

DAMARES FELIX DO NASCIMENTO SILVA

**FITOSSOCIOLOGIA EM RELAÇÃO AS PROPRIEDADES DO SOLO E ÍNDICES
DE VEGETAÇÃO EM ÁREA DE CAATINGA, PERNAMBUCO.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

Orientador:

Prof. Dr. RINALDO LUIZ CARACIOLO FERREIRA

Co-orientadores:

Prof. Ph.D. JOSÉ ANTÔNIO ALEIXO DA SILVA

Prof^a. Dr^a. RUTE BERGER

RECIFE

Pernambuco – Brasil

Fevereiro - 2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

S586f Silva, Damares Felix do Nascimento
Fitossociologia em relação as propriedades do solo e índices de
vegetação em área de caatinga, Pernambuco / Damares Felix do
Nascimento Silva. – 2017.
72 f. : il.

Orientador: Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira.
Coorientadores: José Antônio Aleixo da Silva, Rute Berger.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de
Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais,
Recife, BR-PE, 2017.
Inclui referências.

1. Correlação canônica 2. Sensoriamento remoto 3. Florestas secas
I. Ferreira, Rinaldo Luiz Caraciolo, orient. II. Silva, José Antônio Aleixo
da, coorient. III. Berger, Rute, coorient. IV. Título

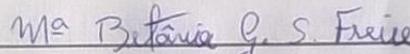
CDD 634.9

DAMARES FELIX DO NASCIMENTO SILVA

**FITOSSOCIOLOGIA EM RELAÇÃO AS PROPRIEDADES DO SOLO E
ÍNDICES DE VEGETAÇÃO EM ÁREA DE CAATINGA, PERNAMBUCO.**

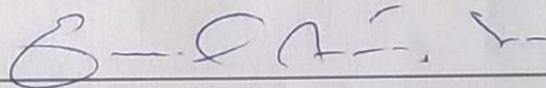
APROVADA em 20/02/2017

Banca Examinadora



Profa. Dra. Maria Betânia Galvão dos Santos Freire

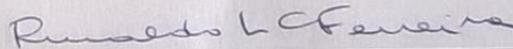
Departamento de Ciência do Solo – UFRPE



Prof. Dr. Emanuel Araújo Silva

Departamento de Ciência Florestal - UFRPE

Orientador:



Prof. Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira

Departamento de Ciência Florestal - UFRPE

RECIFE – PE

Fevereiro/2017

Aos meus pais Severino Félix e Jáires Dias

Ofereço.

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor Jesus Cristo, dono da minha vida a quem sirvo e servirei eternamente, por ter me permitido concluir mais esta etapa.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco pela oportunidade de formação e qualificação profissional.

Ao programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e seu corpo docente pela singular atuação na transmissão do conhecimento.

Ao meu orientador Prof. Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira pelo suporte, correções e pela confiança.

Aos meus Co-orientadores Prof^a. Dr^a. Rute Berger e Prof. Ph.D. José Aleixo da Silva pelas ideias e pela constante disponibilidade e presteza em me auxiliar.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

Aos meus pais Severino Felix da Silva e Jaíres Dias do Nascimento Silva pela presença, apoio, incentivo e orações (não sei o que seria de mim sem elas).

Ao meu esposo Wildson de Moraes Silva pela sua ajuda incondicional, seus conselhos, ensinamentos, orações e noites em claro ao meu lado, só eu sei o quanto você foi importante para realização deste trabalho.

Aos meus companheiros do Laboratório de Manejo de Florestas Naturais Cinthya, Cybelle, Andreson, Myrela, Natan e Iran pela ajuda em todas as fases de execução deste trabalho.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação e da construção deste trabalho, sou muito grata a todos vocês.

SILVA, DAMARES FELIX DO NASCIMENTO, Fitossociologia em relação as propriedades do solo e índices de vegetação em área de Caatinga, Pernambuco. 2017. Orientador: Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira. Co-orientadores: José Antônio Aleixo da Silva e Rute Berger.

RESUMO

A gestão dos recursos florestais necessita estar amparada no conhecimento das diversas variáveis ambientais que influenciam a floresta e seu desenvolvimento. No intuito de ampliar a compreensão sobre as relações ambientais em uma área de Caatinga no semiárido pernambucano objetivou-se caracterizar a florística e a fitossociologia, verificar a relação solo-vegetação e identificar áreas vegetadas por meio de índices de vegetação. O trabalho foi realizado em 40 parcelas permanentes de 400 m² cada, ordenadas de forma sistemática. Foram mensurados todos os indivíduos vivos com CAP \geq 6 cm e estimados os parâmetros fitossociológicos, os índices de diversidade de Shannon, Simpson e equabilidade de Pielou e realizada a separação em classes diamétricas. Para análise do solo foram coletas três amostras simples na profundidade de 0-20 cm para compor uma amostra composta por parcela. Foram analisados o pH e os teores de Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, P, Al³⁺, CO, areia, silte e argila e calculados a capacidade de troca de cátions, soma de bases, saturação por bases, porcentagem de saturação por sódio. Os índices de vegetação NDVI e SAVI foram calculados a partir de uma imagem do satélite Landsat 8 sensor OLI de 29/04/2016. Para verificar a relação solo-vegetação foi utilizada uma análise de correlação canônica e para testar a relação entre os índices de vegetação e as variáveis da vegetação foi aplicado o coeficiente de correlação de Pearson. As famílias Fabaceae e Euphorbiaceae foram as mais representativas tanto em número de indivíduos quanto em diversidade de espécies. Os índices de Shannon, Simpson e equabilidade de Pielou registraram valores de 1,67, 0,66 e 0,56, respectivamente. O maior valor de importância foi observado para a espécie *Poincianella bracteosa*, que respondeu por 56,30% da densidade e 63,52% da dominância. Na distribuição diamétrica se observou a forma de J invertido com grande expressividade das classes até 12 cm, que juntas, acumularam mais de 80% dos indivíduos. Para o solo foram encontrados valores adequados de pH, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺. Por meio da relação solo-vegetação foi possível identificar, que áreas com uma maior densidade de plantas estão associadas a melhores condições de infiltração e acúmulo de água na subsuperfície. O uso do NDVI foi mais eficiente na distinção das áreas vegetadas do que o SAVI. Foram observadas correlações de 0,56, 0,55 e 0,51 entre o NDVI e a densidade absoluta, área basal e o número de espécies, respectivamente. A densidade absoluta foi a variável fitossociológica que mais apresentou correlações significativas com os atributos do solo. Concluiu-se que a espécie *P. bracteosa* é a mais importante, fitossociologicamente. Existe relação de dependência entre solo e vegetação. Há uma relação direta entre a densidade de plantas e o acúmulo de água no solo. O uso do NDVI permitiu uma melhor identificação da vegetação. O NDVI é o índice mais apropriado para uso em modelos de estimativa das variáveis densidade, área basal e número de espécies.

Palavras-chave: Correlação canônica, sensoriamento remoto, floresta seca.

SILVA, DAMARES FELIX DO NASCIMENTO, Phytosociology in relation to soil properties and vegetation indexes in Caatinga area, Pernambuco. 2017. Advisor: Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira. Comitê: José Antônio Aleixo da Silva and Rute Berger.

ABSTRACT

The management of forest resources needs to be supported by the knowledge of the various environmental variables that have influence in the forest development. In order to broaden the understanding of environmental relations in a Caatinga area in the semi-arid region of Pernambuco-Brazil, the objective of this research was to characterize floristic and phytosociology, to verify the relationship between soil and vegetation, and to identify vegetated areas through vegetation indexes. Forty permanent plots of 400 m² each, systematic ordered. All individuals with CBH \geq 6 cm were measured, and the phytosociological parameters, diversity indexes of Shannon, Simpson, Pielou equability and the diameter class were estimated. For the analysis of the soil were collected three simple samples in the depth of 0-20 cm to constitute a composed sample per plot. It was analyzed the pH and Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, P, Al³⁺, CO, sand, silt and clay contents were determined and the cation exchange capacity, base sum, base saturation, exchangeable sodium percentage. The vegetation indices (NDVI) and (SAVI) were calculated from a satellite image of Landsat 8 sensor OLI of 04/29/2016. To verify the soil-vegetation relationship, a canonical correlation analysis was used and Pearson's correlation was applied to test the relationship between vegetation indexes and vegetation variables. The families Fabaceae and Euphorbiaceae were the most representative in number of individuals and in diversity of species. Values of 1.67, 0.66 and 0.56 were found for the Shannon and Simpson indices and Pielou equability, respectively. The highest value of importance was observed for the species *Poincianella bracteosa*, which accounted for 56.30% of density and 63.52% of dominance. In the diameter distribution, the inverted J form was observed, with great expressiveness of classes up to 12 cm, which together accumulated more than 80% of the individuals. For the soil, adequate values of pH, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ and Al³⁺ were found. By means of the soil-vegetation relationship, it was possible to identify which areas with a higher plant density are associated with conditions allows better infiltration and accumulation of water in the subsurface. The use of NDVI was more efficient in distinguishing vegetated areas than SAVI. Correlations between NDVI with absolute density, basal area and number of species, were of 0.56, 0.55 and 0.51 respectively. The absolute density was the phytosociological variable that presented significant correlations with the soil attributes. It was concluded that the specie *P. bracteosa* is the most important, especially regarding the density of individuals. There is a relationship of dependence between soil and vegetation. There is a direct relationship among plant density and the accumulation of water in the soil. The use of NDVI allowed a better identification of the vegetation. The NDVI is the most appropriate index for use in models for estimation of the variables density, basal area and number of species.

Keywords: Canonical correlation, remote sensing, dry forest.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. AS ZONAS ÁRIDAS E SEMIÁRIDAS E AS FLORESTAS.....	4
2.1.1. A Caatinga: florística e fitossociologia	6
2.2. SOLOS DO SEMIÁRIDO.....	10
2.3. RELAÇÃO SOLO-VEGETAÇÃO.....	12
2.4. SENSORIAMENTO REMOTO.....	13
2.4.1. Satélites Landsat	15
2.5. ÍNDICES DE VEGETAÇÃO.....	17
3. MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	19
3.2. LEVANTAMENTO FLORÍSTICO.....	21
3.3. LEVANTAMENTO FITOSSOCIOLÓGICO.....	21
3.4. COLETA E ANÁLISE DO SOLO.....	21
3.5. OBTENÇÃO DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO.....	22
3.5.1. Aquisição da imagem	22
3.5.2. Processamento da imagem	22
3.5.3. Cálculo dos índices de vegetação	23
3.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1. FLORÍSTICA E FITOSSOCIOLOGIA.....	25
4.2. ATRIBUTOS TEXTURAIS E FÍSICOS DO SOLO.....	32
4.3. ANÁLISE DA RELAÇÃO SOLO-VEGETAÇÃO.....	38
4.4. NDVI E SAVI PARA IDENTIFICAÇÃO DA VEGETAÇÃO.....	42
5. CONCLUSÕES	47
REFERÊNCIAS	48

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Porcentagem e classificação das zonas áridas no mundo de acordo com índice de aridez.....	4
2	Distribuição do uso da terra nas zonas áridas (proporção da área total).....	5
3	Distribuição das florestas tropicais sazonalmente secas e outras florestas decíduas na região Neotropical.....	6
4	Influência da temperatura, precipitação e evapotranspiração potencial na formação do solo.....	11
5	Componentes radiométricos da trajetória da radiação eletromagnética, da fonte ao sensor.....	14
6	Classificação das faixas do espectro eletromagnético de acordo com seus usos e aplicações.....	15
7	Bandas espectrais dos sensores MSS, TM, ETM+, OLI e TIRS.....	17
8	Localização do município de Floresta-PE.....	19
9	Precipitação média anual no município de Floresta-PE entre os anos de 1986 a 2016.....	20
10	Disposição das parcelas em uma área de Caatinga, Floresta-PE.....	20
11	Pixels considerados para cálculo dos índices de vegetação.....	24
12	Porcentagem de indivíduos por espécie em uma área de caatinga, Floresta-PE.....	27
13	Dez espécies de maior densidade relativa, frequências relativa e dominância relativa em uma área de Caatinga, Floresta-PE.....	30
14	Distribuição diamétrica de uma vegetação de Caatinga, Floresta-PE. Expressa em número de indivíduos por classe diamétrica com amplitude de classe de 5 cm.....	31
15	Imagens NDVI(a) e SAVI(b) de uma área de caatinga, Floresta-PE.....	42
16	Composição colorida Landsat8/OLI R6G5B4 com contraste linear referente a uma área de caatinga, Floresta-PE.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Valores do índice de diversidade de Shannon (H'), equabilidade de Pielou (J') e índice de diversidade de Simpson (C') em áreas de caatinga.....	9
2	Missão Landsat ao longo dos anos.....	16
3	Bandas do sensor OLI.....	16
4	Especificações da imagem Landsat 8 do sensor OLI utilizada para o cálculo de índices de vegetação em uma área de Caatinga, Floresta-PE.....	22
5	Dados vetoriais utilizados para a localização e identificação das áreas de interesse.....	23
6	Classes de NDVI para o município de Floresta-PE.....	24
7	Famílias, espécies e número de indivíduos em uma área de caatinga no município de Floresta/PE.....	25
8	Parâmetros da estrutura horizontal de uma vegetação de caatinga, Floresta-PE.....	29
9	Atributos químicos e texturais do solo sob uma vegetação de Caatinga, Floresta-PE.....	34
10	Pares canônicos estimados entre os conjuntos das variáveis da vegetação e do solo em uma área de Caatinga, Floresta-PE.....	38
11	Coefficientes de correlação de Pearson entre variáveis da vegetação, do solo e índices de vegetação em uma área de Caatinga, Floresta-PE.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AG	<i>Argila</i>
AR	<i>Areia total</i>
C	<i>Índice de diversidade de Simpson</i>
CAB	<i>Circunferência na base.</i>
CAP	<i>Circunferência a altura do peito.</i>
CO	<i>Carbono orgânico</i>
CTC	<i>Capacidade de troca de cátions</i>
DAP	<i>Diâmetro a altura do peito.</i>
FTSS	<i>Florestas Tropicais Sazonalmente Secas</i>
G	<i>Área basal</i>
GPS	<i>Global Position System</i>
H	<i>Altura total</i>
H'	<i>Índice de Shannon</i>
J	<i>Equabilidade de Pielou</i>
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
NE	<i>Número de espécies</i>
PST	<i>Percentual de sódio trocável</i>

SAVI	<i>Soil-Adjusted Vegetation Index</i>
SB	<i>Soma de bases</i>
SI	<i>Silte</i>
UTM	<i>Sistema Universal Transverso de Mercator</i>
V	<i>Porcentagem de saturação por bases</i>
WGS84	<i>World Geodetic System 1984</i>

1. INTRODUÇÃO

As florestas tropicais sazonalmente secas (FTSS) cobrem grandes extensões territoriais, são importantes para o sequestro e estoque de carbono e para o cumprimento das metas de redução das emissões por desmatamento e degradação florestal (REDD+) (MORALES-BARQUERO et al., 2015). Dentre as FTSS, a Caatinga é o tipo vegetacional associado ao semiárido brasileiro e está presente na maioria dos estados da região Nordeste e no estado de Minas Gerais (LEAL et al., 2005). Possui uma extensão de aproximadamente 850.000 km², considerada uma das maiores áreas contíguas de florestas secas da região neotropical (BANDA et al., 2016), onde concentra cerca de 42,57% da população nordestina e 12% da população brasileira (INSA, 2012).

A demanda energética deste contingente populacional faz com que a madeira seja o principal produto extraído para a produção de lenha e carvão, no intuito de atender a indústria, comércio e residências da região (PAREYN, 2010). Esta realidade necessita de uma exploração florestal sustentável, que busque garantir a manutenção dos recursos ambientais e se estenda às questões econômicas, ecológicas e sociais (FAO, 2013). No entanto, a realidade da exploração florestal no estado de Pernambuco por meio dos Planos de Manejo Florestal, apresenta resultados insatisfatórios para os critérios de sustentabilidade. O objetivo é apenas, a produção de lenha, sem considerar fatores como: sítio, estímulos para regeneração ou impactos socioambientais da atividade (MEUNIER, 2014).

Além das pressões antrópicas, a Caatinga se constitui por um complexo de conjuntos vegetacionais distintos em fisionomia e em flora, o que dificulta o conhecimento total de suas estruturas e composições (HOLANDA et al., 2015a). Grande parte desta variação está relacionada a interação entre clima e solo, sendo este o responsável pela conservação da umidade e disponibilidade de nutrientes (SANTOS; RIBEIRO; SAMPAIO, 1992). Os vários tipos de solos e sua fertilidade dependem diretamente do material geológico. A região semiárida apresenta rochas cristalinas, sedimentares e algumas áreas cristalinas com uma pequena cobertura de sedimentos arenosos ou areno-argilosos (MELO FILHO; SOUZA, 2006). Esta diversidade geológica submetida às variações ambientais de clima e relevo, dão origem as várias classes de solos.

Apesar do entendimento que as classes de solo influenciam no porte, densidade e riqueza florística de indivíduos arbóreos (SANTOS; RIBEIRO; SAMPAIO, 1992; PINHEIRO; RODAL; ALVES, 2010) e na ocorrência e frequência de algumas espécies herbáceas (SILVA; ARAÚJO; FERRAZ, 2009), não há estudos sobre as características, comportamento ou conservação dos solos em áreas submetidas aos Planos de Manejo Florestal em Pernambuco (MEUNIER, 2014). Frente a escassez de informações que prejudicam as atividades de conservação, criação de políticas e manejo em ecossistemas tropicais áridos e semiáridos, o uso do sensoriamento remoto vem contribuindo na obtenção de dados que melhorem a compreensão desses ambientes (SANCHEZ-AZOFEIFA et al., 2011).

Uma das ferramentas para esta compreensão é o uso de índices de vegetação que permitem que as informações de um determinado alvo sejam evidenciadas em relação aos demais alvos de uma imagem orbital (JENSEN, 2009) permitindo assim a quantificação, a análise e o monitoramento. Índices como o “*Normalized Difference Vegetation Index – NDVI*”, têm o objetivo de realçar as informações espectrais da vegetação e minimizar os ruídos dos demais componentes da imagem, possibilitando a identificação de alterações causadas por variações na disponibilidade de nutrientes, água, fenologia e presença de patologias (JENSEN, 2009; DONG et al., 2013; LIPPERT et al., 2015).

Estudos como efeito de borda, mudanças no uso da terra (DANIELS; PAINTER; SOUTHWORTH, 2008), estimativas de biomassa, estudos sobre o ciclo do carbono (GASPARRI et al., 2010; LIMA JÚNIOR et al., 2014a; LIMA JÚNIOR et al., 2014b; ZANDLER; BRENNING; SAMIMI, 2015), identificação de classes sucessionais (CASTILLO et al., 2012) e análises temporais da cobertura vegetal (FENSHOLT et al., 2012) são algumas contribuições do uso de índices de vegetação. Esses resultados são possíveis devido aos conhecimentos sobre o comportamento espectral da vegetação, o avanço dos sistemas sensores e desenvolvimento de técnicas que permitem uma análise mais detalhadas dos dados (CONGALTON, 1991; SIMS; GAMON, 2002; SCHUSTER; FORSTER; KLEINSCHMIT, 2012).

Tomando como base que a falta de informações limita o correto desenvolvimento das atividades e promovem a insustentabilidade das ações florestais na Caatinga (MEUNIER, 2014), foram formuladas as seguintes hipóteses: (1) Existe relação de dependência entre os atributos do solo e da vegetação em uma área de Caatinga no semiárido de Pernambuco; (2) índices de vegetação obtidos a partir de

imagens Landsat 8 OLI se constituem uma alternativa viável para identificação de áreas vegetadas e para estimar variáveis da vegetação.

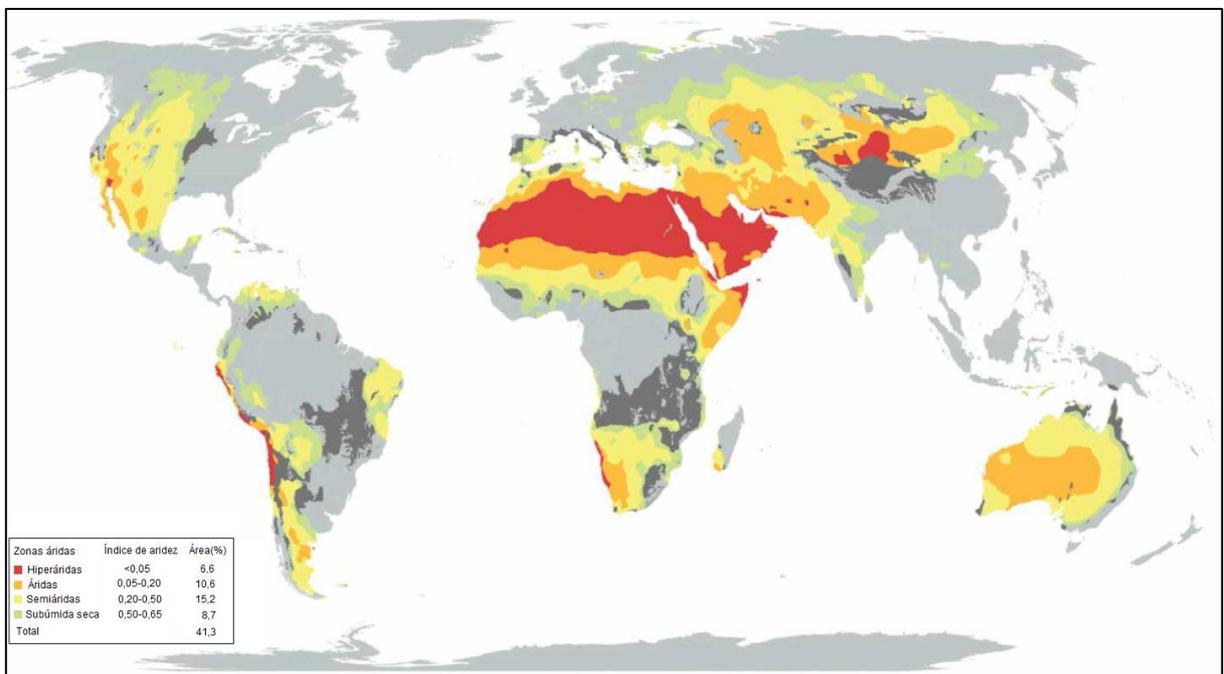
Este trabalho teve como objetivo geral estudar a influência de atributos do solo nas características fitossociológicas de uma vegetação de Caatinga submetida a exploração florestal e também verificar a relação entre índices de vegetação e os dados da vegetação e do solo. E como objetivos específicos: descrever a florística e a fitossociologia de uma vegetação de Caatinga submetida a exploração florestal; analisar a interação solo-vegetação; avaliar o uso de índices espectrais para identificação da vegetação; verificar a relação entre índices espectrais e variáveis da vegetação e do solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. AS ZONAS ÁRIDAS E SEMIÁRIDAS E AS FLORESTAS

As zonas áridas são definidas como locais onde o índice de aridez, dado pela razão entre a pluviosidade média (P) e a evapotranspiração potencial (ETP), está em valores menores que 0,65. As regiões que atendem este critério correspondem a mais de 40 % da superfície da terra (Figura 1) e abrigam mais de dois bilhões de habitantes (REYNOLDS et al., 2007).

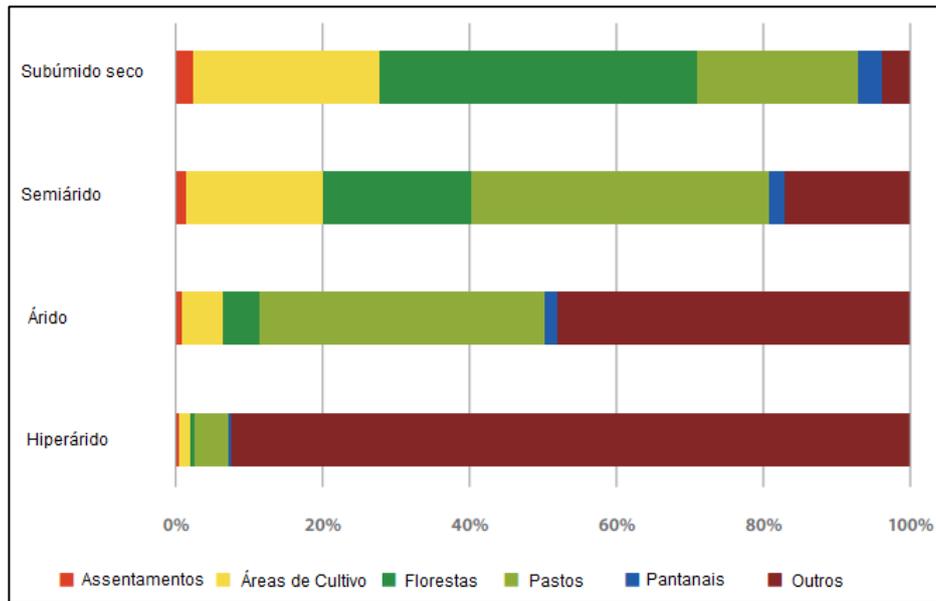
Figura 1. Porcentagem e classificação das zonas áridas no mundo de acordo com índice de aridez.



Fonte: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/newsroom/docs/full-map.png (adaptado)

Nestas regiões, as florestas e outros ecossistemas recobrem 18 % dos territórios sendo consideradas o terceiro uso da terra mais empregado (Figura 2), são fundamentais para suprir as necessidades medicinais, alimentares e energéticas da população, além de serem importantes na conservação e no aumento da permeabilidade do solo e na proteção da biodiversidade (FAO, 2016).

Figura 2. Distribuição do uso da terra nas zonas áridas (proporção da área total).

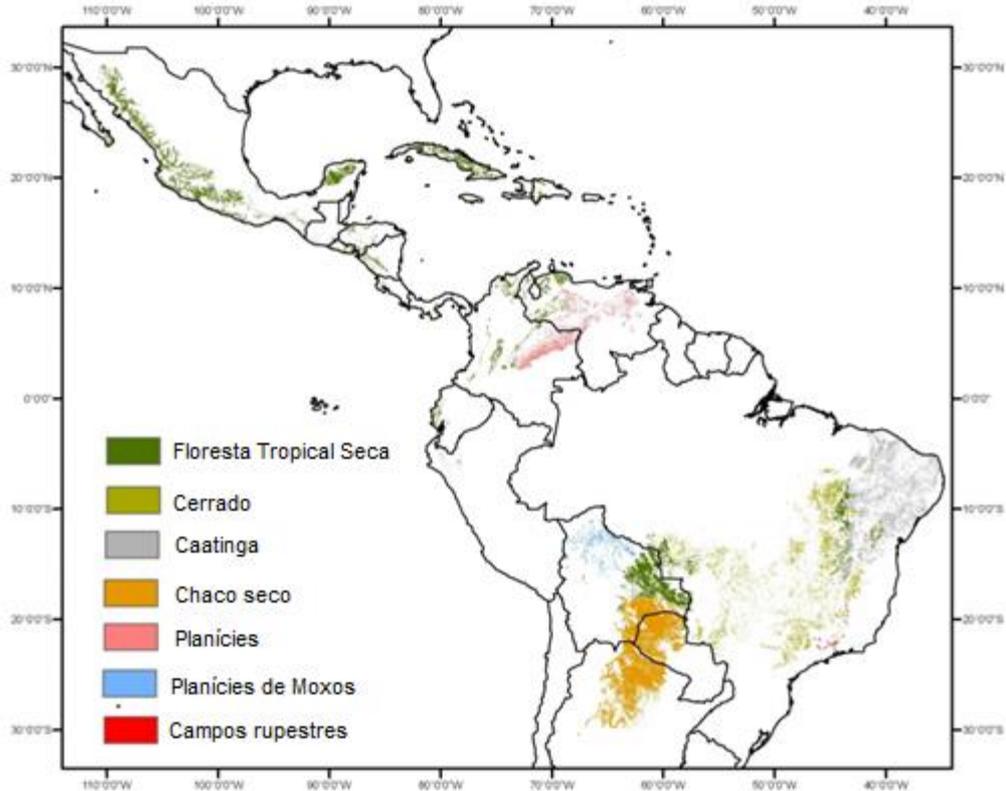


Fonte: FAO (2016) (adaptado)

Dentro da região tropical, as florestas secas são mais comuns que as florestas úmidas, sendo responsáveis por recobrirem 42% das zonas tropical e subtropical (SANCHEZ-AZOFEIFA et al., 2011). Cerca de 54 % destas florestas estão localizadas no continente americano (MILES et al., 2006), sendo destes, 22% nos limites da América do Sul (MURPHY; LUGO, 1986). As florestas tropicais sazonalmente secas e os ecossistemas tropicais sazonalmente secos podem ser definidos como um tipo de vegetação que possui mais de 50% da sua composição de árvores caducifólias, onde a temperatura média anual é igual ou superior a 25 °C, a precipitação anual situa-se entre 700 a 2000 mm e existem três ou mais meses secos por ano (SANCHEZ-AZOFEIFA et al., 2005)

Na região Neotropical, que compreende desde a América Central, incluindo a parte sul do México e da península da Baixa Califórnia, o sul da Flórida, todas as ilhas do Caribe e a América do Sul, as florestas secas e outros tipos de florestas decíduas estão distribuídas tanto em grandes áreas como em pequenos núcleos formando um arco em torno da bacia amazônica (CAETANO et al., 2008) (Figura 3).

Figura 3. Distribuição das florestas tropicais sazonalmente secas e outras florestas decíduas na região Neotropical.



Fonte: Sanchez-Azofeifa et al. (2011) (adaptado).

Embora ocupem grande parte da zona tropical e desempenhem um papel fundamental na manutenção da diversidade de espécies, estas florestas têm ficado em segundo plano quando comparadas às florestas úmidas, principalmente no tocante aos esforços de conservação e criação de políticas (SANCHEZ-AZOFEIFA et al., 2011).

2.1.1. A Caatinga: Florística e fitossociologia

A região semiárida brasileira é assim classificada, por compreender áreas onde as precipitações são menores ou iguais a 1000 mm anuais e distribuídas irregularmente entre alguns meses do ano registrando índices de aridez de até 0,5 (ARAÚJO et al., 2005). A Caatinga é a vegetação que identifica o domínio do semiárido, está inserida nos ecossistemas tropicais sazonalmente secos e constitui parte importante nos estudos e pesquisas sobre as florestas secas nas Américas (SANCHEZ-AZOFEIFA et al., 2011; QUEIROZ, 2006). Possui grande extensão territorial quando comparada com outras florestas secas da região neotropical, no entanto, apresenta uma das menores áreas protegidas, apenas 1,9% (BANDA et al., 2016).

Este tipo vegetacional apresenta árvores e arbustos espinhosos na grande maioria com hábito caducifólio (ANDRADE-LIMA, 1981). Segundo IBGE (2012) levando em conta as características do porte e a semelhança florística com áreas de estepes da Argentina e da Bolívia, esta vegetação é classificada como 'savana estépica'. Giuliatti et al. (2004) afirmam que esta formação possui basicamente três características (i) está submetida a um clima quente e semiárido sendo circundada por regiões de clima úmido; (ii) possui adaptações como: presença de herbáceas anuais, porte arbóreo e/ou arbustivo, espinhos, caducifólia e dossel descontínuo para suportar o déficit hídrico e (iii) possui presença de espécies endêmicas.

Em grandes escalas é possível distinguir dois grupos florísticos, um na depressão sertaneja (*Caatinga sensu stricto*) e outro localizado nos maciços e serras (LIMA; COELHO, 2015). Aliado a isso, as relações entre fatores bióticos e abióticos locais como clima, relevo, geologia e pedologia promovem a existência de ambientes ecológicos e comunidades vegetais distintas (ANDRADE-LIMA, 1981; VELOSO et al., 2002; RODAL et al., 2008). Em pequenas escalas a pluralidade de fisionomias se observa no porte dos indivíduos, na densidade e no quantitativo de espécies (AMORIM et al., 2005; PEREIRA et al., 2014)

Quanto a diversidade florística as dez famílias com maior riqueza são: Leguminosae, Myrtaceae, Euphorbiaceae, Rubiaceae, Malvaceae, Rutaceae, Cactaceae, Asteraceae, Erythroxylaceae e Moraceae. Também, os gêneros *Eugenia*, *Erythroxylum*, *Senna*, *Ficus*, *Myrcia*, *Mimosa*, *Bauhinia*, *Casearia* e *Aspidosperma*, estão entre os que possuem maior riqueza de espécies. E as espécies encontradas com maior frequência são *Aspidosperma pyrifolium* Mart., *Myracrodruon urundeuva* Allemão, *Cereus jamacaru* DC., *Anadenanthera colubrina* var. *cebil* (Griseb.) Altschul, *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos, *Jatropha molíssima* (Pohl) Baill., *Cynophalla hastata* (Jacq.) J. Presl, *Commiphora leptophloeos* (Moric.) J. S. Mill. e *Mimosa tenuiflora* (Wild.) Poir. (BANDA et al., 2016). Em muitas áreas é comum a presença de muitas famílias representadas por apenas uma única espécie e poucas famílias com um grande número de espécies, sendo as famílias Leguminosae e Euphorbiaceae as de maior destaque (MARANGON et al., 2013; CALIXTO JÚNIOR; DRUMOND, 2014; FERRAZ et al., 2014; PEREIRA JÚNIOR et al., 2014; NEVES et al., 2016).

A diversidade florística é frequentemente verificada por índices como: índice de diversidade de Shannon (H') (SHANNON, 1948), índice de Simpson (C') (SIMPSON,

1949) e equabilidade de Pielou (J') (PIELOU, 1966). Estes são índices que buscam associar os princípios de riqueza de espécies e distribuição proporcional e tem como função representar a biodiversidade da comunidade de forma objetiva e eficaz (SEMENSATTO JR., 2003).

O índice de Shannon calcula o grau de incerteza em prever a que espécie pertence um indivíduo retirado aleatoriamente da amostra, logo, quanto maior o grau de incerteza, maior o valor do índice e maior a diversidade. Suas principais premissas são: (i) a população é infinita e os indivíduos estão distribuídos aleatoriamente e (ii) todas as espécies estão representadas na amostra (SEMENSATTO JR., 2003). Apesar de sua popularidade, apresenta desvantagens por ser sensível ao tamanho amostral e seu resultado pode ser de difícil interpretação (MAGURRAN, 1988).

O índice de Equabilidade de Pielou é derivado do índice de Shannon e busca representar a uniformidade da distribuição dos indivíduos entre as espécies e enquadra o resultado de H' em um intervalo entre 0 e 1, em que, quanto mais próximo de 1, mais uniforme é a distribuição dos indivíduos (MAGURRAN, 1988).

O índice de Simpson expressa qual a probabilidade de se coletar aleatoriamente dois indivíduos pertencentes a mesma espécie sendo o resultado compreendido entre 0 e 1 onde valores mais próximos de 1 indicam maior dominância e menor diversidade. É de fácil compreensão e expressa bem a heterogeneidade da população, mas deve ser usado com cautela para representar a diversidade já que essa não é sua finalidade direta (MAGURRAN, 1988).

Alguns resultados apresentados na literatura (Tabela 1) indicam que, em áreas de caatinga, os valores de Shannon tem estado entre 0,23 e 3,74, a Equabilidade de Pielou entre 0,25 e 0,84 e índice de diversidade de Simpson entre 0,84 e 0,96.

Tabela 1. Valores do índice de diversidade de Shannon (H'), equabilidade de Pielou (J') e índice de diversidade de Simpson (C') em áreas de caatinga.

Autor(es)	Local	NI (cm)	AA (ha)	H'	J'	C'
Amorim; Sampaio; Araújo (2005)	Serra Negra do Norte, RN	CAP \geq 3	1	1,94	-	-
Andrade et al. (2005)	São João do Cariri, PB	CAB \geq 10	0,24	1,51 e 1,43	-	-
Trovão; Freire; Melo (2010)	Queimadas e Barra de Santana, PB	DNS \geq 3 e H \geq 1m	0,24	1,47	0,25	-
Barbosa et al. (2012)	Arco Verde, PE	CAP \geq 10	1	2,05	0,57	-
Costa; Araújo (2012)	Crateús, CE	DNS \geq 3	1	2,27	-	-
Guedes et al. (2012)	Santa Terezinha, PB	CAB \geq 10	0,4	2,54	0,82	0,96
Marangon et al. (2013)	Floresta, PE	CAP \geq 6	0,8	2,11	0,73	0,84
Pereira Jr. et al. (2014)	Monteiro, PB	CAB \geq 9 e H \geq 1m	1	2,29	0,63	-
Calixto Jr.; Drumond (2014)	Petrolina, PE	DNS \geq 3	0,32	1,39 e 2,52	0,50 e 0,78	-
Ferraz et al. (2014)	Floresta, PE	CAP \geq 6	1,6 e 0,8	2,10 e 2,10	0,66 e 0,73	-
Apgaua et al. (2014)	Juvenília, MG	DAP \geq 10	2,4	3,6	0,83	-
Holanda et al. (2015a)	Cajazeirinhas, PB	CAP \geq 6	0,45	1,5 e 0,23	-	-
Menino et al. (2015)	Itacarambi, Januária e São João das Missões, MG	CAP \geq 10	0,4	3,74	0,84	-

NI = nível de inclusão; AA = área amostral; H' = índice de Shannon; J' = índice de equabilidade de Pielou; C' = índice de diversidade de Simpson; CAP = Circunferência a altura do peito; CAB = Circunferência na base; H = altura total; DNS = Diâmetro ao nível do solo.

Fonte: Elaborado pela autora

A baixa diversidade encontrada está relacionada as condições ambientais estressantes e ao histórico de exploração existente na maioria das áreas. É comum que, após a retirada da vegetação, os processos de sucessão ecológica sejam interrompidos por novas intervenções (ANDRADE et al. 2007; CALIXTO JÚNIOR; DRUMOND, 2014) e, além disto, a presença de criações de animais, uma atividade bastante comum nestes locais, também é um fator que afeta a diversidade da vegetação adulta e regenerante (HOLANDA et al., 2015a)

Quanto a estrutura horizontal Sampaio (1996) afirma que a área basal em vegetação de Caatinga pode estar entre 4 e 52 m².ha⁻¹, valores de 30,05 e 47,64 m².ha⁻¹ foram encontrados em áreas de floresta seca em Minas Gerais (MENINO et al., 2015) e de 7,28 m².ha⁻¹ em Petrolina/PE (CALIXTO JÚNIOR; DRUMOND, 2014) em áreas que apresentam intenso histórico de uso e exploração por corte raso, mesmo passadas várias décadas, apresentam baixos valores de área basal e porte arbustivo (BARBOSA et al., 2012; MARANGON et al., 2013).

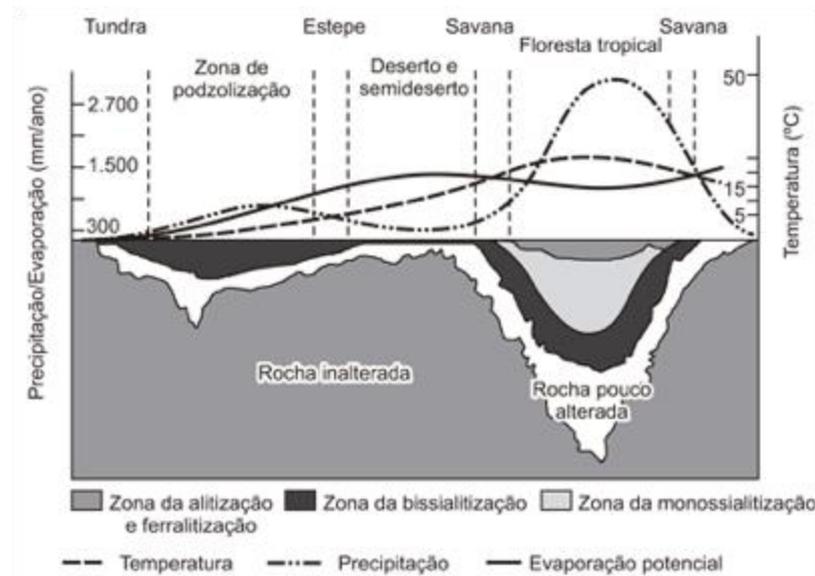
A densidade de indivíduos é bastante influenciada pelo critério de inclusão, e frequentemente apresenta valores acima de 1000 ind.ha⁻¹ (RODAL; COSTA; SILVA, 2008; TROVÃO; FREIRE; MELO, 2010; BARBOSA et al., 2012; GUEDES et al., 2012). Elevados valores de dominância relativa, frequência relativa e valor de importância (VI) são encontrados em áreas em estágios iniciais de sucessão, em razão da presença de espécies colonizadoras. Em uma área em recuperação a 30 anos em Petrolina/PE a *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. foi a espécie de maior VI respondendo por aproximadamente 70% da dominância e 15% da frequência (CALIXTO JÚNIOR; DRUMOND, 2014). Para esta mesma espécie foi registrado, 99% da dominância e 63% da frequência em uma área de Caatinga explorada para retirada de madeira, agricultura e pecuária em Cajazeiras-PB (HOLANDA et al., 2015a). O maior VI também foi observado para a espécie *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. que concentrou 62,36 e 22,92% da dominância e da frequência, respectivamente, em uma área de mata ciliar antropizada em Campina Grande-PB (TROVÃO; FREIRE; MELO, 2010).

2.2. SOLOS DO SEMIÁRIDO

O solo é o resultado da ação de fatores do ambiente, que agem sobre a rocha ou material de origem e os transforma em um conjunto de agregados com partículas de tamanhos variados (REICHARDT; TIMM, 2004). Processos como o intemperismo são um dos principais agentes para a formação dos solos; o intemperismo físico promove o desgaste e a desagregação entre os cristais e o intemperismo químico atua na quebra das ligações estruturais dos cristais, promovendo a liberação, o transporte e até a síntese de novos minerais (LEPSCH, 2010).

Em regiões semiáridas a associação entre os baixos índices pluviométricos e altas taxas de evapotranspiração e temperatura favorecem a ação do intemperismo físico, resultando na formação de solos pouco profundos (Figura 4) com presença de argilominerais 2:1 e, em alguns casos, com afloramentos rochosos podendo formar inselbergues (SANTOS et al., 2013; LEPSCH, 2011).

Figura 4. Influência da temperatura, precipitação e evapotranspiração potencial na formação do solo.



Fonte: geonoemancia.blogspot.com.br

Na geologia do semiárido predominam, em primeiro lugar, rochas cristalinas, em segundo lugar áreas sedimentares e, por último, pequenas porções de áreas cristalinas recobertas com sedimentos (CUNHA et al., 2010). Esta condição aliada aos variados relevos promovem a formação de várias classes de solo. As classes mais representativas são: LATOSSOLOS (21%), NEOSSOLOS LITÓLICOS (19,2%), ARGISSOLOS (14,7%), LUVISSOLOS (13,3%), NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS (9,3%), PLANOSSOLOS (9,1%), NEOSSOLOS REGOLÍTICOS (4,4%), CAMBISSOLOS (3,6 %) e pequenas ocorrências de NEOSSOLOS FLÚVICOS e VERTISSOLOS (JACOMINE, 1996).

No município de Floresta-PE, local de realização deste trabalho, podem ser identificadas cerca de 14 classes de solos sendo os Luvissois (anteriormente classificados como Bruno não cálcicos), os Planossolos e os Neossolos Litólicos os de maior ocorrência (ARAÚJO FILHO et al., 2001).

Os Luvissois são caracterizados por serem solos pouco profundos com valores de pH neutros a moderadamente ácidos, apresentam embasamento cristalino com altos valores de silte e presença frequente de pedregosidade, valores de saturação por bases maiores que 75%, ausência de Al trocável, altos teores de K^+ , baixos teores de P assimilável entre 4 e 10 $mg.kg^{-1}$, e a mudança textural entre o horizonte superficial e o subsuperficial promove grandes riscos de erosão (CUNHA et al., 2010).

Os Planossolos podem, frequentemente, ocorrer em associação com os Luvisolos e são caracterizados pela presença do horizonte B plânico com textura média a muito argilosa que são adensados e pouco permeáveis. Apresentam altos valores de CTC e de saturação por sódio e, por estarem em cotas mais baixas e relevos suave a ondulado, são susceptíveis a períodos de encharcamento (CUNHA et al., 2010).

Os Neossolos Litólicos são solos rasos, identificados assim por possuírem uma distância menor que 50 cm entre os horizontes e o material de origem, sendo esta sua principal limitação de uso. Normalmente, estão associados a relevos de maior declive. Podendo ser eutróficos ou distróficos e apresentar presença de Al trocável (CUNHA et al., 2010).

2.3. RELAÇÃO SOLO-VEGETAÇÃO

O solo e a vegetação desenvolvem relações complexas entre si e com outros fatores ambientais que interferem na resiliência e na sucessão em um ecossistema (XU et al., 2008). As características do solo influenciam na capacidade de retenção de água, na profundidade das raízes e na disponibilidade de nutrientes para as plantas. A vegetação favorece a conservação do solo diminuindo as perdas causadas por processos erosivos e são sua principal fonte de matéria orgânica. A interação entre vegetação e solo é tão importante que as cargas elétricas do solo e a fotossíntese podem ser considerados os fenômenos mais relevantes para a existência da vida (NOVAIS e MELLO (2007).

Estudar como estes fatores estão associados é útil para identificar quais características do solo regem as mudanças de comunidades vegetais, para entender a distribuição e a riqueza de espécies, para caracterizar ambientes ecológicos, fornecendo ferramentas na restauração de ecossistemas, e para escolha do melhor manejo (EL-GHANI; AMER, 2003; XU et al., 2008; PINHEIRO; RODAL; ALVES, 2010).

A relação solo-vegetação foi utilizada para identificar quais características do solo influenciaram o desenvolvimento de comunidades vegetais em campos agrícolas abandonados na Espanha (CANADAS et al., 2010). Os autores identificaram que fatores relacionados a umidade do solo, teor de cascalho e concentração de sulfatos influenciaram as variáveis riqueza, abundância e porcentagem de cobertura. Estudo semelhante foi realizado por Galindo et al. (2008) para investigar quais atributos do

solo que mais se associavam à vegetações degradadas no município de Floresta/PE. Os conjuntos de dados foram relacionados por meio de análise de correlação canônica, indicando que o porte da vegetação esteve associado à capacidade de retenção de água do solo e vegetações degradadas estavam relacionadas com altos teores de sódio trocável, sinais de encrostamento superficial e erosão.

Técnicas de análise multivariada como a correlação canônica tem o objetivo de analisar a relação entre dois conjuntos de variáveis, buscando combinações lineares em cada um dos grupos que maximize a relação entre eles. Estas combinações lineares recebem o nome de variáveis canônicas (REGAZZI, 2010) e a correlação entre pares correspondentes de variáveis canônicas é denominada de correlação canônica (XU et al., 2008).

2.4. SENSORIAMENTO REMOTO

O termo sensoriamento remoto (SR) foi introduzido por Evelyn L. Pruitt no final dos anos 50, fazendo menção a coleta, levantamento e monitoramento dos recursos terrestres por meio de sensores (STAR; ESTES; MCGWIRE, 1997). O SR pode ser compreendido como um conjunto de técnicas que permitem a obtenção de informações sobre um determinado objeto ou alvo terrestre sem que haja necessidade de contato físico com o mesmo (ROSA, 1990). Esse conjunto de técnicas permite obter imagens e outros dados por meio do registro da energia refletida ou emitida pelos alvos, utilizando para isto plataformas terrestres, aéreas e/ou orbitais (FLORENZANO, 2011)

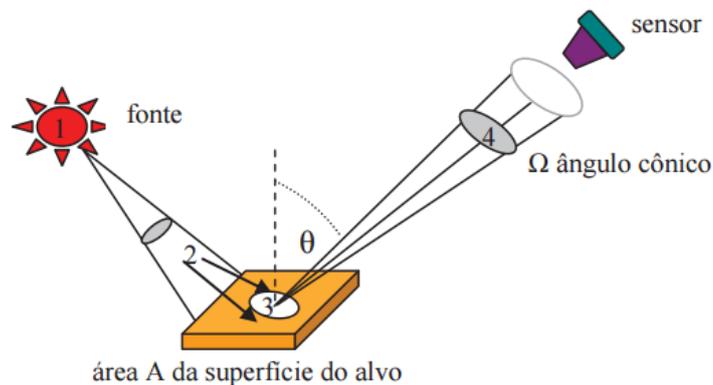
Vale ressaltar que algumas definições podem se confundir com outras técnicas que não utilizam a radiação eletromagnética como meio de informação, como os magnetômetros. Assim segundo Meneses (2012), o SR é uma ciência que tem como objetivo utilizar as respostas das interações entre a radiação eletromagnética, e os materiais e seres na terra.

De fato, a energia eletromagnética é a peça chave do SR, pois é por meio dela e de suas especificidades que a informação é transportada do alvo para o sensor e, é o seu comportamento ondulatório que norteia esta interação (LIU, 2006). A partir das propriedades de comprimento, frequência e amplitude de uma onda (Figura 5) é possível identificar o tipo de interação com o alvo e a que região do espectro eletromagnético esta pertence diferentes comprimentos de ondas e sua.

Vários componentes estão envolvidos no processo de obtenção da informação. O sol é a principal fonte (1) de radiação eletromagnética e essa, se propaga no espaço

com um fluxo radiante (2) até atingir um alvo qualquer, e essa quantidade de energia incidente na superfície é denominada irradiância (3), ao atingir o alvo parte da energia é refletida para a atmosfera e se propaga de maneira a atingir o ângulo de visada (4) de um determinado sensor (MENESES, 2012).

Figura 5. Componentes radiométricos da trajetória da radiação eletromagnética, da fonte ao sensor.

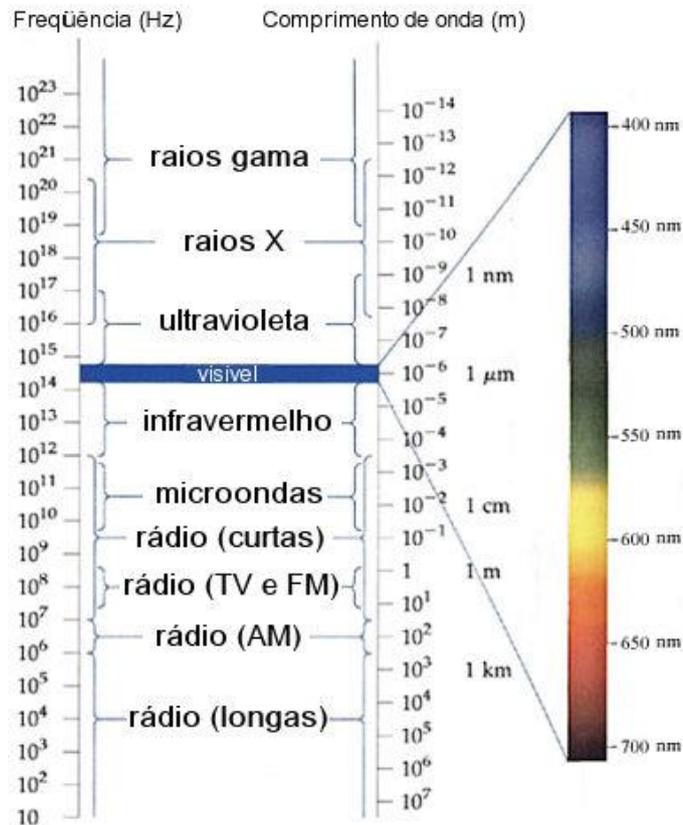


Fonte: Meneses (2012)

A radiância sofre influência de fenômenos atmosféricos como o espalhamento que causam distorções e ruídos nas imagens. Os gases, aerossóis e o vapor d'água presentes na atmosfera atuam como refletor, e adicionam radiância extra ao sinal captado pelo sensor, ou também, se comportam como absorvedor, diminuindo a energia que chega até o alvo. Por isso são necessárias correções atmosféricas que corrijam estes ruídos e melhorem a qualidade das imagens provenientes do sensor (MENESES, 2012).

Os sensores de satélites atuam principalmente na faixa do visível (450 a 700 nm) (Figura 6). Além desta, as faixas do infravermelho próximo, infravermelho de ondas curtas, infravermelho médio, infravermelho termal e micro-ondas, são as mais usadas (MENESES, 2012).

Figura 6. Classificação das faixas do espectro eletromagnético de acordo com seus usos e aplicações.



Fonte: <http://fisicamoderna.blog.uol.com.br/>

2.4.1. Satélites Landsat

O programa Landsat foi idealizado pelo diretor da U. S. Geological Survey (USGS) nos Princípios de sensoriamento remoto anos 60, Dr. William Pecora, buscando reunir informações sobre os recursos naturais existentes no planeta (LAUER et al., 1997). O Landsat 1, que inicialmente se chamava Earth Resources Satellite Technology – ERTS, foi colocado em órbita em 1972, tornando-se um marco do sensoriamento remoto civil (LOVELAND; DWYER, 2012).

Durante muito tempo, os dados Landsat possuíam uma política de comercialização que dificultava o acesso, até que, em 2008, as informações passaram a ser gratuitas sendo este o maior avanço do programa de todos os tempos (WULDER et al., 2012). Ao longo de mais de 40 anos (Tabela 2), o programa Landsat tem cumprido com a missão de adquirir, armazenar e disponibilizar informações que permitam detectar as mudanças naturais e, principalmente, antrópicas na superfície terrestre (LOVELAND; DWYER, 2012).

Tabela 2. Missões Landsat ao longo dos anos.

Missão	Sistemas Sensores	Resolução temporal	Lançamento	Fim da imagem
Landsat 1	MSS, RBV	18 dias	1972	1978
Landsat 2	MSS, RBV	18 dias	1975	1982
Landsat 3	MSS, RBV	18 dias	1978	1983
Landsat 4	TM, MSS	16 dias	1982	1993
Landsat 5	TM, MSS	16 dias	1984	2013
Landsat 6	ETM	16 dias	1993	Falha ao atingir a órbita
Landsat 7	ETM +	16 dias	1999	Contínuo
Landsat 8	OLI, TIRS	16 dias	2013	Contínuo

Fonte: Loveland;Dwyer (2012) adaptado.

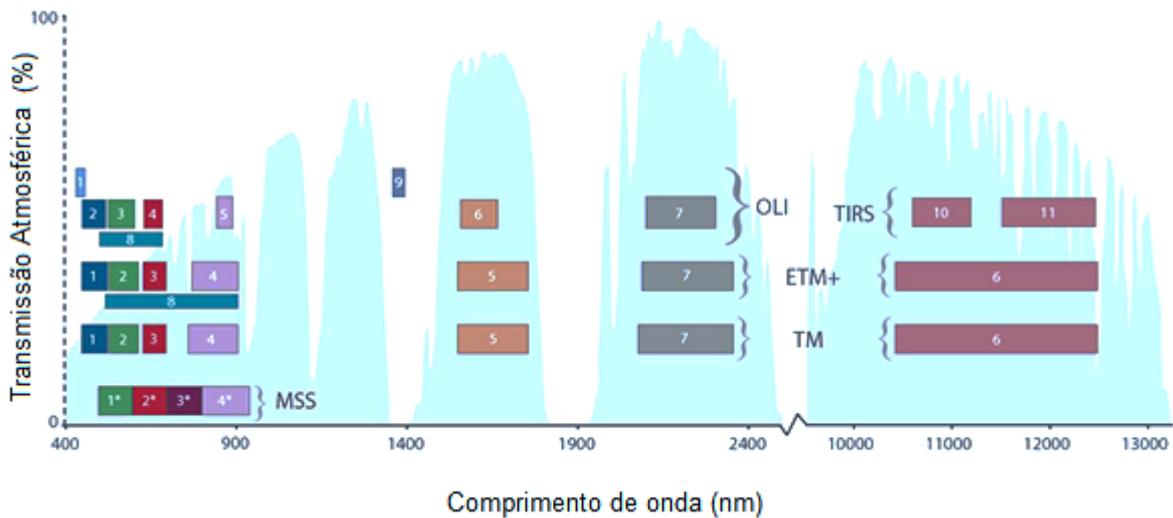
O Landsat 8 é a missão mais recente do programa Landsat, opera com os sensores Operational Land Imager (OLI) (Tabela 3) e o Thermal Infra Red Sensor (TIRS), totalizando 11 bandas espectrais, sendo assim 3 a mais que o Landsat 7 (Figura 7). O sensor OLI possui melhor calibração, melhor caracterização de ruídos e melhor resolução radiométricas que o sensor ETM+ (ROY et al., 2016). Além disso a qualidade dos dados e a inserção de novas bandas permitem a exploração de novos horizontes de pesquisas científicas e aplicações de índices de vegetação (LOVELAND; IRONS, 2016).

Tabela 3. Bandas do sensor OLI.

Bandas Landsat 8 - OLI	Comprimento de onda (nm)
Band 1 – Costal aerosol	430 – 450
Band 2 – Azul	450 – 510
Band 3 – Verde	530 – 590
Band 4 – Vermelho	640 – 670
Band 5 – Infravermelho próximo	850 – 880
Band 6 – SWIR 1	1570 – 1650
Band 7 – SWIR 2	2110 – 2290
Band 8 – Pancromática	500 – 680
Band 9 – Cirrus	1360 – 1380

Fonte: <http://landsat.usgs.gov/>

Figura 7. Bandas espectrais dos sensores MSS, TM, ETM+, OLI e TIRS



Fonte: <http://landsat.usgs.gov/>

2.5. ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Para o sensoriamento remoto, a vegetação é um alvo complexo pelo fato de apresentar diferentes propriedades de reflexão e ainda estar sujeita a interferências da refletância do substrato onde está fixada (EPIPHANIO et al., 1996). Por esta razão os índices de vegetação são empregados no intuito de minimizar as interferências e aumentar a informação referente à vegetação (FERREIRA et al., 2006; VIÑA et al., 2011). Os índices de vegetação são medidas adimensionais empregadas para expressar a presença, o estado fisiológico e a abundância da vegetação (JENSEN, 2009). Também podem ser descritos como o resultado de operações aritméticas entre os valores de refletância de duas ou mais bandas de uma mesma cena (BANNARI et al., 1995; GALVANIN et al., 2014). Estas medidas são possíveis em razão do comportamento espectral característico da vegetação (ROSA, 1990).

No caso das folhas, quanto mais verdes e saudáveis, menor será a refletância nas faixas do vermelho e do azul, uma vez que grande parte da energia radiante é absorvida pelas moléculas de clorofila e outros pigmentos fotossintetizantes, e maior será a refletância na região do infravermelho próximo em razão das estruturas do mesófilo foliar (PONZONI; SHIMABUKURU, 2010). São essas diferenças de refletância que permitem o cálculo de índices espectrais e sua associação com outras variáveis da vegetação (XIE; SHA; YU, 2008)

São diversos os índices de vegetação citados na literatura como: índice de vegetação por diferença normalizada - NDVI (ROUSE et al., 1974), índice de vegetação transformado – TVI (ROUSE et al., 1974), índice de vegetação ajustado para o solo – SAVI (HUETE, 1988), índice de vegetação ajustado para o solo transformado – TSAVI (BARET et al., 1989) e outros índices que podem ser criados de acordo com a necessidade de pesquisa (SIMS; GAMON, 2002). Os índices de vegetação são utilizados em estudos de estimativas de volume (CRUZ-LEYVA, et al., 2010; BERRA et al., 2012; LEAL, 2013;), biomassa (WATZLAWICK et al., 2009; GASPARRI et al., 2010), estudos de fitofisionomias, fitopatologias e bacias hidrográficas (ERTURK et al., 2012; GALVANIN et al., 2014; LIPPERT et al., 2015;).

Em florestas secas, índices de vegetação são utilizados, principalmente, para estimativas da biomassa a partir de sua correlação com dados de campo ou estimados por equações alométricas (HESKETH; SÁNCHEZ-AZOFEIFA, 2014). Outras variáveis como volume, altura, cobertura de copa e diversidade, também têm apresentado correlações significativas. No entanto, variáveis relativas à estrutura da vegetação, como a área basal e a densidade, frequentemente tem baixos valores de correlação (FEELEY; GILLESPIE; TERBORGH, 2005; ALMEIDA et al., 2014).

O NDVI é largamente empregado para estudos de vegetação em povoamentos florestais (BERGER, 2014; ALBA et al., 2016) e em florestas nativas (FEELEY; GILLESPIE; TERBORGH, 2005; ALMEIDA et al., 2014). Uma de suas vantagens é a normalização do resultado entre -1 e 1, o que simplifica a interpretação e a comparação de resultados, mesmo quando advindos de sensores e satélites diferentes, o que permite um melhor monitoramento da vegetação (KE et al., 2015).

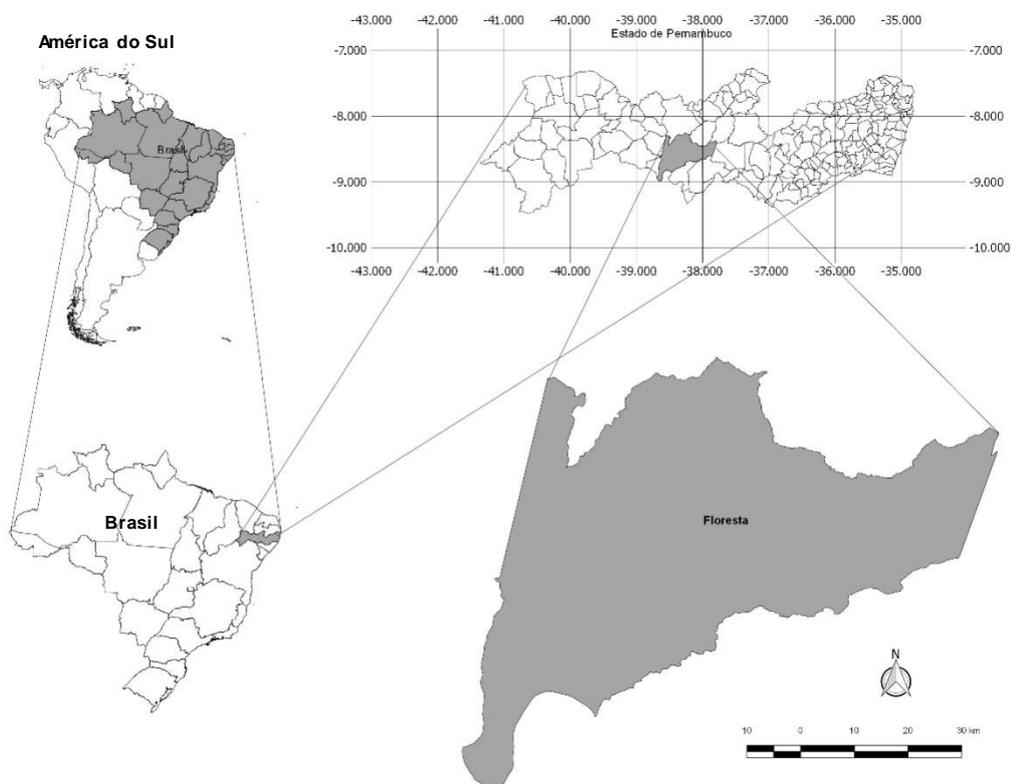
O SAVI foi desenvolvido com o intuito de corrigir os valores de NDVI por meio da constante L, que assume valores entre 0 e 1 de acordo com a densidade da vegetação. Valor de L igual a 1 deve ser empregado para vegetação muito esparsa, para vegetações intermediárias, o valor deve ser 0,5, e áreas mais densas 0,25 (HUETE, 1988; MENESES, 2012). Essa característica é bastante favorável para estudos em áreas semiáridas (SILVA; CRUZ, 2016).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está inserida no município de Floresta/PE (Figura 8), este localizado a 433 km a oeste da cidade do Recife, sob as coordenadas 8° 30' 37" S e 37° 59' 07" W e inserido na Bacia do Rio Pajeú, mesorregião do Rio São Francisco, dentro da Microrregião de Itaparica.

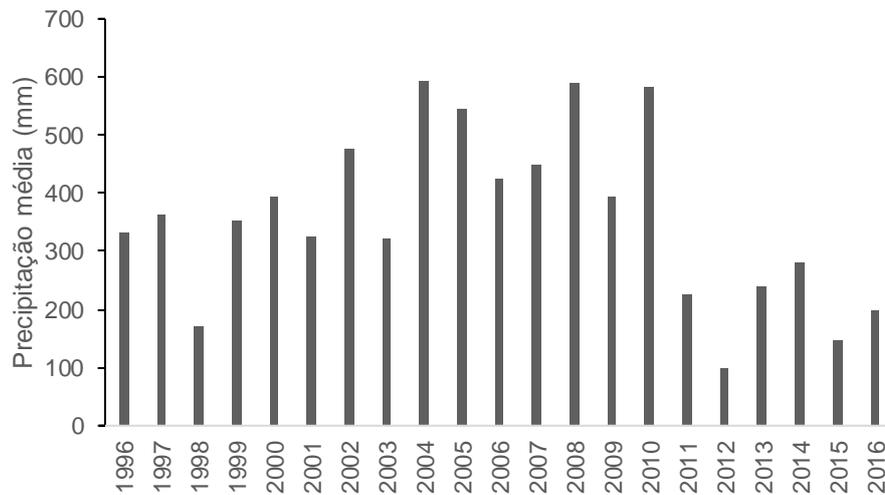
Figura 8. Localização do município de Floresta, Pernambuco, Brasil.



Fonte: Elaborado pela autora

Segundo o IBGE (2010) o município possui 3.644,168 km² e uma população estimada de 32.142 habitantes. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo BSw'h' (muito quente, semiárido, tipo estepe, com estação chuvosa entre os meses de janeiro a maio) e precipitações médias anuais de 503 mm (Figura 9). As classes de solo predominantes são LUVISSOLOS e PLANOSSOLOS, além de LATOSSOLOS AMARELOS, ARGISSOLOS AMARELOS e NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS; nas áreas planas e mal drenadas é frequente a presença de problemas de salinização (EMBRAPA, 2001).

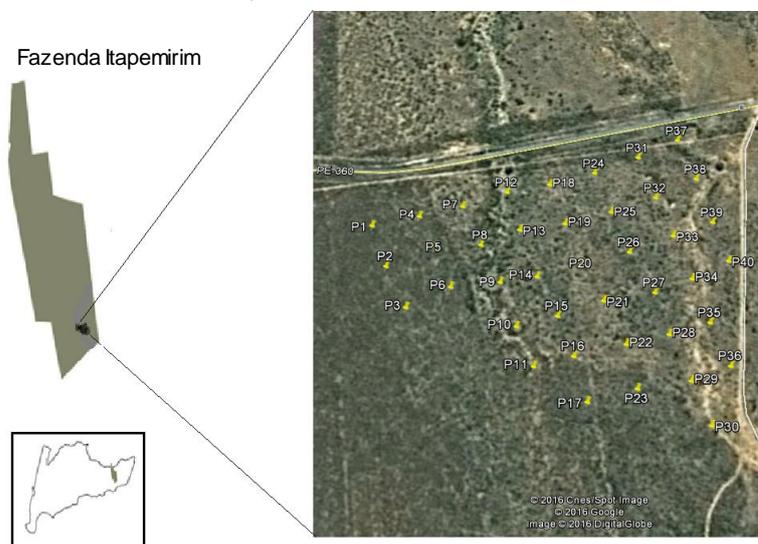
Figura 9. Precipitação média anual no município de Floresta/PE entre os anos de 1996 a 2016.



Fonte: <http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>

A área amostrada é um talhão de 50 ha na Fazenda Itapemirim, localizada na parte leste do município de Floresta, nas proximidades do km 28 da PE-360. Sendo de propriedade da Agrimex Agroindustrial Excelsior S. A. A vegetação foi submetida a corte raso no ano de 1986 e permanece sem intervenções desde então. O solo é classificado como LUVISSOLO CRÔMICO pouco profundo, com textura superficial arenosa e relevo predominantemente suave ondulado (EMBRAPA, 2006). Na área amostral estão distribuídas sistematicamente 40 parcelas permanentes de 20 x 20m (Figura 10) dispostas em intervalos de 80 m, entre linhas e entre parcelas, que foram instaladas no ano de 2008.

Figura 10. Disposição das parcelas em uma área de Caatinga, Floresta-PE.



Fonte: Elaborado pela autora

3.2. LEVANTAMENTO FLORÍSTICO

A identificação florística dos indivíduos foi realizada no período de instalação das parcelas, seguindo os procedimentos de coleta botânica, as exsicatas foram identificadas utilizando o sistema Angiosperm Phylogeny Group II e na ocasião os indivíduos receberam uma numeração para posterior monitoramento (FERRAZ et al., 2014). Tomando como referência a identificação realizada previamente, os indivíduos vivos foram contabilizados quanto a família, gênero, espécie e número de indivíduos por espécie.

3.3. LEVANTAMENTO FITOSSOCIOLÓGICO

No levantamento das espécies arbustivo-arbóreas foram considerados todos os indivíduos com circunferência a 1,30 m do solo igual ou maior a 6,0 cm. Nestes, foram mensurados CAP, a circunferência na base (CAB) e a altura total (H).

Foram estimados os parâmetros: área basal (G), densidades absoluta (DA) e relativa (DR), dominâncias absoluta (DoA) e relativa (DoR), frequências absoluta (FA) e relativa (FR), valor de importância (VI), índices de Shannon-Weaver, de Simpson e equabilidade de Pielou. Os indivíduos foram distribuídos segundo classes de diâmetro: I – 1,90 a 6,89; II – 6,90 a 11,89; III – 11,90 a 16,89; IV – 16,90 a 21,89; V – 21,90 a 26,89 e VI - $\geq 26,90$ cm. Todos os cálculos foram realizados no software Mata Nativa© 4. Os parâmetros da estrutura da vegetação foram calculados segundo Müeller-Dombois; Ellenberg (1974).

3.4. COLETA E ANÁLISES DE SOLOS

As coletas de solo foram realizadas em cada parcela da amostragem fitossociológica, na profundidade de 0 – 20 cm, seguindo um caminhar em zigue-zague, sendo três amostras simples para compor uma amostra composta. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e transportadas para a UFRPE-campus Recife. As amostras foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas em malha de 2 mm. Foram determinados o pH em água e os teores de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , P, Al^{3+} , H+ Al, carbono orgânico, areia, silte e argila.

O pH foi determinado na relação 1: 2,5 com leitura em potenciômetro. O Na^+ , K^+ e o P foram extraídos com Mehlich 1 e o Ca^{2+} e o Mg^{2+} foram extraídos por KCl 1 mol.L⁻¹. O Na^+ e o K^+ foram determinados por espectrofotometria de chama. O Ca e

Mg por espectrofotometria de absorção atômica e o P foi determinado por colorimetria. O carbono orgânico (CO) foi determinado pelo método de Walkley-Black modificado. A acidez potencial (H+Al) foi extraída com $\text{Ca}(\text{OAc})_2$ 0,5 mol L⁻¹ e quantificada por titulometria com NaOH 0,0606 mol L⁻¹.

A partir dos resultados obtidos, foram calculados: soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%) e porcentagem de sódio trocável (PST). Todos os cálculos seguiram a metodologia de Donagema et al. (2011) e os procedimentos foram realizados em triplicatas. A análise granulométrica foi realizada segundo Camargo et al. (2009), onde a areia foi determinada por pesagem, a argila pelo método do densímetro e o silte por diferença.

3.5. OBTENÇÃO DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

3.5.1. Aquisição da imagem

A imagem proveniente do satélite Landsat 8 – OLI, foi obtida gratuitamente no site da Earth Explorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) no formato TIF (georreferenciada), sistema de coordenadas UTM e DATUM WGS84 (Tabela 4). Os dados da vegetação em campo foram coletados em novembro/2015, porém com o intuito de melhorar as respostas dos índices de vegetação foi utilizada uma imagem de abril/2016 quando já havia presença de folhas.

Tabela 4. Especificações da imagem Landsat8 do sensor OLI utilizada para o cálculo de índices de vegetação em uma área de Caatinga no município de Floresta/PE.

Especificações da Imagem Landsat 8/OLI	
Identificação da cena	LC82160662016120LGN00
Órbita/Ponto	216/066
Data de Aquisição	29/04/2016
Hora(TMG)	12:41:40
Azimute Solar	49,71°
Elevação Solar	54,00°
Qualidade da imagem	9
Cobertura de nuvens	14,53%

Fonte: <http://landsat.usgs.gov/>

3.5.2. Processamento da imagem

Em campo, com um navegador GPS foram registrados os pontos referentes aos limites das parcelas e da área total, estas informações foram utilizadas para gerar um arquivo shapefile, que foi utilizado posteriormente para identificação e recorte da imagem. O procedimento foi realizado utilizando o software TrackMacker Pro 3.7. Também foram utilizados outros arquivos vetoriais correspondentes as informações

relevantes para a localização e a identificação da área (Tabela 5). Para a composição colorida foram utilizadas as bandas 6 (Red), 5(Green) e 4(Blue) e aplicado contraste linear.

Tabela 5. Dados vetoriais utilizados para a localização e identificação das áreas de interesse.

Nome	Fonte
Área Fazenda Itapemirim	Proprietários da fazenda
Limites do estado de Pernambuco e seus municípios	http://www.mapacultural.pe.gov.br/inicial/shapefile.htm
Limites do município de Floresta/PE	http://www.mapacultural.pe.gov.br/inicial/shapefile.htm
Hidrografia de Pernambuco	http://www.mapacultural.pe.gov.br/inicial/shapefile.htm
Rio São Francisco	http://www.mapacultural.pe.gov.br/inicial/shapefile.htm
Rodovias de Pernambuco	http://www.mapacultural.pe.gov.br/inicial/shapefile.htm

3.5.3. Cálculo dos índices de vegetação.

A correção atmosférica para transformação dos números digitais da imagem em dados de refletância na superfície foi realizada pelo método Dark Object Subtraction (DOS1) (SANCHES et al., 2011), utilizando o software QGIS 2.14.3 por meio do complemento Semi-Automatic Classification Plugin (SCP). Com as bandas corrigidas foi realizado o cálculo do NDVI (equação 1), utilizando a expressão “float (Banda5 – Banda4) / float (Banda5+Banda4)” e o cálculo do SAVI (equação 2) com a expressão “float ((1+Ls)*(Banda5 - Banda4)) / float (Ls + Banda5 + Banda4)” na função “calculadora raster” do QGIS 2.14.3.

$$\text{NDVI} = (\rho_{\text{VP}} - \rho_{\text{V}}) / (\rho_{\text{VP}} + \rho_{\text{V}}) \quad (\text{Eq. 1})$$

$$\text{SAVI} = \frac{(1+Ls)(\rho_{\text{VP}} - \rho_{\text{V}})}{(Ls + \rho_{\text{VP}} + \rho_{\text{V}})} \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

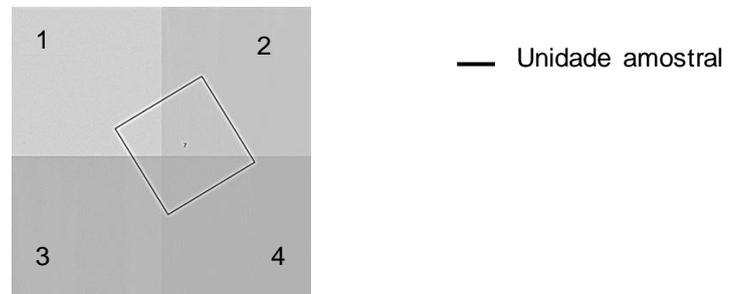
ρ_{VP} =refletância na banda 5.

ρ_{V} = refletância na banda 4.

Ls = 0,5

Os valores de NDVI e SAVI associados a cada unidade amostral resultaram da média dos 4 pixels em torno de cada parcela (Figura 11). Os valores de NDVI foram identificados de acordo com as classes definidas por Morais et al. (2011) (Tabela 6).

Figura 11. Pixels considerados para cálculo dos índices de vegetação.



Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 6. Classes de NDVI para o município de Floresta-PE.

NDVI	CLASSE
-1 – (-0,079)	Água
-0,079 – 0,208	Solo exposto
0,208 – 0,288	Vegetação rala
0,288 – 0,441	Vegetação aberta
0,441 – 0,594	Vegetação de transição
0,594 – 0,803	Vegetação densa

Fonte: Morais et al. (2011)

3.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA

A relação solo-vegetação foi verificada por meio de uma Análise de Correlação Canônica. As variáveis da vegetação foram: densidade absoluta (DA), área basal (G) e nº espécies por parcela (NE), enquanto as variáveis do solo foram: P, pH, Na⁺, K⁺, Ca⁺², Mg⁺², CTC, V, CO., areia, silte e argila. O procedimento foi realizado no software XLSTAT versão trial e a significância dos pares canônicos foi verificada pelo teste Lambda de Wilks com $p < 0,1$.

A relação entre os valores de NDVI e SAVI com as variáveis da vegetação (DA, G e NE) e do solo (P, pH, Na⁺, K⁺, Ca⁺², Mg⁺², CTC, V, CO, areia, silte, argila) foram verificadas por meio de uma matriz de similaridade, usando como métrica a correlação de Pearson. Foram considerados para a discussão, correlações acima de 0,40 com $p < 0,01$.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. FLORÍSTICA E FITOSSOCIOLOGIA

Foram registrados 929 indivíduos, distribuídos em oito famílias, 18 gêneros e 20 espécies (Tabela 7). As famílias Fabaceae e Euphorbiaceae, juntas, responderam por 90,75% do total de indivíduos sendo também as mais expressivas em riqueza com 8 e 5 espécies respectivamente.

Tabela 7. Famílias, espécies e número de indivíduos em uma vegetação de Caatinga no município de Floresta-PE

Família/ Espécie(s)	Nome vulgar	N
Anacardiaceae		
<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão	Aroeira	29
<i>Schinopsis brasiliensis</i> Engl.	Baraúna	7
Apocynaceae		
<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart.	Pereiro	15
Boraginaceae		
<i>Varronia leucocephala</i> (Moric.) J.S.Mill.	Moleque-duro	1
Burseraceae		
<i>Commiphora leptophloeos</i> (Mart.) J.B. Gillett	Imburana-de-cambão	3
Combretaceae		
<i>Combretum glaucocarpum</i> Mart.	Sipaúba	30
Euphorbiaceae		
<i>Cnidocolus quercifolius</i> Pohl	Faveleira	43
<i>Croton blanchetianus</i> Baill.	Marmeleiro	59
<i>Croton heliotropiifolius</i> Kunth	Quebra-faca	6
<i>Jatropha molissima</i> (Pohl) Baill.	Pinhão-bravo	33
<i>Manihot carthaginensis sub sp. Glaziovii</i> (Müll.Arg.) Allem.	Maniçoba	1
Fabaceae		
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>cebil</i> (Griseb.) Altschul	Angico	2
<i>Bauhinia cheilanta</i> (Bong.) Steud.	Mororó	3
<i>Mimosa ophthalmocentra</i> Mart.exBenth.	Jurema-de-embira	54
<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.	Jurema-preta	4
<i>Pityrocarpa moniliformis</i> (Benth.) Luckow & R.W.Jobson	Quipembe	108
<i>Piptadenia stipulacea</i> (Benth.) Ducke	Jurema-branca	3
<i>Poincianella bracteosa</i> (Tul.) L. P. Queiroz	Catingueira	523
<i>Senna spectabilis</i> (DC.) H.S. Irwin & Barneby	Pau-de-besouro	4
Sapotaceae		
<i>Sideroxylon obtusifolium</i> (Roem. & Schult.) T.D.Penn.	Quixabeira-brava	1
Total		929
N = número de indivíduos		

No levantamento realizado por Ferraz et al. (2014), neste mesmo local, foram relatados 1249 indivíduos, nove famílias, 19 gêneros e 24 espécies. Esta diminuição na florística e no número de indivíduos (25 %) pode estar associada aos baixos índices pluviométricos registrados entre os anos de 2011 e 2015. Esta questão também foi mencionada por Melo (2016) estudando a dinâmica desta vegetação no intervalo 2011-2015. O autor menciona uma taxa de mortalidade em média 7% maior que a taxa de ingressos, o que refletiu em pequeno crescimento tanto bruto quanto líquido, crescimento negativo para algumas espécies e também, acentuada mortalidade de indivíduos regenerantes. As mudanças na temperatura dos oceanos promovidas pelo El-Niño neste intervalo foram provavelmente as principais causas das alterações no regime de chuvas (MELO, 2016).

Quanto à flora, outros levantamentos em áreas de Caatinga mencionam a expressividade da família Fabaceae (PEREIRA JÚNIOR et al., 2012; CALIXTO JÚNIOR; DRUMOND, 2014; NEVES et al., 2016). Isto está associado ao fato desta família possuir uma grande riqueza florística e também responder por grande parte das espécies endêmicas nesta região, além disso, está adaptada tanto em áreas de embasamento cristalino como em áreas sedimentares, possuindo conjuntos florísticos distintos em cada uma destas condições (CARDOSO; QUEIROZ, 2007; QUEIROZ, 2009; CÓRDULA; MORIM; ALVES, 2014; BANDA et al., 2016).

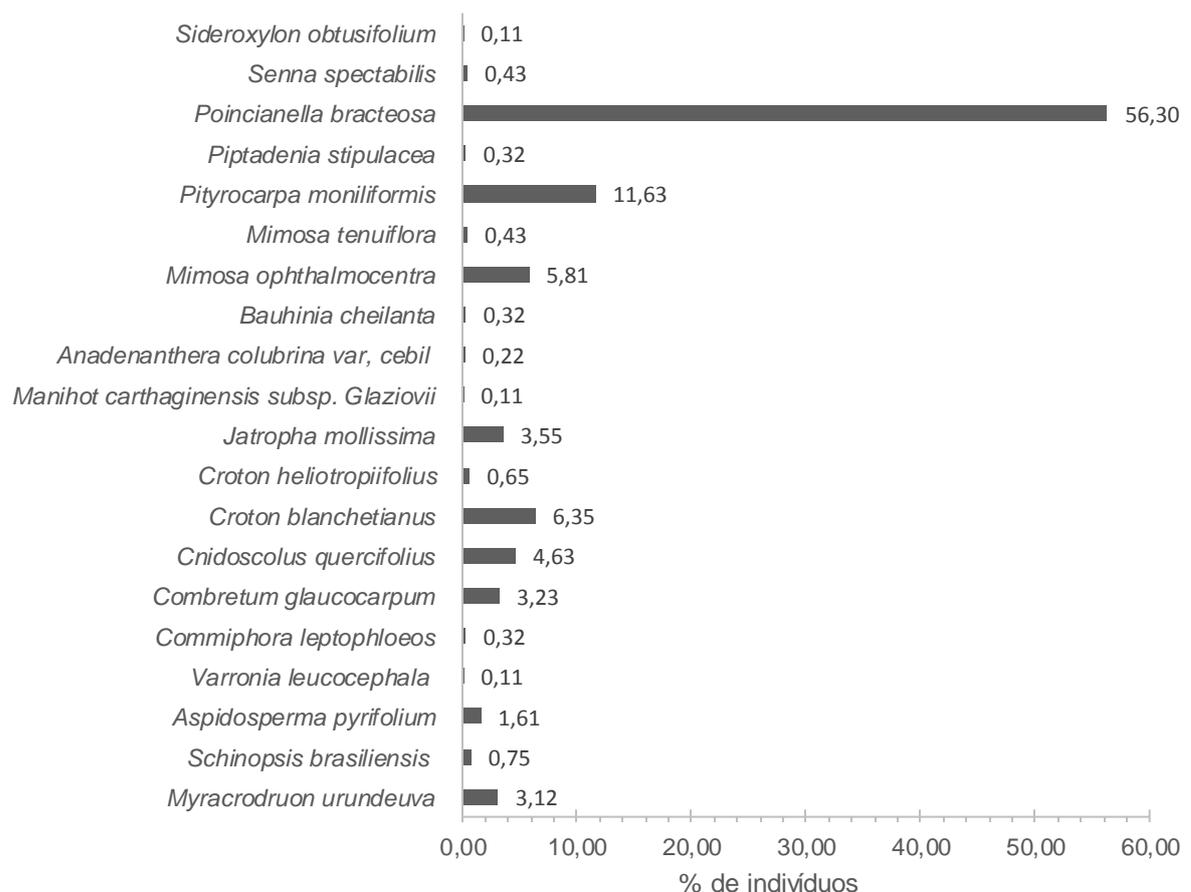
As demais famílias registradas Anacardiaceae, Apocynaceae, Boraginaceae, Burseraceae, Combretaceae e Sapotaceae são responsáveis por uma pequena porcentagem dos indivíduos e excetuando a família Anacardiaceae todas as demais possuem apenas uma espécie, com especial atenção para as famílias Boraginaceae e Sapotaceae que são representadas por apenas um indivíduo. A concentração de um maior número de espécies em poucas famílias e a presença de famílias com apenas uma espécie é um fato comum em área de Caatinga e evidencia a pouca riqueza de espécies destas áreas (MARANGON et al., 2013) esta baixa riqueza florística pode estar associada a ações antrópicas e a ação de animais herbívoros (HOLANDA et al., 2015b).

O grande número de indivíduos encontrados na família Fabaceae deve-se, principalmente, à espécie *P. bracteosa*, que detém 56,3% do total de indivíduos da área (Figura 12). Isto pode ser atribuído aos mecanismos reprodutivos da espécie, que possui boas respostas de crescimento por rebrota e é mais resistente a períodos de seca (SILVA et al., 2013). Além disso, esta espécie apresenta densidade básica

de $1,1 \text{ g.cm}^{-3}$ (MEDEIROS NETO; OLIVEIRA; PAES, 2014; MACHADO NETO et al., 2015) e poder calorífico de $2,57 \text{ kcal kg}^{-1}$ (MACHADO NETO et al., 2015). Segundo Machado Neto et al. (2015), estes parâmetros demonstram que a *P. bracteosa* possui um alto potencial na produção de combustível. Por isso, é frequentemente utilizada na construção rural e como fonte energética (lenha ou carvão) (MEDEIROS NETO; OLIVEIRA; PAES, 2014).

Outro ponto importante é seu conteúdo de metabólitos secundários como taninos, alcaloides e flavonoides (CRUZ et al., 2015), que desempenham atividade protetora contra herbívoros (MONTEIRO et al., 2005) e podem exercer ação larvicida (CRUZ et al., 2015; SANTOS et al., 2015)

Figura 12. Porcentagem de indivíduos por espécie em uma área de Caatinga no município de Floresta-PE.



Fonte: Elaborado pela autora

Para a diversidade florística, os índices de diversidade tiveram os seguintes valores: Shannon-Weaver (H')= 1,67 nats/ind, Simpson (C)= 0,66, Equabilidade de Pielou (J') = 0,56. Estes resultados foram menores que os relatados por Ferraz et al.

(2014) que menciona $H' = 2,10$ e $J' = 0,66$, o que confirma a diminuição da diversidade já observada nos dados da florística. Muitos trabalhos apresentam apenas H' e não utilizam índices de heterogeneidade ou dominância (AMORIM; SAMPAIO; ARAÚJO, 2005) o que pode dificultar a interpretação correta dos resultados, uma vez que H' sofre grande influência do tamanho da amostra e iguala o peso das espécies dominantes às espécies raras (MAGURRAN, 1988). Em situações onde os valores de H' são semelhantes, os valores de J' auxiliam na compreensão da equitatividade entre as espécies, pois vegetações mais conservadas possuem maiores valores de J' quando comparadas a áreas menos conservadas. Visto que em ambientes menos conservados é comum uma maior presença de espécies pioneiras que frequentemente se expressam com maior dominância (FERRAZ et al., 2014).

O índice de diversidade de Shannon em áreas de Caatinga costuma estar num intervalo de 0,23 e 3,74, isto indica que os resultados obtidos estão dentro dos limites citados. Valores de H' maiores que três são mencionados com frequência em vegetações de Caatinga no estado de Minas Gerais, em estudos realizados nos ecótonos com o cerrado, onde a caatinga possui porte mais arbóreo (APGAUA et al., 2014; MENINO et al., 2015). A baixa diversidade encontra nas áreas de Caatinga nos estados de Pernambuco, Paraíba, Ceará e Rio Grande do Norte, mesmo em vegetações ciliares pode estar relacionada ao maior grau de perturbação e antropização nesta região (AMORIM; SAMPAIO; ARAÚJO, 2005; TROVÃO; FREIRE; MELO, 2010; COSTA; ARAÚJO, 2012; HOLANDA et al., 2015a).

Para a estrutura horizontal (Tabela 8) as espécies *P. bracteosa*, *P. moniliformis* e *C. blanchetianus* respondem por 74,28 % da densidade.

Tabela 8. Parâmetros da estrutura horizontal de uma vegetação de Caatinga no município de Floresta-PE

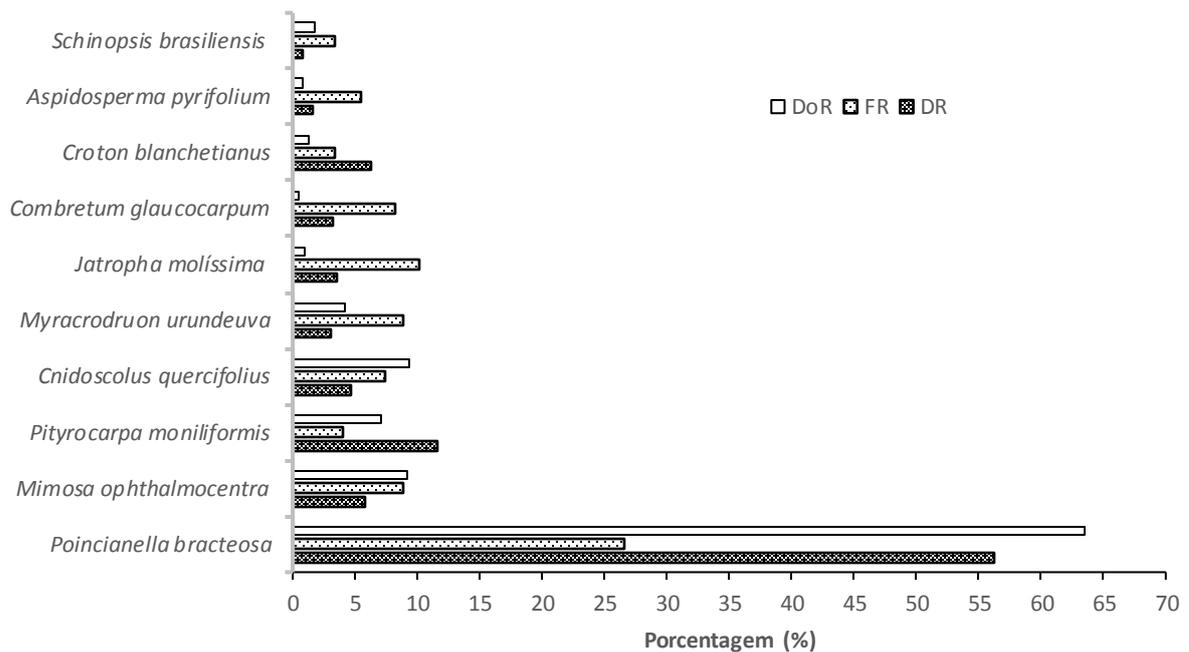
Nome Científico	G	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	VI (%)
<i>Poincianella bracteosa</i>	2,477	326,88	56,30	97,50	26,53	1,548	63,52	48,78
<i>Mimosa ophthalmocentra</i>	0,356	33,75	5,81	32,50	8,84	0,222	9,12	7,92
<i>Pityrocarpa moniliformis</i>	0,274	67,50	11,63	15,00	4,08	0,171	7,03	7,58
<i>Cnidoscolus quercifolius</i>	0,364	26,88	4,63	27,50	7,48	0,227	9,33	7,15
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	0,162	18,13	3,12	32,50	8,84	0,102	4,17	5,38
<i>Jatropha molíssima</i>	0,039	20,63	3,55	37,50	10,20	0,025	1,00	4,92
<i>Combretum glaucocarpum</i>	0,020	18,75	3,23	30,00	8,16	0,013	0,51	3,97
<i>Croton blanchetianus</i>	0,049	36,88	6,35	12,50	3,40	0,031	1,26	3,67
<i>Aspidosperma pyriformium</i>	0,031	9,38	1,61	20,00	5,44	0,019	0,79	2,62
<i>Schinopsis brasiliensis</i>	0,068	4,38	0,75	12,50	3,40	0,043	1,74	1,97
<i>Senna spectabilis</i>	0,006	2,50	0,43	10,00	2,72	0,003	0,14	1,10
<i>Croton heliotropiifolius</i>	0,006	3,75	0,65	7,50	2,04	0,004	0,16	0,95
<i>Piptadenia stipulacea</i>	0,010	1,88	0,32	7,50	2,04	0,006	0,25	0,87
<i>Commiphora leptophloeos</i>	0,004	1,88	0,32	7,50	2,04	0,003	0,11	0,83
<i>Anadenanthera colubrina</i> var, cebil	0,012	2,50	0,43	5,00	1,36	0,007	0,29	0,70
<i>Mimosa tenuiflora</i>	0,017	1,25	0,22	2,50	0,68	0,011	0,44	0,44
<i>Bauhinia cheilanta</i>	0,002	1,88	0,32	2,50	0,68	0,001	0,04	0,35
<i>Sideroxylon obtusifolium</i>	0,002	0,63	0,11	2,50	0,68	0,001	0,06	0,28
<i>Varronia leucocephala</i>	0,001	0,63	0,11	2,50	0,68	0,001	0,03	0,27
<i>Manihot carthaginensis</i> subsp. <i>glaziovii</i>	0,001	0,63	0,11	2,50	0,68	0,0004	0,01	0,27
Total	3,899	580,63	100,00	367,50	100,00	2,437	100,00	100,00

G = área basal ($m^2 1,6 ha^{-1}$); DA = densidade absoluta (ind. ha^{-1}); DR = densidade relativa (%); FA = frequência absoluta (% de ocorrência); FR = frequência relativa (% da FA total); DoA = dominância absoluta ($m^2 ha^{-1}$); DoR = dominância relativa (%); VI = valor de importância

Fonte: Elaborado pela autora

P. bracteosa, *M. ophthalmocentra*, *P. moniliformis* e *C. quercifolius* respondem, juntas por 89% da dominância, sendo as mais expressivas neste parâmetro. As dez espécies de maior frequência foram: *P. bracteosa*, *J. molíssima*, *M. ophthalmocentra*, *M. urundeuva*, *C. glaucocarpum*, *C. quercifolius*, *A. pyrifolium*, *P. moniliformis*, *C. blanchetianus* e *S. brasiliensis*. Sendo o valor de importância a média entre as variáveis densidade, frequência e dominância relativas (Figura 13), as dez espécies mais importantes neste parâmetro foram: *P. bracteosa*, *M. ophthalmocentra*, *P. moniliformis*, *C. quercifolius*, *M. urundeuva*, *J. molíssima*, *C. glaucocarpum*, *C. blanchetianus*, *A. pyrifolium* e *S. brasiliensis* que, juntas, respondem por 93,95% do VI.

Figura 13. Dez espécies de maior densidade relativa, frequência relativa e dominância relativa em uma área de Caatinga no município de Floresta-PE.



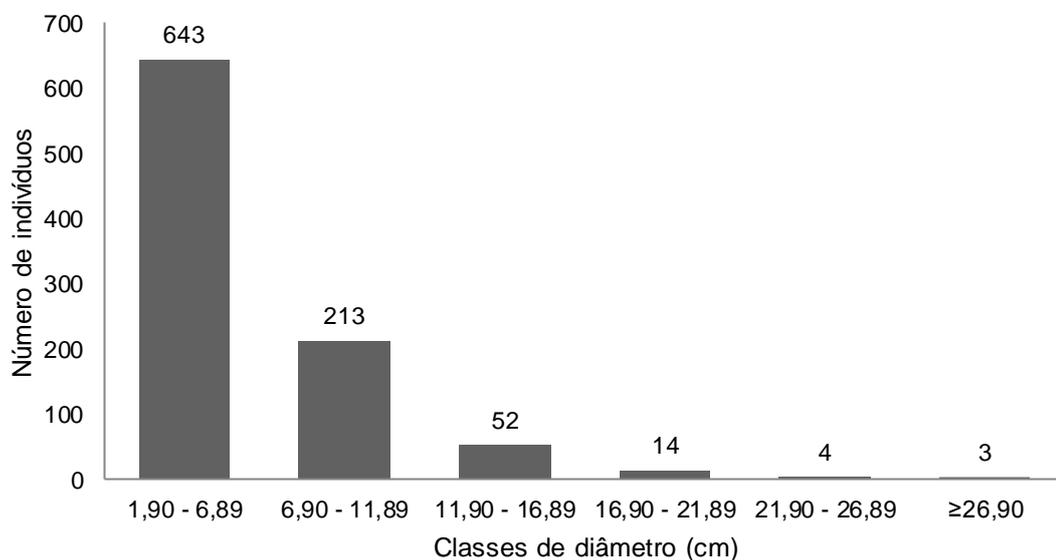
Fonte: Elaborado pela autora

A *P. bracteosa* se destacou em todos os parâmetros fitossociológicos considerados, isto pode estar associado ao fato que, áreas mais antropizadas tendem a se tornar povoamentos homogêneos de espécies que sejam pioneiras e que apresentem alta capacidade de rebrota (HOLANDA et al., 2015a) e, frequentemente se destacam em densidade e altura dos indivíduos (PEREIRA et al., 2001). Esta

espécie também foi classificada entre as mais importantes por Marangon et al. (2013) e por Ferraz et al. (2014), sendo identificada tanto em áreas em recuperação quanto em áreas preservadas.

Na distribuição diamétrica (Figura 14), os maiores valores foram observados nas 1ª e 2ª classes, correspondendo a 69,21 e 22,93% do total de indivíduos, respectivamente. O maior número de indivíduos jovens foi influenciado, predominantemente, pela *P. bracteosa* que responde por 51,32% da 1ª classe e por 66,19% da 2ª classe. A concentração da distribuição diamétrica nas primeiras classes indica que a maior parte dos indivíduos possui diâmetros pequenos, fazendo com que o gráfico se apresente na forma de J invertido. Esta distribuição sugere um bom desenvolvimento da regeneração e pode favorecer os processos de sucessão na área. Contudo é importante salientar, que a maioria dos indivíduos juvenis e jovens pertencem a uma única espécie o que pode ocasionar em um aumento progressivo da dominância e consequente diminuição da diversidade.

Figura 14. Distribuição diamétrica de uma vegetação de Caatinga no município de Floresta, PE. Expressa em número de indivíduos por classe diamétrica com amplitude de classe de 5 cm.



Fonte: Elaborado pela autora

A distribuição em J invertido é um padrão frequente em florestas secas (APGAUA et al., 2014) e pode ser observada em diferentes estágios de conservação. Um estudo comparativo entre uma área explorada por corte raso em recuperação a 30 anos (área 1) e outra área em melhor estado de conservação (área 2) em

Petrolina/PE, teve uma distribuição de J invertido mais acentuada na área I, com uma grande concentração de indivíduos nas classes até 12 cm (CALIXTO JÚNIOR; DRUMOND, 2014). Em outro estudo comparativo entre diferentes florestas secas no norte de Minas Gerais, foi possível identificar, um grande número de indivíduos nas classes até 12 cm, nas áreas de Caatinga. Em contraste, na área ecotonal e na encosta observou-se uma menor presença de indivíduos juvenis e jovens quando comparadas com a Caatinga (MENINO et al., 2015).

Esses autores destacam que, o grande número de indivíduos jovens sinaliza um bom desenvolvimento da regeneração e, as diferenças na estrutura diamétrica indicam o uso de estratégias distintas pela vegetação em cada uma das áreas. Com um maior investimento em reprodução, na Caatinga, e um maior investimento em biomassa na encosta e no ecótono (MENINO et al., 2015). Isto pode ter relação com o fato de que, em ambientes com menos recursos as plantas tendem a adotar estratégias conservativas, enquanto que, em condições mais favoráveis predominam estratégias aquisitivas com maior investimento em reprodução e crescimento rápido (LOHBECK et al., 2015).

As estratégias ecológicas, fazem parte da economia de recursos empregada pelas plantas em seu habitat, e influenciam o seu crescimento e desenvolvimento dentro dos processos de sucessão ecológica (LOHBECK et al., 2015). Estas estratégias podem ser percebidas em traços funcionais e, permitem relacionar as características fisiológicas e morfológicas com a tolerância da espécie e a manutenção da sua população em determinado local (REICH, 2014).

4.2. ATRIBUTOS TEXTURAIIS E QUÍMICOS DO SOLO

Os valores de pH variaram entre 4,7 e 7,1 (Tabela 9) com média de 6,3 e o Al^{3+} trocável foi detectado apenas nas parcelas 4 e 16, que tiveram pH de 4,7 e 5,4, respectivamente. A relação entre o pH (acidez ativa) e o Al^{3+} (acidez trocável) é inversamente proporcional e em solos com valores de pH superiores a 5,5 o Al^{3+} está bem próximo de zero, pois permanece ligado as moléculas de OH^- . Nestas condições, a maioria dos solos está dentro da faixa de pH ideal para as plantas (SOUZA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007).

O pH é um dos principais controladores da disponibilidade de nutrientes. Valores de pH muito altos ou baixos interferem na solubilização dos mesmos, podendo causar fitotoxidez por excesso; ou deficiências pela falta. Elementos como P, Fe, Cu,

Mn e Zn têm sua disponibilidade diminuída em pH acima de 6,5 (SOUZA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007).

Os teores de P tiveram média de 8,75 mg dm⁻³ com variação de 2 a 23 mg dm⁻³. O material de origem é o principal responsável pelo P no solo (SANTOS et al., 2008). Considerando as dez classes de solo mais representativas dos estados da Paraíba e de Pernambuco, os teores de P extraídos com Mehlich-1 estão em média entre 5,3 e 57,2 mg kg⁻¹. Contudo, mais da metade dos solos são considerados deficientes, por apresentarem menos de 10 mg kg⁻¹ de P (SILVEIRA; ARAÚJO; SAMPAIO, 2006). Teores de P até 250 mg kg⁻¹ possuem uma relação linear com o CO, indicando que deficiências deste elemento podem ser limitantes na produção de biomassa e resíduos necessários para formação da matéria orgânica (SALCEDO et al., 2008).

Os teores de CO variaram de 4,41 a 15,37 g kg⁻¹ com média de 7,12 g kg⁻¹. Em ambientes semiáridos a formação e o acúmulo da fração orgânica podem ser prejudicados por deficiências nutricionais que interfiram na produção de biomassa, além disto, baixos teores de argila também desfavorecem a estabilização e a formação de agregados (SALCEDO et al., 2008).

Os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ variaram de 1,8 a 7,3 cmolc dm⁻³, e de 0,1 a 1,7 cmolc dm⁻³ com médias de 4,39 cmolc dm⁻³ e 0,73 cmolc dm⁻³, respectivamente (Tabela 9). Nos Luvisolos os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ costumam ser maiores que 20 cmolc dm⁻³ (SANTOS et al., 2008). Estudos em áreas de caatinga indicaram valores entre 8,0 e 22,5 cmolc dm⁻³ para Ca²⁺ e entre 3,1 e 10,7 cmolc.dm⁻³ para Mg²⁺ (MAIA et al., 2006).

Tabela 9. Atributos químicos e texturais do solo sob uma vegetação de Caatinga, Floresta-PE.

PA ¹	P	pH	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	CTC	CO	PST	V	AR	SI	AG
	mg dm ⁻³										g kg ⁻¹			%		
						cmolc dm ⁻³										
1	3	5,5	0,38	0,07	2,3	0,3	0,0	1,0	3,06	4,06	8,58	2	75,36	89,3	5,7	5,0
2	3	5,5	0,23	0,06	1,8	0,3	0,0	1,2	2,39	3,59	6,90	2	66,54	85,7	9,3	5,0
3	3	5,5	0,19	0,05	2,3	0,3	0,0	0,8	2,84	3,64	7,08	1	78,01	84,8	10,2	5,0
4	4	4,7	0,18	0,07	1,8	0,3	0,2	1,4	2,35	3,95	8,70	2	59,53	85,3	9,7	5,0
5	5	6,0	0,24	0,07	2,8	0,3	0,0	0,6	3,41	4,01	7,08	2	85,03	81,1	13,9	5,0
6	10	7,0	0,82	0,09	4,3	1,1	0,0	0,4	6,31	6,71	11,08	1	94,04	78,4	16,6	5,0
7	13	6,9	0,36	0,06	2,8	0,8	0,0	0,2	4,02	4,22	5,28	1	95,26	79,2	15,8	5,0
8	17	6,8	0,28	0,04	3,8	1,0	0,0	0,2	5,13	5,33	5,97	1	96,24	78,3	16,7	5,0
9	16	6,8	0,33	0,05	5,6	0,7	0,0	0,4	6,68	7,08	8,99	0,7	94,35	79,6	10,4	10,0
10	10	6,9	0,35	0,05	4,1	0,5	0,0	0,2	4,99	5,19	4,87	1	96,15	81,7	13,3	5,0
11	10	6,6	0,24	0,05	2,4	0,5	0,0	0,2	3,19	3,39	4,58	1	94,10	87,6	7,4	5,0
12	23	6,6	0,38	0,07	6,8	1,6	0,0	0,2	8,86	9,06	10,21	1	97,79	79,6	15,4	5,0
13	12	6,9	0,42	0,04	4,8	0,3	0,0	0,2	5,55	5,75	7,08	1	96,52	80,1	14,9	5,0
14	8	6,5	0,42	0,04	4,0	0,1	0,0	0,5	4,56	5,06	5,97	1	90,12	77,9	12,1	10,0
15	13	6,7	0,42	0,04	4,7	0,8	0,0	0,3	5,96	6,26	7,08	1	95,21	76,6	13,4	10,0
16	3	5,4	0,36	0,05	3,6	0,6	0,2	0,8	4,61	5,61	5,80	1	82,17	67,3	12,7	20,0
17	4	6,1	0,29	0,04	3,8	1,3	0,0	0,7	5,43	6,13	8,82	1	88,58	68,9	21,1	10,0
18	5	6,2	0,36	0,04	3,8	0,8	0,0	0,2	5,01	5,21	5,39	1	96,16	75,3	14,7	10,0
19	3	6,4	0,35	0,03	3,1	0,5	0,0	0,3	3,98	4,28	6,32	1	93,00	77,6	9,9	12,5
20	4	5,9	0,30	0,04	3,4	0,8	0,0	0,8	4,54	5,34	7,08	1	85,02	77,3	12,7	10,0
21	4	6,1	0,39	0,06	4,3	0,3	0,0	0,8	5,05	5,85	8,29	1	86,32	73,1	11,9	15,0
22	3	6,1	0,30	0,03	3,1	0,5	0,0	0,6	3,93	4,53	5,28	1	86,77	76,6	13,4	10,0
23	2	5,8	0,29	0,04	3,1	0,5	0,0	0,7	3,93	4,63	8,29	1	84,87	74,0	16,0	10,0
24	13	6,8	0,49	0,04	3,8	0,8	0,0	0,8	5,13	5,93	7,08	1	86,52	76,2	11,3	12,5
25	19	6,8	0,47	0,04	5,6	1,2	0,0	0,5	7,31	7,81	6,73	1	98,60	76,7	8,3	15,0
26	7	5,8	0,41	0,07	7,3	1,3	0,0	0,4	9,08	9,48	15,37	1	95,78	65,2	17,3	17,5
27	18	6,7	0,44	0,04	5,6	0,7	0,0	0,4	6,79	7,19	7,08	1	94,43	74,0	11,0	15,0
28	9	7,1	1,15	0,07	5,1	0,5	0,0	0,2	6,83	7,03	6,09	1	97,15	72,8	12,2	15,0

Continua...

Tabela 9. Continuação...

PA	P	pH	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	CTC	CO	PST	V	AR	SI	AG	
	mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³									g kg ⁻¹		%			
29	3	6,1	0,82	0,07	7,2	0,9	0,0	0,5	8,99	9,49	7,08	1	94,73	60,8	24,2	15,0	
30	3	5,6	0,40	0,13	5,8	1,7	0,0	1,3	8,03	9,33	5,80	1	86,07	63,3	21,7	15,0	
31	4	5,9	0,27	0,04	3,8	0,8	0,0	0,9	4,92	5,82	4,41	1	84,53	77,5	12,5	10,0	
32	13	6,6	0,67	0,06	5,8	0,8	0,0	0,5	7,33	7,83	7,08	1	93,61	62,9	22,1	15,0	
33	10	6,6	0,43	0,04	4,8	0,3	0,0	0,4	5,57	5,97	5,68	1	93,30	75,6	11,9	12,5	
34	13	6,5	0,87	0,07	6,8	1,3	0,0	0,3	9,04	9,34	7,08	1	96,79	70,6	19,4	10,0	
35	11	7,1	0,47	0,08	5,7	0,4	0,0	0,4	6,65	7,05	6,73	1	94,33	72,4	17,6	10,0	
36	5	6,2	0,44	0,05	4,2	0,4	0,0	0,2	5,09	5,29	6,09	1	96,22	74,2	15,8	10,0	
37	15	6,6	0,44	0,04	6,3	0,8	0,0	0,7	7,58	8,28	7,08	0	91,55	77,7	12,3	10,0	
38	7	6,7	0,46	0,06	6,8	1,8	0,0	0,4	9,12	9,52	8,53	1	95,80	73,5	11,5	15,0	
39	13	6,6	0,41	0,04	4,8	0,8	0,0	0,2	6,04	6,24	7,08	1	96,80	73,1	16,9	10,0	
40	9	6,6	0,38	0,04	3,8	0,3	0,0	0,2	4,53	4,73	5,22	1	95,77	76,2	13,8	10,0	
Média	8,75	6,33	0,42	0,05	4,39	0,73	0,01	0,53	5,60	6,13	7,12	0,9	90,23	75,9	13,9	10,1	
Desvio padrão	5,44	0,55	0,19	0,02	0,04	1,51	0,42	0,32	1,91	1,83	1,98	0,3	8,52	6,4	4,06	4,16	

1 PA = parcelas; P = Fósforo; pH = potencial de hidrogênio; K = Potássio; Na= Sódio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; Al = Alumínio; SB = Soma de bases; CTC = Capacidade de Troca de Cátions; CO = Carbono Orgânico; PST = Percentual de sódio trocável; V = Saturação por bases; AR = areia; SI = silte; AG = argila

Fonte: Elaborado pela autora

Os teores de K^+ e Na^+ estiveram entre 0,18 e 1,15 $cmol_c dm^{-3}$ para K^+ e entre 0,03 e 0,13 $cmol_c dm^{-3}$ para Na^+ (Tabela 9). Em todas as parcelas o K^+ apresentou valores maiores que os de Na^+ , os baixos valores de Na^+ sinalizam que não há problemas com sodicidade, o que é confirmado pelos baixos valores de PST. Martins et al. (2010), estudando áreas em processo de degradação no município de Floresta/PE, identificaram valores de Na^+ maiores que os de K^+ apenas no ambiente degradado; no ambiente moderadamente degradado os teores destes cátions foram semelhantes aos encontrados neste trabalho. Os elevados teores de Ca^{2+} e de K^+ provavelmente estão relacionados ao material de origem, pois solos originados de rochas cristalinas têm grande quantidade de feldspatos (SANTOS et al., 2012), que são minerais ricos nestes elementos.

A CTC esteve entre 3,39 e 9,52 $cmol_c dm^{-3}$ (Tabela 9) com média de 6,13 $cmol_c dm^{-3}$. Os baixos valores de CTC estão associados principalmente aos baixos teores de AG e CO. As argilas possuem cargas negativas onde os cátions ficam adsorvidos, assim, quanto maior o teor de argila, maior será a CTC (especialmente se as argilas forem do tipo 2:1). Em comparação com uma argila, um mineral de areia possui uma área superficial milhares ou até milhões de vezes menor o que dificulta a geração de cargas e faz com que esta fração praticamente não contribua para a CTC. Santos et al. (2012) estudando cinco perfis de NEOSSOLOS REGOLÍTICOS no semiárido de Pernambuco encontraram valores de CTC variando entre 4,3 e 5,9 $cmol_c dm^{-3}$ em solos com teores de areia superiores a 70% e teores de argila menores que 7%.

Os valores de V foram em média de 90% (Tabela 9). Este é um comportamento comum em ambientes semiáridos, onde V costuma estar acima de 50%, denominando os solos de eutróficos. Isto ocorre porque os teores de H^+ e Al^{+3} são baixos, o que permite uma maior adsorção dos cátions básicos nas cargas das argilas. Mesmo em ambientes semiáridos degradados é possível encontrar valores de V acima de 50% nos horizontes superficiais (GALINDO et al., 2008). Maia et al. (2006) comparando diferentes sistemas de cultivo no semiárido encontraram teores de V maiores que 90% em áreas de cultivo intensivo do solo com uso de desmatamento e queimada. No semiárido a menor intensidade do intemperismo químico, permite uma maior quantidade de nutrientes no solo. Desta forma a fertilidade não é um fator limitante (LEPSCH, 2011).

Os teores de areia (AR) variaram de 60,8 % (parcela 29) a 89,3% (parcela 1), os de silte (SI) de 5,7% (parcela 1) a 24,2% (parcela 29) e de argila (AG) de 5% (parcelas de 1 a 13 exceto a 9) a 20% (parcela 16) (Tabela 9). Frequentemente, solos de embasamento cristalino apresentam altas concentrações de areia, em razão dos elevados teores de quartzo (SANTOS et al., 2012).

4.3. ANÁLISE DA RELAÇÃO SOLO-VEGETAÇÃO

Foi possível observar que existe relação de dependência entre os grupos de variáveis do solo e da vegetação considerados pela análise de correlação canônica (Tabela 10). Apenas o primeiro par canônico foi significativo apresentando uma correlação forte da ordem de 0,8 e foi responsável por explicar 68,8 % da variância dos dados.

Tabela 10. Pares canônicos estimados entre os conjuntos das variáveis da vegetação e do solo em uma área de Caatinga no município de Floresta-PE

Variáveis	Pares Canônicos		
	1º	2º	3º
P	-0,259	-0,337	0,526
pH	-0,250	-0,140	-1,255
K⁺	0,061	0,026	0,285
Na⁺	0,303	0,036	0,207
Ca²⁺	-0,042	-0,095	0,612
Mg²⁺	-0,100	0,616	-1,016
CTC	-0,062	0,123	0,157
V	-0,020	-0,232	0,527
CO	0,373	0,093	0,058
%AR	0,301	-0,128	-0,051
%SI	-0,380	0,359	-0,107
%AG	-0,092	-0,154	0,184
DA	0,995	-1,207	-0,428
G	-0,537	0,500	-1,058
NE	0,308	1,280	0,850
r	0,830	0,518	0,349
Variância	0,688	0,268	0,121
Significância	0,071*	0,916	0,948

r = coeficiente de correlação canônica; * p < 0,1

Fonte: Elaborado pela autora

Considerando o primeiro par canônico, com os atributos químicos, as menores contribuições foram de K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, CTC e V e as maiores de Na⁺ e CO (Tabela 10). Com as frações granulométricas, a menor contribuição foi da argila. Para a vegetação, a maior contribuição foi da variável densidade absoluta. Desta forma, locais com uma maior densidade de plantas estão associados a menores teores de silte e maiores teores de matéria orgânica e areia. De maneira oposta, maiores valores de área basal estão relacionados aos locais com maiores teores de silte e menores concentrações de matéria orgânica e areia.

As baixas contribuições dos atributos K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, CTC e V indicam que estas variáveis têm pouca influência sobre as características da vegetação logo, de

maneira geral, estão em níveis adequados e não interferem diretamente na densidade, na área basal e no número de espécies.

O fato da densidade absoluta ter relação inversa com o silte pode ter relação com a dificuldade de infiltração da água em locais com maior quantidade de partículas finas na superfície o que favorece o encrostamento superficial e em alguns casos a erosão. Um estudo no município de Jataúba-PE comparando áreas em diferentes níveis de degradação menciona maior presença de silte+areia fina em ambientes degradados e que estas características favorecem a formação de crostas superficiais após a precipitação (GALINDO et al., 2008). O mesmo estudo também identificou, por meio da correlação canônica, uma contribuição inversa entre a variável 'silte+areia fina' e as variáveis 'altura das plantas' e 'densidade da vegetação'.

Em contraste, a associação positiva e direta entre a densidade absoluta e os teores de areia pode ser explicada pelo fato destes locais provavelmente possuírem um acúmulo de partículas finas no horizonte subsuperficial. Em ambientes semiáridos a disponibilidade de água é um dos fatores fundamentais para o estabelecimento das plantas, logo a maior quantidade de partículas grosseiras na superfície oferece menor resistência à infiltração. Uma vez no solo esta água tem maior possibilidade de permanecer retida nas argilas que estejam depositadas na subsuperfície se mantendo mais tempo no perfil do solo. Esta situação também é mencionada por Galindo et al. (2008) que concluíram que áreas mais conservadas possuíam maior teor de argila no horizonte subsuperficial o que permitia uma maior disponibilidade de água no perfil.

A mudança textural característica nos Luvisolos é frequentemente atribuída a processos de argiluviação e remoção preferencial das argilas para o horizonte subsuperficial, além disso, a acidificação decorrente da decomposição da matéria orgânica também favorece a destruição dos minerais de argila de esmectitas e vermiculitas no horizonte superficial (OLIVEIRA et al., 2008). Além disso, a maior capacidade de retenção de água também favorece a formação de argila *in situ* no horizonte Bt (OLIVEIRA et al., 2008).

Um estudo em CAMBISSOLO CÁLCICO de textura franco siltosa no semiárido do Himalaia, foi encontrado coeficiente de correlação canônica de 0,89 entre as variáveis da vegetação, solo e topografia. Os autores identificaram uma maior cobertura vegetal e maior diversidade de plantas em áreas com maior teor de argila e de água no solo (XU et al., 2008).

O solo e a vegetação desenvolvem relações complexas entre si e com outros fatores ambientais que influenciam a resiliência e a sucessão em um ecossistema (XU et al., 2008). Sua principal relação é um ciclo de respostas onde a vegetação participa disponibilizando matéria orgânica e promovendo a proteção do solo (SALCEDO et al., 2008; LIMA et al., 2013) e este disponibiliza água e nutrientes para as plantas (SANTOS; RIBEIRO; SAMPAIO, 1992). Desta forma, a vegetação se estabelece de acordo com o tipo de solo e sua intensidade de degradação (GALINDO et al., 2008; EL-AMIER, 2016).

Além das características naturais a ausência da vegetação potencializa os riscos de perda de solo, como foi observado por Albuquerque et al. (2002), em um Luvisolo em Sumé-PB, que mencionam perdas de solo 99% maiores em áreas desmatadas do que em áreas com vegetação. Um estudo entre os anos de 2009 e 2010 no Ceará apresentou menores perdas de solo em áreas de Caatinga nativa (227,38 e 63,11 kg.ha⁻¹) em comparação com áreas de cobertura herbácea (2166,56 e 64,24 kg.ha⁻¹) e Caatinga raleada (1165,25 e 154,42 kg.ha⁻¹) (LIMA et al., 2013).

Áreas sem cobertura vegetal têm um maior escoamento superficial, o que diminui a infiltração da água da chuva, promovendo um cenário de erosão, que dificulta o restabelecimento da vegetação (GALINDO et al., 2008; LIMA et al., 2013). Além disso, em solos propícios a erosão, a vegetação sofre estresse hídrico e nutricional, sendo necessário o uso de práticas de conservação para melhorar suas condições (MA et al., 2004).

A associação encontrada entre o carbono orgânico e a densidade da vegetação, pode estar relacionada ao fato das plantas serem o principal componente ativo no processo de adição de matéria orgânica no solo (DICK et al., 2009). Sendo a fração orgânica um indicador sensível da qualidade do solo e que diminui de acordo com o aumento da degradação (MARTINS et al., 2010). Apesar de ser possível, que áreas de vegetação nativa tenham características naturais que afetam os teores de carbono orgânico, a ciclagem de nutrientes e diminuam os sítios de troca (MAIA et al., 2006; CORRÊA et al., 2009) a fração orgânica do solo é bastante influenciada pela presença das plantas. Frequentemente, a retirada da vegetação é a principal responsável pela diminuição nos teores de carbono orgânico no solo (VILLARINO et al., 2017).

A relação oposta entre a densidade e a área basal da vegetação com os teores de silte, carbono orgânico e areia podem ser associada ao fato de que nas áreas com

condições edáficas mais favoráveis, como por exemplo maior retenção de água, os indivíduos juvenis e jovens tem maiores chances de desenvolvimento, ao passo que nas áreas menos susceptíveis a infiltração da água este desenvolvimento pode ser prejudicado por maior estresse hídrico. Assim apenas os indivíduos adultos e de maiores diâmetros conseguem permanecer nestes ambientes.

Plantas submetidas a déficits hídricos e períodos de seca sofrem processos de inibição do crescimento. Em climas áridos e desérticos, a menor disponibilidade de água no solo força as plantas a investirem em mecanismos como acúmulo de solutos e de ácido abscísico e crescimento das raízes em detrimento dos processos de fotossíntese, síntese proteica, síntese de parede e expansão celular (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Apesar das espécies da Caatinga estarem adaptadas as condições ambientais cada uma tem mecanismo particulares de respostas fisiológicas e uso dos recursos (TROVÃO et al., 2007) sendo algumas espécies mais resistentes ao estresse do que outras (SILVA et al., 2004).

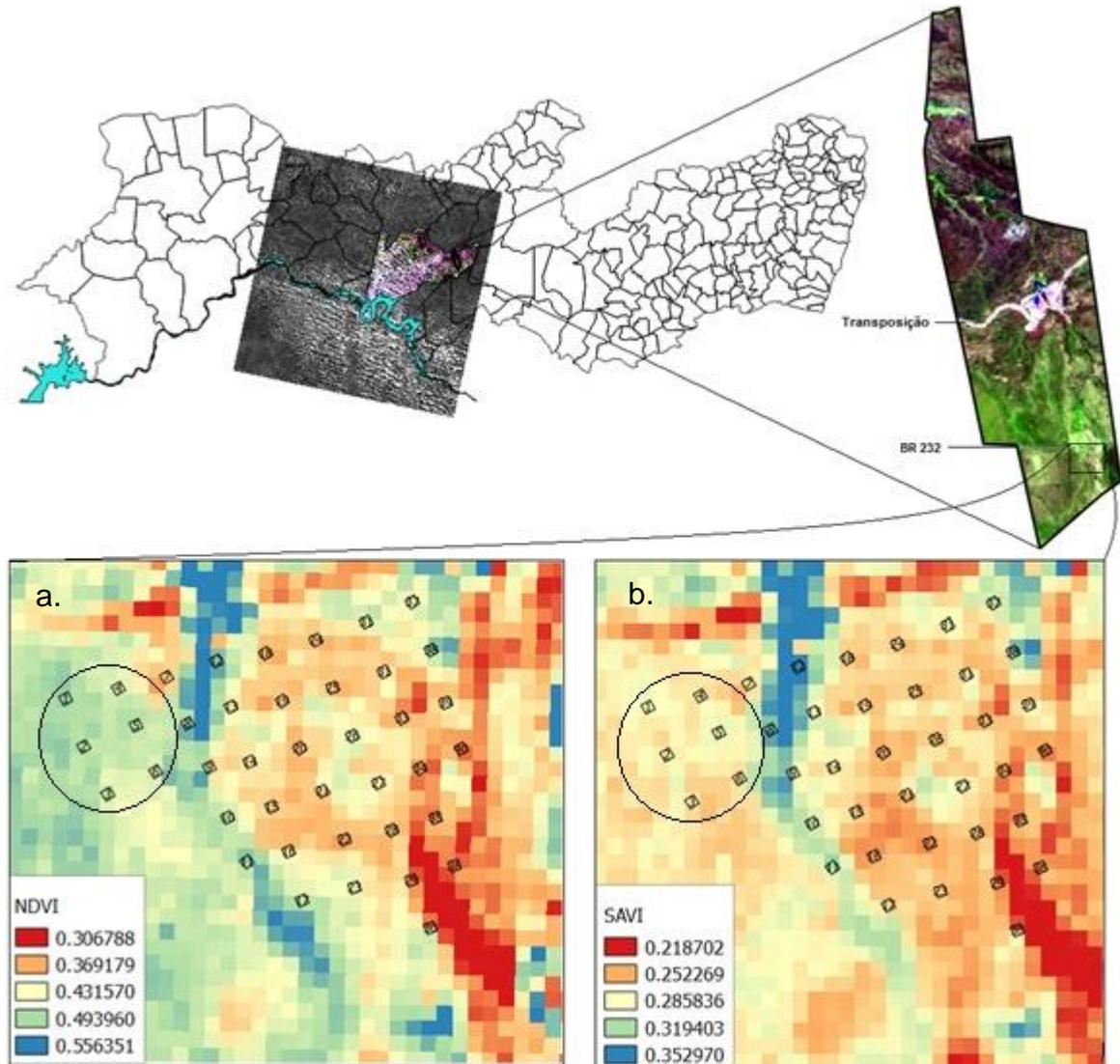
Um exemplo disso, é a relação entre a capacidade de rebrota e/ou floração e a densidade da madeira. Espécies com densidade da madeira menor que $0,5 \text{ g cm}^{-3}$ tem maior capacidade de retenção de água no caule podendo assim, emitir flores e rebrotas mesmo em períodos de seca, ao passo que, espécies com madeiras de alta densidade ($> 0,5 \text{ g cm}^{-3}$) possuem baixa capacidade de retenção de água no caule, sendo mais dependentes da disponibilidade hídrica do solo para emitir brotações e flores, ficando em um estado de eco-dormência até que os meristemas disponham de água suficiente (LIMA, 2010).

As espécies *P. bracteosa*, *M. oftalmocentra*, *C. quercifolius*, *M. urundeuva*, *C. blanchetianus*, *A. pyriformium* e *S. brasiliensis* estão entre as dez mais importantes da área, e possuem madeiras com densidade de 1,11, 0,55, 0,62, 0,59, 0,54 e 0,64 g cm^{-3} respectivamente (LIMA, 2010; MACHADO NETO et al., 2015) e logo podem ser consideradas como mais susceptíveis as variações hídricas do solo. Nestas condições locais que permitem um acúmulo de água apresentam características ainda mais favoráveis para que estas espécies concluam seu ciclo fenológico.

4.4. NDVI E SAVI PARA IDENTIFICAÇÃO DA VEGETAÇÃO.

O NDVI variou entre 0,30 e 0,55 (Figura 15a). Estes valores permitem identificar os tons de verde e azul como áreas de vegetação e os pixels com tons de amarelo, laranja e vermelho sinalizando locais de vegetação aberta e solo exposto (MORAIS et al., 2011). Em relação ao SAVI os valores variaram entre 0,21 e 0,35 (Figura 15b).

Figura 15. Imagens NDVI(a) e SAVI(b) de uma área de caatinga no município de Floresta-PE

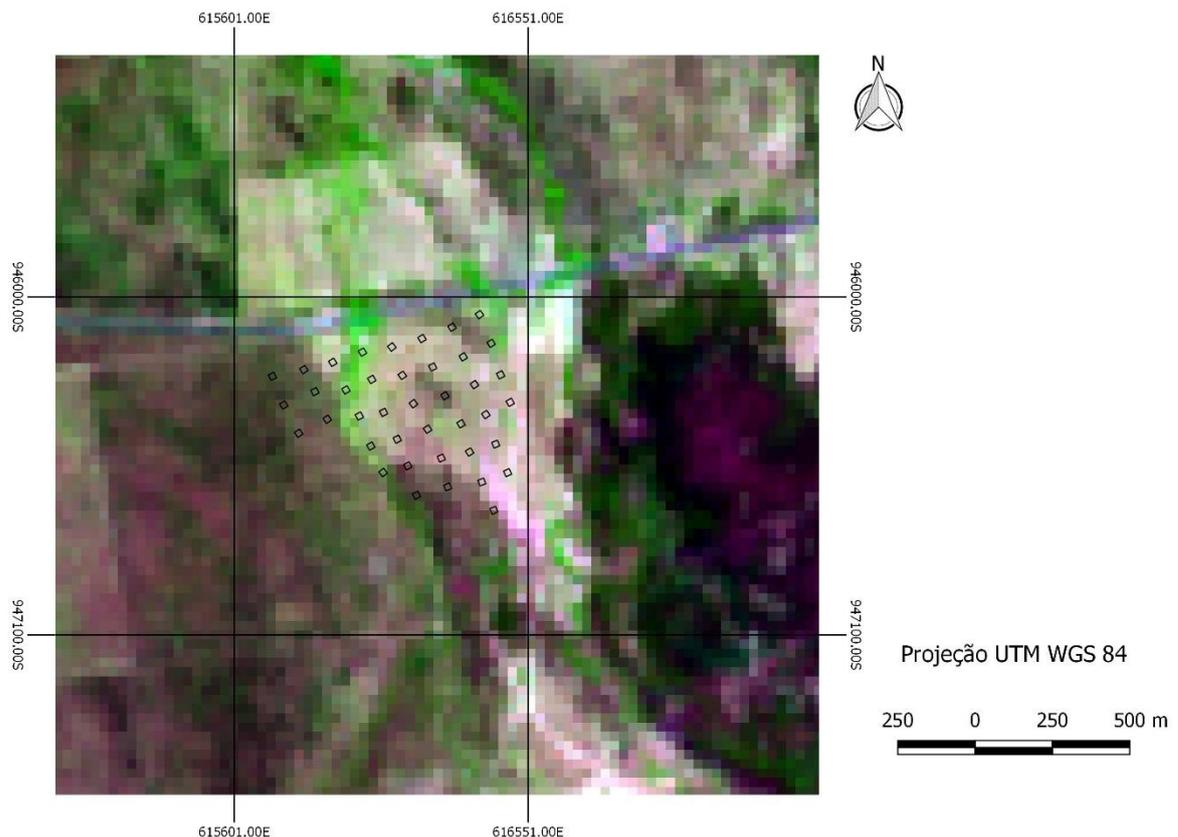


Fonte: Elaborado pela autora

A região em destaque nas imagens (Figura 15 a e b) faz referência a uma área de maior cobertura vegetal onde estão as parcelas 1, 2, 3, 4, 5 e 6. Nestas unidades foram registrados 101, 62, 54, 42, 46 e 35 indivíduos, respectivamente, e são 6 das 11 parcelas de maior densidade. A distinção entre a área em destaque e o restante da vegetação é melhor percebida na imagem de NDVI do que na imagem de SAVI. A

região em azul nas imagens (Figura 15 a e b), que representa os maiores valores de NDVI e SAVI, está relacionada a uma vegetação herbácea que se concentra próximo a um curso d'água intermitente e pode ser melhor visualizada na imagem em composição colorida (Figura 16). Esta expressividade está associada ao rápido crescimento destas gramíneas em virtude da estação chuvosa, por serem plantas jovens e possuírem alta taxa fotossintética (KAZMIERCZAK, 1996; MORAIS et al., 2011). As áreas em vermelho na parte inferior das imagens de NDVI e SAVI (Figura 15 a e b) são identificadas nos tons de rosa e branco na composição colorida (Figura 16) e estão relacionadas a solo exposto, com pouca ou nenhuma cobertura vegetal.

Figura 16. Composição colorida Landsat 8/OLI R6G5B4 com contraste linear referente a uma área de Caatinga no município de Floresta-PE.



Fonte: Elaborado pela autora

A comparação entre diferentes índices de vegetação e bandas espectrais busca identificar qual (is) melhor (es) dados espectrais expressam a informação desejada. O uso de imagens Landsat 5/TM em NDVI e SAVI em escala temporal, permitiu perceber que ambos os índices foram eficientes na identificação de áreas de solo exposto. Porém, o SAVI não foi satisfatório na distinção entre áreas de vegetação

nativa e cultivos agrícolas, principalmente quando estas feições possuíam extensões semelhantes (RODRIGUES; RIBEIRO; VAZ, 2013).

Em regiões áridas e semiáridas, mesmo em diferentes resoluções espectrais, o SAVI expressa resultados melhores que o NDVI na estação seca (ALMUTAIRI et al., 2013). Comparações entre estes dois índices em uma área de Caatinga em Petrolina/PE confirmaram que o uso do SAVI é mais recomendado no período de seca, quando há maior quantidade de solo exposto, por ocasião da deciduidade da vegetação, e sua função de realçar a cobertura vegetal é melhor empregada. No período chuvoso, entretanto, em comparação com o NDVI o SAVI tende a superestimar a quantidade de áreas vegetadas (SILVA; GALVÍNCIO, 2012).

Neste trabalho, os valores de SAVI foram menores que os de NDVI. Isto pode estar associado aos diferentes gradientes de exposição do solo na área, o que indica que a interferência do solo na refletância da vegetação não é uniforme, logo, a correção aplicada pela constante L pode não ter sido adequada. Apesar do valor de $L=0,5$ ser o mais utilizado em áreas do seminário brasileiro pelo caráter esparsa da Caatinga (SILVA; GALVÍNCIO, 2012; ALMEIDA et al., 2014), uma melhor identificação da vegetação pode ser obtida, variando valores de L. Como foi realizado em uma região semiárida com diferentes densidades de vegetação em Sulaibiya no Kuwait (ALMUTAIRI et al., 2013).

Os índices de vegetação têm sido empregados para compor equações de volume, densidade, altura e biomassa tanto em florestas plantas como nativas, no intuito de facilitar o acompanhamento da vegetação (ALMEIDA et al., 2014; BERGER, 2014; ZANDLER; BRENNING; SAMIMI, 2015; ALBA et al., 2016). Boas correlações entre as variáveis de campo e as variáveis espectrais são considerados resultados satisfatórios para a realização dos procedimentos de modelagem.

A matriz de correlação entre os índices de vegetação e as variáveis do solo e da vegetação (Tabela 11) possibilita observar correlações moderadas ($0,5 < r < 0,7$) entre as variáveis da vegetação e o NDVI, e fracas ($0,3 < r < 0,5$) entre a vegetação e o SAVI. Reforçando os resultados observados nas imagens de que o NDVI permite uma melhor identificação da vegetação. As correlações entre NDVI e os parâmetros densidade ($r= 0,56$) e área basal ($r= 0,55$), provavelmente foram influenciadas pelas dimensões da área que permitiram a obtenção das variáveis para cada unidade amostral.

O uso de um nível de inclusão com $DAP \leq 2,5$ cm e o uso das informações de cada unidade amostral, são mencionados como uma maneira mais eficiente de se obter correlações com a estrutura da vegetação em florestas secas (OZA; SRIVASTAVA; DEVAIAH, 1996; FEELEY; GILLESPIE; TERBORGH, 2005).

Tabela 11. Coeficiente de correlação de Pearson entre variáveis da vegetação, do solo e índices de vegetação em uma área de Caatinga no município de Floresta-PE

	DA	G	NE	P	pH	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CTC	V	CO	AR	SI	AG	NDVI
G	0,61															
NE	0,76	0,57														
P	-0,38	-0,22	-0,42													
pH	-0,46	-0,17	-0,55	0,70												
K ⁺	-0,34	-0,17	-0,21	0,21	0,46											
Na ⁺	0,15	0,11	0,33	-0,12	-0,18	0,32										
Ca ²⁺	-0,47	-0,12	-0,29	0,47	0,43	0,55	0,26									
Mg ²⁺	-0,23	0,13	0,00	0,30	0,15	0,22	0,36	0,62								
CTC	-0,39	-0,03	-0,16	0,38	0,28	0,56	0,40	0,96	0,75							
V	-0,58	-0,22	-0,53	0,57	0,83	0,45	-0,14	0,64	0,36	0,49						
CO	0,20	0,07	0,32	0,08	-0,15	0,10	0,30	0,35	0,36	0,40	-0,04					
AR	0,52	0,13	0,22	0,06	-0,07	-0,47	-0,25	-0,66	-0,46	-0,69	-0,38	-0,15				
SI	-0,43	0,01	-0,15	0,00	0,11	0,37	0,36	0,50	0,44	0,52	0,35	0,14	-0,77			
AG	-0,38	-0,20	-0,19	-0,09	-0,01	0,36	0,03	0,53	0,28	0,55	0,24	0,10	-0,78	0,21		
NDVI	0,56	0,55	0,51	0,04	-0,15	-0,38	-0,01	-0,23	0,16	-0,16	-0,26	0,32	0,43	-0,20	-0,47	
SAVI	0,18	0,25	0,05	0,51	0,22	-0,28	-0,01	0,08	0,18	0,04	0,09	0,19	0,46	-0,21	-0,50	0,68

Valores em negrito com $p < 0,01$.

DA= densidade absoluta; G= área basal; NE= número de espécies; P= fósforo; K⁺=potássio; Na⁺=sódio; Ca²⁺= cálcio; Mg²⁺= magnésio; CTC= capacidade de troca de cátions; V= % de saturação por bases; CO= carbono orgânico; AR= areia; SI= silte; AG= argila; NDVI= índice de vegetação por diferença normalizada; SAVI= índice de vegetação ajustado para o solo.

Fonte: Elaborado pela autora

Em áreas de Caatinga no estado de Sergipe, as melhores correlações foram encontradas entre NDVI e SAVI e as variáveis altura e volume, enquanto que a área basal registrou a menor correlação ($r = 0,16$) para ambos os índices (ALMEIDA et al., 2014). Vale ressaltar que a área basal e o volume são bastante variáveis em florestas naturais, uma vez que não se tem referência de idade, além de outros fatores que as influenciam, tais como, composição de espécies e sítio.

Em florestas secas das Ilhas do Lago Guri, na Venezuela não foi possível observar correlações significativas entre os índices de vegetação testados e a estrutura da vegetação. Com correlações de $r= 0,08$ e $r= 0,14$ entre o NDVI e densidade absoluta e área basal, respectivamente (FEELEY; GILLESPIE; TERBORGH, 2005). E os melhores resultados foram encontrados entre NDVI e o crescimento anual ($r= 0,60$) e a densidade de copa ($r= 0,49$).

As boas correlações percebidas neste trabalho entre o NDVI e a estrutura da vegetação são resultados satisfatórios quando comparados com outros citados na literatura (FEELEY; GILLESPIE; TERBORGH, 2005; ALMEIDA et al., 2014). E indicam que o NDVI pode ser considerado para compor equações que permitam estimar estas variáveis e auxiliar nas atividades de manejo realizadas nesta área.

Também é possível observar que em comparação com as outras variáveis da vegetação, a densidade absoluta registrou o maior número de correlações com variáveis do solo. Com correlações inversas com o pH, Ca^{2+} e V e direta com a areia, a densidade de indivíduos foi a característica da vegetação mais influenciada pelas condições edáficas. A relação inversa da densidade com os atributos químicos pode estar associada a sua forte correlação com os teores de areia, pois como se pode observar a fração areia possui correlações inversas com Ca^{2+} ($r= -0,66$), Mg^{2+} ($r= -0,46$) e CTC ($r= -0,69$) (Tabela 11).

CONCLUSÕES

A *Poincianella bracteosa* é a espécie fitossociologicamente mais importante da área, especialmente quanto a densidade de indivíduos.

Existe relação de dependência entre as variáveis do solo e da vegetação.

Houve maior densidade de plantas e menor área basal em locais com maiores teores de partículas finas no horizonte subsuperficial.

Os atributos químicos do solo estão em níveis adequados para a manutenção da vegetação.

A imagem NDVI foi mais sensível à identificação visual da cobertura vegetal e teve melhores correlações com a estrutura da vegetação do que o SAVI.

O NDVI foi o índice mais apropriado para uso em modelos de estimativa de densidade, área basal e número de espécie na área de estudo.

REFERÊNCIAS

- ALBA, E. et al. Modelagem de variáveis dendrométricas em povoamentos florestais utilizando imagens de média resolução espacial. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, PE, v. 9, n. 6, p. 1969-1977, 2016.
- ALBUQUERQUE, A. W. et al. Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 6, n. 1, p.136-141, 2002.
- ALMEIDA, A. Q. et al. Relações empíricas entre características dendrométricas da Caatinga brasileira e dados TM Landsat 5. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 49, n. 4, p. 306-315, 2014.
- ALMUTAIRI, B. et al. Comparative study of SAVI and NDVI vegetation indices in Sulaibiya area (Kuwait) using world view satellite imagery. **International Journal of Geosciences and Geomatics**, Manchester, UK, v. 1, n. 2, p. 50-53, 2013.
- AMORIM, I. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, E. L. Flora e estrutura da vegetação arbustiva-arbórea de uma área de caatinga do Seridó, RN, Brasil. **Acta Botânica Brasilica**, Belo Horizonte, MG, v. 19, n.3, p. 615-623, 2005
- ANDRADE, L. A. et al. Análise da cobertura de duas fitofisionomias de Caatinga com diferentes históricos de uso, no município de São João do Cariri, estado da Paraíba. **Revista Cerne**, Lavras, MG, v.11, n.3, p. 253-262, 2005.
- ANDRADE, L. A. et al. Análise da vegetação sucessional em campos abandonados no agreste paraibano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, PE, v.2, n.2, p.135-142, 2007.
- ANDRADE-LIMA, D. The caatinga dominium. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, SP, v. 4, n.1, p. 149-153, 1981.
- APGAUA, D. M. G. et al. Tree community structure in a seasonally dry tropical forest remnant, Brazil. **Revista Cerne**, Lavras, MG, v. 20, n. 2, p. 173-182, 2014.
- ARAÚJO FILHO, J. C.; SILVA, A. B., SILVA, F. B. R. et al. **Diagnóstico Ambiental do Município de Floresta, Pernambuco**. Circular Técnica, nº10, Rio de Janeiro: Embrapa, 2001.
- ARAÚJO, F. S.; RODAL, M. J. N.; BARBOSA, M. R. V. (Org.). **Análise das variações da biodiversidade do bioma Caatinga: suporte a estratégias regionais de conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. 446 p.
- BANNARI, A.; MORIM, D.; BONN, F.A. review of vegetation index. **Remote Sensing Reviews**, Oxfordshire, UK, v. 13, p. 95-120, 1995.

BANDA, R. et al. Plant diversity patterns in neotropical dry forests and their conservation implications. **Science**, Washington, EUA, v.353, n. 6306, p. 1383-1387, 2016.

BARBOSA, M. D. et al. Florística e fitossociologia de espécies arbóreas e arbustivas em uma área de Caatinga em Arco Verde, Pernambuco, Brasil. **Revista Árvore**, Viços, MG, v. 36, n. 5, p. 851-858, 2012.

BARET, E.; GUYOT, G.; MAJOR, D. J. TSAVI: A vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI and APAR estimation. In :CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING,12.,1989, Vancouver. **Anais...Vancouver :IEEEXplore**, 1989. p. 1355-1358.

BERGER, R. **Índice de área foliar estimado por ferramentas de sensoriamento remoto para otimização de inventários em florestas plantadas**. 2014. 149f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

BERRA, E. F. et al. Estimativa do volume total de madeira em espécies de eucalipto a partir de imagens de satélite Landsat. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 22, p. 853-864, 2012.

CAETANO, S. et al. The history of seasonally dry tropical forests in eastern South America: inferences from the genetic structure of the tree *Astronium urundeuva* (Anacardiaceae). **Molecular Ecology**, Nova Jersey, EUA, v. 17, n. 13, p. 3147-3159, 2008.

CALIXTO JÚNIOR, J. T.; DRUMOND, M. A. Estudo comparativo da estrutura fitossociológica de dois fragmentos de Caatinga em níveis diferentes de conservação. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo,PR, v. 34, n.80, p. 345-355, 2014.

CAMARGO, O. A. et al. **Métodos de análise química ,mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas, Instituto Agrônomo, 2009. 77 p. (Boletim técnico, 106). Edição revista e atualizada.

CANADAS, E. M. et al. Soil-vegetation relationships in semi-arid Mediterranean old fields (SE Spain): Implications for management. **Journal of Arid Environments**, Amsterdam, NL, v. 74, n. 11, p. 1525-1533, 2010.

CARDOSO, D., B. O. S.; QUEIROZ, L. P. Diversidade de Leguminosae nas caatingas de tucano, Bahia: implicações sobre a fitogeografia do semiárido do nordeste do Brasil. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, RJ, v.58, n.2, p. 379-391, 2007.

CASTILLO, M. et al. LIDAR remote sensing for secondary Tropical Dry Forest identification. **Remote Sensing of Environment**, Berlim, GER, v. 121, p. 132-143, 2012.

CONGALTON, R. G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, Berlim, GER, v. 37, n. 1, p. 35-46, 1991.

- CÓRDULA, E.; MORIM, M. P.; ALVES, M. Morfologia de frutos e sementes de Fabaceae ocorrentes em uma área prioritária para a conservação da Caatinga em Pernambuco, Brasil. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, RJ, v. 65, n. 2, p.505-516, 2014.
- CORRÊA, R. M. et al. Atributos químicos de solos sob diferentes usos em perímetro irrigado no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 2, p. 305-314, 2009.
- COSTA, R. C.; ARAÚJO, F. S. Physiognomy and structure of a caatinga with *Cordia oncocalyx* (Boraginaceae), a new type of community in Andrade-Lima's Classification of caatingas. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, RJ, v. 63, n. 2, p. 269-276, 2012.
- CRUZ, R. C. D. et al. Bioatividade da raiz de *Poincianella bracteosa* (Tul.) L.P. Queiroz (Fabaceae) sobre larvas do *Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762) (Diptera: Culicidae). **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, RS, v. 13, n.4, p. 259-264, 2015.
- CRUZ-LEYVA, I. A. et al. Modelación espacial de área basal y volumen de madera en bosques manejados de *Pinus patula* y *P. teocote* em El ejido Atopixco, Hidalgo. **Madera y Bosques**, Xalapa, MEX, v.16, n. 3, p. 75-97, 2010.
- CUNHA, T. J. F. et al. Principais solos do Semiárido tropical brasileiro: caracterização, potencialidades, limitações, fertilidade e manejo. In: SA, I. B.; SILVA, P. C. G. **Seminário brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, PE, 2010. Cap. 2, p. 49-87.
- DANIELS, A. E.; PAINTER, K.; SOUTHWORTH, J. Milpa imprint on the tropical dry forest landscape in Yucatan, Mexico: Remote sensing & field measurement of edge vegetation. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Zurich, SWZ, v. 123, n. 4, p.293-304, 2008.
- DICK, D. P. et al. Química da matéria orgânica do solo. In: MELO, V.F. & ALLEONI, R.F., (Eds.). **Química e mineralogia do solo, parte II. Aplicações**. Viçosa, MG: SBCS, 2009. Pt. 2, p. 1-68. Aplicações.
- DONAGEMA, G. K. et al. (Org.). **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.
- DONG, J. et al. Mapping deciduous rubber plantations through integration of PALSAR and multi-temporal Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, Berlin, GER, v. 134, p. 392-402, 2013.
- EL-AMIER, Y. A. Vegetation structure and soil characteristics of five common geophytes in desert of Egypt. **Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences**, Amsterdam, NL, v. 3, p. 172-186, 2016.
- EL-GHANI, M. M. A.; AMER, W. M. Soil-vegetation relationships in a coastal desert plain of southern Sinai, Egypt. **Journal of Arid Environments**, Amsterdam, NL, v. 55, n. 4, p. 607-628, 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006.

EPIPHANIO, J. C. N. et al. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 31, n.6, p. 445-454, 1996.

ERTURK, A. A.; ALGANCI, U. B.; TANIK, A. A.; SEKER, D. Z. C. Determination of land-use dynamics in a lagoon watershed by remotely sensed data. **Fresenius Environmental Bulletin**, Freising, GER, v. 21, n. 10, p. 3052-3058, 2012.

FENSHOLT, R. et al. Greenness in semi-arid areas across the globe 1981–2007 — an Earth Observing Satellite based analysis of trend and drivers. **Remote Sensing of Environment**, Berlin, GER, v. 121, p. 144-158, 2012.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Metodologia de casos exemplares para el fortalecimiento de políticas y programas de manejo forestal sostenible em America Latina y Caribe**. Santiago: FAO - Núcleo de Capacitação em Políticas Públicas, 2013. Módulo 2: Conceptos claves de Criterios e Indicadores de MFS: Principios ecológicos del MFS. Disponível em : <http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/training_material/docs/casejes.pdf> Acesso em: 05 abr. 2016.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Trees, forests and land use in drylands: the first global assessment – preliminary findings**. Rome: FAO, 2016. 31p. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i5905e.pdf>> Acesso em: 30 nov. 2016.

FEELEY, K. J. et al. The utility of spectral indices from Landsat ETM+ for measuring the structure and composition of tropical dry forests. **Biotropica**, Nova Jersey, EUA, v. 37, n. 4, p. 508-519, 2005.

FERRAZ, J. S. F. **Análise de vegetação de Caatinga arbustivo-arbórea em Floresta, PE, como subsídio ao manejo florestal**. 2011. 131f. Tese (doutorado em Ciências Florestais). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

FERRAZ, J. S. F. et al. Estrutura do componente arbustivo-arbóreo da vegetação em duas áreas de Caatinga, no município de Floresta, Pernambuco. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 38, n.6, p. 1055-1064, 2014.

FERREIRA, M. E.; FERREIRA, L. G.; FERREIRA, N. C. Cobertura vegetal remanescente em Goiás: distribuição, viabilidade ecológica e monitoramento. In: Ferreira, L. G. (org.). **Conservação da biodiversidade e uso sustentável em Goiás: Estratégias, prioridades e perspectivas**. Goiânia: SEMARH/Agência Ambiental/Banco Mundial. 2006.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. 3. ed. ampl. e atual. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2011. 128p.

FOSTER, S. et al. The relationship between seed size and establishment conditions in tropical woody plants. **Ecology**, Nova Jersey, EUA, v. 66, n. 3, p. 773-780, 1985.

GALINDO, I. C. L.; RIBEIRO, M. R.; SANTOS, M. F. A. V. et al. Relações solo-vegetação em áreas sob processo de desertificação no município de Jataúba, PE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 3, p.1283–1296, 2008.

GALVANIN, E. A. S.; NEVES, S. M. A. S.; CRUZ, C. B. M. et al. Avaliação dos índices de vegetação NDVI, SR e TVI na discriminação de fitofisionomias dos ambientes do pantanal de Cáceres/MT. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 24, n. 3, p. 707-715, 2014.

GASPARRI, N. I.; PARMUCHI, M. G.; BONO, J.; KARSZENBAUM, H.; MONTENEGRO, C. L. Assessing multi-temporal Landsat 7 ETM+ images for estimating above-ground biomass in subtropical dry forests of Argentina. **Journal of Arid Environments**. Amsterdam, NL, v. 74, p. 1262-1270, 2010.

GIULIETTI, A.M.; DU BOCAGE NETA, A. L.; CASTRO, A. A. J. F. et al. 2004. Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga. In: SILVA, J. M. C. (Org.). **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília, DF: MMA; UFPE, 2004. Cap, 4, p.48-90, Embrapa Semiárido.

GUEDES, R. S.; ZANELLA, F. C. V.; COSTA JÚNIOR, J. E. V. et al. Caracterização florístico-fitosociológica do componente lenhoso de um trecho de caatinga no semiárido paraibano. **Revista Caatinga**, Mossoró, RN, v. 25, n. 2, p. 99-108, 2012.

HESKETH, M.; SÁNCHEZ-AZOFEIFA, A. A review of remote sensing of tropical dry forests. In : SÁNCHEZ-AZOFEIFA, A.; POWERS, J. S.; FERNANDES, G. W. et al.(Eds.). **Tropical dry forests in the Americas**. Boca Raton : CRC Press, 2014. p.83-100.

HOLANDA, A. C.; LIMA, F. T. D.; SILVA, B. M. et al. Vegetation structure Caatinga in remaining from different with historical disturbance in the region of Cajazeirinhas – PB. **Revista Caatinga**, Mossoró, RN, v. 28, n. 4, p. 142-150, 2015a.

HOLANDA, A. C.; FELICIANO, A. L. P.; MARANGON, L. C. et al. Decomposição da serapilheira foliar e respiração edáfica em um remanescente de Caatinga na Paraíba. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 39, n. 2, p. 245 – 254, 2015b.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, Berlim, GER, v.25, p. 295 – 309, 1988.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**, 2012. Disponível em : <<http://cod.ibge.gov.br/MGH>>. Acesso em: 14 nov. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2. ed. ver e ampl. IBGE: 2012.

INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO. **Sinopse do senso demográfico para o semiárido brasileiro - 2012**. Disponível em: <<http://www.insa.gov.br/censosab>>. Acesso em: 06 jun. 2014.

JACOMINE, P. K. T. Solos sob Caatingas – características e uso agrícola. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. (Eds.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, MG: SBCS/UFV, 1996. Cap. 2, p. 95 – 111.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009. 598 p.

KAZMIERCZAK, M. L. Uso de dados AVHRR/NOAA GAC para análise da sazonalidade da caatinga. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. **Anais ...** São José dos Campos: INPE, 1996.

Disponível em:

<<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2004/07.20.10.18/doc/T99.pdf>>. Acesso 01 abr. 2016.

KE, Y.; IM, J.; LEE, J. et al. Characteristics of Landsat 8 OLI-derived NDVI by comparison with multiple satellite sensors and in-situ observations. **Remote Sensing of Environment**, Berlim, GER, v. 164, p. 298 -313, 2015.

LAUER, D. T.; MORAIN, S. A.; SALOMONSON, V. V. The Landsat Program: Its Origins, Evolution, and Impacts. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Amsterdam, NL, v. 63, n. 7, p. 831-838, 1997.

LEAL, F. A. **Técnicas de sensoriamento remoto e geoestatística aplicadas em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake para estimativa de volume**. Dissertação, 2013, 96f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade de Brasília, Brasília, DF.

LEAL, I. R.; SILVA, J. M. C. da; LANCHER JR, T. E. 2005. Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. **Megadiversidade**, Rio de Janeiro, RJ, v. 1, n. 2, p. 140-146, 2005.

LEPSCH, I. F. **19 Lições de pedologia**. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2011. 456p.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2. ed. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2010, 216p.

LIMA, A. L. A. **Tipos funcionais fenológicos em espécies lenhosas da caatinga, Nordeste do Brasil**. 2010, 116f. Tese (Mestrado em Botânica). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE.

LIMA, B. G.; COELHO, M. F. B. Estrutura de componente arbustivo-arbóreo de um remanescente de caatinga no estado do Ceará, Brasil. **Cerne**, Lavras, MG, v. 21, n.4, p. 665-672, 2015.

LIMA, C. A.; PALÁCIO, H. A. P.; ANDRADE, E. M. et al. Characteristics of rainfall and erosion under natural conditions of land use in semiarid regions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 17, n.11, p.1222-1229, 2013.

LIMA JUNIOR, C.; GIONGO, V.; TAURA, T. A. et al. Índices de vegetação para estimativa de biomassa e carbono em uma área de Caatinga. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 20.; CONGRESO PERUANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 16., 2014, Cusco. **Anais...** Cusco: Centro de Convenciones de la Municipalidad del Cusco, 2014 a. p. 1-6.

LIMA JUNIOR, C.; ACCIOLY, L. J. O.; GIONGO, V. et al. Estimativa de biomassa lenhosa da caatinga com uso de equações alométricas e índice de vegetação. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, v. 42, n. 102, p. 289–298, 2014b.

LIPPERT, D. B.; BENEDETTI, A. C. P.; MUNIZ, M. F. B. et al. Comportamento espectral de folhas de *eucalyptus globulus* (labill.) atacadas por *mycosphaerella* spp. nas regiões do visível e do infravermelho próximo do espectro eletromagnético. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v.25, n.1, p. 211-219, 2015.

LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. 2. ed. ampl. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2006. 908p.

LOHBECK, M.; LEBRIJA-TREJOS, E.; MARTÍNEZ-RAMOS, M. et al. Functional trait strategies of trees in dry and wet tropical forests are similar but differ in their consequences for succession. **Plos One**, São Francisco, CA, v. 10, n. 4, p. 1-15, 2015.

LOVELAND, T. R.; DWYER, J. L. Landsat: Building a strong future. **Remote Sensing of Environment**, Berlim, GER, v. 122, p. 22-29, 2012.

LOVELAND, T. R.; IRONS, J. R. Landsat 8: The plans, the reality, and the legacy. **Remote Sensing of Environment**, Berlim, GER, v. 185, p. 1-6, 2016.

MA, K. M.; FU, B. J.; LIU, S. L. et al. Multiple-scale soil moisture distribution and its implications for ecosystem restoration in an arid river valley, China. **Land Degradation and Development**, Nova Jersey, EUA, v. 15, p. 75–85, 2004.

MACHADO NETO, A. P.; BRANDÃO, C. F. L. S.; DUARTE, B., et al. Poder calorífico como base para prevenção de incêndios florestais sob linhas de transmissão. **Nativa**, Sinop, MT, v. 03, n. 01, p. 10-15, 2015.

MAGURRAN, A. E. **Ecological Diversity and Its Measurement**. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1988, 192p.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S. et al. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semiárido cearense. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n.5, p. 837-848, 2006.

- MARANGON, G. P.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A. et al. Estrutura e padrão espacial em uma vegetação de Caatinga. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 43, n. 1, p. 83-92, 2013.
- MARTINS, C. M.; GALINDO, I. C. L.; SOUZA, E. R.; et al. Atributos químicos e microbianos do solo de áreas em processo de desertificação no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 6, p. 1883-1890, 2010.
- MEDEIROS NETO, P. N.; OLIVEIRA, E.; PAES, J. B. Relações entre as características da madeira e do carvão vegetal de duas espécies da Caatinga. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, RJ, v. 21, n. 4, p. 484-493, 2014.
- MELO, C. L. S. M. S. **Dinâmica da vegetação arbutivo-arbórea no semiárido pernambucano**. 2016, 106f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE.
- MELO FILHO, J. F.; SOUZA, A. L. V. O manejo e a conservação do solo no semiárido baiano: desafios para a sustentabilidade. **Revista Bahia Agrícola**, Salvador, BA, v. 7, n. 3, p. 50-60, 2006.
- MENESES, P. R. Princípios de sensoriamento remoto. (In): MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (Org.) **Introdução ao Processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília, DF: Universidade de Brasília. 2012, cap. 2, p. 1-33.
- MENINO, G. C. O.; SANTOS, R. M.; APGAUA, D. M. G. et al. Florística e estrutura de florestas tropicais sazonalmente secas. **Revista Cerne**, Lavras, MG, v. 21, n.2, p. 277-291, 2015.
- MEUNIER, I. M. J. **Análise de sustentabilidade de planos de manejo florestal em Pernambuco**. 2014. 135f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- MILES, L.; NEWTON, A. C. ; DEFRIES, R. S. et al. A global overview of the conservation status of tropical dry forests. **Journal of Biogeography**, Nova Jersey, EUA, v. 33, n. 3, p. 491-505, 2006.
- MONTEIRO, J. M.; ALBUQUERQUE, U. P.; ARAÚJO, E. L. et al. Taninos: uma abordagem da química à ecologia. **Química Nova**, São Paulo, SP, v. 28, n. 5, p. 892-896, 2005.
- MORAIS, Y. C. B.; SANTOS, B. O.; LAURENTINO, M. L. S. et al. Análise espaço-temporal e detecção de mudanças da cobertura vegetal no município de Floresta/PE – Brasil, utilizando o NDVI. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – S, 15., 2011, Curitiba. **Anais ...**, Curitiba, PR: INPE, 2011. p.2128 – 2134.
- MORALES-BARQUERO, L.; BORREGO, A.; SKUTSCH, M. et al. Identification and quantification of drivers of forest degradation in tropical dry forests: A case study in Western Mexico. **Land Use Policy**, Amsterdam, NL, v.49, p. 296-309, 2015.

MÜELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York: John Wiley & Sons, 1974. 365p.

MURPHY, P. G.; LUGO, A. E. Ecology of tropical dry forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**. Palo Alto, USA, v. 17, p. 67-88, 1986.

NEVES, S. P. S.; FUNCH, R.; CONCEIÇÃO, A. A. et al. What are the most important factors determining different vegetation types in the Chapada Diamantina, Brazil? **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, SP, v. 76, n. 2, p. 315-333, 2016.

NOVAIS, R. F.; MELLO, J. W. V. de. **Relação Solo-Planta: Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.133-204.

OLIVEIRA, L. B.; FONTES, M. P. F.; RIBEIRO, M. R. et al. Micromorfologia e gênese de luvisolos e planossolos desenvolvidos de rochas metamórficas no semi-árido de brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 6, p. 2407-2423, 2008.

OZA, M. P.; SRIVASTAVA, V. K.; DEVAIAH, P. H. Estimating tree volume in tropical dry deciduous Forest from Landsat TM data. **Geocarto**, Oxfordshire, UK, v. 11, n. 4, p. 33-39, 1996

PAREYN, F. G. C. **Os recursos florestais nativos e sua gestão no estado de Pernambuco – o papel do manejo florestal sustentável: Uso Sustentável e Conservação dos Recursos Florestais da Caatinga**. Brasília, DF: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. p. 99-115.

PEREIRA JÚNIOR, L. R.; ANDRADE, A. P.; ARAÚJO, K. D. Composição florística e fitossociológica de um fragmento de Caatinga em monteiro, PB. **Holos**, Natal, RN, v. 6, p. 73-87, 2012.

PEREIRA JÚNIOR, L. R.; ANDRADE, A. P.; ARAÚJO, K. D. et al.. Espécies da Caatinga como alternativa para o desenvolvimento de novos fitofármacos. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, RJ, v. 21, n. 4, p. 509 – 520, 2014.

PEREIRA, I. M.; ANDRADE, L. A.; COSTA, J. R. M. et al. Regeneração natural em um remanescente de Caatinga sob diferentes níveis de perturbação, no agreste paraibano. **Acta Botânica Brasílica**, Belo Horizonte, MG, v. 15, n. 3, p. 413-426, 2001.

PEREIRA, M. M. D.; BRAGA, P. E. T. GUIOMAR, N. Análise dos diferentes estágios de desenvolvimento da caatinga em sobral, Ceará, Brasil. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, Fortaleza, CE, v. 16, n. 2, p. 46- 65, 2014.

PIELOU, E. C. Species diversity and pattern diversity in the study of ecological succession. **Journal Theory Biology**, Cambridge, UK, v.10, n. 2, p. 370-383, 1977.
PINHEIRO, K.; RODAL, M. J. N.; ALVES, M. Floristic composition of diferente soil types in a semi-arid region of Brazil. **Revista Caatinga**, Mossoró, RN, v. 23, n. 2, p. 68-77, 2010.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2010. 127 p.

PORTILLO-QUINTERO, A. C.; SÁNCHEZ-AZOFEIFA, A. G. Extent and conservation of tropical dry forests in the Americas. **Biological Conservation Journal**, Amsterdam, NL, v. 143, p. 144-155, 2010. 55

QUEIROZ, L. P. The Brazilian Caatinga: phytogeographical patterns inferred from distribution data of the Leguminosae. In: PENNINGTON, R. T.; LEWIS, G. P.; RATTER, J. A. (Eds.). **Neotropical savannas and seasonally dry forests: plant diversity, biogeography and conservation**. Florida: CRC Press Taylor & Francis Group, 2006. p.121-157.

QUEIROZ, L.P. **Leguminosas da Caatinga**. Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana. 2009. 443p.

REICH, P. B. The world-wide 'fast-slow' plant economics spectrum: a traits manifesto. **Journal of Ecology**. Londres, UK, v. 102, n. 2, p. 275-301, 2014.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, Planta e Atmosfera: Conceitos, processos e aplicações**. Barueri, SP: Manole, 2004. 477p.

REYNOLDS, J.F; MAESTRE, F.T; KEMP, P.R. et al. Natural and Human Dimensions of Land Degradation in Drylands: Causes and Consequences. In: CANADELL, J.; PATAKI, D.; PITELKA, L. (Eds) **Terrestrial Ecosystems in a Changing World**, Berlin: Springer, 2007. p. 310.

REGAZZI, A. J. **Análise Multivariada**. Viçosa, MG, 2010.365p.

RODAL, M. J. N.; COSTA, K. C. C.; SILVA, A. C. B. L. Estrutura da vegetação caducifólia espinhosa (Caatinga) de uma área do sertão central de Pernambuco. **Hoehnea**, v. 35, n. 2, p. 209-217, 2008.

RODRIGUES; T. S.; RIBEIRO, S. R. A.; VAZ, M. S. M. Avaliação do desempenho de dois índices de vegetação (NDVI e SAVI) por meio de índice de qualidade de imagens. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16. (SBSR)., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. p. 696-703.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Uberlândia, MG: EDUFU, 1990. 135 p.

ROUSE, J. W., HAAS, R. W., SCHELL, J. A. et al. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (Greenwave effect) of natural vegetation. **NASA/GSFC Type III Final Report**, Greenbelt, MD, USA. 1974.

ROY, D. P.; KOVALSKYY, V.; ZHANG, H. K. et al. Characterization of Landsat-7 to Landsat-8 reflective wavelength and normalized difference vegetation index continuity. **Remote Sensing of Environment**, Berlin, GER, v. 185, p. 57-70, 2016.

SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Matéria orgânica do solo no bioma Caatinga. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P. et al. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. rev. e atual. Porto Alegre, RS: Metrópole, 2008. p. 419-442.

SANCHES, I. D.; ANDRADE, R. G.; QUARTAROLI, C. F. et al. Análise comparativa de três métodos de correção atmosférica de imagens Landsat5–TM para obtenção de refletância de superfície e NDVI In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR). 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 7564-7571.

SANCHEZ-AZOFEIFA, A. G.; PORTILLO-QUINTERO, C. A.; FERNANDES, G. W. et al. **The policy process for land use/cover change and forest degradation in the semi-arid Latin American/ Caribbean region: perspectives and opportunities**. 2011. 57.

SANCHEZ-AZOFEIFA, G. A.; QUESADA, M.; RODRIGUEZ, J.P. et al. 2005. Research priorities for neotropical dry forests. **Biotropica**, Nova Jersey, EUA, v. 37, n. 4, p. 477-485, 2005.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, DF: 3. ed. rev. e ampl. Embrapa, 2013.

SANTOS, I. P. C.; CRUZ, R. C. D.; CARVALHO, K. S. et al. Bioatividade de extratos aquosos da parte aérea de *Poincianella bracteosa* sobre larvas de *Aedes aegypti*. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, GO, v.11, n. 21, p. 2908-2915, 2015.

SANTOS, J. C. B.; SOUZA JÚNIOR; V. S.; CÔRREA, M. M. et al. Caracterização de Neossolos Regolíticos da região semiárida do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 36, n.3, p.683-695, 2012.

SANTOS, J. C. P.; ARAÚJO FILHO, J. C.; BURGOS, N. et al. **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2ª aproximação**. 3. ed. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco, IPA. 2008. p. 05-29.

SANTOS, M. F. A. V.; RIBEIRO, M. R.; SAMPAIO, E. V. S. B. Semelhanças vegetacionais em sete solos da Caatinga. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.27, n. 2, p. 305-314, 1992.

SCHUSTER, C.; FORSTER, M.; KLEINSCHMIT, B. Testing the red edge channel for improving land-use classifications based on high-resolution multi-spectral satellite data. **International Journal of Remote Sensing**, Oxfordshire, UK, v. 33, n. 17, p. 5583-5599, 2012.

SEMENSATTO JÚNIOR, D. L. Aplicação de índices de diversidade em estudos envolvendo associações entre Foraminíferos e tecamebas recentes: uma breve discussão. In: II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa. IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. II Congresso do Quaternário dos Países de Línguas

Ibéricas. Recife, PE. **Anais...**2003. Disponível em:http://www.abequa.org.br/trabalhos/micropaleontologia_14.pdf. Acesso em : 26 dez. 2016.

SHANNON, C. E. A Mathematical Theory of Communication. **The Bell System Technical Journal**, Nova York, EUA, v. 27, n. 3, p. 379–423, 1948.

SILVA, F. C.; CRUZ, M. L. B. Análise da fisionomia da cobertura vegetal em ambientes semiáridos: o caso do município de Jaguaratama, estado do Ceará. **Revista de Geociências do Nordeste**, Caicó, RN, v. 2, n. especial, p. 801-809, 2016.

SILVA, K. A.; ARAÚJO, E. L.; FERRAZ, E. M. N. Estudo florístico do componente herbáceo e relação com solos em áreas de Caatinga do embasamento cristalino e bacia sedimentar, Petrolândia, PE, Brasil. **Acta Botânica Brasilica**, Belo Horizonte, MG, v. 23, n. 1, p. 100-110, 2009.

SILVA, L. G.; GALVÍNIO, J. D. Análise comparativa da variação nos índices NDVI e SAVI no sítio PELD-22 em Petrolina – PE, na primeira década do século XXI. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, PE, v. 5, n. 6, p. 1446-1456, 2012.

SILVA, N. L.; MELO, C. L. S. M. S.; LIMA, R. B. et al. Rebrotas de *Poincianella bracteosa* em área de Caatinga, dois anos após corte raso. In: Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão- JEPEX da UFRPE, 13. Recife, 2013. **Anais...** disponível em: <www.eventosufrpe.com.br/2013/cd/resumos/R1453-1.pdf>

SILVA, E. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; AZEVEDONETO, A. D. et al. Aspectos ecofisiológicos de dez espécies em uma área de caatinga no município de Cabaceiras, Paraíba, Brasil. **Revista Iheringia**. Série Botânica, Porto Alegre, RS, v. 59, n. 2, p. 201-205, 2004.

SILVEIRA, M. M. L.; ARAÚJO, M. S. B.; SAMPAIO, E. V. S. B. Distribuição de fósforo em diferentes ordens de solo do semi-árido da Paraíba e de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 30, n. 2, p. 281-291, 2006.

SIMPSON, E. H. Measurement of diversity. **Nature**, UK, v. 163, n. 4148, p. 688, 1949.

SIMS, D. A.; GAMON, J. A. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. **Remote Sensing of Environment**, Berlim, GER, v. 81, ed. 2-3, p.337-354, 2002.

SIQUEIRA FILHO JA, SANTOS APB, NASCIMENTO MFS, ESPÍRITO SANTO FS. **Guia de campo de árvores da Caatinga**. Petrolina: Franciscana; 2009.

SOUZA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. p. 205-274. (In): NOVAIS, R. F.; V. ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F. et al. (Eds.). **Fertilidade do solo** : Viçosa, MG; SBCS, 2007. 1017p.

STAR, J. L.; ESTES, J. E.; MCGWIRE, K. C. **Integration of geographic information systems and remote sensing**. New York, EUA : Cambridge University Press, 1997, 225p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.

TROVÃO, D. M. B. M.; FREIRE, A. M. ; MELO, J. I. M. Florística e fitossociologia do componente lenhoso da mata ciliar do Riacho de Bodocongó, semiárido paraibano. **Revista Caatinga**, Mossoró, RN, v. 23, n. 2, p. 78-86, 2010.

TROVÃO, D. M. B. M.; FERNANDES, P. D.; ANDRADE, L. A. et al. Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécies da Caatinga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v.11, n.3, p.307-311, 2007.

VELOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PAREYN, F. G. C. **Ecorregiões propostas para o bioma Caatinga. Seminário de Planejamento Ecorregional da Caatinga**. Recife: Associação Plantas do Nordeste; Instituto de Conservação Ambiental The Nature Conservancy do Brasil, 2002, 76f, 60.

VILLARINO, S. H.; STUDDERT, G. A.; BALDASSINI, P. et al. Deforestation impacts on soil organic carbon stocks on the semiarid Chaco region, Argentina. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, NL, v. 575, p. 1056-1065, 2017.

VIÑA, A.; GITELSON, A. A.; NGUY-ROBERTSON, A. L. et al. Comparison of diferente vegetation indices for the remote assessment of green leaf área index of crops. **Remote Sensing of Environment**, Berlim, GER, v. 115, p. 3468-3478, 2011.

WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F.; SANQUETTA, C. R. Estimativa de biomassa e carbono em floresta com araucária utilizando imagens do satélite Ikonos II. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v.19, n. 2, p. 169-181, 2009.

WULDER, M. A.; MASEK, J. G.; COHEN, W. B. et al. Opening the archive: How free data has enabled the science and monitoring promise of Landsat. **Remote Sensing of Environment**, Berlim, GER, v. 122, p. 2-10, 2012.

XU, X.; MA, K.; FU, B.; SONG, C. et al. Relationships between vegetation and soil and topography in a dry warm river valley, SW China. **Catena**, Berlim, GER, v. 75, p.138–145, 2008.

XIE, Y.; SHA, Z.; YU, M. Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review. **Journal of Plant Ecology**, Oxford, UK, v. 1, n.1, p. 9-23, 2008.

ZANDLER, H.; BRENNING, A.; SAMIMI, C. Quantifying dwarf shrub biomass in an arid environment: comparing empirical methods in a high dimensional setting. **Remote Sensing of Environment**, Berlim, GER, v.158, p. 140-155, 2015.