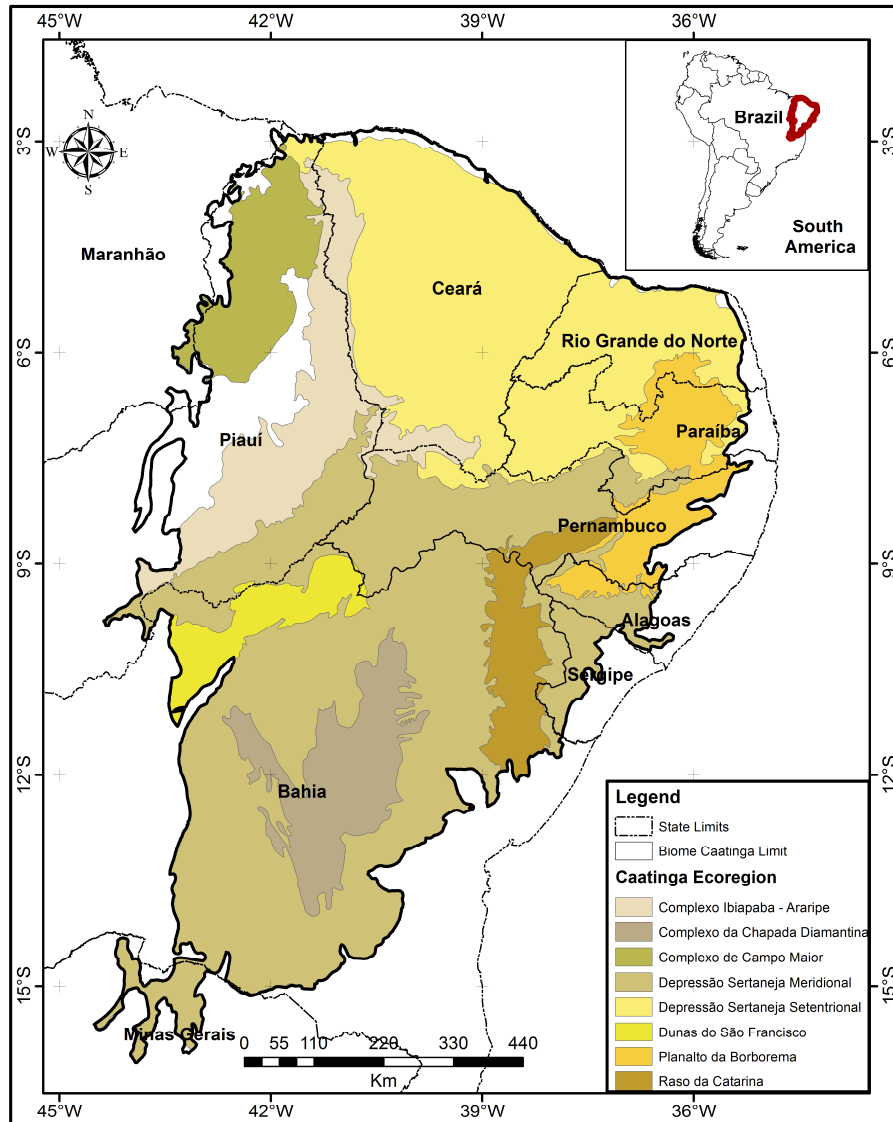


Figura 4 Caatinga Ecoregion / Ecorregões da Caatinga, (Os dados foram extraídos do Shapefile elaborado pelo Velloso et al., 2002)

2.3.2 Fauna

A Caatinga em seu interior abriga uma alta diversidade de espécies, sendo registrado cerca de 240 peixes, 154 répteis e anfíbios, 348 aves e 143 espécies de mamíferos (MMA/SBF, 2002; Tabarelli e Da Silva 2003). Apesar de ser considerada uma região muito diverso é também uma das regiões brasileiras menos estudada (Santos *et al.*, 2011) e o menos protegido (Leal *et al.*, 2003).

A caatinga apresenta um grau de endemismo representativo frente a outras regiões brasileiras, no grupo dos peixes são consideradas cerca de 136 espécies como endêmicas, entre elas destaca-se: *Acestrorhynchus britskii*, *Characidium bimaculatum*, *Psectrogaster*

saguiru, *Prochilodus brevis* (**Characiformes**); *Auchenipterus menezesi*, *Trachelyopterus striatulus*, *Glaphyropoma rodriguesi* (**Siluriformes**); *Cynolebias albiguttatus*, *Cynolebias microphthalmus*, *C. perforatus*, *C. porosus*, *C. vazabarrisensis* (**Cyprinodontiformes**); entre outros (Rosa *et al.*, 2003); no grupo de Herpetologia destacam-se: *Amphisbaena arenaria*, *A. hastata*, *A. ignatiana*, *A. frontalis* (**Squamata, Amphisbaenidae**); *Mabuya agmosticha* (**Squamata, Scincidae**), *Phyllorhynchus periosus* (**Squamata, Gekkonidae**); *Tropidurus cocorobensis*, *T. erythrocephalus*, *T. helenae* (**Squamata, Tropiduridae**); entre outros, (Rodrigues, 2003); no grupo das aves destaca-se: *Penelope jacucaca* (**Galliformes, Cracidae**); e para o grupo dos mamíferos tem como as espécies mais representativas: *Callicebus barbarabrownae* (**Primates, Pitheciidae**); *Kerodon rupestris* (**Rodentia, Caviidae**); *Trinomys albiguttatus*, *T. yonenagae* (**Rodentia, Echimyidae**); *Wiedomys pyrrhorhinos* (**Rodentia, Cricetidae**), entre outras (De Oliveira *et al.*, 2003).

Na atualidade tanto a nível nacional como internacional muitas espécies de vertebrados estão apresentando algum grau de ameaça, pela perda de habitat, pressão de caça, comércio entre outras, na região da caatinga não é a exceção, para o grupo de peixes podemos citar: *Simpsonichthys fulminantes*, *S. ghisolfii*, *S. hellneri*, *S. magnificus*, *S. similis*, *S. stellatus*, *Conorhynchus conirostris*, *Trichomycterus itacarambiensis*, na categoria de vulnerável (VU); *Kalyptodoras bahiensis* em perigo (EN) entre outros (Rosa e Lima, 2008); para o grupo das aves temos alguns exemplos como: *Harpyhaliaetus coronatus*, *Herpsilochmus pectoralis*, *Carduelis yarrellii*, *Xiphocolaptes falcirostris*, *Lepidocolaptes wagleri*, *Penelope jacucaca* (VU); *Picumnus limae* em perigo (EN); *Cyanopsitta spixii* extinta na natureza (EW) (Silveira e Straube, 2008); e no grupo dos mamíferos temos entre os mais representativos: *Diphylla ecaudata*, *Lonchophylla mordax*, *Micronycteris homezi*, *Micronycteris samborni*, como deficiente em dados (DD); *Tolypeutes tricinctus*, *Platyrrhinus recifinus*, *Chrysocyon brachyurus*, *Leopardus pardalis*, *L. tigrinus*, como vulnerável (VU); *Callicebus barbarabrownae*, em perigo crítico (CR), entre outros (Chiarello *et al.*, 2008).

2.3.3 Clima, precipitação e temperatura

O clima da Caatinga semi-árida é caracterizado por uma alta radiação solar; baixa nebulosidade; baixa umidade; alta evapotranspiração potencial alta e precipitações baixas e irregulares, podendo haver anos em que as chuvas são ausentes (Reis, 1976).

Os ventos alísios são encarregados de ocasionar a estabilidade na massa de ar, cuja origem é pela ação do anticlone do Atlântico Sul. A Caatinga está submetida aos efeitos de massa de ar seco e estável, pela umidade baixa provenientes das montanhas que se estendem ao longo do Rio Grande do Norte até o Rio Grande do Sul (De Andrade e Lins, 1963).

Na Mata Atlântica a massa de ar Atlântico-Equatorial é o lugar onde perde uma grande parte de sua umidade, enquanto nas áreas de sombras de chuvas nas faixas de montanhas as Caatingas ficam submetidas aos efeitos de ar seco. Quase paralelo ao Equador perto do 10°N localiza-se uma zona de baixa pressão onde concorrem os ventos alísios de ambos hemisférios. Nos meses de fevereiro-abril inicia a estação chuvosa na maior parte do Nordeste do Brasil, coincidindo está com a estação do verão. As chuvas de janeiro são originadas pelas massas úmidas equatorial continental proveniente do Amazonas, estas chuvas podem alcançar até a região Oeste da Caatinga, e de fevereiro a abril as chuvas dependem das penetrações das duas massas úmidas que são provenientes do Norte e do Oeste, estas chuvas alcançam a região norte no Nordeste (De Andrade e Lins, 1963).

Por outro lado, as secas ocorrem, pois, os ventos alísio não chegam até a Caatinga, devido as massas úmidas equatorial continental (Reis, 1976).

Fitogeograficamente o conceito da Caatinga, se estabelecem entre as isoietas de chuvas de 1000 mm. Em geral as chuvas concentram-se em três meses o que significa 50-70% do total das chuvas, o que provoca um clima sazonal muito forte. A época seca na região é muito variável, têm área onde a seca prolonga-se de 2-3 meses (Brejos úmidos), outras onde a seca tem, mas duração de 6-9 meses (maior parte de região), e sítios como o Raso da Catarina que pode ter uma duração de até 10-11 meses. Uma das características mais marcante da Caatinga é o sistema das chuvas irregular que muda ano após ano (Nimer, 1972).

As temperaturas nas Caatinga são muito variáveis, espacial e temporalmente as médias anuais variam entre 25-30°C (Sampaio, 2003), sendo que as temperaturas mais baixas registradas na região chegam aos 4°C, em zonas altas, por exemplo, serras, já as temperaturas máximas normalmente oscilam os 42°C (Reis, 1976). As temperaturas médias anuais ficam nos 26-28°C, e existem locais com altitudes superiores a 250 m em que as temperaturas mais baixas chegam aos 20-22°C (Nimer, 1972).

2.3.4 Geologia e geomorfologia

A maior parte da caatinga estabelece-se nos afloramentos do cretáceo ou terciário que cobrem o escudo brasileiro basal do pré-cambriano (Cole, 1960). Durante o terciário superior a quaternário inferior aconteceu um processo pediplano onde os últimos vestígios hoje são os solos jovens rochosos e cristalinos que estão compostos por: gnaisses, granitos e xistos (Ab'Saber, 1974). O substrato da Caatinga apresenta solos pedregosos e descobertos, com a rocha-mãe pouco descomposta, rocha maciça e solos com alguns milímetros de profundidade. No interior a superfície é levemente ondulada e montanhosa, cujo origem foi no processo de pediplano (Tricart, 1961).

2.3.5 Solos

A Caatinga está composta por nove tipos de solos: Argissolo, Cambissolo, Chernossolo, Gleissolo, Latossolo, Luvisolo, Neossolo, Planossolo e Vertissolo.

Na Caatinga as rochas dos solos, são produtos das ações climáticas que se ofertam no solo alcalino, onde as chuvas produzem uma dissolução das bases que são os lixiviados, as combinações desses criam uma micro-habitat ácido. Os solos/argilosos originam-se das rochas que são deterioradas pelo fator abiótico (ação do clima), mas o PH, que seriam os encargados de determinar a natureza dos solos. Os filmes de sal se acumulam nas serras cristalinas para indicar que a insuficiência de sal lixiviado. Tanto geológica como geomorfologicamente as Caatingas apresentam diversos mosaicos de solos complexos que podem variar em uma distância muito pequena (Sampaio, 1995).

Os solos alcalinos com profundidades moderadas são considerados como insuficientes pelo jeito de encontrar-se com uma subcapa de pedras. Por outro lado, os solos com uma elevada quantidade de argila são chamados como solos Solonetz (horizonte B) (Ab'Saber, 1974), encontram-se localizados em algumas áreas do Ceará, Bahia, no Rio Grande do Norte estendem-se em áreas mais extensas como o Vale do Rio do Mossoró (Figueiredo, 1987). Existem também áreas com solos vermelhos (Latossolos vermelhos) que ficam isolados às áreas elevadas nas depressões interplanáticas, estas são consideradas como remanescentes chamados comumente como "superfície velha do sertão" (Ab'Saber, 1974).

A região semiárida da Caatinga é considerada como um dos relictos do Pleistoceno Superior, o que pode ter servido como a base para as Florestas Tropicais Secas e até mesmo as úmidas (Ab'Saber, 1974). Os solos calcimórficos ocorrem principalmente no Ceará e Bahia. Existem solos que estão associados aos cursos de água como os chamados solos aluviais, outros que estão associados as series de Cipó em Pernambuco, no Raso de Santa Catarina na Bahia, que são conhecidos como os solos sedimentares profundos ou área de quartzosas do Brasil (Andrade-Lima, 1981).

2.3.6 População

Antes da conquista Portuguesa, a população nativa que morava na Região da Caatinga estava composta geralmente pelas tribos Tupinambás Amazônicos e os Tupinaés, Segundo os historiadores a primeira tribo (Tupinambás Amazônicos) estava composta por seis grandes nações distribuída no Brasil: os Potiguaras, viviam no rio Grande do Norte e Paraíba; Caetés, em Pernambuco e Alagoas; Tupinambás, em Sergipe e Norte da orla marinha da Bahia; Tupiniquins, na costa sul da Bahia; Tamoios, no Rio de Janeiro; e Tupis em São Paulo, elas vieram da Amazônia descendo pelo rio São Francisco até as terras da Bahia e dali ao litoral. A segunda tribo os Tupinaés, que inicialmente morava no sertão, não tinham traços verdadeiros dos Tupis, mas pelo contrário tinham aspecto do gentio dos Andes. No entanto, antes da chegada dos Tupinambás, os Tupinaés migraram para Bahia em busca de melhores condições de vida, e na ocasião entraram em briga com os Tapuias pela disputa de território, os Tupinaés ficaram como os donos daquelas terras até a chegada dos Tupinambás, os quais expulsaram aos Tupinaés para a região do Sertão. É sabido que todos grupos são descendentes direto dos Tupis, segundo as hipóteses mais aceitável o centro de origem destes grupos foi o planalto da Bolívia (Pereira, 2000).

Atualmente a Caatinga é umas das regiões mais populosa do Brasil, segundo Franca-Rocha *et al.* (2007) contando com aproximadamente 20 milhões de habitantes, enquanto que Mittermeier *et al.* (2002) indica que tem aproximadamente 25 milhões de habitantes, cerca de 17% da população do Brasil (Gariglio *et al.*, 2010). A densidade de habitantes nos municípios da área da Caatinga varia de acordo ao comercio interno, p.e. no Piauí, Parnaíba tem 238 hab./km², em Teresina (363); no Ceará, Eusébio (349), Pacatuba (316), Juazeiro do Norte (805) entre outros, em quanto que na faixa litorânea as densidades são bastante

homogêneas 100 hab./km², enquanto que nas áreas mais vazias pode ter uma densidade de < 30 hab./km², (Sampaio e Mazza, 2000; Sampaio e Mazza, 2004).

2.3.7 Problemas da Caatinga

A Caatinga é considerado uma das Regiões menos estudada na América do Sul (Santos *et al.*, 2011). Assim como muitas regiões brasileiras esta apresenta uma série de ameaças que põe em risco a existência de sua flora e vegetação sem políticas de conservação adequadas (Tabarelli e Da Silva 2003).

Atualmente, a Caatinga sofre diferentes ameaças, uma das principais ameaças é a alteração e deterioração do ambiente causada pela extração insustentável da vegetação para lenha, o sobre pastoreio pelo gado caprinos e bovinos, os monocultivos de árvores e cultivos, (MMA, 2015), que estão provocando uma perda gradual das espécies próprias da região, além de estar provocando a formação de extensos núcleos de desertificação em vários setores da região (Leal *et al.*, 2003). De Oliveira Soares e Almeida (2011) sugerem que cerca de 181.000 km², tem sido afetado pela agricultura irrigada, contaminando o solo com agrotóxicos e salinização, enquanto que Castelletti *et al.* (2003) indicam que cerca a 201.786 km², estão sujeitos a atividades agrícolas.

Outra ameaça à biodiversidade é a desertificação, a exploração intensiva dos recursos naturais e o sobre pastoreio, (Castro e Cavalcante, 2010; Araújo e De Sousa, 2011). Igualmente a captura de animais silvestres para fins de mascotes, usos medicinais ancestrais, a caça de subsistência e esportiva, são uns dos fatores que estão ocasionando a diminuição da fauna nativa, algumas espécies de mamíferos que são muito procuradas: *Dasypus novemcinctus* (Tatu-galinha), *Euphractus sexcinctus* (Tatupeba), *Tamandua tetradactyla* (Tamanduá-mirim), *Conepatus semistriatus* (Gambá), entre outros (De Albuquerque *et al.*, 2012).

2.3.8 Conservação da Caatinga

Uma das principais razões para as criações das unidades de conservação, foram para garantir sobrevivência da biodiversidade ou a manutenção de algumas espécies cujas populações sejam viáveis no futuro (Glowka *et al.*, 1994). Elas podem ser criadas com a finalidade de proteger a beleza cênica de um local determinado, a diversidade biológica, cultural, para pesquisas científicas e de educação ambiental, elas podem ficar em um espaço

bem definido, reconhecido e gerenciado por meios legais que sejam eficazes para assegurar a conservação da natureza e de seus serviços ecossistêmicos, como assim também dos valores culturais em um longo prazo (Dudley, 2008).

No Brasil, segundo a lei N° 9.985, de 18 de julho de 2000, se regulamenta o art. 225, 1°, incisos I, II, III e IV da Constituição Federal, foi instituído o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) e das outras providências, com a finalidade de conservar, administrar e garantir a manutenção da diversidade biológica e dos recursos genéticos, como assim também de proteger as espécies ameaçadas de extinção no âmbito regional e nacional (MMA/SBF, 2004).

As SNUC, se dividem em dois grupos, i. As Unidades de Proteção Integral, cujo objetivo é preservar a natureza, onde é admitido apenas o uso indireto dos recursos naturais com exceção dos casos previstos nesta lei, neste grupo pertencessem as: Estação Ecológica, Reservas Biológicas, Parque Nacional, Monumento Natural, e Refúgio de Vida Silvestre; ii. As Unidades de Uso Sustentável, tem como objetivo básico o compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável com os recursos naturais, neste grupo este conformado por: Área de Proteção Ambiental, Área de relevante Interesse Ecológico, Floresta Nacional, Reserva Extrativista, Reserva de Fauna, Reserva de Desenvolvimento Sustentável e Reserva Particular do Patrimônio Natural (MMA/SBF, 2004).

Em quanto a Caatinga é reconhecida como umas das 37 grandes regiões naturais do planeta segundo a *Conservation International* (Tabarelli e Da Silva, 2003). A conservação da Caatinga é de vital importância para a manutenção dos padrões regionais e globais do clima, como também da segurança da disponibilidade de água potável e para o resguardo de sua biota endêmica. Note-se que na atualidade é considerado como uma das regiões menos explorada cientificamente (MMA, 1998), e considerada como uns dos ecossistemas mais modificados pelo homem, superado apenas pela Mata Atlântica e o Cerrado (Gariglio *et al.*, 2010). Além da falta de conhecimento científico, a caatinga conta com um reduzido número de unidade de conservação com Proteção Integral (113 reservas o que equivale a 7.5% de áreas protegidas) (Toledo, 2013), uma constante pressão antrópica como a agricultura, desmatamento e desertificação (está causando o 15% da ameaça na Caatinga). Tudo isso revela a falta e/ou ausência de verdadeiras políticas de conservação (Tabarelli e Da Silva, 2003).

Tabarelli e Da Silva (2003) identificaram 183 áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade na Caatinga, para grupo das plantas os autores identificam 54 áreas, para os invertebrados 19, biota aquática 29, anfíbios e reptéis 19, aves 35 e para o grupo dos mamíferos 27. Destas áreas, 27 são consideradas extremamente importante para a biodiversidade, 12 como muito altamente importante, 18 com uma alta importância e 25 insuficientemente conhecidas. Por outro lado, note-se que o Hauff (2010) propõe algumas alternativas para a sustentabilidade das áreas de conservação a longo prazo, como por meio de um plano de sustentabilidade financeira para a capacitação, superação de etapas, mudanças de comportamento e formas de gerenciamento, continuidade, participação, transparência e seriedade nas diversas áreas.

2.4 Sensoriamento remoto aplicado a estudos ambientais

O sensoriamento remoto teve sua origem na década de 60, período em que foram fabricados e lançados no espaço muitos satélites artificiais com diferentes finalidades, sendo que o sensoriamento remoto deu seus primeiros passos graças aos satélites meteorológicos que foram considerados como os pioneiros nesta matéria (Meneses e Almeida, 2012). Nessa época foram feitas missões tripuladas para a exploração do sistema solar e lunar, onde surgem às primeiras fotografias espaciais da superfície da terra, que foram feitas por Alan B. Shepard, durante a missão ao planeta Mercúrio em 1961. Por último, a NASA com seus satélites meteorológicos gera os primeiros projetos dedicados à cartografia e avaliação dos recursos naturais, os satélites mais importantes para este fim foram: o ERTS (Earth Resources Technology Satellite), e as séries LANDSAT, finalmente países como França, Japão, Rússia, Canadá entre outros, colocaram em órbitas seus próprios satélites (Chuvieco, 1995).

A partir de então, os estudos com imagens de satélites têm mais força que nunca, agora na atualidade esta ferramenta é empregada para delimitação territorial, pesquisar meio ambiental, cobertura do solo, inventários florestais (Chuvieco, 1995), monitoramento na agricultura (Son *et al.*, 2012), predições da redução da diversidade e seus habitats (Pettorelli *et al.*, 2005), entre outros.

2.4.1 Algumas experiências de sensoriamento remoto na Caatinga

A Região da Caatinga conta com algumas experiências de sucesso com o uso de Sensoriamento Remoto para monitoramento. Por exemplo, a ferramenta foi utilizada para analisar o grau de desmatamento em diferentes períodos (IBGE, 2010), para a prevenção e controle do desmatamento na Caatinga, com a finalidade de contribuir com um modelo sustentável para esta Região (MMA, 2011).

No caso da análise de Índices de Vegetação Normalizada (NDVI) na Caatinga, existem alguns trabalhos que foram feitos para conhecer a dinâmica do uso da terra (Petrini *et al.*, 2011), para ver qual é relação do NDVI com as intensidades pluviométrica na região do sertão (Gonzaga *et al.*, 2011; Silva, 2012). Existem alguns trabalhos mais práticos como o de Alves Rêgo *et al.* (2012), que observaram os processos de desertificação do solo na região do semiárido, ou de Gondim e Franca-Rocha, (2011) que estimaram a Fitomassa vegetal no Parque Nacional da Chapada Diamantina. O NDVI foi empregado também para observar a dinâmica da cobertura vegetal em alguns municípios que formam parte do sertão (De Albuquerque *et al.*, 2008; Moraes *et al.*, 2011), como também foi usado em estudos de longo prazo como o monitoramento da dinâmica espacial da vegetação na região Nordeste do Brasil (Barbosa *et al.*, 2006; Barbosa *et al.*, 2011), e também no monitoramento da resposta da vegetação no período seco (Cunha *et al.*, 2015; Paredes *et al.*, 2015).

2.4.2 Satélite Meteosat Second Generation (MSG-2)

O satélite Europeu de Geoestação Meteorológica (MSG), vem servindo por mais de duas décadas à comunidade mundial. O MSG, vem gerando e coletando dados de imagens de satélite multiespectral de 12 bandas. Estas imagens são geradas ciclicamente a cada 15 minutos com uma resolução de 3 km² (para Meteosat 5 a resolução é de 2.5 km²), o satélite se localiza no 0° (latitude-longitude) na linha do Equador e no meridiano de Greenwich, ele geralmente gera imagem de toda Europa, metade do leste de África, muitas regiões do oceano atlântico sul e norte, e uma grande parte de América do sul. As bandas espectrais do satélite medem as características físicas da atmosfera e da terra. O MSG apresenta dois canais de disseminação via satélite o *Low Data Information Transmission* (LRIT) e *High Data Information Transmission* (HRIT), todos os dados são coletados de maneira automática ou semiautomática pelo *Data Collection Platform* (DCP), (Eumetsat, 2001).

O MSG gera as imagens com 12 bandas região do espectro eletromagnético do visível ao infravermelho. São sete as bandas multiespectrais encarregadas de recopilar os dados de temperaturas que estão nas nuvens, na superfície do mar e da terra. Os produtos do MSG são empregados geralmente pela marinha, na agricultura e meteorologia de aviação, e também no monitoramento meteorológico das plantas da terra, entre outros (Eumetsat, 2001).

2.4.3 Índices de Vegetação Normalizada (NDVI)

O Índice de Vegetação Normalizada (NDVI) é uma aplicação do Sensoriamento Remoto para detectar a mudança e/ou comportamento espectral da vegetação (alvo da vegetação), olhando a alta absorção de energia nos pigmentos das folhas. Para o cálculo do NDVI, toma-se em consideração a absorção da radiação eletromagnética nas clorofilas, xantofilas e carotenoides, em especial nas folhas das plantas, mais especificamente na região do mesófilo paliçádico ou parênquima paliçádico, onde encontram-se organizadas as células ricas em cloroplasto, onde estão as organelas principais da clorofila (pigmentos fotossintéticos). A fisionomia e a estrutura das folhas respondem de forma diferente, sendo ou não da mesma espécie. A absorção de luz é feita pelos pigmentos fotossintéticos, isso é verificado somente pela radiação eletromagnética na região do visível (0.4-0.72 μm) e refletiva na região do infravermelho. É sabido que as estruturas e a densidade dos tecidos foliares exercem um papel importante na hora da absorção, em folhas que apresentam muitas estruturas lacunosas a trajetória do feixe de radiação é afetada significativamente. Por outro lado, as grandes quantidades de água e lacunas intercelulares são os responsáveis pelo tipo de absorção da radiação, em outras palavras, quanto maior a quantidade de água no interior da folha, é menor a quantidade de radiação refletida. Na absorção da radiação eletromagnética dois tipos de fatores intervêm: um químico (pigmentos fotossintéticos e água) e o fator de estrutura (tecidos das folhas) (Ponzoni, 2002; Ponzoni *et al.*, 2012)

Análise da absorção, transmissão e a reflexão da radiação é estudado pelo comportamento espectral da vegetação (Ponzoni *et al.*, 2012).

Região do visível (0.4 – 0.72 μm): Aqui interagem os pigmentos encontrados na folha, nesta área ocorre uma dominância da refletância, onde a energia solar é absorvida seletivamente pela clorofila e a sua trajetória convertida em calor ou fluorescência (Ponzoni *et al.*, 2012).

Infravermelho próximo (0.72-1.1 μm): Nesta área ocorre uma absorção muito baixa da radiação e um considerável espalhamento interno da radiação dentro da folha, existe também uma absorção muito baixa de água, enquanto tem uma refletância quase constante. Um exemplo, se a folha tem muitas lacunas em seu interior, existirá um maior espalhamento interno da radiação, por conseguinte, serão maiores os valores dos fatores de refletâncias (Ponzoni *et al.*, 2012).

Infravermelho médio (1.1-3.2 μm): Observa-se que a absorção decorrente da água no interior da folha afeta a refletância na região do infravermelho próximo (Ponzoni, 2002; Ponzoni *et al.*, 2012).

Para o cálculo do NDVI se empregaram três bandas: um e dois correspondem a NIR+red (visível vermelho) e três NIR-red (infravermelho), estas bandas permitirão ver os valores máximos do NDVI, para cada mês observado, os valores de iste índice situam-se entre -1.0 e +1.0.

Para o cálculo do NDVI emprega-se a seguinte formula:

$$NDVI = \frac{(IRC_{\text{ercano}} - ROJO)}{(IRC_{\text{ercano}} + ROJO)}$$

O índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) vem sendo usado a bastante tempo para os estudos da cobertura da vegetação, o dossel é considerado um importante variável, devido aos diferentes processos que ocorrem num especial os processos fisiológicos e bioquímicos. O NDVI é definido como a diferença entre o infravermelho próximo e o vermelho reflexivo, as somas dos dois estão intimamente ligados em relação às diferentes condições da cobertura vegetal (Viovy *et al.*, 1992). Além disso o NDVI se correlaciona com variáveis relacionadas com a deficiência dos nutrientes nos cultivos, rendimento dos grãos pequenos, estresse hídrico em longo prazo, entre outros (Verhulst e Govaerts, 2010). Uma recente revisão por Mulder *et al.* (2011) indica que o NDVI é um dos índices mais empregados para ver as variações espaciais e temporais que estão vinculados com as prevalências do clima. No entanto, NDVI tem uma desvantagem de ser influenciado pelo solo. Assim, algumas variações de NDVI se desenvolveram com outros índices como, por exemplo, o índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) (De Silva *et al.*, 2003) ou SAVI transformado (TSAVI) para que este seja mais eficaz. O uso do SAVI é

empregado para reduzir a influência do brilho do solo e evitar a variação nos índices de vegetação (Huete, 1988).

O NDVI é uma ferramenta muito utilizada que na atualidade contém uma alta perspectiva interdisciplinar para as aplicações ecológicas (Pettorelli *et al.*, 2014), graças a ele se pode obter informação relevante e interessante referente aos impactos das perturbações ambientais, tais como inundações (Hoque *et al.*, 2010) secas (Rojas *et al.*, 2011), fogo (Justice *et al.*, 2002; Lentile *et al.*, 2006), desfoliações (Eklundh *et al.*, 2009). Como também se pode obter dados sobre o detalhamento da cobertura biofísica da terra e mapeamento dos habitats em grandes escalas (Martinuzzi *et al.*, 2008; Horning *et al.*, 2010). (Garbulsky e Paruelo, 2004; Garonna *et al.*, 2009).

O NDVI é um índice muito empregado nos estudos de resposta da vegetação no semiárido do Brasil. Alguns estudos documentam variações espaço-temporais da vegetação (Barbosa *et al.*, 2006; Barbosa *et al.*, 2011; Morais *et al.*, 2011; Alves Rêgo *et al.*, 2012; Bezerra *et al.*, 2012). Já outros trabalhos como (Aquino e Oliveira, 2012; Rios e Do Vale, 2014) estão empregando NDVI para determinar os riscos de zonas de degradação. Ainda, outros pesquisadores como (Gondim e Franca-Rocha, 2011) estão estudando o monitoramento da biomassa vegetal por meio de esta metodologia.

2.4.4 O índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) nos estudos de Conservação da Natureza

O NDVI é uma metodologia empregada em diversas disciplinas no mundo inteiro, é de conhecimento que as aplicações do NDVI se encontram altamente associada a incontáveis aplicações ecológicas (Pettorelli *et al.*, 2011), muitas destas aplicações já foram empregadas a favor da conservação da natureza, como para entender alguns processos ambientais e ecológicos.

Alguns exemplos do uso do NDVI na ciência biológicas, ecológica, ambientais são: os trabalhos de Garbulsky e Paruelo, (2004); Garonna *et al.* (2009); Bino *et al.* (2008); Moreno-Rueda e Pizarro, (2008), usam NDVI para observar se existem mudanças nos padrões espaciais e temporais na dinâmica de produção primária, e detectar a mudança da paisagem e a modificação do habitat. É factível também cartografar e monitorar a diversidade biológica, por meio da estimativa da mudança da riqueza (Oindo *et al.*, 2000; Oindo e Skidmore,

2002) e das espécies que são induzidas pelas mudanças climáticas globais (Zhao *et al.*, 2006a). Por outro lado, Zhao *et al.* (2006b); Qian, (2010), observaram que a riqueza de espécie dos organismos endotérmicos (mamíferos e aves) depende praticamente da dinâmica de produção primária, em quanto que os organismos ectotérmicos (repteis e anfíbios) estão mais associados a algumas variáveis como água e energia. Por outro lado, é possível elaborar um mapeamento da distribuição das espécies com os valores de NDVI (Fraser, 1998; Skidmore *et al.*, 2003; Estrada-Peña *et al.*, 2004; Seto *et al.*, 2004; Fretwell *et al.*, 2012), ou ver padrões de deslocamento da dispersão das aves com base na vegetação e tipos de habitats (Berry *et al.*, 2007).

No âmbito do manejo e conservação, é possível a detecção de espécies invasoras dentro na natureza (Fuller, 2005; Bradley e Mustard, 2006; Pengra *et al.*, 2007), ou elaborar um mapeamento da desfolhiação induzida por insetos dentro das concessões de pinos (Eklundh *et al.*, 2009), ou também obter informação de locais potenciais para a reintrodução de algumas espécies silvestres em seu habitat natural (Freemantle *et al.*, 2013), assim mesmo definir rotas de migrações (Boone *et al.*, 2006), ou estimar a densidade populacional de vertebrados, neste caso de ungulados (Pettorelli *et al.*, 2009; Duffy e Pettorelli, 2012), é possível também determinar a preferência de habitat de espécies silvestres (Pettorelli, N. *et al.*, 2009), entre outros. Enquanto a saúde humana, esta metodologia está sendo aplicada para gerar sistemas de alerta precoce em doença, como no caso da Malaria (Rogers *et al.*, 2002).

Para concluir esta metodologia pode ter um papel importante na conservação, já que através dela é possível identificar áreas de suma importância para as unidades de conservação (Rossi *et al.*, 2008), como também é factível realizar um monitoramento global das unidades de conservação (Dubois *et al.*, 2011).

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. O domínio morfoclimático Semiárido das Caatingas Brasileiras.

Geomorfologia, v. 43, p. 1-39, 1974.

_____. Bases para o estudo dos ecossistemas da Amazônia Brasileira. **Estudos Avançados**, v. 16, n. 45, p. 7-30, 2002. ISSN 0103-4014.

ALBUQUERQUE, F. J. A. D.; NETO, J. G. P.; GALVÍNCIO, J. D. Análise da cobertura da terra em função da precipitação mensal (janeiro e outubro de 2006) utilizando imagens CBERS para o Município de Ouricuri-Pe. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 24, n. 1, p. 06-18, 2008. ISSN 2238-6211.

ALBUQUERQUE, U. P. D. et al. Caatinga revisited: ecology and conservation of an important seasonal dry forest. **The Scientific World Journal**, v. 2012, p. 1-18, 2012.

ALVES RÊGO, S. C. et al. Análise comparativa dos índices de vegetação ndvi e savi no Município de São Domingos do Cariri-PB. **Revista Geonorte**, v. 2, n. 4, p. 1217-1229, 2012.

ALLEY, R. B. et al. **Abrupt climate change: inevitable surprises**. National Academies Press, 2002. 244 ISBN 0309074347. Disponível em: < <http://www.nap.edu/catalog/10136.html> >.

ANDRADE-LIMA, D. The caatingas dominium. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 4, n. 2, p. 149-163, 1981.

ANDRADE, G. O.; LINS, R. C. Introdução a morfoclimatologia do nordeste do Brasil. **Arquivos do Instituto de Ciências da Terra**, v. 3-4, p. 17-28, 1963.

AQUINO, C. M. S.; OLIVEIRA, J. G. B. Estudo da dinâmica do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) no núcleo de São Raimundo Nonato-PI. **GEOUSP: espaço e tempo**, v. 1, n. 31, p. 157-168, 2012. ISSN 2179-0892.

ARAÚJO, C. D. S. F.; SOUSA, A. N. D. Estudo do processo de desertificação na Caatinga: Uma proposta de educação ambiental. **Ciência & Educação**, v. 17, n. 4, p. 975-986, 2011.

BARBOSA, H. A.; HUETE, A. R.; BAETHGEN, W. E. A 20-year study of NDVI variability over the Northeast Region of Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 67, n. 2, p. 288-307, 10// 2006. ISSN 0140-1963. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196306000796> >.

BARBOSA, H. A.; KUMAR, T. L.; SILVA JUNIOR, I. W. D. Analysis of the NDVI Temporal Dynamics in Semi-arid Ecosystems: Brazilian Caatinga and African Western Sahel (Análise da Dinâmica Temporal do NDVI nos Ecossistemas Semi-áridos: Caatinga Brasileira e Sahel Ocidental Africano). In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2011, Curitiba, PR. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Brasil, 30 de abril - 5 de maio, 6496, 2011.

BEAUDOIN, L. et al. A meteosat second generation receiving, processing and storing images system developed by engineer students. In: International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 5, 2005. **Symposium International Geoscience and Remote Sensing**, 3159, 2005.

BENISTON, M. Climate change and its impacts: growing stress factors for human societies. **International Review of the Red Cross**, v. 92, n. 879, p. 557-568, 2010. ISSN 1607-5889.

BERRY, S.; MACKEY, B.; BROWN, T. Potential applications of remotely sensed vegetation greenness to habitat analysis and the conservation of dispersive fauna. **Pacific Conservation Biology**, v. 13, n. 2, p. 120-127, 2007. ISSN 2204-4604.

BEZERRA, J. M. et al. Spectral indices of vegetation to caatinga of the area of Semi-Arid of Rio Grande of Norte, Brazil. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 2, n. 2, p. 010-024, 2012. ISSN 2237-2202.

BINO, G. et al. Accurate prediction of bird species richness patterns in an urban environment using Landsat-derived NDVI and spectral unmixing. **International Journal of Remote Sensing**, v. 29, n. 13, p. 3675-3700, 2008/07/01 2008. ISSN 0143-1161. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1080/01431160701772534> >.

BOONE, R. B.; THIRGOOD, S. J.; HOPCRAFT, J. G. C. Serengeti wildebeest migratory patterns modeled from rainfall and new vegetation growth. **Ecology**, v. 87, n. 8, p. 1987-1994, 2006. ISSN 0012-9658.

BOUBLI, J. P.; HRBEK, T. Estudos Integrativos da Amazônia–EIA. In: MARCON, J. L.; MENIN, M., *et al* (Ed.). **Estudos Integrativos da Amazônia-EIA**. São Paulo, Acquerello: Coleção Diálogos Interdisciplinares, v.1, 2012. cap. 1, p.11-18. ISBN 978-85-64714-02-1.

BOUBLI, J. P.; HRBEK, T. Introdução à Biodiversidade Amazônica. In: MARCON, J. L.; MENIN, M., *et al* (Ed.). **Biodiversidade Amazônica: Caracterização, ecologia e conservação**. Universidade Federal do Amazonas, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas: Manaus: Edua, 2012. cap. 1, p.11-18. ISBN 978-85-7401-687-0.

BRADLEY, B. A.; MUSTARD, J. F. Characterizing the landscape dynamics of an invasive plant and risk of invasion using remote sensing. **Ecological Applications**, v. 16, n. 3, p. 1132-1147, 2006. ISSN 1051-0761.

CASTELLETTI, C. H.; SILVA, J. M. C. D.; SANTOS, A. M. M. Quanto ainda resta da Caatinga? Uma estimativa preliminar. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M., *et al* (Ed.). **Ecologia e conservação da Caatinga**. UFPE/Editora Universitária, Recife, 2003. p.92-100.

CASTRO, A. S.; CAVALCANTE, A. **Flores da caatinga**. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido (INSA), 2010. 116 ISBN 978-85-64265-00-4.

CECCON, E. **Restauración en bosques tropicales: fundamentos ecológicos, prácticos y sociales**. México: Díaz de Santos, 2013. 288 ISBN 978-84-9969-615-7. Disponível em: <<http://www.diazdesantos.es/>>.

CLEMENTS, F. E. **Dynamics of Vegetation**. New York: H. W. Wilson, 1949. 296 ISBN 0038-075X.

COLE, M. M. Cerrado, caatinga and pantanal: the distribution and origin of the savanna vegetation of Brazil. **Geographical Journal**, v. 126, n. 2, p. 168-179, 1960. ISSN 0016-7398.

CUNHA, A. P. M. et al. Monitoring vegetative drought dynamics in the Brazilian semiarid region. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 214–215, p. 494-505, 12/15/ 2015. ISSN 0168-1923. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192315007157>>.

CHIARELLO, A. G. et al. Mamíferos Ameaçados de Extinção no Brasil. In: MACHADO, A. B. M.; DRUMMOND, G. M., *et al* (Ed.). **Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de**

extinção. Brasília, DF : MMA; Belo Horizonte, MG: Fundação Biodiversitas, v.2, 2008. p.681-874.

CHUPEL, T. F.; ARAGONA, M. Pequenos mamíferos não voadores. In: FERNANDES, I. M.; SIGNOR, C. A., *et al* (Ed.). **Biodiversidade no Pantanal de Poconé**. Cuiabá: CPP - Centro de Pesquisas do Pantanal, 2010. cap. 9, p.155-168.

CHUVIECO, E. **Fundamentos de Teledetección Espacial**. 2. Rialp. S.A., Madrid: 1995. ISBN 84-321-2680-2.

DUBOIS, G. et al. On the contribution of remote sensing to DOPA, a digital observatory for protected areas. In: Proceedings of the 34th International Symposium on Remote Sensing of Environment, 2011, Sydney. **Proceedings of the 34th International Symposium on Remote Sensing of Environment**, Australia, April 10–15, 2011.

DUDLEY, N. **Directrices para la aplicación de las categorías de gestión de áreas protegidas**. IUCN, 2008. ISBN 283171088X.

DUFFY, J. P.; PETTORELLI, N. Exploring the relationship between NDVI and African elephant population density in protected areas. **African Journal of Ecology**, v. 50, n. 4, p. 455-463, 2012. ISSN 1365-2028. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2028.2012.01340.x> >.

EKLUNDH, L.; JOHANSSON, T.; SOLBERG, S. Mapping insect defoliation in Scots pine with MODIS time-series data. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, n. 7, p. 1566-1573, 7/15/2009. ISSN 0034-4257. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425709000868>>.

ESTRADA-PEÑA, A.; GUGLIELMONE, A.; MANGOLD, A. The distribution and ecological 'preferences' of the tick *Amblyomma cajennense* (Acari: Ixodidae), an ectoparasite of humans and other mammals in the Americas. **Annals of tropical medicine and parasitology**, v. 98, n. 3, p. 283-292, 2004. ISSN 0003-4983.

EUMETSAT. **Meteosat second generation: system over-view**. Germany: EUM TD07, Darmstadt, 2001. 44.

FERNANDES, I. M.; SIGNOR, C. A.; PENHA, J., Eds. **Biodiversidade no Pantanal de Poconé**. Cuiabá: Centro de Pesquisa do Pantanal: CPP - Centro de Pesquisas do Pantanal, p.196ed. 2010.

FERNANDES, I. M.; ZUANON, J.; PENHA, J. Peixes. In: FERNANDES, I. M.; SIGNOR, C. A., *et al* (Ed.). **Biodiversidade no Pantanal de Poconé**. Cuiabá: CPP - Centro de Pesquisas do Pantanal, 2010. cap. 6, p.103-118.

FIGUEIREDO, M. A. **A microrregião salineira norte-riograndense no domínio das Caatingas**. Fundação G. Duque, Mossoró, RN. Coleção Mossoroense: Escola Superior de Agricultura de Mossoró, 1987.

FRANCA-ROCHA, W. et al. Levantamento da cobertura vegetal e do uso do solo do Bioma Caatinga. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis, Brazil, (**Anais**). 21-26 de abril de 2007, 2629-2636.

FRANKE, C. R. et al., Eds. **Mata Atlântica e Biodiversidade**. Salvador: Edufba, p.461ed. 2005.

FRASER, R. H. Vertebrate species richness at the mesoscale: relative roles of energy and heterogeneity. **Global Ecology & Biogeography Letters**, v. 7, n. 3, p. 215-220, 1998. ISSN 1466-8238. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1046/j.1466-822X.1998.00294.x> >.

FREEMANTLE, T. P. et al. Earth observation: overlooked potential to support species reintroduction programmes. **African Journal of Ecology**, v. 51, n. 3, p. 482-492, 2013. ISSN 1365-2028. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1111/aje.12060> >.

FRETWELL, P. T. et al. An Emperor Penguin Population Estimate: The First Global, Synoptic Survey of a Species from Space. **PLoS ONE**, v. 7, n. 4, p. e33751, 2012. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0033751> >.

FULLER, D. O. Remote detection of invasive Melaleuca trees (Melaleuca quinquenervia) in South Florida with multispectral IKONOS imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 26, n. 5, p. 1057-1063, 2005/03/01 2005. ISSN 0143-1161. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1080/01430060512331314119> >.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica—Período 2005-2008**. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009. 156.

GARBULSKY, M. F.; PARUELO, J. M. Remote sensing of protected areas to derive baseline vegetation functioning characteristics. **Journal of Vegetation Science**, v. 15, n. 5, p. 711-720, 2004. ISSN 1654-1103. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1111/j.1654-1103.2004.tb02313.x> >.

GARIGLIO, M. A. et al., Eds. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, p.368ed. 2010.

GARONNA, I. et al. Rapid primary productivity changes in one of the last coastal rainforests: the case of Kahua, Solomon Islands. **Environmental Conservation**, v. 36, n. 03, p. 253-260, 2009. ISSN 1469-4387. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1017/S0376892909990208>>. Acesso em: 2009.

GLOWKA, L.; BURHENNE-GUILMIN, F.; SYNGE, H. **Guide to the convention on biological diversity**. IUCN--the World Conservation Union, 1994. 161 ISBN 2831702224.

GOCH, Y. G. D. F. O Bioma Amazônico. In: PELEJA, J. R. P. e MOURA, J. M. S. (Ed.). **Estudos Integrativos da Amazônia-EIA**. São Paulo, Acquerello: Coleção Diálogos Interdisciplinares, v.1, 2012. cap. Texto 4, p.129-153. ISBN 978-85-64714-02-1.

GONDIM, T. S. D. A.; FRANCA-ROCHA, W. D. J. S. A. Estimativa de fitomassa através de NDVI no Parque Nacional da Chapada diamantina. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR 2011, Curitiba, PR. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Brasil, 30 de abril - 05 de maio, 6066-6072, 2011.

GONZAGA, E. P.; SANTOS, V. V. D.; NICÁCIO, R. M. Análise do comportamento do NDVI e NDWI em períodos de diferentes intensidades pluviométricas no Sertão alagoano. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2011, Curitiba, PR, Brasil, (**Anais**). 30 de abril - 05 de maio, 1736-1743, 2011.

GUEDES, M. L. S. et al. Breve incursão sobre a biodiversidade da Mata Atlântica. In: FRANKE, C. R.; DA ROCHA, P. L. B., *et al* (Ed.). **Mata Atlântica e Biodiversidade**. Salvador: Edufba, 2005. cap. 1, p.39-92.

HAUFF, S. N. **Alternativas para a manutenção das unidades de conservação da Caatinga.** Brasília: MMA, 2010. 90.

HENRIQUES, R. P. B. Influência da história, solo e fogo na distribuição e dinâmica das fitofisionomias no bioma do Cerrado. In: SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J. C., *et al* (Ed.). **Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. cap. 3, p.73-92.

HOQUE, R. et al. Flood monitoring, mapping and assessing capabilities using RADARSAT remote sensing, GIS and ground data for Bangladesh. **Natural Hazards**, v. 57, n. 2, p. 525-548, 2010. ISSN 1573-0840. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/s11069-010-9638-y> >.

HORNING, N. et al. **Remote sensing for ecology and conservation: A Handbook of Techniques.** United States: Oxford University Press, 2010. 467 ISBN 0199219958.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote sensing of environment**, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988. ISSN 0034-4257.

IBGE. **Mapa de Distribuição do Desmatamento no Bioma Caatinga de 2002 à 2008.**

Caatinga: Projeto de Monitoramento do desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite 2010.

_____. **Manual técnico da vegetação brasileira, Sistema fitogeográfico Inventário das formações florestais e campestres, Técnicas e manejo de coleções botânicas, Procedimentos para mapeamentos.** IBGE, Rio de Janeiro, 2012. 274 ISBN 0103-9598.

IVANAUSKAS, N. M.; MONTEIRO, R.; RODRIGUES, R. R. Classificação fitogeográfica das florestas do Alto Rio Xingu. **Acta Amazônica**, v. 38, n. 3, p. 387-402, 2008.

JUSTICE, C. O. et al. The MODIS fire products. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1–2, p. 244-262, 11// 2002. ISSN 0034-4257. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425702000767> >.

LEAL, I. R. et al. Changing the Course of Biodiversity Conservation in the Caatinga of Northeastern Brazil. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 701-706, 2005. ISSN 1523-1739. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00703.x> >.

LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. D., Eds. **Ecologia e conservação da Caatinga**. Universidade Federal de Pernambuco, Recife: Editora Universitária UFPE, p.822ed. 2003.

LENTILE, L. B. et al. Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects. **International Journal of Wildland Fire**, v. 15, n. 3, p. 319-345, 2006. ISSN 1448-5516.

LIMA FILHO, J. M. P. Internal water relations of the umbu tree under semi-arid conditions. **Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP**, v. 23, n. 3, p. 518-521, 2001.

MAESTRE, F. T. et al. Increasing aridity reduces soil microbial diversity and abundance in global drylands. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 112, n. 51, p. 15684-15689, 2015. ISSN 0027-8424.

MARTINUZZI, S. et al. Mapping tropical dry forest habitats integrating Landsat NDVI, Ikonos imagery, and topographic information in the Caribbean Island of Mona. **Revista de biología tropical**, v. 56, n. 2, p. 625-639, 2008. ISSN 0034-7744.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Universidade de Brasília, p.266. 2012

MITTERMEIER, R. A.; GIL, P. R. Wilderness: Earth's Last Wild Places. Conservation International, Agrupación Sierra Madre: CEMEX, S.A. de C.V., 2002. ISBN 9789686397697. Disponível em: < <https://books.google.co.uk/books?id=Yz8yOwAACAAJ> >.

MMA. **Desertificação: caracterização e impactos**. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, 1998. Disponível em: < <https://books.google.com.br/books?id=V9cMAAAAYAAJ> >.

_____. **Subsídios para a elaboração do plano de ação para a prevenção e controle do desmatamento na Caatinga**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2011. 128.

_____. Caatinga. 2015. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/biomas/caatinga> >. Acesso em: 26/11/2015.

MMA/SBF. **Biodiversidade Brasileira: Avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da Biodiversidade Brasileira**. Brasília - DF: MMA, 2002. 404.

_____. **SNUC–Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza, lei nº9.985, de 18 de julho de 2000; decreto nº4.340, de 22 de agosto de 2002**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente: 56 p. 2004.

MORAIS, Y. C. B. et al. Análise espaço-temporal e detecção de mudanças da cobertura vegetal no município de Floresta/PE–Brasil, utilizando o NDVI. In: XV Simpósio Brasileiro de

Sensoriamento Remoto - SBSR 2011, Curitiba, PR. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**, Brasil, 30 de abril - 05 de maio, 2128-2134, 2011.

MORENO-RUEDA, G.; PIZARRO, M. Relative influence of habitat heterogeneity, climate, human disturbance, and spatial structure on vertebrate species richness in Spain. **Ecological Research**, v. 24, n. 2, p. 335-344, 2008. ISSN 1440-1703. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/s11284-008-0509-x> >.

MORO, M. F. et al. A catalogue of the vascular plants of the Caatinga Phytogeographical Domain: a synthesis of floristic and phytosociological surveys. **Phytotaxa**, v. 160, n. 1, p. 1-118, 2014. ISSN 1179-3163.

MORRONE, J. J. Biogeographical regionalisation of the Neotropical Region. **Zootaxa**, v. 3782, n. 1, p. 1-110, 2014. ISSN 1175-5334.

MOTTA, P. E. F.; CURI, N.; FRANZMEINER, D. Relation of Soils and Geomorphic Surfaces in the Brazilian Cerrado. In: OLIVEIRA, P. S. e MARQUIS, R. J. (Ed.). **The Cerrados of Brazil, Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna**. New York: Columbia University, 2002. cap. 2, p.13-32. ISBN 0-231-12042-7.

MOURA, A. D.; SHUKLA, J. On the Dynamics of Droughts in Northeast Brazil: Observations, Theory and Numerical Experiments with a General Circulation Model. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 38, n. 12, p. 2653-2675, 1981/12/01 1981. ISSN 0022-4928. Disponível em: < [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0469\(1981\)038<2653:OTDODI>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0469(1981)038<2653:OTDODI>2.0.CO;2) >. Acesso em: 2015/08/21.

MULDER, V. L. et al. The use of remote sensing in soil and terrain mapping-A review.

Geoderma, v. 162, n. 1-2, p. 1-19, 4/15/ 2011. ISSN 0016-7061. Disponível em: <

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706110003976> >.

NIMER, E. Climatologia da região Nordeste do Brasil. Introdução à climatologia dinâmica.

Revista Brasileira de Geografia, v. 34, n. 1, p. 3-51, 1972.

NORWINE, J. **A World After Climate Change and Culture-shift**. Oklahoma, USA: Springer,

2013. 410 ISBN 9400773528.

OINDO, B. O.; DE BY, R. A.; SKIDMORE, A. K. Interannual variability of NDVI and bird species diversity in Kenya. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 2, n. 3-4, p. 172-180, // 2000. ISSN 0303-2434. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0303243400850114> >.

OINDO, B. O.; SKIDMORE, A. K. Interannual variability of NDVI and species richness in Kenya.

International Journal of Remote Sensing, v. 23, n. 2, p. 285-298, 2002/01/01 2002. ISSN

0143-1161. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1080/01431160010014819> >.

OLIVEIRA, G. D. et al. Conserving the Brazilian semiarid (Caatinga) biome under climate change. **Biodiversity and Conservation**, v. 21, n. 11, p. 2913-2926, Oct 2012. ISSN 0960-

3115. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:000308544100012 >.

OLIVEIRA, J. A. D.; GONÇALVES, P. R.; BONVICINO, C. R. Mamíferos da caatinga. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M., *et al* (Ed.). **Ecologia e conservação da Caatinga**. Universidade Federal de Pernambuco, Recife: Universitária UFPE, 2003. cap. 6, p.275-302. ISBN 857315215X.

OLIVEIRA SOARES, V. D.; ALMEIDA, N. O. O Bioma Caatinga sob a percepção da paisagem e a dinâmica da agricultura. **Revista Geográfica de América Central**, v. 2, n. 47E, 2011. ISSN 2215-2563.

OVERBECK, G. E. et al. Parte 1. História ambiental e cultural dos Campos. Os Campos Sulinos: um bioma negligenciado. In: DE PATTA PILLAR, V.; MÜLLER, S. C., et al (Ed.). **Campos Sulinos-conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília DF: Ministério do Meio Ambiente-MMA, 2009. cap. 1, p.42-59. ISBN 857738117X.

PAREDES, F. J.; BARBOSA, H. A.; GUEVARA, E. Análisis espacial y temporal de las sequías en el nordeste de Brasil. **AGRISCIENTIA**, v. 32, n. 1, p. 1-14, 2015.

PENGRA, B. W.; JOHNSTON, C. A.; LOVELAND, T. R. Mapping an invasive plant, *Phragmites australis*, in coastal wetlands using the EO-1 Hyperion hyperspectral sensor. **Remote Sensing of Environment**, v. 108, n. 1, p. 74-81, 5/15/ 2007. ISSN 0034-4257. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425706004500>>.

PEREIRA, M. P. S. et al. The influence of oceanic basins on drought and ecosystem dynamics in Northeast Brazil. **Environmental Research Letters**, v. 9, n. 12, p. 124013, 2014. ISSN 1748-9326.

PEREIRA, M. S. **Índios Tupi-Guarani na pré-história: suas invasões do Brasil e do Paraguai, seu destino após o descobrimento**. Maceió: EDUFAL, 2000. 144 ISBN 85-7177-061-1.

PETRINI, M. A. et al. Comparação entre perfis temporais de NDVI e NDVI ponderado em relação ao uso da terra. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 15, 2011, Curitiba, PR. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Brasil, 30 de abril a 05 de maio, 0452-0458, 2011.

PETTORELLI, N. et al. Energy availability and density estimates in African ungulates. **The American Naturalist**, v. 173, n. 5, p. 698-704, 2009.

PETTORELLI, N. et al. Exploring habitat use by cheetahs using ecological niche factor analysis. **Journal of Zoology**, v. 277, n. 2, p. 141-148, 2009. ISSN 1469-7998. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-7998.2008.00522.x> >.

PETTORELLI, N. et al. Satellite remote sensing for applied ecologists: opportunities and challenges. **Journal of Applied Ecology**, v. 51, n. 4, p. 839-848, 2014. ISSN 1365-2664. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1111/1365-2664.12261> >.

PETTORELLI, N. et al. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): unforeseen successes in animal ecology. **Climate Research**, v. 46, n. 1, p. 15-27, 2011.

PETTORELLI, N. et al. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 20, n. 9, p. 503-510, 9// 2005. ISSN 0169-5347. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016953470500162X> >.

PONZONI, F. J. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: diagnosticando a Mata Atlântica. In: RUDORFF, B. F. T.; MORAES, E. C., *et al* (Ed.). **Curso de uso de sensoriamento remoto no estudo do meio ambiente**. São José dos Campos: INPE, 2002. cap. 8, p.3-27.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. 2 ed. atualizada e ampliada. São Paulo: Oficina de textos, 2012. 160 ISBN 9788579750533.

PORTILLA-ALONSO, R. M.; MARTORELL, C. Demographic consequences of chronic anthropogenic disturbance on three populations of the endangered globose cactus *Coryphantha werdermannii*. **Journal of Arid Environments**, v. 75, n. 6, p. 509-515, 6// 2011. ISSN 0140-1963. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196311000334>>.

PRADO, D. E. As Caatingas da América do Sul. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M., *et al* (Ed.). **Ecologia e conservação da Caatinga**. Universidade Federal de Pernambuco, Recife: Editora Universitária UFPE, 2003. cap. 1, p.3-73. ISBN 857315215X.

QIAN, H. Environment–richness relationships for mammals, birds, reptiles, and amphibians at global and regional scales. **Ecological Research**, v. 25, n. 3, p. 629-637, 2010. ISSN 1440-1703. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/s11284-010-0695-1> >.

RAMMIG, A.; MAHECHA, M. D. Ecology: Ecosystem responses to climate extremes. **Nature**, v. 527, n. 7578, p. 315-316, 11/19/print 2015. ISSN 0028-0836. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1038/527315a> >.

REIS, A. C. Clima da caatinga. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 48, n. 2, p. 325-335, 1976.

RIBEIRO, E. M. S. et al. Chronic anthropogenic disturbance drives the biological impoverishment of the Brazilian Caatinga vegetation. **Journal of Applied Ecology**, v. 52, n. 3, p. 611-620, 2015. ISSN 1365-2664. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1111/1365-2664.12420> >.

RIOS, I. Q.; VALE, R. D. M. C. D. NDVI como subsídio para o estudo do processo de desertificação na bacia hidrográfica do rio Vaza-Barris – Bahia. In: Simpósio Regional de

Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, 2014, Aracaju. **Anais Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto**, Brasil. 18-21 novembro, 495-499, 2014.

RODRIGUES, M. T. Herpetofauna da caatinga. In: LEAL, I. R.;TABARELLI, M., *et al* (Ed.). **Ecologia e conservação da Caatinga**. Universidade Federal de Pernambuco, Recife: Universitária UFPE, 2003. cap. 4, p.181-236.

ROGERS, D. J. et al. Satellite imagery in the study and forecast of malaria. **Nature**, v. 415, n. 6872, p. 710-715, 02/07/print 2002. ISSN 0028-0836. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1038/415710a> >.

ROJAS, O.; VRIELING, A.; REMBOLD, F. Assessing drought probability for agricultural areas in Africa with coarse resolution remote sensing imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, n. 2, p. 343-352, 2/15/ 2011. ISSN 0034-4257. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425710002798> >.

ROSA, R. S.; LIMA, F. C. T. Os Peixes Brasileiros Ameaçados de Extinção. In: MACHADO, A. B. M.;DRUMMOND, G. M., *et al* (Ed.). **Livro Vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção**. Brasília, DF : MMA; Belo Horizonte, MG: Fundação Biodiversitas, v.2, 2008. p.9-275.

ROSA, R. S. et al. Diversidade, padrões de distribuição e conservação dos peixes da Caatinga. In: LEAL, I. R.;TABARELLI, M., *et al* (Ed.). **Ecologia e conservação da Caatinga**. Universidade Federal de Pernambuco, Recife: Editora Universitária UFPE, 2003. cap. 3, p.135-180.

ROSSI, P. et al. Coupling indicators of ecological value and ecological sensitivity with indicators of demographic pressure in the demarcation of new areas to be protected: The case of the Oltrepò Pavese and the Ligurian-Emilian Apennine area (Italy). **Landscape and**

Urban Planning, v. 85, n. 1, p. 12-26, 3/21/ 2008. ISSN 0169-2046. Disponível em:
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204607002204>>.

ROUCOU, P. et al. Vertical motion changes related to north-east brazil rainfall variability: A gcm simulation. **International Journal of Climatology**, v. 16, n. 8, p. 879-891, 1996. ISSN 1097-0088. Disponível em: < [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(199608\)16:8<879::AID-JOC56>3.0.CO;2-B](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(199608)16:8<879::AID-JOC56>3.0.CO;2-B)>.

ROUSE JR, J. et al. **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation**. Texas A & M University, Remote Sensing Center, p.69. 1973

SALAZAR, L. F.; NOBRE, C. A.; OYAMA, M. D. Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. **Geophysical Research Letters**, v. 34, n. 9, p. L09708, 2007. ISSN 1944-8007.

SAMPAIO, E. Overview of the Brazilian Caatinga In: BULLOCK, S.; MOONEY, H., *et al* (Ed.). **Seasonally dry tropical forests**: Cambridge University Press, 1995. p.35-63.

_____. Caracterização da caatinga e fatores ambientais que afetam a ecologia das plantas lenhosas. In: SALES, V. C. (Ed.). **Ecossistemas Brasileiros: Manejo e conservação**: Fortaleza, Expressão Gráfica e Editora, 2003. p.129-142.

SAMPAIO, Y.; MAZZA, J. E. B. **Diversidade sócio econômica e pressão antrópica na caatinga nordestina**. Petrolina, Pernambuco, Brasil: Workshop Avaliação e identificação de ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade do bioma Caatinga, 2000. 2-8 Disponível em:
<www.biodiversitas.org.br/caatinga>.

SAMPAIO, Y.; MAZZA, J. E. B. Desenvolvimento regional e pressões antrópicas no bioma Caatinga. In: DA SILVA, J.; TABARELLI, M., *et al* (Ed.). **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2004. cap. 4, p.311-324.

SANTOS, J. C. et al. Caatinga: the scientific negligence experienced by a dry tropical forest. **Tropical Conservation Science**, v. 4, n. 3, p. 276-286, 2011. ISSN 1940-0829. Disponível em: < www.tropicalconservationscience.org >.

SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J. C.; FELFILI, J. M. **Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. 439.

SETO, K. C. et al. Linking spatial patterns of bird and butterfly species richness with Landsat TM derived NDVI. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 20, p. 4309-4324, 2004/10/01 2004. ISSN 0143-1161. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1080/0143116042000192358> >.

SIGNOR, C. A.; PINHO, J. B. Aves. In: FERNANDES, I. M.; SIGNOR, C. A., *et al* (Ed.). **Biodiversidade no Pantanal de Poconé**. Cuiabá: CPP - Centro de Pesquisas do Pantanal, 2010. cap. 8, p.137-154.

SILVA, A. P. D.; MARQUES, S. R. Morcegos. In: FERNANDES, I. M.; SIGNOR, C. A., *et al* (Ed.). **Biodiversidade no Pantanal de Poconé**. Cuiabá: CPP - Centro de Pesquisas do Pantanal, 2010. cap. 10, p.169-182.

SILVA, G. B. S. D. et al. Monitoramento e detecção de desmatamentos no bioma Cerrado matogrossense utilizando imagens de multisensores. In: XV Simpósio Brasileiro de

Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR. **Anais, XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**, Brasil: INPE, 2849, 2011.

SILVA, M. T. **Análises do índice de vegetação da diferença normalizada, albedo e temperatura da superfície no semiárido pernambucano com base em imagens Tm/LandSat 5**. 2012. 62 (Especialista). Especialização em Geoambiência e Recursos Hídricos do Semiárido, Universidade Estadual da Paraíba - UEPB

SILVA, N. D. et al. Soil-transmitted helminth infections: updating the global picture. **Trends Parasitol**, v. 19, p. 547 - 551, 2003.

SILVEIRA, L. F.; STRAUBE, F. C. Aves ameaçadas de extinção no Brasil. In: MACHADO, A. B. M.; DRUMMOND, G. M., *et al* (Ed.). **Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção**. Brasília, DF : MMA; Belo Horizonte, MG: Fundação Biodiversitas, v.2, 2008. p.378-679.

SINGH, S. P. Chronic disturbance, a principal cause of environmental degradation in developing countries. **Environmental Conservation**, v. 25, n. 01, p. 1-2, 1998. ISSN 1469-4387. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1017/S0376892998000010> >. Acesso em: 1998.

SKIDMORE, A.; OINDO, B.; SAID, M. Biodiversity assessment by remote sensing. In: International symposium on remote sensing of the environment: information for risk management and sustainable development, 2003. **Proceedings of the 30th International symposium on remote sensing of the environment**. 4, 2003.

SON, N. T. et al. Monitoring agricultural drought in the Lower Mekong Basin using MODIS NDVI and land surface temperature data. **International Journal of Applied Earth**

Observation and Geoinformation, v. 18, n. 0, p. 417-427, 8// 2012. ISSN 0303-2434.

Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030324341200058X> >.

TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. D. Áreas e ações prioritárias para a Conservação da Biodiversidade da Caatinga. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M., *et al* (Ed.). **Ecologia e Conservação da Caatinga**. Universidade Federal de Pernambuco, Recife: Editora Universitária UFPE, 2003. cap. 20, p.47-52.

TOLEDO, K. **Apenas 7,5% da Caatinga está protegida em Unidades de Conservação (UCs)**. EcoDebate Cidadania & Meio Ambiente 2013.

TRICART, J. As zonas morfoclimáticas do Nordeste Brasileiro. **Notícia Geomorfologica**, v. 3, p. 17-25, 1961.

UHL, C. et al. Studies of ecosystem response to natural and anthropogenic disturbances provide guidelines for designing sustainable land-use systems in Amazonia. **Alternatives to deforestation: steps towards sustainable use of the Amazon rain forest.**, p. 24-42, 1990. ISSN 0231068921.

VALÉRIO-BRUN, L. M. et al. Sapos, rãs e pererecas. In: FERNANDES, I. M.; SIGNOR, C. A., *et al* (Ed.). **Biodiversidade no Pantanal de Poconé**. Cuiabá: CPP - Centro de Pesquisas do Pantanal, 2010. cap. 7, p.119-136.

VELOSO, H. P.; KLEIN, R. M. **As comunidades e associações vegetais da mata pluvial do sul do Brasil. I. As comunidades do município de Brusque, Estado de Santa Catarina**. Brasil: Sellowia, Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1957. 81-235.

VELLOSO, A. L. et al. **Ecorregiões propostas para o bioma da caatinga**. In: Resultado do seminário de Planejamento Ecorregional da Caatinga, 2002, Aldeia-PE, VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V., *et al*, 28-30 de nov., 2002, 76.

VERHULST, N.; GOVAERTS, B. **The normalized difference vegetation index (NDVI) GreenSeeker™ handheld sensor: Toward the integrated evaluation of crop management. Part A: Concepts and case studies**. Mexico, D.F: CIMMYT: 1-13 p. 2010.

VIOVY, N.; ARINO, O.; BELWARD, A. S. The Best Index Slope Extraction (BISE): A method for reducing noise in NDVI time-series. **International Journal of Remote Sensing**, v. 13, n. 8, p. 1585-1590, 1992/05/01 1992. ISSN 0143-1161. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1080/01431169208904212> >. Acesso em: 2014/07/07.

ZHAO, S. et al. Relationships between species richness of vascular plants and terrestrial vertebrates in China: analyses based on data of nature reserves. **Diversity and Distributions**, v. 12, n. 2, p. 189-194, 2006a. ISSN 1472-4642.

_____. The relationships between terrestrial vertebrate species richness in China's nature reserves and environmental variables. **Canadian Journal of Zoology**, v. 84, n. 9, p. 1368-1374, 2006/09/01 2006b. ISSN 0008-4301. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1139/z06-132> >. Acesso em: 2016/03/01.

ANEXO

ANEXO A. LISTA DE ILUSTRAÇÃO DO ARTIGO SUBMETIDO AO JOURNAL BIODIVERSITY AND CONSERVATION

Fig. 1- Localization of study area, Caatinga Biome with different types of vegetation / Localização da área de estudo, Bioma da Caatinga com seus diferentes tipos de vegetação.....87

Fig. 2- Time series of monthly NDVI and precipitation dynamics in areas of Hinterland Caatinga vegetation between 2008 and 2013. NDVI values were grouped in five equal classes for visualization purposes / Serie temporal das dimânicas mensais dos dados de NDVI e precipitaçãoem as áreas da Vegetação Caatinga no período 2008-2013. Valores de NDVI foram agrupados em cinco classes iguais para uma melhor visualização.....88

Fig. 3- Predicted relationship between NDVI and precipitation according to (a) deforestation and (b) land protection status. Predictions are based on the generalized linear mixed model (GLMM) best supported by the data. / Relacionamento previsto entre o NDVI e precipitação de acordo com (a) desmatamento, (b) diferentes tipos de proteção. As previsões são baseadas com a melhor suporte segundo os dados com o modelo linear generalizado misto.....89

ANEXO B. LISTA DE TABELAS DO ARTIGO SUBMETIDO AO JOURNAL BIODIVERSITY AND CONSERVATION

Table 1- Summary table of average ($\pm$ SD) monthly NDVI, temperature and precipitation values per year for the study period in the Caatinga region / Tabela de síntese da Media ($\pm$ SD) dos valores mensais do NDVI, temperature e precipitação, por ano no período na região da Caatinga. 833

Table 2- Linear mixed models (LMMs) representing the hypotheses being tested regarding NDVI responses to precipitation, deforestation and land protection status. The model best supported by the data is highlighted in bold / Modelos lineais mistos (LMMs) representando a hipótese que está sendo testada em relação respostas NDVI a precipitação, desmatamento e diferentes tipos de proteção. O Modelo com melhor suporte são destacadas em negritos. 84

Table 3- Summary statistics for the linear mixed model (LMM) relating NDVI response to precipitation ($\log_e + 1$) and deforestation in the Caatinga biome. Pixel ID was included as a random factor. Base level represents areas with no record of deforestation, whereas deforestation represents areas where deforestation has been recorded / Resumo estadísticos para os modelos linear misto (LMM) a resposta relativa do NDVI com precipitação ($\log_e + 1$) e o desmatamento no Bioma da Caatinga. Os Pixel ID foram incluídos como um factor aleatório. O Nível básico representa as áreas nenhum registro de desmatamento, considerando que o desmatamento representa as áreas onde o desmatamento tem sido gravados. 85

Table 4- Summary statistics for the linear mixed model (LMM) relating NDVI response to precipitation ($\log_e + 1$) and protection status for the Caatinga vegetation. Pixel ID was included as a random factor. Base level represents unprotected areas, while FP stands for full protection and SU for sustainable use areas / Resumo estadísticos para os modelos linear misto (LMM) a resposta relativa do NDVI com precipitação ($\log_e + 1$) e os status de proteção para a vegetação da Caatinga. Os Pixel ID foram incluídos como um factor aleatório. O Nível básico representa as áreas desprotegidas, enquanto FP são as áreas de proteção integral e SU são as áreas de uso sustentável. 866

ANEXO C. ARTIGO SUBMETIDO AO JOURNAL BIODIVERSITY AND CONSERVATION

Protected Areas buffer Caatinga from Climate Change

Luis Hernán ACOSTA Salvatierra^{1,2*}, Ana Claudia Mendes MALHADO¹, Humberto BARBOSA³, Ricardo A. CORREIA^{1,4} and Richard J. LADLE^{1,4}

Author Affiliations

1. Institute of Biological and Health Sciences, Federal University of Alagoas, Av. Lourival Melo Mota, s/n, Tabuleiro do Martins, Maceió, AL 57072-900, Brazil
2. Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado, Universidad Autónoma Gabriel René Moreno, Avenida Irala 565, Casilla postal 2489, Tel. 3371216; Fax 3366574, Santa Cruz de la Sierra-Bolivia.
3. Institute of Atmospheric Sciences, Federal University of Alagoas, Av. Lourival Melo Mota, s/n, Tabuleiro do Martins, Maceió, AL 57072-900, Brazil
4. School of Geography and the Environment, University of Oxford, South Parks Road, Oxford, United Kingdom

* Corresponding author

E-mail address:

Abstract

The Caatinga biome is a unique semi-arid ecosystem in northeast Brazil whose vegetation is adapted to the periodic droughts that characterize this region. However, the ecological resilience of this biome is being challenged by the increasing frequency of extreme droughts caused by anthropogenic climate change. The present work evaluates how deforestation and protection status affect the response of the Caatinga vegetation to drought. Specifically, we compare vegetation responses to drought in natural and deforested areas as well as inside and outside of protected areas using a time-series of satellite-derived Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and climatic data for the period of 2008-2013. We observe a strong effect of deforestation and land protection on overall vegetation productivity and in productivity dynamics in response to precipitation. Overall, deforested areas have significantly lower levels of NDVI and delayed greening in response to precipitation. In contrast, strict protected areas have higher productivity and considerable resilience to low levels of precipitation when compared to sustainable use or unprotected areas. These results highlight the importance protected areas in protecting ecosystem processes and native vegetation in the Caatinga against the negative effects of climate change and deforestation. Given the extremely small area of the Caatinga currently under strict protection, the creation of new conservation areas is a priority to ensure the sustainability of ecological processes and avoid further desertification.

Key words: Caatinga, resilience, native vegetation, protected areas, deforestation, NDVI, remote sensing

Introduction

In their recent review of ecosystem responses to climate extremes in *Nature*, Rammig and Mahecha (2015) highlight the particular vulnerability of semi-arid regions to long-term droughts. Unlike arid regions, the vegetation of semi-arid biomes usually lacks the ability to quickly respond to drought spells (Vicente-Serrano et al. 2013). This vulnerability may be exacerbated by ecological feedback mechanisms, such as the loss of microbial abundance and diversity due to increasing soil aridity (Maestre et al. 2015). Under extreme drought conditions, the lack of water may ultimately affect ecosystem function and services and potentially lead to a regime shift (desertification) (Hughes et al. 2013).

Among the semi-arid regions of the world, recent evidence suggests that the Caatinga region of northeast Brazil may be particularly vulnerable to any significant shifts in the duration and intensity of droughts (Seddon et al. 2016). Climate variability is traditionally high in this region; records show that even under historical norms it frequently experiences droughts of more than 11 months (Ab'Saber 1977). Such extreme variability is probably caused by a combination of regional thermal circulation patterns (Moura and Shukla 1981) and sea surface temperature anomalies (Pereira et al. 2014; Roucou et al. 1996). Future climate change is predicted to cause increasingly severe droughts across northeast Brazil, leading to widespread desertification (Salazar et al. 2007) and associated ecological and conservation consequences (de Oliveira et al. 2012). Despite the fauna and flora of the Caatinga region being adapted to periodic droughts, some scientists believe that they may already be operating at their physiological limits (Prado 2003). If this is the case, even a relatively minor deterioration in water availability could cause an ecological phase shift resulting in a greatly impoverished flora and fauna (Allen 2009).

The vulnerability of the Caatinga vegetation to future climate extremes is further increased by high levels of habitat degradation. Indeed, the biome is one of the most threatened in Brazil due to widespread deforestation for farming and mineral extraction (Leal et al. 2005; Leal et al. 2003; MMA 2015; Prado 2003). Other threats include unsustainable extraction of firewood, overgrazing by goats and cows, monoculture of trees and crops, and increasing urbanization due to real-estate speculation (MMA 2015). As a consequence there are very few substantial areas of pristine habitat left that contain the

Caatinga's characteristic semi-arid vegetation, and much of this is restricted to the very small number of strict protected areas that are scattered throughout the biome (de Oliveira et al. 2012; Leal et al. 2005).

In summary, we still do not know with any degree of certainty whether the increasingly severe droughts caused by anthropogenic climate change will strongly influence the native Caatinga vegetation, or whether widespread habitat degradation (e.g. deforestation, over-grazing) has reduced the capacity of this vegetation to withstand prolonged dry periods. Here, we explore these issues by testing how deforestation and land protection affect the response of Caatinga semi-arid vegetation to drought. Specifically, we evaluate whether these factors have any effect on the overall vegetation productivity and its relationship with precipitation.

Materials and Methods

Study Area

The semi-arid biome extends from 3 to 17° S and from 35 to 45° W, covering eight states of NE Brazil: Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Alagoas, Sergipe, Bahia and Minas Gerais (Fig. 1). Mean temperature averages 24-26 °C and annual rainfall varies between 250 and 700 mm, concentrated in a short rainy season in February-April (Leal et al. 2005). The biome has various types of vegetation cover, including: Dense Ombrophilous Forest (rainforests with 60 dry days in the year that is considered transitional with Amazon vegetation); Areas of Ecological Tension (ecotones composed of two or more plant units); Restinga Forest (vegetation influenced by sea water); Deciduous Tropical Forest; Semi-Deciduous Tropical Forest (typical tropical-subtropical vegetation, with rainy seasons with or without dry and cold seasons); Cerrado Forest (vegetation adapted to natural/anthropogenic pyrogenic processes) and the characteristic Hinterland (Steppe) Caatinga vegetation (characterized by deciduous thorny plants with a 'steppe-like' annual flora reminiscent of the flora of more temperate climates such as the steppes of Argentina and Bolivia) (IBGE 2012).

The term "Caatinga" (caa = forest, tinga = white) comes from the Tupi language, and is used synonymously with Steppe Savannah as defined by Trochain (1957). Detailed accounts of the Caatinga vegetation are provided by Ab'Saber (1974), Andrade-Lima (1981), Eiten (1983), Prado (2003), Cardoso and Queiroz (2010), and Santos et al. (2012). Typical caatinga is composed of woody vegetation with discontinuous canopy (3–9 m), containing a

mixture of succulents (especially cacti) and non-succulent shrubs and trees. Most Caatinga plants possess a fearsome array of thorns that emerge from microphyllous foliage that is lost during the periodic droughts. The ground layer is rich in bromeliads, annual herbs, and geophytes. Typical species include *Amburana cearensis*, *Anadenanthera colubrina*, *Aspidosperma pyrifolium*, *Poincianella pyramidalis* and *Cnidoscolus quercifolius*. The biome's native vegetation currently occurs in a landscape mosaic highly impacted by human activities (Prado 2003; Tabarelli; da Silva 2002) and makes up about only 42.6 per cent of the territory of the biome (MMA 2015).

Remote sensing data

Satellite images obtained from Meteosat Second Generation SEVIRI (MSG SEVIRI) were used to investigate temporal variation in vegetative drought for the Caatinga region during 2008-2013. We calculated the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) using level 1.5 data from MSG SEVIRI for the study region, located between 3 to 17° S and from 35 to 45° W. Satellite images with a spatial resolution of 3km and a temporal resolution of 15 minutes were obtained between 09:00 and 15:00 hours for the period between January 1, 2008 and December 31, 2013. The SEVIRI images were imported using the EUMETCast service at Laboratory for Analyzing and Processing Satellite Images (LAPIS), via the MSG data retriever tool developed for reading the images through the Geospatial Data Abstraction Library (GDAL, <http://www.gdal.org>). The first (VIS0.6, red centered at 0.6 µm) and second (VIS0.8, near infrared centered at 0.8 µm) bands of the subset of SEVIRI images obtained were then used to generate NDVI images (Barbosa 2013; Barbosa; Ertük 2009), according to Eq. (1):

$$NDVI_{ijk} = \frac{VIS0.8_{ijk} - VIS0.6_{ijk}}{VIS0.8_{ijk} + VIS0.6_{ijk}}, \quad (1)$$

Where *i* is month (*i* = 1, 2, ..., 12), *j* is year (*j* = 2008, 2009, ..., 2013) and *k* pixel-point (*k* = matrix of pixels over Caatinga region). The SEVIRI NDVI results from a non-linear function that varies between -1 and +1, and is undefined when both VIS0.8 and VIS0.6 are zero.

In order to reduce the effect of cloud contamination on pixels, daily NDVI Maximum Value Composite (MVC) maps were calculated from the original set of NDVI images following

Ertürk et al. (2015). These images were then interpolated to a 1km spatial resolution and compiled in monthly NDVI series across the 6-year period.

Climatic and environmental data

Precipitation data were obtained from 19 weather stations for the northeast region of Brazil through the National Institute of Meteorology's website (<http://www.inmet.gov.br>). Given that this region covers an extensive area, we filtered the data for weather stations located within geographical limits of the semi-arid biome and used the resulting subset of stations to calculate interpolated average monthly precipitation values for the study period (2008-2013) at the same spatial resolution as the satellite-derived data (1km).

Deforestation and protected area data were also obtained for the study region. Records of deforestation were from IBAMA (<http://siscom.ibama.gov.br>) for two time periods (before 2002 and 2002-2008) and compiled together in order to identify areas that had been subjected to deforestation in the past. The distribution of protected areas within the region was obtained from the MMA database on Brazilian protected areas (<http://www.mma.gov.br/areas-protegidas>). Both databases are available in vector format and were rasterized (using the software QGIS 2.8.1.) to match with the satellite-derived data.

Data analysis

Our main objective is to assess whether deforestation and land protection have influenced: (i) the overall productivity of Caatinga vegetation, or; (ii) productivity dynamics in relation to water availability. Specifically, we test three hypotheses: (i) neither deforestation nor land protection influence overall vegetation productivity or the shape of the relationship between productivity and precipitation; (ii) deforested areas have lower productivity than protected areas, but the relationship between productivity and precipitation is the same for both land uses, and; (iii) both overall vegetation productivity and the response of vegetation to precipitation are modified by deforestation/land protection.

Based on the concept of multiple working hypotheses (Burnham et al. 2011; Chamberlin 1890), we used Linear Mixed Models (LMMs) with Gaussian error distribution and a multi-model inference approach to explore if, and how, deforestation and protection level influence the association between monthly NDVI values and monthly precipitation values.

Prior to modelling, we carried out a stratified sample of pixels where Hinterland Caatinga vegetation is the dominant vegetation formation. We selected 40 pixels in each of four land cover categories: (i) unprotected land without deforestation records; (ii) unprotected land with deforestation records; (iii) protected land under strict protection, and; (iv) protected land under a sustainable use regime. Each pixel was separated from the nearest pixel by at least 10km in order to control for potential spatial autocorrelation (caused by the interpolation procedure described above for climate and NDVI data). We extracted NDVI data for each pixel, which was used as a response variable in the models, as well as precipitation, deforestation and land protection data which were used as explanatory variables. Pixel ID was included in the model as a random factor in order to account for repeated NDVI measures per pixel.

Our analysis considered the null hypothesis (i.e. no effect of deforestation or protection level) as the model relating monthly NDVI values to the natural logarithm of monthly precipitation values (plus one) and tested whether the inclusion of deforestation or land protection status (with and without interaction with precipitation) improved the support for the model. Models were assessed based on Akaike's Information Criterion corrected for small sample size (AICc); the model with the lowest AICc was considered as the hypothesis best supported by the data. All the analyses were carried out in R statistical software (R Core Team 2015), using the lme4 and MuMIn packages. Linear mixed model p-values were obtained by Satterthwaite's approximation using lmerTest package.

Results

Monthly NDVI averages showed a strong and consistent pattern of spatio-temporal variation of change in Hinterland Caatinga vegetation in relation to climate, and particularly to precipitation (Pearson's $r = 0.669$, $p\text{-value} < 0.001$). Total annual precipitation varied between a maximum of 1066.99 mm in 2009 and a minimum of 345.11 mm in the extremely dry year of 2012. The drought of 2012 was particularly severe, with precipitation significantly lower and more variable across the biome in comparison to previous years (Table 1). This was reflected in the NDVI time-series, where the well-defined temporal pattern during the first years of the evaluation (2008-2010) was disrupted with the beginning of the drought spell in 2011 and barely apparent in 2012 and 2013 (Fig. 2).

The relationship between NDVI and precipitation is strongly dependent on deforestation and land protection status. Our models provide strong support for a significant role of both these factors on overall vegetation productivity, and on how it responds to precipitation changes (Table 2). Deforestation had a significant impact on the relationship between precipitation and NDVI values (Table 3), with deforested areas having significantly lower productivity under conditions of increased water availability (Fig. 3a). We also found strong support for the key role of protected areas in buffering natural vegetation areas from negative drought impacts (Table 4). The best model clearly indicates that the productivity of vegetation in areas of full protection recovers more rapidly when precipitation values increase as compared to sustainable use or unprotected areas. Moreover, productivity in strictly protected areas remains significantly higher even when precipitation values are very low (Fig. 3b). In others words, NDVI values in strict protected areas are more stable in the face of variation in precipitation, and remain higher under drought conditions.

Discussion

We observed that areas of native Caatinga vegetation are particularly responsive to changes in precipitation. This could be a result of the plant species that make up the Hinterland Caatinga vegetation operating at the limits of their physiological tolerance (Lima Filho 2001; Prado 2003). If this is the case, the unusual severity of the recent droughts (Novaes et al. 2013) could be causing vegetation die off. However, there are strong reasons to believe that this interpretation is overly simplistic. The Caatinga's natural vegetation has evolved under conditions of periodic droughts, even if their frequency and severity was less than is currently being observed. Thus, *ceteris paribus*, we would expect many of the species that make up the typical plant assemblages of the Caatinga to be highly resilient to prolonged dry periods (Santos et al. 2014). Moreover, many of the areas that are classified as containing native Caatinga vegetation have been highly degraded by deforestation and agricultural practices such as grazing goats (Albuquerque and Oliveira 2007; de Albuquerque et al. 2012; Moura et al. 2013), potentially making them more vulnerable to climate change and desertification (de Oliveira et al. 2012). Indeed, there is a strong link between desertification and the cultivation of crops, deforestation, and overgrazing (reviewed in Grainger 2013). This interpretation is supported by our results, which demonstrate that vegetation in

deforested areas is overall less productive and less responsive to precipitation than in non-deforested areas.

By extension, if degradation is increasing vulnerability to drought, we might expect native Caatinga vegetation inside strictly protected areas (PAs) to be more resilient than native vegetation outside of strict PAs, where some agricultural activities are permitted. This is exactly what we observed, with precipitation having much weaker impacts on the monthly NDVI values of strict protected areas when compared to sustainable use or unprotected areas. Moreover, NDVI remained significantly higher in strict protected areas even when precipitation values were very low (i.e. during drought periods).

The finding that strict PAs are highly effective at increasing the resilience of native Caatinga vegetation to drought has several implications for conservation. Most importantly, it provides a strong justification, beyond the conservation of biodiversity, for expanding the network of strict protected areas in the Caatinga. Despite the high levels of degradation and the biological uniqueness of the biome, until recently only ~1% of its 735,000km² was contained within strict (integral) protected areas (de Oliveira et al. 2012). This amount increased in March 2015 when, spurred by the adoption of the Brazilian three banded armadillo (*Tolypeutes tricinctus*) as the mascot for the 2014 FIFA World Cup and the vigorous advocacy of Brazilian scientists (Melo et al. 2014), Pernambuco State created a strict protected area of 110,000ha to protect the species (State Law 41,564, 16th March 2015). However, less than a year after its creation the State government is planning to downgrade the reserve (to a sustainable use area) under pressure from the powerful agricultural lobby.

Such downgrading of protected areas is part of a wider problem of PADDD (protected area downgrading, downsizing and degazettement) that is ongoing in Brazil (Bernard et al. 2014). As Bernard and his colleagues powerfully state “if [Brazilian] parks and reserves are to maintain their integrity, there will need to be investments in Brazilian PAs and a better understanding of the benefits PAs provide” (Bernard et al. 2014, p. 939). One such benefit, at least in the Caatinga, is buffering against the effects of climate change and contributing to climate change resilience and mitigation (Ervin 2011).

Conclusions

Protected Areas (PAs) have been adopted as a policy strategy in nearly every country and are considered the cornerstone of efforts to sustain the Earth's biodiversity and ecosystems (Watson et al. 2014). Nevertheless, PAs are under increasing pressure to justify their existence in the face of competition with other land uses, especially agriculture (Smith et al. 2010; Watson et al. 2014). Our finding that areas of native vegetation in strict protected areas are more resistant to drought suggests that expanding the PA network in the Caatinga would be a very effective method to protect ecosystem services (including water and vegetation dynamics) and mitigate against further impacts of climate change. However, if no further actions are taken and anthropogenic activity continues at the current rate and intensity, there is a risk that the vegetation will be unable to recover from future droughts leading to widespread desertification in this unique and biologically important biome.

Acknowledgements

LHAS research in Brazil is funded by Organization of American States (OAS)-Coimbra Group of Brazilian Universities (GCUB). This work is partially funded by the Brazilian National Council for Scientific and Technological Development/ CNPq (#448688/2014-0) RJL and ACMM are funded by CNPq (#310953/2014-6; 310349/2015-0). RAC has a Post-doctoral fellowship also funded by the CNPq (#163055/2014-9). Thanks for the assistance from the Laboratory of Satellite Images Analysis and Processing (LAPIS). Thanks to Rosa Strem for the suggestions and comments

References

- Ab'Saber AN (1974) O domínio morfoclimático semi-árido das caatingas brasileiras *Geomorfologia Geomorfologia* 43:1-39
- Ab'Saber AN (1977) Espaços ocupados pela expansão dos climas secos na América do Sul, por ocasião dos períodos glaciais quaternários *Paleoclimas* 3:1-19
- Allen CD (2009) Climate-induced forest dieback: an escalating global phenomenon *Unasylva* 60:43-49
- Andrade-Lima D (1981) The caatingas dominium *Revista Brasileira de Botânica* 4:149-163
- Bernard E, Penna LAO, Araújo E (2014) Downgrading, Downsizing, Degazettement, and Reclassification of Protected Areas in Brazil *Conservation Biology* 28:939-950 doi:10.1111/cobi.12298

- Burnham KP, Anderson DR, Huyvaert KP (2011) AIC model selection and multimodel inference in behavioral ecology: some background, observations, and comparisons *Behavioral Ecology and Sociobiology* 65:23-35 doi:10.1007/s00265-010-1029-6
- Cardoso D, Queiroz L (2010) Caatinga no contexto de uma metacomunidade: evidências da biogeografia, padrões filogenéticos e abundância de espécies em Leguminosas. In: de Carvalho C, Almeida E (eds) *Biogeografia da América do Sul: padrões e processos*. São Paulo, Roca. Paulo, SP, pp 243-260
- Chamberlin TC (1890) The method of multiple working hypotheses *Science* 15:92-96
- de Albuquerque UP et al. (2012) Caatinga revisited: ecology and conservation of an important seasonal dry forest *The Scientific World Journal* 2012:1-18 doi:10.1100/2012/205182
- de Albuquerque UP, de Oliveira RF (2007) Is the use-impact on native caatinga species in Brazil reduced by the high species richness of medicinal plants? *Journal of ethnopharmacology* 113:156-170 doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jep.2007.05.025
- de Oliveira G, Araujo MB, Rangel TF, Alagador D, Felizola Diniz-Filho JA (2012) Conserving the Brazilian semiarid (Caatinga) biome under climate change *Springer* 21:2913-2926 doi:10.1007/s10531-012-0346-7
- Eiten G (1983) *Classificação da vegetação do Brasil*. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Brasília
- Ervin J (2011) Integrating protected areas into climate planning *Biodiversity* 12:2-10 doi:10.1080/14888386.2011.564850
- Grainger A (2013) *The threatening desert: controlling desertification*. Routledge, London
- Hughes TP, Carpenter S, Rockström J, Scheffer M, Walker B (2013) Multiscale regime shifts and planetary boundaries *Trends in Ecology & Evolution* 28:389-395 doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2013.05.019
- Leal IR, Da Silva JMC, Tabarelli M, Lacher TE (2005) Changing the Course of Biodiversity Conservation in the Caatinga of Northeastern Brazil *Conservation Biology* 19:701-706 doi:10.1111/j.1523-1739.2005.00703.x

- Leal IR, Tabarelli M, Da Silva JMC (eds) (2003) *Ecologia e conservação da Caatinga*. Editora Universitária UFPE, Universidade Federal de Pernambuco, Recife
- Lima Filho JMP (2001) Internal water relations of the umbu tree under semi-arid conditions
Rev Bras Frutic, Jaboticabal - SP 23:518-521
- Maestre FT et al. (2015) Increasing aridity reduces soil microbial diversity and abundance in global drylands *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112:15684-15689
- Melo FP, Siqueira JA, Santos BA, Álvares-da-Silva O, Ceballos G, Bernard E (2014) Football and Biodiversity Conservation: FIFA and Brazil Can Still Hit a Green Goal *BIOTROPICA* 46:257-259 doi:10.1111/btp.12114
- Moura AD, Shukla J (1981) On the Dynamics of Droughts in Northeast Brazil: Observations, Theory and Numerical Experiments with a General Circulation Model *Journal of the Atmospheric Sciences* 38:2653-2675 doi:10.1175/1520-0469(1981)038<2653:OTDODI>2.0.CO;2
- Moura FdBP, Mendes Malhado AC, Ladle RJ (2013) Nursing the caatinga back to health
Journal of Arid Environments 90:67-68
doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.10.010
- Novaes RLM, Felix S, Souza RdF (2013) Save Caatinga from drought disaster *Nature* 497:33-35
- Pereira MPS, Justino F, Malhado ACM, Barbosa H, Marengo J (2014) The influence of oceanic basins on drought and ecosystem dynamics in Northeast Brazil *Environmental Research Letters* 9:124013 doi:10.1088/1748-9326/9/12/124013
- Prado DE (2003) As Caatingas da América do Sul. In: Leal IR, Tabarelli M, Da Silva JMC (eds) *Ecologia e conservação da Caatinga*. Editora Universitária UFPE, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, pp 3-73
- R Core Team (2015) *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria
- Rammig A, Mahecha MD (2015) Ecology: Ecosystem responses to climate extremes *Nature* 527:315-316 doi:10.1038/527315a

- Roucou P, Rocha De Aragão JO, Harzallah ALI, Fontaine B, Janicot S (1996) Vertical motion changes related to north-east brazil rainfall variability: A gcm simulation International Journal of Climatology 16:879-891 doi:10.1002/(SICI)1097-0088(199608)16:8<879::AID-JOC56>3.0.CO;2-B
- Salazar LF, Nobre CA, Oyama MD (2007) Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America Geophysical Research Letters 34:L09708 doi:10.1029/2007GL029695
- Santos MG et al. (2014) Caatinga, the Brazilian dry tropical forest: can it tolerate climate changes? Theor Exp Plant Physiol 26:83-99 doi:10.1007/s40626-014-0008-0
- Santos RM, Oliveira-Filho AT, Eisenlohr PV, Queiroz LP, Cardoso DB, Rodal MJ (2012) Identity and relationships of the Arboreal Caatinga among other floristic units of seasonally dry tropical forests (SDTFs) of north-eastern and Central Brazil Ecology and evolution 2:409-428 doi:10.1002/ece3.91
- Seddon AWR, Macias-Fauria M, Long PR, Benz D, Willis KJ (2016) Sensitivity of global terrestrial ecosystems to climate variability Nature 531:229-232 doi:10.1038/nature16986
- Smith P et al. (2010) Competition for land Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences 365:2941-2957 doi:10.1098/rstb.2010.0127
- Trochain J-L (1957) Accord interafricain sur la définition des types de végétation de l'Afrique tropicale. Institut d'études centrafricaines,
- Vicente-Serrano SM et al. (2013) Response of vegetation to drought time-scales across global land biomes Proceedings of the National Academy of Sciences 110:52-57
- Watson JEM, Dudley N, Segan DB, Hockings M (2014) The performance and potential of protected areas Nature 515:67-73 doi:10.1038/nature13947

Table Legend

Table 1 Summary table of average ($\pm$ SD) monthly NDVI, temperature and precipitation values per year for the study period in the Caatinga region.

Table 2 Linear mixed models (LMMs) representing the hypotheses being tested regarding NDVI responses to precipitation, deforestation and land protection status. The model best supported by the data is highlighted in bold.

Table 3 Summary statistics for the linear mixed model (LMM) relating NDVI response to precipitation ($\log_e + 1$) and deforestation in the Caatinga biome. Pixel ID was included as a random factor. Base level represents areas with no record of deforestation, whereas deforestation represents areas where deforestation has been recorded.

Table 4 Summary statistics for the linear mixed model (LMM) relating NDVI response to precipitation ($\log_e + 1$) and protection status for the Caatinga vegetation. Pixel ID was included as a random factor. Base level represents unprotected areas, while FP stands for full protection and SU for sustainable use areas.

Figure Legends

Fig. 1 Localization of study area, Semi-arid Biome with different types of vegetation.

Fig. 2 Time series of monthly NDVI and precipitation dynamics in areas of Hinterland Caatinga vegetation between 2008 and 2013. NDVI values were grouped in five equal classes for visualization purposes.

Fig. 3 Predicted relationship between NDVI and precipitation according to (a) deforestation and (b) land protection status. Predictions are based on the generalized linear mixed model (GLMM) best supported by the data.

Table 1 Summary table of average ($\pm$ SD) monthly NDVI, temperature and precipitation values per year for the study period in the Caatinga region / *Tabela de síntese da Média ($\pm$ SD) dos valores mensais do NDVI, temperatura e precipitação, por ano no período na região da Caatinga.*

Variable	Year					
	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Monthly NDVI	0.486 ($\pm$ 0.172)	0.521 ($\pm$ 0.151)	0.452 ($\pm$ 0.139)	0.512 ($\pm$ 0.158)	0.333 ($\pm$ 0.128)	0.361 ($\pm$ 0.104)
Monthly Temperature ($^{\circ}$ C)	25.4 ($\pm$ 1.5)	25.5 ($\pm$ 1.3)	26.0 ($\pm$ 1.2)	25.3 ($\pm$ 1.0)	26.1 ($\pm$ 1.0)	26.2 ($\pm$ 1.1)
Monthly Precipitation (mm)	75.929 ($\pm$ 87.376)	88.916 ($\pm$ 83.939)	58.568 ($\pm$ 45.397)	76.383 ($\pm$ 62.573)	28.759 ($\pm$ 32.013)	50.340 ($\pm$ 34.313)

Table 2 Linear mixed models (LMMs) representing the hypotheses being tested regarding NDVI responses to precipitation, deforestation and land protection status. The model best supported by the data is highlighted in bold / *Modelos lineais mistos (LMMs) representando a hipótese que está sendo testada em relação respostas NDVI a precipitação, desmatamento e diferentes tipos de proteção. O Modelo com melhor suporte são destacadas em negritos.*

Hypothesis	Model	AICc	Δ AICc	ω AIC
Deforestation				
i. No effect	NDVI ~ Log (Prec + 1)	-4056.5	6.01	0.047
ii. Effect on total productivity	NDVI ~ Log (Prec + 1) + Defor	-4050.1	12.49	0.002
iii. Effect on productivity and response to precipitation	NDVI ~ Log (Prec + 1) * Defor	-4062.6	0	0.951
Land Protection				
i. No effect	NDVI ~ Log (Prec + 1)	-6806.0	13.16	0.001
ii. Effect on total productivity	NDVI ~ Log (Prec + 1) + Land Protec	-6807.1	12.05	0.002
iii. Effect on productivity and response to precipitation	NDVI ~ Log (Prec + 1) * Land Protec	-6819.2	0	0.997

Table 3 Summary statistics for the linear mixed model (LMM) relating NDVI response to precipitation ($\log_e + 1$) and deforestation in the Caatinga biome. Pixel ID was included as a random factor. Base level represents areas with no record of deforestation, whereas deforestation represents areas where deforestation has been recorded / *Resumo estadísticos para os modelos linear misto (LMM) a resposta relativa do NDVI com precipitação ($\log_e + 1$) e o desmatamento no Bioma da Caatinga. Os Pixel ID foram incluídos como um factor aleatório. O Nível básico representa as áreas nenhum registro de desmatamento, considerando que o desmatamento representa as áreas onde o desmatamento tem sido gravados.*

Mode parameter	Estimate	SE	t value	p-value
Intercept	0.164	0.026	6.19	<0.001
Deforestation (Yes)	0.030	0.038	0.80	0.427
Precipitation	0.079	0.002	36.80	<0.001
Precipitation * Deforestation (Yes)	-0.014	0.003	-4.93	<0.001

Table 4 Summary statistics for the linear mixed model (LMM) relating NDVI response to precipitation ($\log_e + 1$) and protection status for the Caatinga vegetation. Pixel ID was included as a random factor. Base level represents unprotected areas, while FP stands for full protection and SU for sustainable use areas / *Resumo estadísticos para os modelos linear misto (LMM) a resposta relativa do NDVI com precipitação ($\log_e + 1$) e os status de proteção para a vegetação da Caatinga. Os Pixel ID foram incluídos como um factor aleatório. O Nível básico representa as áreas desprotegidas, enquanto FP são as áreas de proteção integral e SU são as áreas de uso sustentável.*

Mode parameter	Estimate	SE	t value	p-value
Intercept	0.186	0.032	5.90	<0.001
Protected area type (FP)	0.161	0.030	5.25	<0.001
Protected area type (SU)	0.140	0.031	4.44	<0.001
Precipitation	0.073	0.002	35.15	<0.001
Precipitation * Protected area type (FP)	-0.014	0.003	-5.03	<0.001
Precipitation * Protected area type (SU)	-0.015	0.003	-5.50	<0.001

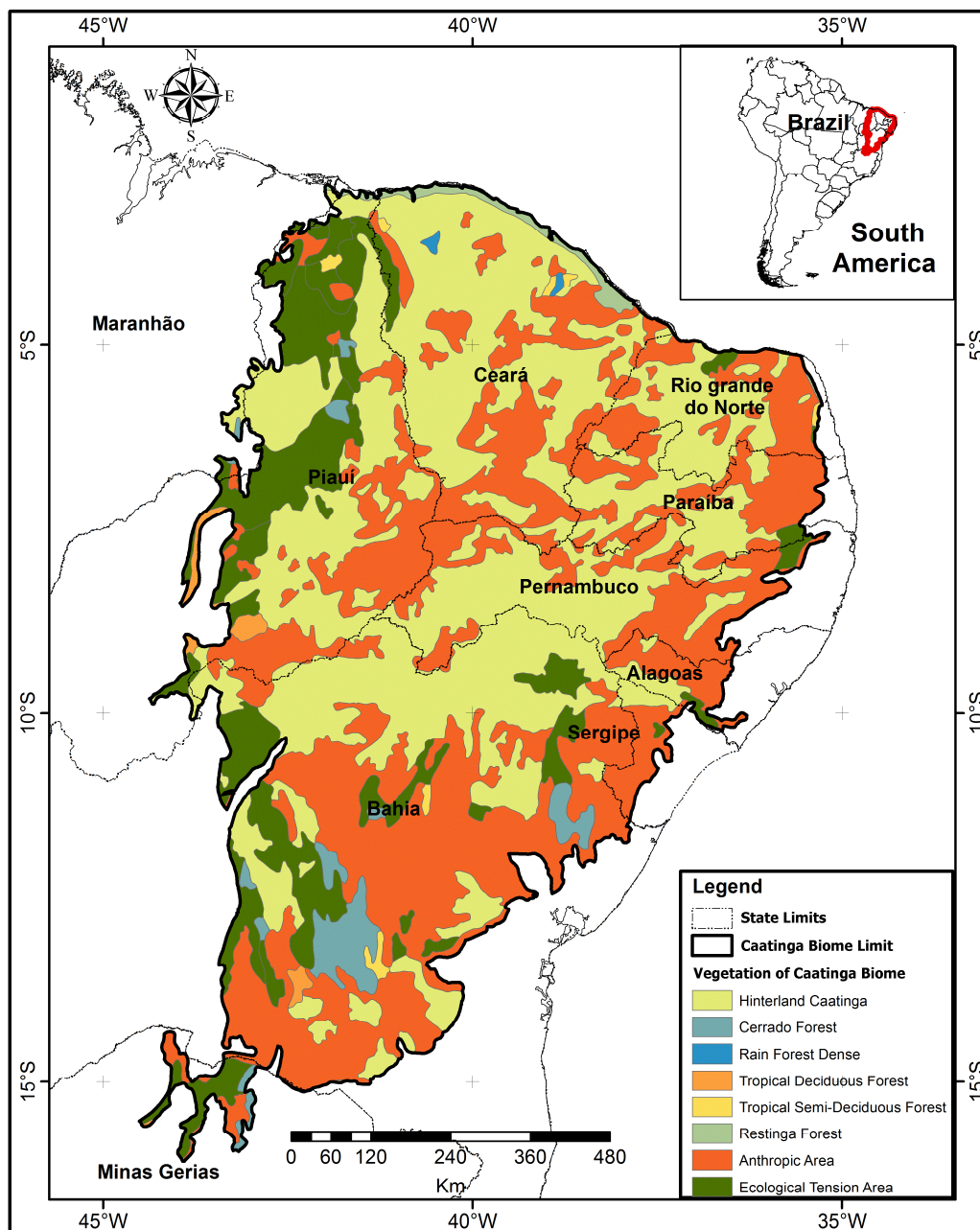


Fig. 1 Localization of study area, Caatinga Biome with different types of vegetation /
Localização da área de estudo, Bioma da Caatinga com seus diferentes tipos de vegetação.

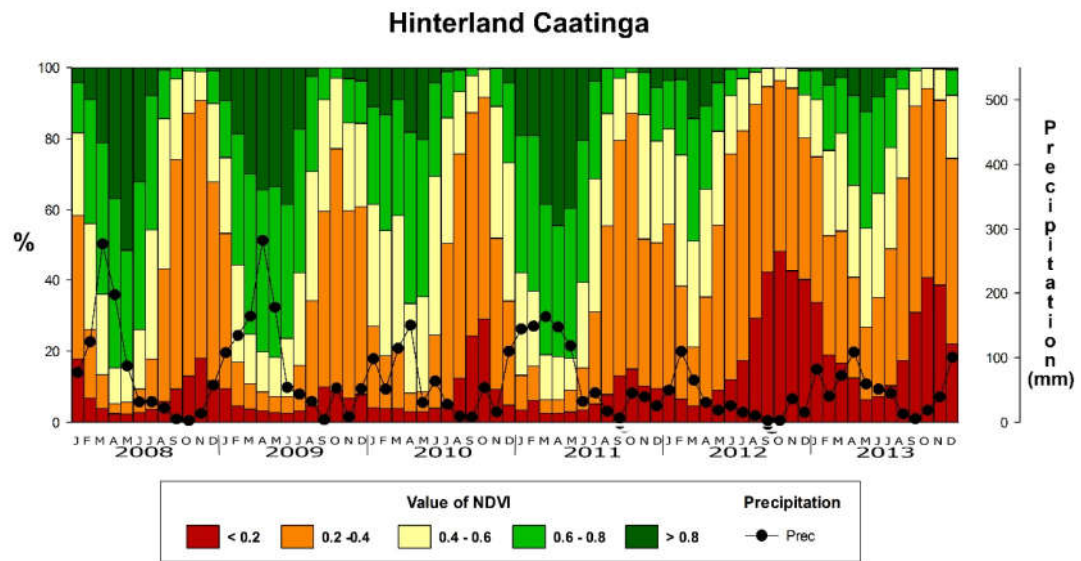


Fig. 2 Time series of monthly NDVI and precipitation dynamics in areas of Hinterland Caatinga vegetation between 2008 and 2013. NDVI values were grouped in five equal classes for visualization purposes / *Serie temporal das dimênicas mensais dos dados de NDVI e precipitaçãem as áreas da Vegetação Caatinga no período 2008-2013. Valores de NDVI foram agrupados em cinco classes iguais para uma melhor visualização*

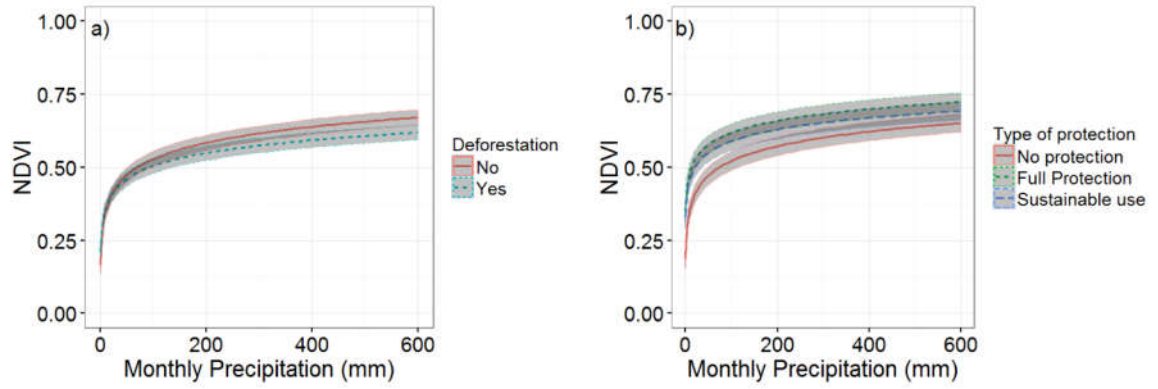


Fig. 3 Predicted relationship between NDVI and precipitation according to (a) deforestation and (b) land protection status. Predictions are based on the generalized linear mixed model (GLMM) best supported by the data. / *Relacionamento previsto entre o NDVI e precipitação de acordo com (a) desmatamento, (b) diferentes tipos de proteção. As previsões são baseadas com a melhor suporte segundo os dados com o modelo linear generalizado misto..*

CONCLUSÕES GERAIS

Em geral, podemos concluir que os valores extraídos das imagens Satélites do Sensor SEVIRI (dados mensais de NDVI) e os dados mensais da precipitação, é fátivel compreender a importância e/ou papel que cumprem as Unidades de Conservação dentro da Vegetação da Caatinga, onde pode-se observar uma maior resiliência da vegetação nativa dentro das unidades de conservação. Assim sendo, os resultados sugerem que as instituições pertinentes (federal, estadual e municipal) devem investir na implementação de novas unidades de conservação, para garantir os processos ecológicos e, de alguma maneira, ajudar a mitigação naturalmente dos efeitos das mudanças climáticas na região da Caatinga, em quanto é de conhecimento geral que ela é única no mundo.