

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
METEOROLOGIA**



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Wanessa Luana de Brito Costa

**Resposta de Índices de Vegetação as Precipitações
em Diferentes Regiões do Estado da Bahia**

Campina Grande, Março de 2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**RESPOSTA DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO AS PRECIPITAÇÕES EM
DIFERENTES REGIÕES DO ESTADO DA BAHIA**

WANEISSA LUANA DE BRITO COSTA

**Campina Grande - PB
MARÇO, 2017**

WANEISSA LUANA DE BRITO COSTA

**RESPOSTA DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO ÀS PRECIPITAÇÕES EM
DIFERENTES REGIÕES DO ESTADO DA BAHIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

Área de concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escala

Linha de pesquisa: Radiação e Sensoriamento Remoto

Orientadora: Profa. Dra. Célia Campos Braga

Campina Grande - PB

Março de 2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

C837r

Costa, Wanessa Luana de Brito.

Resposta de índices de vegetação às precipitações em diferentes regiões do estado da Bahia / Wanessa Luana de Brito Costa. – Campina Grande, 2017.

81 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2017.

"Orientação: Profª. Dra. Célia Campos Braga".

Referências.

I. IVDN. 2. EVI. 3. Precipitação. 4. Tempo de Resposta. I. Braga, Célia Campos. II. Título.

CDU 556.12(043)

WANESSA LUANA DE BRITO COSTA

RESPOSTA DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO AS PRECIPITAÇÕES EM
DIFERENTES REGIÕES DO ESTADO DA BAHIA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 24/03/2017

BANCA EXAMINADORA


Profª. Dra. CÉLIA CAMPOS BRAGA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. BERNARDO BARBOSA DA SILVA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. WEBER ANDRADE GONÇALVES
Centro de Ciências Exatas e da Terra
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Dedicatória

A Deus. Porque dele e por ele, e para ele, são todas as coisas; glória, pois, a Ele eternamente. Amém.

Romanos 11:36

A Nossa Senhora.

Aos meus pais, Veridiana de Brito Costa e João Bosco Alves Costa, a razão da minha existência.
Amo vocês!

Ao meu esposo, Handerson Kênio Cantalice Barros.
Aos meus irmãos Bruna Vaneska de Brito Costa e Jordy Luan de Brito Costa e a minha sobrinha Sophia.

Ofereço e Dedico

Agradecimentos

Primeiramente, a Deus por ter me permitido chegar até aqui, quebrando todos os obstáculos e barreiras, tornando mais um sonho realidade. Toda honra e toda glória sejam dadas a ti Senhor.

A virgem Maria pela sua intercessão.

A minha mãe Verdiana de Brito Costa, minha fortaleza, por seu amor infinito e por toda sua dedicação e paciência. Desde sempre me incentivando e apoiando, nos momentos mais difíceis da minha caminhada, não me deixando desistir em nenhum momento, sempre me ensinando a lutar pelos meus objetivos com garra e humildade.

Ao meu pai, João Bosco Alves Costa, por sempre fazer o melhor por mim, mesmo quando foi difícil, por me ensinar a ser uma pessoa digna através de seus exemplos diários, e por me mostrar que devo lutar pelos meus objetivos.

Ao meu esposo, Handerson Kênio Cantalice Barros, pelo seu amor, paciência, compreensão, apoio e incentivo em todos os momentos.

A minha irmã, Bruna Vaneska e meu irmão Jordy Luan, à minha Sogra Maria de Lourdes Cantalice e a todos os meus familiares.

A minha orientadora, profa. Dra. Célia Campos Braga, por todo apoio concedido, pela paciência, sempre disposta a me ajudar, depositando confiança e incentivo e por todos os seus ensinamentos.

Aos professores Dr. Bernardo Barbosa da Silva e Dr. Weber Andrade Gonçalves que se dispuseram a participar da minha Banca Examinadora, contribuindo de forma valorosa para a conclusão desta pesquisa.

A UFCG e ao Programa de Pós- Graduação em Meteorologia, por me conceder oportunidade de formação. A todos os professores da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, especialmente aos professores Célia, José Ivaldo, Magaly, Regina, Josefina, Carlos, Ênio e

Assis, pela dedicação, ética, profissionalismo e pelos ensinamentos ministrados em sala de aula com zelo e carinho.

A coordenação da Pós Graduação em Meteorologia, aos secretários Divanete, Arilene, Regineide e Danilo, pela atenção e apoio no decorrer do curso.

A minha amiga e companheira de estudo, Adriana de Souza Costa, me acompanhando desde a graduação, por todo apoio, incentivo e ajuda concedida. Às minhas amigas Samara Rilda, Nathielly Lima, Arielly Arethuza e Valneli Silva, por todos os momentos compartilhados até aqui.

Aos meus colegas de curso e companheiros de estudo, Milena Pereira, Maíssa Carvalho, Flaviano Moura, Joelma Vieira e Jordanna Melo, juntos não dividimos apenas conhecimentos, mas sim momentos de alegrias, dificuldades, superação, apoio e companheirismo. A Argemiro Lucena e Milena por todo apoio concedido.

A CAPES pela concessão de bolsa de estudos.

Enfim, a todos que me ajudaram a tornar este sonho realidade, o meu muito obrigada!

*Acredite, é hora de vencer
Essa força vem
De dentro de você
Você pode
Até tocar o céu se crer*

*Acredite que nenhum de nós
Já nasceu com jeito
Pra super-herói
Nossos sonhos
A gente é quem constrói*

*É vencendo os limites
Escalando as fortalezas
Conquistando o impossível
Pela fé*

*Campeão, vencedor
Deus dá asas, faz teu voo
Campeão, vencedor
Essa fé que te torna imbatível
Te mostra o teu valor*

*Acredite que nenhum de nós
Já nasceu com jeito
Pra super-herói
Nossos sonhos
A gente é quem constrói*

*É vencendo os limites
Escalando as fortalezas
Conquistando o impossível
Pela fé*

*Tantos recordes
Você pode quebrar
As barreiras
Você pode ultrapassar
E vencer*

(Jamily)

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO.....	19
2 - OBJETIVOS.....	21
2.1 Objetivo Geral.....	21
2.2 Objetivos Específicos.....	21
3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
3.1. Climatologia da Região Nordeste.....	22
3.2. Características Climáticas do Estado da Bahia.....	23
3.3. Sensoriamento Remoto.....	24
3.4. Sensor MODIS/ Terra/Aqua.....	25
3.5. Índices de Vegetação IVDN e EVI.....	28
3.6. Aplicações da Análise Multivariada.....	32
4 - MATERIAL E MÉTODOS.....	35
4.1. Área de Estudo.....	35
4.2. Dados de Precipitação.....	37
4.3. Dados de IVDN e EVI.....	37
4.4. Metodologia.....	38
4.4.1. Índices de Vegetação IVDN e EVI.....	38
4.4.2. Análise Fatorial em Componentes Principais.....	39
4.4.3. Análise de Agrupamento.....	40
4.4.4. Aplicação da Análise Multivariada a precipitação e índices de Vegetação..	42
5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
5.1. Variabilidade espacial e correlações temporais da precipitação no estado da Bahia.....	44
5.1.1. Análise Temporal da Precipitação.....	44
5.1.2. Análise Temporal do EVI e IVDN.....	47
5.2. Regiões Homogêneas do EVI, IVDN e Precipitações.....	51
5.2.1. Regiões Homogêneas da Precipitação e EVI.....	51
5.2.2. Regiões Homogêneas de Precipitação e IVDN.....	62
6 - CONCLUSÕES.....	74
7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Padrão espacial do total médio da precipitação no estado da Bahia. (Fonte: Santos, 2016)	23
Figura 2.	Localização Geográfica do estado da Bahia. (Fonte: Autor, 2016).	35
Figura 3.a.	Relevo e espacialização das estações/postos pluviométricos para o estado da Bahia. (Fonte: Miranda 2005).	37
Figura 3.b.	Mapa da vegetação do estado da Bahia. (Fonte: IBGE, 1992).	37
Figura 4.	Esquema de aplicação da análise de componentes principais. (Fonte: Souza 2000).	40
Figura 5.	Cargas fatoriais (correlações) para os três primeiros fatores comuns da precipitação que explicam 93,8 % da variância total no estado da Bahia (2001-2015).	46
Figura 6.a.b.c	Padrões espaciais para os três primeiros fatores comuns rotacionados (escores) da precipitação, no estado da Bahia (2001-2015).	47
Figura 7.	Cargas fatoriais rotacionadas (correlações) para os três primeiros fatores comuns que explicam 95,85% e 97,32 % da variância total mensal respectivamente.	49
Figura 7.a.	EVI	49
Figura 7.b.	IVDN	49
Figura 8.	Padrões espaciais dos três primeiros fatores comuns rotacionados (escores) no estado da Bahia.	50
Figura 8.a.b.c	EVI	50
Figura 8.d.e.f	IVDN	50

Figura 9.	Cargas fatoriais rotacionadas (correlações) para os três primeiros fatores comuns temporais, que explicam 89,43% da variância conjunta do EVI e da precipitação no estado da Bahia (2001-2015).	52
Figura 10.a.b.c	Padrões espaciais para os três primeiros fatores comuns rotacionados (escores) do EVI e da precipitação no estado da Bahia (2001-2015).	52
Figura 11.	Regiões homogêneas da resposta do EVI à precipitação, para o estado da Bahia no período de 2001-2015.	53
Figura 12.	Série temporal da precipitação e EVI para a RH1	54
Figura 13.	Série temporal da precipitação e EVI para a RH4	55
Figura 14.	Série temporal da precipitação e EVI para a RH6	56
Figura 15.	Série temporal da precipitação e EVI para a RH2	57
Figura 16.	Série temporal da precipitação e EVI para a RH3	58
Figura 17.	Série temporal da precipitação e EVI para a RH5	59
Figura 18.	Cargas fatoriais rotacionadas (correlações) para os três primeiros fatores comuns temporais, que explicam 89,78 % da variância conjunta do IVDN e da precipitação no estado da Bahia (2001-2015)	63
Figura 19.a.b.c	Padrões espaciais para os três primeiros fatores comuns rotacionados (escores) do IVDN e da precipitação no estado da Bahia	63
Figura 20.	Regiões homogêneas de IVDN e precipitação, para o estado da Bahia.	64
Figura 21.	Série temporal da precipitação e IVDN para a RH1	65
Figura 22.	Série temporal da precipitação e IVDN para a RH2	66

Figura 23.	Série temporal da precipitação e IVDN para a RH6	67
Figura 24.	Série temporal da precipitação e IVDN para a RH3	68
Figura 25.	Série temporal da precipitação e IVDN para a RH4	69
Figura 26.	Série temporal da precipitação e IVDN para a RH5	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Especificações das bandas do sensor MODIS.	26
Tabela 2.	Autovalores e contribuição em (%) da explicação da variância dos fatores não rotacionados e rotacionados da precipitação no estado da Bahia.	45
Tabela 3.	Autovalores e a contribuição (%) da variância mensal dos fatores não rotacionados e rotacionados dos índices de vegetação no estado da Bahia.	48
Tabela 4.	Totais médios mensais da precipitação e médias mensais do EVI para cada região Homogênea do estado da Bahia	60
Tabela 5.	Coefficientes de correlação linear entre EVI e precipitação para cada região homogênea no estado da Bahia (2001-2015)	61
Tabela 6.	Totais médios mensais da precipitação e médias mensais do IVDN para cada região homogênea do estado da Bahia .	71
Tabela 7.	Coefficientes de correlação linear entre IVDN e precipitação para cada região homogênea do estado da Bahia (2001-2015)	72

LISTA DE SIGLAS

AA	Análise de Agrupamentos
ACP	Análise de Componentes Principais
AMSR-E	Advanced Microwave Scanning Radiometer
AMSU	Advanced Microwave Sounding Unit
ANA	Agência Nacional das Águas
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
AVHRR	Administration Advanced Very High Resolution Radiometer
CERES	Clouds and the Earth's Radiant Energy System
CP	Componentes Principais
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
DOL	Distúrbios Ondulatórios de Leste
EN	El Niño
EOS	Earth Observing Systems
EVI	Enhanced Vegetation Index
HDF	Hierarchical Data Format
HSB	Humidity Souder for Brazil
IMG	Imagine
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IVDN	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
IVP	Infravermelho Próximo
KMO	Kaiser-Meyer-Olkin
LANDSAT	Land Remote Sensing Satellite
LI	Linhas de Instabilidade
LN	La Niña
MISR	Multi-angle Imaging Spectro radiometer
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MOPITT	Measurement of Pollution in the Troposphere
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
PNM	Pressão ao Nível do Mar
RH	Região Homogênea

SARVI	Soil Adjusted Vegetation Index
SCM	Sistema Convectivo de Mesoescala
SF	Sistemas Frontais
SQD	Soma dos Quadrados dos Desvios
SR	Sensoriamento Remoto
SUDENE	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
TM	Thematic Mapper
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
V	Vermelho
VCAN	Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

RESUMO

A cobertura vegetal de um determinado local ou região está intimamente relacionada com as condições climáticas e solo predominante, os quais são influenciadas por um conjunto de fatores meteorológicos atuantes na região. Pesquisas vêm sendo desenvolvidas a partir de dados extraídos de imagens de satélites para estimar parâmetros biofísicos da vegetação, visando monitorá-la. Neste contexto, este estudo tem como objetivo analisar a dinâmica da vegetação a partir dos índices de vegetação IVDN (Normalized Difference Vegetation Index) e EVI (Enhanced Vegetation Index), assim como avaliar o tempo de resposta da vegetação em relação às precipitações em sub-regiões do estado da Bahia, no período de 2001-2015. Para isso, empregou-se a técnica da análise multivariada ACP (Análise de Componentes Principais) para obter os padrões de variabilidade espacial e as correlações sazonais das variáveis. Determinou-se as regiões homogêneas dos índices de vegetação e precipitação a partir da análise de agrupamento (AA) hierárquica proposta por Ward. De modo geral, ambos os índices apresentaram regiões homogêneas semelhantes. A discrepância existente entre eles está no fato do EVI levar em consideração a correção atmosférica que otimiza o sinal da vegetação, principalmente em áreas de cobertura mais densa. Os resultados apontaram uma forte dependência dos índices com o regime pluviométrico nas sub-regiões, ou seja, à medida que as chuvas vão diminuindo durante os meses do ano, os valores de EVI e IVDN decrescem em função da resposta da cobertura ao estresse hídrico. As correlações obtidas entre EVI e precipitação indicam que na região homogênea 1 (RH1) as maiores correlações ocorreram no período chuvoso e menos chuvoso, com defasagem de 1 mês. Na RH4 e RH6, que apresentam regime de chuvas mais regulares e cobertura do tipo floresta, são encontradas as menores correlações. Na RH2, RH3 e RH5, onde predomina a Caatinga, o Cerrado e a Caducifólia, as correlações são maiores tanto no período seco quanto no chuvoso, com defasagem de 1 a 2 meses. Para as correlações entre IVDN e precipitação, observa-se que as maiores correlações nas RH1, RH3 e RH5 ocorreram no período chuvoso e menos chuvoso, com defasagem de 1 mês. Na RH2 e RH4 as maiores correlações se encontram no período chuvoso e na RH6 encontra-se as menores correlações, apresentando defasagem de 1 a 2 meses.

Palavras Chave: IVDN, EVI, Precipitação, Tempo de Resposta.

ABSTRACT

The vegetation cover of a given location or region is closely related to the climatic conditions and predominant soil, which are influenced by a set of meteorological factors acting in the region. Researches have been developed from data extracted from satellite images to estimate biophysical parameters of the vegetation, aiming to monitor it. In this context, this study aims to analyze vegetation dynamics from the NVDI (Normalized Difference Vegetation Index) and EVI (Enhanced Vegetation Index) vegetation indexes, as well as to evaluate the response time of vegetation in relation to rainfall in sub- regions of the state of Bahia in the period 2001-2015. For this, the technique of the multivariate analysis ACP (Principal Component Analysis) was used to obtain the patterns of spatial variability and the seasonal correlations of the variables. The homogeneous regions of the vegetation indexes and precipitation were determined from the hierarchical cluster analysis (AA) proposed by Ward. In general, both indices had similar homogeneous regions. The discrepancy between them lies in the fact that EVI takes into account the atmospheric correction that optimizes the sign of vegetation, especially in areas of dense cover. The results showed a strong dependence on the rainfall indexes in the subregions, that is, as rainfall decreases during the months of the year, the values of EVI and NVDI decrease as a function of the coverage response to water stress. The correlations obtained between EVI and precipitation indicate that in the homogeneous region 1 (RH1) the highest correlations occurred in the rainy and less rainy period, with a 1 month lag. In RH4 and RH6, which present a more regular rainfall regime and forest cover, the lowest correlations are found. In RH2, RH3 and RH5, where the Caatinga, Cerrado and Caducifolia predominate, the correlations are higher in both the dry and rainy periods, with a lag of 1 to 2 months. For the correlations between NDVI and precipitation, it is observed that the highest correlations in RH1, RH3 and RH5 occurred in the rainy and less rainy period, With lag of 1 month. In RH2 and RH4 the highest correlations were found in the rainy season and in RH6 the lowest correlations were found, presenting a lag of 1 to 2 months.

Keywords: NVDI, EVI, Precipitation, Response Time.

1 INTRODUÇÃO

Situado ao sul do Nordeste, o estado da Bahia compreende um território de aproximadamente 600.000 Km², correspondendo a 36,41% da área total da região. Com quase 15 milhões de habitantes, é o quarto estado mais populoso do Brasil e o mais populoso do Nordeste, (IBGE, 2015). O clima tropical predomina em quase toda a Bahia, com temperaturas média variando entre 22° e 24°C e índices pluviométricos anuais superiores a 1500 mm no litoral e inferiores a 1000 mm no interior, com a ocorrência de índices ainda mais baixos em determinadas regiões específicas, o que caracteriza a semiaridez encontrada em parte da região do vale do São Francisco (NEVES et al., 2004). O relevo é constituído por planícies, vales, serras e montanhas com altitude entre 800 m e 1200 m, a exemplo da Chapada Diamantina. Sua capital, a cidade de Salvador, é uma das cidades do Nordeste com índices mais elevados de desastres naturais. A topografia da cidade, com encostas íngremes e vales profundos, aliada à ocupação desordenada do solo, torna Salvador vulnerável a impactos adversos causados por chuvas fortes (SANTOS, 2008). O Estado foi selecionado para o estudo por apresentar grande extensão territorial, fisiografia e bioma diversificado, o que lhe proporciona diferentes regimes climáticos. No entanto, a grande variabilidade espacial e temporal das chuvas da Bahia é decorrente da atuação de diferentes sistemas atmosféricos, tais como: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Sistemas Frontais (SF), Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL), Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN), brisas marítimas/terrestres e vale/montanha.

Vale ressaltar que estes apresentam grau de intensidade variável, atuando em diferentes épocas do ano, por serem fortemente influenciados por fenômenos de escala maior (MOLLION E BERNARDO, 2002). A precipitação é uma variável meteorológica complexa e importante que apresenta grande variabilidade espacial e temporal na região tropical. É a variável meteorológica com o maior número de observações, principalmente no Nordeste do Brasil (NEB).

A cobertura vegetal do NEB é caracterizada por diversos padrões morfológicos que dependem da fisiografia e das condições climáticas. A porção semiárida da região destaca-se pela presença da formação de Caatinga arbustiva, densa ou aberta que perde sua folhagem no período de estiagem, tornando a florescer no período chuvoso deixando a paisagem mais verde. Além dessa vegetação, destacam-se as florestas, a vegetação de praias, dunas e restingas, os cerrados, dentre outras (IBGE, 2004). A caatinga abrange toda a região norte, na área da depressão do São Francisco e na Serra do Espinhaço, deixando para o Cerrado apenas a parte ocidental, e para a Floresta Tropical Úmida, o sudeste.

Estudar o bioma baiano é uma tarefa árdua e complexa devido a sua diversidade e ao regime de chuvas do Estado. Portanto, optou-se por utilizar uma técnica que fosse eficaz, de baixo custo operacional capaz de fornecer informações relevantes sobre o bioma associando-o ao regime de chuvas do Estado. Neste contexto, a técnica estatística da análise em multivariada, aplicada a dados de precipitação e de índices de vegetação é de grande valia no tratamento de dados, pois permite a definição de padrões espaciais e temporais das variáveis.

O sensoriamento remoto (SR) permite a obtenção de imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre, a partir de sensores a bordo de satélites meteorológicos. Sua utilização nas análises ambientais vem se tornando uma prática cada vez mais frequente, entre as diversas áreas de pesquisa. Então, visando avaliar o comportamento espacial da cobertura vegetal do estado da Bahia, utilizou-se dados do sensor MODIS/Terra (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), que disponibiliza produtos como os índices de Vegetação, capazes de evidenciar as modificações no estado da cobertura vegetal, utilizando para isso a combinação das bandas no vermelho e infravermelho próximo (ROSENDO, 2005).

Dentre os vários índices de vegetação mais utilizados atualmente encontram-se o EVI (*Enhanced Vegetation Index*) e o IVDN (*Normalized Difference Vegetation Index*) ambos podem ser obtidos a partir de produtos do sensor MODIS. O IVDN é bastante utilizado em diversos estudos sobre a vegetação, por sua fácil composição e por apresentar uma boa relação com a clorofila e outros pigmentos presentes na vegetação, responsáveis pela absorção da radiação solar na faixa do vermelho. Embora extremamente útil na estimativa de parâmetros biofísicos da vegetação, o IVDN apresenta problemas de saturação em áreas densamente vegetadas (FERREIRA et al., 2008). Frente a esta limitação, autores têm proposto a utilização do EVI como alternativa, que nada mais é do que uma variação do IVDN aprimorada, quanto a correções de influências atmosféricas e do solo (RUDORFF et al., 2007).

De modo geral, o clima exerce influência direta na dinâmica do meio ambiente e é dependente das condições de cobertura vegetal (CHRISTOFOLLETTI, 1993). O regime pluviométrico pode alterar o início das fases fenológicas, como o período de crescimento e a distribuição da vegetação. Considerando a importância da vegetação como um todo, o processo de degradação que a mesma vem sofrendo nos últimos anos e a diversidade na distribuição, espaço-temporal, da precipitação e vegetação presentes na Bahia, este estudo busca relações sazonais, entre os índices IVDN e EVI, como também a resposta dos mesmos às precipitações em regiões climáticas do Estado.

2 - OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O proposito deste estudo é analisar a variabilidade espaco temporal do EVI e IVDN utilizando imagens do sensor MODIS/Terra, e associá-las ao regime de chuvas em regiões homogêneas do estado da Bahia.

2.2 . Objetivos Específicos

- Analisar os índices de vegetação IVDN e EVI a partir de imagens obtidas do sensor MODIS/Terra;
- Obter os padrões espaciais e temporais do IVDN, EVI e precipitação a partir da ACP;
- Classificar as regiões homogêneas de IVDN, EVI e precipitação utilizando técnicas da análise de agrupamento;
- Obter o tempo de resposta do IVDN e EVI às precipitações em cada região homogênea;
- Determinar a correlação entre IVDN, EVI e precipitação para cada região homogenêa.

3 REVISÃO DE LITERATURA

O Brasil possui uma ampla diversificação climática, influenciada por sua configuração geográfica, extensão costeira, relevo e pela dinâmica das massas de ar sobre seu território, sendo este último fator de suma importância por atuar diretamente sobre as temperaturas e índices pluviométricos nas diferentes regiões do país. Neste sentido, são identificados no Brasil desde climas superúmidos quentes até climas semiáridos próprios do sertão nordestino (CLIMANÁLISE, 1996). Pode-se dizer que o clima de uma dada região é condicionado por diferentes fatores tais como, temperatura, umidade do ar, precipitação, ventos e pressão atmosférica, estes, por sua vez, podem ser influenciados pela altitude, latitude, pelas condições de relevo e vegetação. De modo geral, o clima de uma região é uma resposta natural a fenômenos oceano-atmosféricos, geografia física, distribuição dos oceanos e continentes, podendo sofrer alterações no decorrer do tempo em consequência de atividades humanas.

3.1. Climatologia da região Nordeste

Devido à variabilidade nas distribuições sazonais da precipitação e topografia o clima da região Nordeste do Brasil não é uniforme, vai desde semiárido até o tropical úmido (costa leste). Essa irregularidade climática faz com que grandes extensões do Nordeste sejam submetidas aos efeitos de severas estiagens, atingindo principalmente as áreas localizadas no chamado Polígono das Secas com precipitação média anual inferior a 800 mm, atingindo valores extremos inferiores a 400 mm em algumas localidades. Por outro lado, em algumas regiões da faixa litorânea leste, os totais médios anuais de precipitação superam os 1800 mm, tendo como exemplo, Ilhéus no estado da Bahia (STRANG, 1972; MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2005).

Segundo Kousky (1980) a região Nordeste do Brasil é caracterizada por cinco tipos de climas: tropical, semiárido, subúmido seco, subúmido e equatorial úmido. O clima tropical ocorre, principalmente, no sul da Bahia, centro do Maranhão e no litoral nordestino. Esse tipo de clima apresenta duas estações bem definidas, sendo uma seca e outra chuvosa. O clima semiárido abrange, especialmente, a região central do Nordeste, que apresenta temperaturas elevadas durante o ano inteiro. As chuvas são irregulares e há ocorrência de estiagem prolongada. O clima equatorial úmido é identificado em uma restrita área da região localizada a oeste do Maranhão, sofre influência do clima

equatorial, com temperaturas elevadas e chuvas abundantes. O clima subúmido seco é observado na transição semiárido tropical entre o subúmido, enquanto que o subúmido encontra-se na transição subúmido seco e o equatorial úmido (SANTOS, 2016).

3.2. Características Climáticas do Estado da Bahia

O clima tropical predomina em quase toda a Bahia, com temperaturas médias variando entre 22° e 24°C. O índice pluviométrico varia de inferiores a 800 mm nas áreas semiáridas a superiores a 1600 mm nas proximidades do litoral (Figura 2) (BRAGA et al., 2006; SANTOS, 2016). Devido a sua posição geográfica o território baiano sofre influência de vários sistemas meteorológicos, tais como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Sistemas Frontais (SF), Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL), Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN), brisas marítimas/terrestres e vale/montanha. Vale ressaltar que estes sistemas meteorológicos apresentam variabilidade no seu grau de intensidade, atuando em diferentes épocas do ano, devido ao fato de serem fortemente influenciados por fenômenos de escala maior, como por exemplo, El Niño/La Niña (EN/LN) e anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Atlântico Tropical (MOLION e BERNADO, 2002).

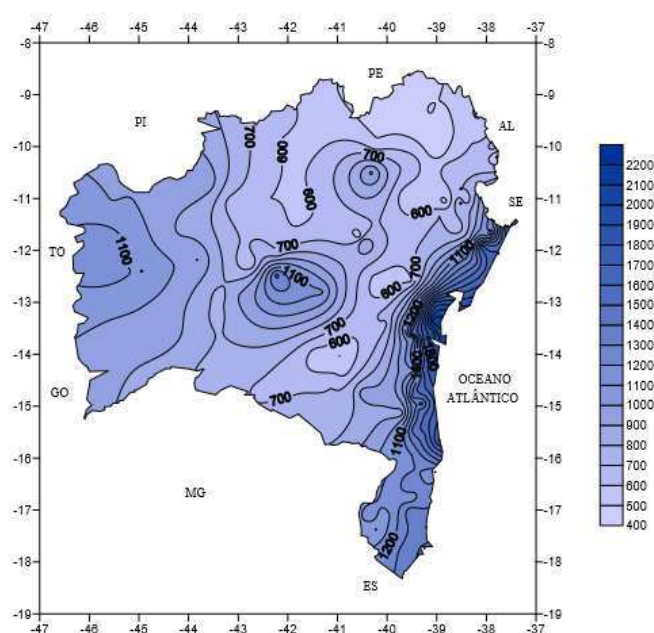


Figura 1. Padrão espacial do total médio da precipitação no estado da Bahia. (Fonte: Santos, 2016)

Na parte Norte do estado destacam-se os meses de dezembro/janeiro, março/abril com os maiores índices de precipitação aos quais podem estar associados o VCAN como também a influência indireta da ZCIT. Em geral durante os meses de março e abril a ZCIT avança para latitudes mais ao sul levando a alta pressão subtropical do Atlântico sul, a migrar para o sul, o que favorece a penetração de umidade no norte da Bahia através dos ventos alísios que sopram do oceano perpendicular à costa de Alagoas, Sergipe e norte da Bahia, produzindo chuvas nestas regiões (SANTOS, 2016).

Na parte central, oeste e sul da Bahia, as chuvas geralmente ocorrem durante os meses de janeiro a março e possivelmente são produzidas devido a sistemas frontais (SF) oriundos do sul do país. Em alguns casos, quando os SF chegam ao norte de Minas Gerais e ao sul da Bahia, associam-se com a convecção da região Amazônica, o que forma uma grande zona de convergência orientada na direção noroeste-sudeste, que se estende da Amazônia até o Atlântico, criando uma faixa de nebulosidade ao qual é denominada de ZCAS (MARTON e SILVA DIAS, 1996).

No litoral sul, divisa com o Espírito Santo até Salvador, as chuvas ocorrem durante o ano inteiro e são produzidas pela atuação de SF, DOL (YAMAZAKI e RAO, 1977; SANTOS, 2016) e brisas marítima/terrestre (FERREIRA e MELLO, 2005). Já no litoral norte, de Salvador até a divisa com o estado de Sergipe, as chuvas ocorrem com maior intensidade nos meses de abril a julho e são influenciadas, principalmente, pelos DOL e por resquícios de SF advectados do Oceano Atlântico.

3.3. Sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto é a ciência e a arte de se obter informação sobre um objeto (alvo), área ou fenômeno através da análise de dados adquiridos por um dispositivo (sensor) que não está em contato direto com o objeto, área ou fenômeno sob investigação (LILLESAND E KIEFER, 1994). É uma técnica antiga, porém somente no final do século passado passou a ser amplamente difundida e utilizada, em virtude do avanço da informática.

É uma das tecnologias mais utilizadas no estudo e pesquisas dos recursos naturais em várias escalas, facilitando a obtenção de informações em lugares de difícil acesso. Atualmente dados obtidos através dessa técnica têm sido amplamente

empregados em estudos que buscam compreender o comportamento dinâmico da vegetação, tornando operacional o sistema de monitoramento da cobertura vegetal. Os satélites proporcionam a capacidade de obtenção de dados multiespectrais e multitemporais sobre os alvos da superfície terrestre.

Com o advento do SR, tornou-se possível o monitoramento espacial e temporal dos diversos biomas que constituem a superfície do nosso planeta e a identificação, em tempo real, de mudanças que venham a ocorrer nos mesmos, resultantes de processos naturais e/ou antrópicos (SANTOS et al., 2014). Na atualidade o sensoriamento remoto vem sendo utilizado para o monitoramento de coberturas vegetais, voltado, principalmente, para seu comportamento espacial e/ou fisiológico, em modelos numéricos de previsão de tempo e clima, etc. As distintas áreas do conhecimento, cujo foco ou objeto de estudo se pautam na observação e análise da vegetação (agronomia, biologia, geociências, meteorologia, silvicultura) vêm cotidianamente utilizando e aprimorando as formas de utilização desses recursos (MOREIRA, 2005; MELESSE et al., 2007; WENG, 2010, AMANAJÁS, 2015).

3.4. Sensor MODIS/ Terra/Aqua

O sensor MODIS, a bordo dos satélites Terra/Aqua, lançado pela National Aeronautics and Space Administration (NASA), faz parte de um programa de coleta de dados sobre o planeta Terra denominado Earth Observing System (EOS). Tem como objetivo o monitoramento das mudanças ocorridas no planeta Terra, além do monitoramento global e contínuo da superfície terrestre diariamente. Esses dois satélites representam um avanço no que diz respeito às tecnologias de monitoramento da superfície terrestre, principalmente no que se refere ao acompanhamento de mudanças ambientais nos continentes, oceanos e na atmosfera (SILVA et al., 2004).

O primeiro satélite a ser lançado foi o Terra, em dezembro de 1999, com vários sensores a bordo: MODIS, MISR, ASTER, CERES e MOPITT, sendo o MODIS o principal sensor, coletando dados a partir de fevereiro de 2000, com horário de passagem às 10:30h (horário local). Este sensor foi projetado para satisfazer as necessidades de informação de três diferentes campos de estudo: atmosfera, oceano e terra, com bandas de resolução espectral e espacial selecionadas para atender diferentes necessidades de observação e para oferecer uma cobertura global quase diária

(JUSTICE et al., 2002). O segundo a ser lançado foi o Aqua, em maio de 2002, portando os sensores MODIS, AMSU, HSB, AMSR-E e CERES com horário de passagem próximo às 13:30hs (ANDERSON et al. 2003; NASCIMENTO, 2012).

Segundo Anderson et al. (2003), uma das metas da NASA era testar novas tecnologias com o sensor MODIS que possui 36 bandas espectrais, com resolução radiométrica de 12 bits. Este sensor apresenta maior número de bandas espectrais que os outros imageadores de baixa e média resolução espacial já lançados. Os 36 canais do sensor MODIS incluem sete bandas de ondas curtas, similares ao LANDSAT/TM, e fornecem cobertura global contínua 1-2 dias (Tabela 1).

Tabela 1 - Especificações das bandas do sensor MODIS

Uso Primário	Banda	Largura da banda (nm / μm)	Radiância Espectral ($\text{W/m}^2 \cdot \mu\text{m} \cdot \text{sr}$)	Resolução Espacial (m)
Superfície terrestre, nuvens e aerossóis	1	620 – 670	21,8	250
	2	841 – 876	24,7	
	3	459 – 479	35,3	500
Propriedades da superfície terrestre, nuvens e aerossóis	4	545 – 565	29	500
	5	1230 - 1250	5,4	
	6	1628 - 1652	7,3	
	7	2105 - 2155	1	
Cor dos Oceanos/Fitoplâncton/Bioquímica	8	405 – 420	44,9	1000
	9	438 – 448	41,9	
	10	483 – 493	32,1	
	11	526 – 536	27,9	
	12	546 – 556	21	
	13	662 – 672	9,5	
	14	673 – 683	8,7	
	15	743 - 753	10,2	
	16	862 - 877	6,2	
Vapor d'água Atmosférico	17	890 - 920	10	

	18	931 - 941	3,6	1000
	19	915 - 965	15	
Temperatura nuvens/superfície	20	3,660 - 3,840	0,45(300K)	1000
	21	3,929 - 3,989	2,38(335K)	
	22	3,929 - 3,989	0,67(300K)	
	23	4,020 - 4,080	0,79(300K)	
Temperatura atmosférica	24	4,433 - 4,498	0,17(250K)	1000
	25	4,482 - 4,549	0,59(275K)	
Nuvens Cirrus	26	1,360 - 1,390	6.00	1000
Vapor D'água	27	6,535 - 6,895	1,16(240K)	1000
	28	7,175 - 7,475	2,18(250K)	
Propriedades das nuvens	29	8,400 - 8,700	9,58(300K)	1000
Ozônio	30	9,580 - 9,880	3,69(250K)	1000
Temperatura nuvens/superfície	31	10,780 - 11,280	9,55(300K)	1000
	32	11,770 - 12,270	8,94(300K)	
Altitude Topo da Nuvem	33	13,185 - 13,485	4,52(260K)	1000
	34	13,485 - 13,785	3,76(250K)	
	35	13,785 - 14,085	3,11(240K)	
	36	14,085 - 14,385	2,08(220K)	

Fonte: <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>

As 36 bandas espectrais deste sensor estão concentradas em função do comprimento de onda, minuciosamente escolhidas para a observação de feições que englobam desde propriedades das nuvens, como a dinâmica e propriedades da vegetação na cobertura terrestre, e a temperatura da superfície dos oceanos (SALOMONSON e TOLL, 1990). O satélite Terra possui órbita polar heliossíncrona de 705 km de altitude e possui 36 bandas espectrais. As primeiras 19 bandas estão posicionadas na região do espectro eletromagnético situado entre 405 nm e 2155 nm, de forma que as bandas 1-7 estão voltadas para as aplicações terrestres; as bandas 8-16 estão voltadas para as

observações oceânicas, as bandas 17-19 para medições atmosféricas e por fim as bandas 20-36, com exceção da banda 26 (1360-1390 nm), que cobrem a porção termal do espectro eletromagnético (3660 nm a 14385 nm) e podem ser utilizadas em diferentes campos das ciências naturais (BARKER et al., 1992).

Uma importante característica do MODIS é que os dados são disponibilizados georreferenciados e corrigidos para efeitos atmosféricos (SANTOS, 2011). É mais vantajoso utilizar o sensor MODIS, por possuir resolução espectral e radiométrica melhorada quando comparada com outros sensores mais antigos como, por exemplo, o NOAA /AVHRR para obter temperatura da superfície, bem como índices de vegetação (NISHIDA et al., 2003).

3.5. Índices de Vegetação IVDN e EVI

Os índices de vegetação são transformações lineares de bandas espectrais, geralmente nas faixas do vermelho (V) e infravermelho próximo (IVP) do espectro eletromagnético. De acordo com Baret et al. (1989), estas duas bandas possuem mais de 90% da variação da resposta espectral da vegetação. Segundo Huete et al. (2002), os índices de vegetação são estabelecidos a designar as propriedades da vegetação e conceder comparações espaciais e temporais confiáveis da atividade fotossintética terrestre e variações na estrutura da copa, além de proporcionar o monitoramento das variações sazonais, interanuais fenológica e parâmetros biofísicos da vegetação a longo prazo.

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada IVDN, do inglês (Normalized Difference Vegetation Index), desenvolvido por Rouse et al. (1973), é um dos índices de vegetação mais utilizados. Seu princípio físico baseia-se na fisiologia espectral das plantas. As plantas verdes e saudáveis absorvem fortemente radiação solar na região do vermelho, para realizar o processo de fotossíntese. Por outro lado, as células das plantas refletem fortemente na região do infravermelho próximo. As porções absorvidas no vermelho e refletidas no infravermelho variam de acordo com as condições das plantas. Quanto mais verdes, nutridas, saudáveis e bem supridas do ponto de vista hídrico for a planta maior será a absorção do vermelho e maior será a reflectância do infravermelho. Deste modo, a diferença entre as reflectâncias das bandas do vermelho e do infravermelho será maior quanto mais verde for a vegetação. Embora extremamente útil na estimativa de parâmetros biofísicos da vegetação, o IVDN

apresenta problemas de saturação em áreas densamente vegetadas (FERREIRA et al., 2008).

Frente a esta limitação, autores têm proposto outros índices, a exemplo do EVI (Enhanced Vegetation Index) como alternativa. O índice de vegetação melhorado EVI sugerido por Huete et al. (1997), obtido através do sensor MODIS a bordo dos satélites Terra e Aqua foi criado no intuito de otimizar o sinal da vegetação, melhorar a sensibilidade em regiões com maior densidade de biomassa, além do monitoramento da vegetação por intermédio de uma ligação do sinal de fundo do dossel e a redução das influências atmosféricas (LATORRE et al., 2003). O EVI responde principalmente às variações estrutural do dossel, como índice de área foliar, tipo e arquitetura do dossel e fisionomia da planta, em comparação com outros índices de vegetação (GAO et al., 2000).

O EVI e o IVDN são bastante semelhantes, ambos são utilizados no monitoramento espaço-temporal da vegetação com a finalidade de estudar padrões da atividade fotossintética em uma consistente base global, podendo ser utilizado para comparar variações sazonais, interanuais e em longo prazo da estrutura da vegetação, fenologia e parâmetros biofísicos, bem como no monitoramento da dinâmica de uso e ocupação das terras (JESUS e MIURA, 2009).

A cobertura vegetal de uma dada localidade está relacionada ao tipo de clima e de solo predominante nessa região que pode ser influenciada por um conjunto de fatores tais como: clima, relevo, solo e suas características associadas. Portanto vários estudos vêm sendo realizados para estimar variáveis biofísicas, através de imagens de satélite mais precisamente através dos índices de vegetação (CHEN et al., 2004; ASSIS e OMASA, 2007; BAKR et al., 2010).

Nicholson & Farrar (1994) analisaram a variabilidade espacial e temporal do IVDN e sua relação direta com a chuva e umidade do solo. Os autores utilizaram dados mensais de precipitação e IVDN para o período de janeiro de 1982 a dezembro de 1987, correspondente a 26 estações, para cada estação utilizada foi atribuído um tipo de solo. O estudo revelou uma relação linear entre chuva e o IVDN, até certo limite de precipitação, não excedendo 500 mm ao ano, ou 50 a 100 mm ao mês. Logo concluíram que acima desses limites, a eficiência do aumento da vegetação com respeito à chuva é mais influenciada pelo tipo de solo do que pela comunidade vegetal presente, sendo, então, o solo um fator dominante para o crescimento da vegetação.

Huete et al. (1997) realizaram um estudo comparando diversos índices de vegetação, com dados globais processados através do EOS-MODIS, onde compararam as diferenças e similaridades quanto as condições de sensibilidade para vários tipos de vegetação entre vários índices espectrais. Todos os índices apresentaram uma relação qualitativa aos diversos tipos de vegetação. Porém, existe uma variação mais significativa dos índices de vegetação sobre o deserto, floresta e pastagem. O IVDN foi sensível respondendo a reflectância na banda do vermelho que possui alta absorvidade, já os demais índices a exemplo do SARVI responderam melhor as variações no infravermelho próximo. O IVDN seguiu variações na reflectância do vermelho e saturou sobre regiões florestais enquanto o SARVI pelo contraste, não saturou e seguiu as reflectâncias no infravermelho próximo. As diferenças encontradas do IVDN são úteis para melhorar o monitoramento da vegetação e sensibilidade da fração da radiação fotossinteticamente ativa absorvida.

Braga et al. (2006) utilizaram séries temporais do IVDN a partir de imagens NOAA período de 1982-1999, para estimar a fração de vegetação no leste da Bahia. Os autores concluíram que na década de 1990 houve uma queda considerável da vegetação na região do estudo.

Liesenberg et al. (2007) utilizaram composições de 16 dias de IVDN e EVI do sensor MODIS/ Terra e Aqua, para caracterizar a dinâmica sazonal no ano de 2004, de cinco fitofisionomias do Cerrado em uma área de estudo localizada nos estados de Minas Gerais e Bahia. Os resultados indicaram que: dentre as fitofisionomias estudadas, a Floresta Estacional Decídua apresentou uma dinâmica sazonal muito marcante em função da perda de folhas da estação chuvosa para a seca e do rápido desenvolvimento (reverdecer) com o início da precipitação no final de outubro; o IVDN mostrou maior variabilidade entre as classes de vegetação do que o EVI apenas na estação seca; a discriminação entre as fitofisionomias melhorou da estação chuvosa para a seca; o IVDN foi mais eficiente do que o EVI para discriminar as classes de vegetação na estação seca, ocorrendo o contrário na estação chuvosa e na maioria das datas selecionadas para o estudo, não houve diferenças estatisticamente significativas entre os índices de vegetação gerados de ambas as plataformas.

Risso et al. (2009) fizeram uma análise comparativa dos produtos EVI e IVDN das imagens MODIS afim de avaliarem o desempenho dos índices na identificação de áreas de soja no estado do Mato Grosso. Os resultados mostraram que o IVDN foi mais eficiente durante o período de entressafra, mais especificamente durante a fase de pré-

plantio. Já, durante o período de safra, a separabilidade entre os alvos mostrou-se mais evidente para o EVI, particularmente no período de máximo desenvolvimento da soja.

Formigone et al. (2011) avaliaram o comportamento temporal do índice de vegetação melhorado (EVI) do sensor MODIS para diferentes tipos de vegetação do Nordeste brasileiro no período de fevereiro de 2000 a julho de 2006. Os resultados obtidos mostraram que: os dados de EVI foram sensíveis aos diferentes tipos de vegetação; a vegetação Amazônica apresentou a menor variação multitemporal dos valores de EVI, porém apresentando os valores mais elevados; a vegetação de Caatinga analisada apresentou a maior variação dos valores de EVI.

Galina et al. (2014) realizaram um estudo com o intuito de estabelecer uma análise comparativa entre os produtos EVI e IVDN das imagens MODIS e o crescimento das áreas destinadas à agricultura no estado de Sergipe para o período de 2003 a 2012. Os autores verificaram que os menores valores obtidos pelos índices de vegetação analisados foram referentes à época de estiagem, quando o solo encontra-se exposto. Eles concluíram que o vigor da biomassa da vegetação é fortemente influenciado pela variabilidade espacial da distribuição da precipitação pluvial.

Costa et al. (2015) estudaram as relações entre dados de EVI, precipitação e temperatura para o estado do Rio Grande do Sul. Os autores utilizaram dados mensais de EVI oriundos do sensor MODIS para 12 anos de 2000 a 2013. Mapas de precipitação e temperatura foram comparados com o EVI, por meio de tabulação cruzada. Os resultados indicam que os valores de precipitação e temperatura exercem influências sobre os dados de EVI; As relações existentes entre precipitação, temperatura e índices de vegetação, oferecem a possibilidade de monitoramento destas variáveis para estudos de efeitos eventuais de mudanças climáticas.

Recentemente Dantas et al. (2016) analisaram os padrões temporais de precipitação e IVDN para o estado de Pernambuco. Foram utilizados série de dados mensais de precipitação e IVDN obtidos através do sensor MODIS/ Terra, com resolução espacial de 1 km, para o período de 2003 a 2013. Os autores observaram que o índice de vegetação é proporcional à quantidade de chuva da região e que leva um tempo após a chuva para se desenvolver.

3.6. Aplicações da Análise Multivariada

De um modo geral, a análise multivariada consiste em métodos estatísticos que analisam simultaneamente múltiplas medidas em cada indivíduo ou objeto sob investigação. Através de métodos da análise multivariada é possível levantar questões específicas e precisas de considerável complexidade em cenários naturais, o que viabiliza a condução de pesquisas importantes. Pesquisadores de todo mundo vêm aplicando esta técnica com diferentes finalidades, mostrando a sua eficiência ao se trabalhar com grandes amostras de dados.

A análise de componentes principais (ACP), desenvolvida por Karl Pearson (1901), consiste essencialmente em reescrever as coordenadas de uma amostra em um novo sistema de eixo mais conveniente para a análise dos dados. Ou seja, reduzir a complexidade existente nos dados e ao mesmo tempo o número de variáveis que necessariamente devam ser consideradas. Esta técnica tem sido aplicada com frequência a séries de variáveis meteorológicas, para identificar e classificar padrões espaciais e temporais, a fim de interpretar fenômenos de interesse de maneira mais clara e simplificada (ARAÚJO, 2005).

A Análise de Agrupamento (AA) é um método que consiste em dividir um sistema multidimensional em grupos, em cada um dos quais se reúnem os indivíduos que apresentam maior similaridade entre si e dissimilaridade entre grupos (WILKS, 2006).

Eastman e Fulk (1993) aplicaram ACP para analisar condições ambientais da África a partir de dados de IVDN. A primeira componente principal explicou as características do IVDN independentemente da estação do ano. A segunda, terceira e quarta componente relacionaram as mudanças sazonais do IVDN. Os resultados obtidos mostraram que a técnica da ACP pode ser um indicador de mudanças em séries temporais, cujos valores são influenciados por eventos periódicos ou não periódicos.

Gong & Richman (1995) aplicaram diversos métodos da análise de agrupamentos a dados de precipitação pluvial na região central e leste da América do Norte, com o objetivo de fazer uma comparação entre eles. De acordo com os autores, dos métodos hierárquicos e não hierárquicos utilizados, os métodos de Ward e K-means alcançaram melhores níveis de precisão.

Braga et al. (1998) utilizaram análise de agrupamentos a dados de precipitação para sub-regionalizar o estado da Bahia. Que foi dividido em nove sub-regiões

homogêneas. Os autores concluíram que os grupos encontrados correspondiam ao regime de chuvas e apontaram a influência de sistemas atmosféricos em várias escalas de tempo para cada região.

Braga et al. (2009) empregaram análise de agrupamento através do método aglomerativo K-means de MacQueen a séries temporais de IVDN AVHRR/NOAA obtidas em um período de 20 anos, com o objetivo de determinar regiões homogêneas no estado de Pernambuco. Os autores encontraram três regiões, com diferentes tipos de vegetação (Caatinga, Agreste e Mata Atlântica). Eles concluíram que nem sempre os valores máximos e mínimos médios anuais do IVDN coincidem com anos nas diferentes sub-regiões.

Lima et al. (2010) utilizaram o método de Análise de Componentes Principais e Agrupamento, para avaliar a velocidade média do vento em 28 locais nos estados do Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte, para o período de 1977-1981. Os resultados mostraram que a classificação da velocidade média mensal do vento usando o método de agrupamento de Ward delimitou a região em seis grupos homogêneos, indicando assim possíveis sítios com capacidade de geração de energia eólica.

Richman e Adrianto (2010) reduziram e regionalizaram um conjunto de dados de Pressão ao Nível do Mar (PNM) da América do Norte e Europa utilizando as técnicas de Análises de Componentes Principais e Agrupamento, respectivamente. O agrupamento não hierárquico k-means mostrou-se mais preciso em relação aos métodos hierárquicos.

Amanajás e Braga (2012) empregaram o método da ACP para obter padrões climatológicos da precipitação na Amazônia Oriental e relacioná-los com os principais mecanismos climáticos dos Oceanos Pacífico e Atlântico Tropical. Os resultados encontrados apontaram a existência de três padrões pluviométricos bem definidos que explicaram aproximadamente 92% da variância total dos dados. O padrão dominante definiu áreas de chuva que são influenciadas pela atuação da ZCIT. O segundo padrão espacial está relacionado a eventos de mesoescala, que favorecem as chuvas na região nos meses de maio a agosto. Já o terceiro padrão espacial evidencia a influência da atuação da ZCAS, sistema atuante no final da primavera e início do verão, bem como sistemas de escala local.

Nascimento (2014) aplicou ACP e AA ao índice de precipitação normalizada para identificar regiões de eventos máximos e mínimos de precipitação no estado do Maranhão. Os resultados mostraram que a maior incidência de secas ocorreu no Sul e as

maiores de precipitação foram registradas no norte do estado. O autor concluiu que na região norte, o principal indutor de chuvas é a ZCIT, juntamente com as LI, VCAN e DOL e no Sul a influência da ZCAS e dos SF são evidentes.

Jones et al. (2014) também utilizaram a ACP para apresentar uma representação das regiões que descrevem especificamente as características espaciais e temporais de precipitações extremas no Reino Unido.

Recentemente, Sousa et al. (2015) analisaram a variabilidade espacial e temporal dos dados de razão de mistura do ar no estado de Minas Gerais. O emprego da ACP mostrou a existência de dois padrões dominantes da razão de mistura que explicaram aproximadamente 98% da variância total dos dados. O primeiro fator mostrou altas correlações da razão de mistura nos meses de outubro a março, na parte oeste do estado, podem estar associados à atuação de ZCAS, frentes e aspectos orográficos que, por sua vez, são geradores de chuvas na região. O segundo fator mostrou que as maiores contribuições ocorreram no inverno e está relacionado à baixa umidade provocada pelo deslocamento do Anticiclone Tropical na direção do continente, situando-se sobre o estado de Minas Gerais.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Área de Estudo

O estado da Bahia faz parte dos estados que compõem a região Nordeste do Brasil, formado por 417 municípios, com uma população de 15.203.934 habitantes (IBGE, 2016). Tem como capital a cidade de Salvador, que apresenta o maior número de desastres naturais associados a chuvas intensas no litoral da região Nordeste (Santos, 2008). Faz fronteira ao sul com os estados do Espírito Santo e Minas Gerais, a oeste Tocantins e Goiás, ao norte Piauí e Pernambuco, a nordeste Alagoas e Sergipe e a leste é banhado pelo oceano Atlântico (Figura 2). O Estado possui a maior extensão litorânea do Brasil, tendo cerca de 900 km banhados pelo oceano Atlântico. A topografia e a migração de diferentes sistemas atmosféricos dão lugar a uma grande variabilidade espaço-temporal das chuvas e da temperatura sobre o Estado. A temperatura média anual do ar é superior a 25°C na parte norte e inferior a 22°C nas regiões mais elevadas do planalto baiano, na Serra do Espinhaço e na Chapada da Diamantina são inferiores a 20°C (INMET, 2015).

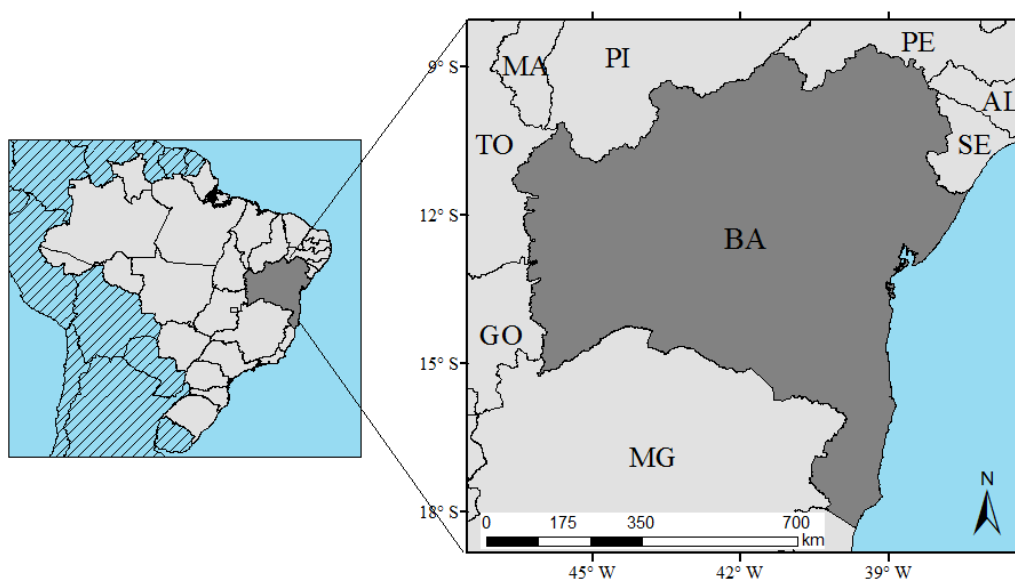


Figura 2. Localização geográfica do estado da Bahia. (Fonte: Autor, 2016).

A Bahia possui um relevo constituído por planícies, vales, serras e montanhas com altitude entre 800 m e 1200 m, a exemplo tem-se a Chapada da Diamantina, que representa com maior expressividade o efeito orográfico do Estado, afetando as circulações no sentido do litoral para o interior, que expressam o contraste dos parâmetros de umidade e vegetação de suas vertentes (Figura 3a). Enquanto que a vertente oriental retém mais umidade, a ocidental traz as características do semiárido. O clima tropical predomina em quase toda a Bahia, com temperaturas médias variando entre 22° e 24° C. Em regiões como o sertão, há predominância do clima semiárido. Os índices pluviométricos caracterizam duas regiões distintas: o litoral apresentando índices anuais de aproximadamente 1500 mm, enquanto no interior o índice é inferior a 1000 mm, com a ocorrência de índices ainda mais baixos em determinados locais específicos, o que caracteriza a semiaridez encontrada em parte da região do vale do São Francisco (NEVES et al., 2004).

A vegetação de uma determinada região depende do clima presente, da qualidade do solo, quantidade de minerais, dentre outros aspectos. A Bahia tem uma cobertura vegetal bastante diversificada que vai desde a Caatinga em toda a região norte, depressão do São Francisco e a serra do Espinhaço, deixando para o Cerrado apenas a parte ocidental e para a região sul e sudeste a Floresta Atlântica. As demais regiões do estado possuem Atividades Agrícolas, Contatos entre tipos de Vegetação, Mata Caducifólia e um pequeno núcleo de Campos de Altitude (Figura 3b).

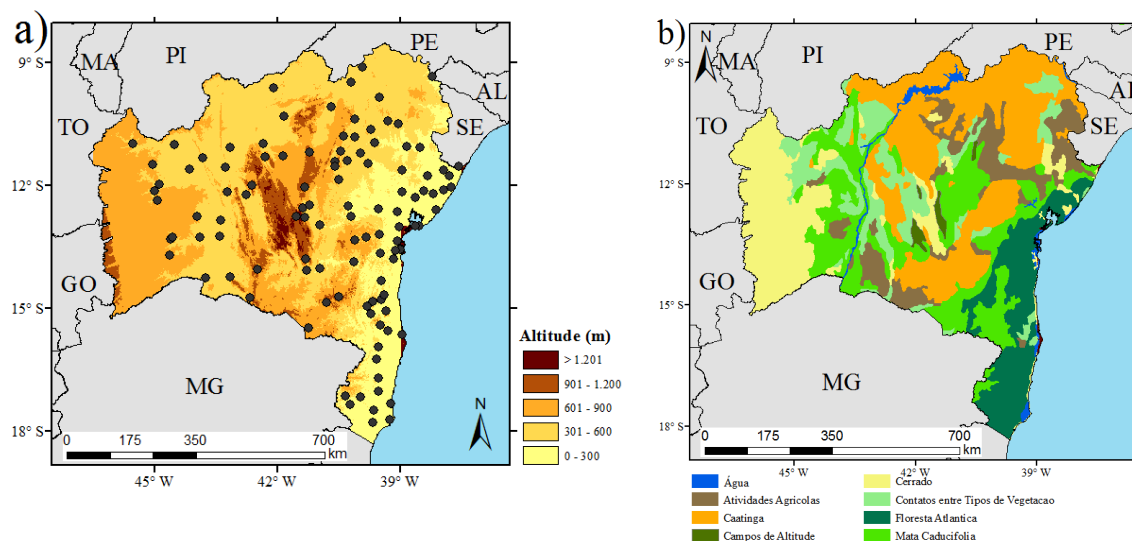


Figura 3. (a) Relevo e espacialização das estações/postos pluviométricos para o estado da Bahia. (Fonte: MIRANDA, 2005), (b) Mapa da vegetação do estado da Bahia. (Fonte: IBGE, 1992).

4.2. Dados de Precipitação

Foram utilizados dados de precipitação mensal para o período de 2001-2015 (período comum de observações entre as variáveis em estudo) provenientes de 112 estações/postos pluviométricos distribuídas ao longo do estado da Bahia. Os mesmos foram obtidos da Agência Nacional das Águas (ANA) disponíveis no site *HidroWeb*. O conjunto de dados fazem parte de outros centros de operação, como, Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS).

4.3. Dados de IVDN e EVI

As imagens mensais de IVDN e EVI foram extraídas a partir do sensor MODIS/Terra, especificamente o produto MOD13A3, com resolução espacial de 1km, para o período de janeiro de 2001 a dezembro de 2015, obtidas através do site

REVERB/ECHO no endereço <http://reverb.echo.nasa.gov/>. Estes produtos encontram-se no formato HDF (*Hierarchical Data Format*) e foram convertidos para o formato IMG. Tais produtos encontram-se arranjados em mosaicos denominados “tiles”. O estado da Bahia devido a sua grande extensão encontra-se localizado nos tiles h13v09, h13v10, h14v09, h14v10. Todos os produtos do MODIS já estão calibrados e corrigidos atmosféricamente antes de serem cedidos aos centros de distribuição.

4.4. METODOLOGIA

4.4.1. Índices de Vegetação IVDN e EVI

Dentre os muitos índices de vegetação existentes o IVDN e o EVI podem ser relacionados como uns dos mais utilizados atualmente para estudar o vigor da vegetação. Ambos podem ser obtidos a partir de produtos do sensor MODIS.

O cálculo do IVDN é determinado a partir da proporção entre as refletâncias do canal visível e infravermelho próximo expressado por:

$$IVDN = \frac{(IV - VIS)}{(IV + VIS)} \quad (1)$$

em que: IV e VIS são as medidas da refletância nas bandas espectrais do infravermelho próximo (0,725 – 1,10 µm) e do visível (0,58 – 0,68 µm). O IVDN reflete a intensidade do estresse hídrico, podendo variar de -1 a 1.

O cálculo do EVI é dado pela equação abaixo:

$$EVI = G \frac{\rho_{IVP} - \rho_{Ver}}{L + \rho_{IVP} + C_1 \rho_{Ver} - C_2 \rho_{azul}} \quad (2)$$

em que: G = fator de ganho (2,5); ρ_{IVP} = refletância no infravermelho próximo; ρ_{Ver} = refletância no vermelho; ρ_{azul} = refletância no azul; C1 = coeficiente de ajuste para efeito de aerossóis da atmosfera para a banda do vermelho (6); C2 = coeficiente de ajuste para efeito de aerossóis da atmosfera para a banda do azul (7,5); L = fator de correção para a interferência do solo. Portanto, a introdução do espectro do azul na

equação original, somada as constantes desenvolvidas, tornou o índice sensível à discriminação de variações estruturais na vegetação de áreas densamente vegetadas (HUETE *et al.*, 2002). Teoricamente esse índice varia de 0 (referente à vegetação sem folha ou solo exposto) a 1,0 (relativo à vegetação com folhas, sem restrições hídricas e na plenitude de suas funções metabólicas e fisiológicas).

4.4.2. Análise Fatorial em Componentes Principais

A análise de componentes principais (ACP) é considerada um método fatorial bastante utilizado, onde se trabalha com um grande número de variáveis, podendo reduzi-las a partir da maximização da variância explicada do conjunto de dados em estudo. Esta redução é feita transformando-se o conjunto de variáveis originais em um novo conjunto de variáveis mantendo ao máximo, a variabilidade do conjunto (SOUZA, 2000). Em outras palavras, as p-variáveis originais geram, através de suas combinações lineares, p-componentes principais, cuja principal característica, além da ortogonalidade, é que são obtidos em ordem decrescente de máxima variância, ou seja, a componente principal 1 detém mais informação estatística que a componente principal 2, que por sua vez tem mais informação estatística que a componente principal 3 e assim por diante.

Para a determinação das componentes principais, faz-se necessário calcular a matriz de variância-covariância (Σ) ou a matriz de correlação (R), encontrar os autovalores e os autovetores e, por fim, escrever as combinações lineares que serão as novas variáveis, denominadas de componentes principais. O esquema descrito na Figura 4 apresenta uma sequência para a extração de componentes principais.

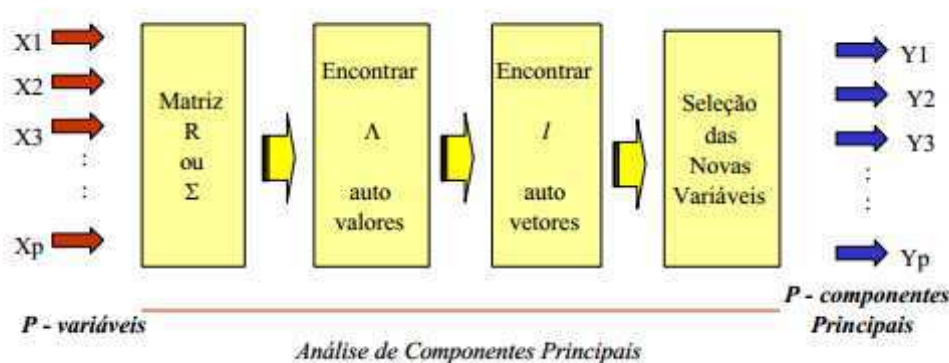


Figura 4: Esquema de aplicação da análise de componentes principais. (Fonte: SOUZA, 2000)

Existem dois tipos de ACP utilizados para analisar as variáveis observadas, tanto no tempo (Modo-T) quanto no espaço (Modo-S). O Modo-T, pode ser aplicado para criar agrupamentos de variáveis e classificar seus campos atmosféricos espaciais. Segundo Richman (1983) o Modo-T é uma ferramenta muito útil para sintetizar e reproduzir padrões de circulações, quantificando sua frequência e mostrando os períodos de tempo neles dominantes. O Modo-S está relacionado com a análise de séries temporais correspondentes a pontos no espaço. Isto quer dizer que a variável estatística em análise corresponde a séries temporais de uma variável meteorológica que pode ser considerada contínua no espaço e no tempo.

O resultado da análise fornece dois parâmetros: as cargas fatoriais (correlações), que compreendem os autovetores da matriz de ACP e fornece a principal direção da variação dos dados, ou seja, o modo principal como os dados variam no espaço e os escores ou Componentes Principais (CP), que indicam a variação temporal dos dados para cada modo.

4.4.3. Análise de Agrupamento (AA)

A Análise de Agrupamento (AA) tem por objetivo a classificação de objetos ou indivíduos de uma população que apresentem características semelhantes. Isto é, classificar uma amostra de dados em um pequeno número de grupos mutuamente excludentes, com base nas similaridades existentes entre eles. Existem dois tipos de métodos ou algoritmos de classificação de grupos. O primeiro é o método hierárquico

que interliga as amostras por suas associações, produzindo uma representação gráfica apresentada sobre a forma de uma árvore de classificação chamada (dendrograma), onde as amostras semelhantes, segundo as variáveis escolhidas, são agrupadas entre si. A suposição básica de sua interpretação é que quanto menor a distância entre os pontos, maior a semelhança entre as amostras (NETO e MOITA, 1998). Dentre as várias técnicas hierárquicas de agrupamento, os métodos mais utilizados são: Ligação Simples ou Agrupamento de mínima distância; Ligação Completa ou Agrupamento de máxima distância; Ligação Média; Método Centróide e Método de Ward (EVERITT, 1993; GONG & RICHMAN, 1995; WILKS, 2006). O segundo é o método não hierárquico destina-se ao agrupamento de dados com grande densidade, para uma classificação simples de k classes, onde k é especificado a priori. Os mais conhecidos são o Método aglomerativo de K-means de MacQueen e o das Nuvens Dinâmicas (GONG & RICHMAN, 1995; WILKS, 2006).

Neste estudo, optou-se pelo agrupamento hierárquico de Ward (1963) por apresentar melhor ajuste dos dados ao regime de chuvas na região. Este utiliza como critério de agrupamento a inércia entre grupos, que é medida pela Soma dos Quadrados dos Desvios (SQD) de cada ponto a média do grupo ao qual pertence (Equação 3). Na Análise de Agrupamento todos os processos de hierarquização são similares, começando pela determinação da matriz de distância entre os indivíduos. A partir da matriz de distância, procede-se a classificação dos indivíduos em grupos homogêneos.

$$SQD = \sum_{i=1}^n Xi^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n xi \right)^2 \quad (3)$$

Xi é o número de indivíduos pertencentes ao i-ésimo grupo.

A distância utilizada para medir a similaridade ou dissimilaridade entre os indivíduos foi à distância euclidiana expressada por:

$$d(S_i, S_j) = [\sum_{q=1}^n P_i (S_{qi} - S_{qj})^2]^{1/2} \quad (4)$$

4.4.4. Aplicação da Análise multivariada a Precipitação e Índices de Vegetação

Para a análise temporal da precipitação (Modo-T) organizou-se uma matriz de dados M ($m \times k$), onde as m linhas correspondem as 112 estações/postos pluviométricos e as k colunas correspondem às médias mensais. Aplicou-se a ACP utilizando a rotação ortogonal Varimax, que calcula as novas componentes a partir da maximização da variância, onde as componentes originais passaram a ser rotacionadas através da redistribuição dos pesos entre as *CPs*. Com este procedimento, a concentração dos dados é feita pela máxima variância e não pela característica normalizada da série temporal como ocorre no caso das *CPs* não rotacionadas (RICHTMAN, 1986; WILKS, 2006). Foram retidos os fatores comuns mais significativos segundo o critério de truncamento de Kaiser, que considera como mais significativos os autovalores, cujos valores sejam superiores a unidade (WILKS, 2006). Em seguida elaborou-se mapas dos padrões espaciais e séries temporais associados aos principais fatores selecionados da precipitação. Os mesmos procedimentos utilizados para precipitação foram adotados para o IVDN e EVI. Para o caso dos índices isolados utilizaram-se pontos de grade mensais de 15 anos de dados (2001-2015). Devido à grande quantidade de pontos para este caso as imagens foram reduzidas para uma resolução espacial de aproximadamente 30km. Logo montou-se uma matriz M ($n \times p$), onde as n linhas correspondem a 710 pontos de grade dos índices (EVI e IVDN) e as p colunas as médias mensais.

Em seguida fez-se análise conjunta entre os índices de vegetação e a precipitação para avaliar a resposta dos diferentes tipos de vegetação às precipitações. Inicialmente, foi necessário georreferenciar as informações de IVDN e EVI entre pixels próximos e precipitação para a mesma posição geográfica, no caso pixels de uma imagem e dados pontuais de postos pluviométricos a partir das coordenadas geográficas (latitude e longitude). Montou-se uma matriz M ($p \times q$), onde as p linhas correspondem as 112 estações/pontos de IVDN e EVI e as q colunas correspondem às 24 variáveis, ou seja, 12 médias mensais da precipitação e 12 médias de IVDN e EVI para o período de 2001-2015. A análise foi feita separadamente para cada índice sendo IVDN x Precipitação e EVI x Precipitação com o intuito de comparar o desempenho de ambos. Calculou-se os fatores comuns temporais (correlações) conjuntas de precipitação e índices de vegetação e por fim confeccionou-se mapas das distribuições espaciais das *CPs* mais significativas, selecionadas de acordo com o critério de Kaiser.

A determinação de regiões homogêneas de IVDN, EVI e precipitação foram geradas a partir dos três fatores comuns temporais (escores) mais significativos. Montou-se uma matriz $F (n \times p)$, onde cada n linha da matriz corresponde a 112 pontos de grade e estações/postos e as p colunas da matriz correspondem aos fatores comuns temporais. Dos métodos hierárquicos aglomerativo testados, optou-se pelo método de Ward (1963) por melhor se ajustar aos dados. Após a identificação dos grupos (regiões homogêneas), foi feita a análise descritiva, ou seja, calcularam-se as médias, os desvios padrões e os máximos e mínimos das variáveis originais (IVDN, EVI e Precipitação), objetivando analisar as características climáticas e vegetativas de cada região homogênea. E por fim organizou-se uma tabela dos respectivos parâmetros e correlações, visando encontrar o tempo de resposta da vegetação às precipitações nas diferentes regiões. A análise foi empregada separadamente para cada índice sendo IVDN x Precipitação e EVI x Precipitação.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Variabilidade espacial e correlações temporais da precipitação no estado da Bahia

Na primeira etapa do estudo foram analisados e discutidos os padrões espaciais e temporais da precipitação a partir de séries mensais de 112 estações/postos pluviométricos e de índices de vegetação (IVDN e EVI) obtidos de imagens do sensor MODIS satélite Terra com resolução espacial de aproximadamente 30 km. Na segunda etapa fez-se a análise conjunta entre precipitação e índices de vegetação, afim de se obter o tempo de resposta dos diferentes tipos de cobertura vegetal em relação às precipitações, em regiões homogêneas previamente determinadas no Estado para o período em estudo.

5.1.1. Análise Temporal da Precipitação

A aplicação da ACP as médias mensais da precipitação resultaram na seleção das três primeiras componentes principais que explicaram 93,8% da variância total dos dados. A seleção dos fatores baseou-se no critério de truncamento de Kaiser, que retém os autovalores maiores que a unidade, considerando um nível de confiabilidade de 95% e ($KMO = 0,88$). Na Tabela 2 são apresentados os autovalores e as variâncias explicadas e acumuladas para as três primeiras CPs não rotacionadas e rotacionadas da precipitação mensal. Optou-se pelo modo rotacionado dos fatores, por apresentar melhor coerência espacial-temporal do regime pluviométrico da Bahia.

Tabela 2: Autovalores e contribuição em (%) da explicação da variância dos fatores não rotacionados e rotacionados da precipitação no estado da Bahia

CP	Fatores não Rotacionados			Fatores Rotacionados		
	Autovalor	Variância Explicada (%)	Variância Acumulada (%)	Autovalor	Variância Explicada (%)	Variância Acumulada (%)
1	6,48	54,01	54,01	6,25	52,11	52,11
2	4,22	35,17	89,18	2,70	22,49	74,60
3	0,55	4,62	93,80	2,30	19,21	93,80
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
12	12	100	100	12	12	100

As correlações temporais mensais associadas aos três primeiros fatores são mostradas na Figura 5. O primeiro fator comum que explica 52,11% da variância total dos dados apresenta correlações elevadas superiores a 0,9 nos meses de abril a setembro. A distribuição espacial associada a este fator (Figura 6a) indica que as maiores contribuições (pesos) superiores a 1 encontram-se na faixa litorânea. À medida que se distancia do leste as contribuições diminuem gradativamente na direção oeste. Conforme a literatura este padrão indica possível associação das chuvas influenciadas pelos DOL (MOLION e BERNARDO, 2002, SANTOS, 2016).

O segundo fator que explica 22,49% da variância total da série de precipitação, tem correlações superiores a 0,6 nos meses de outubro a dezembro (Figura 5). O padrão espacial deste fator tem contribuições superiores a 1, desde o sul até o oeste do Estado. E contribuições negativas inferiores a -1 nas regiões norte e nordeste (Figura 6b). Este fator evidencia o período de chuvas que pode estar associado a atuação de sistemas frontais e ZCAS predominantes na região sul e oeste nos meses de outubro a janeiro (BRAGA, 2000; COSTA, 2016).

O terceiro fator que explica 19,21% da variância total, tem maiores correlações ($r > 0,6$) nos meses de janeiro a março (Figura 5). O padrão associado a este fator não está bem definido, mais ainda enfatiza a atuação de sistemas que provocam chuvas com contribuições elevada no extremo oeste e noroeste e alguns núcleos em diferentes

regiões do Estado, as menores contribuições encontram-se nas regiões sul e sudoeste (Chapada Diamantina) e central do nordeste (divisa com Sergipe). As chuvas nessas regiões podem estar associadas a atuação de vários sistemas meteorológicos tais como, ZCAS, VCAN e SF (REBOITA et al., 2010; DOURADO et al., 2013; SANTOS, 2016). Vale ressaltar que além dos sistemas mencionados, pode existir a influência de Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM). Esses resultados se assemelham aos encontrados por Santos (2016), que utilizou a técnica das Ondeletas, para estudar a variabilidade da precipitação em escalas de tempo/frequência para um longo período de tempo, com isso, reforça-se que embora tenha sido utilizado um curto período de tempo de precipitação foi possível detectar com clareza o regime de chuvas no Estado.

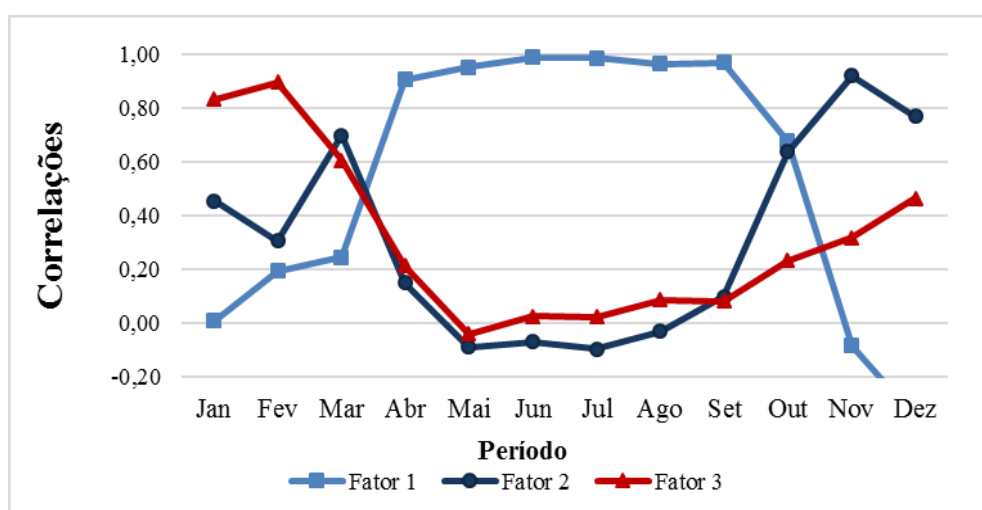


Figura 5. Cargas fatoriais (correlações) para os três primeiros fatores comuns de precipitação que explicam 93,8 % da variância total no estado da Bahia (2001-2015)

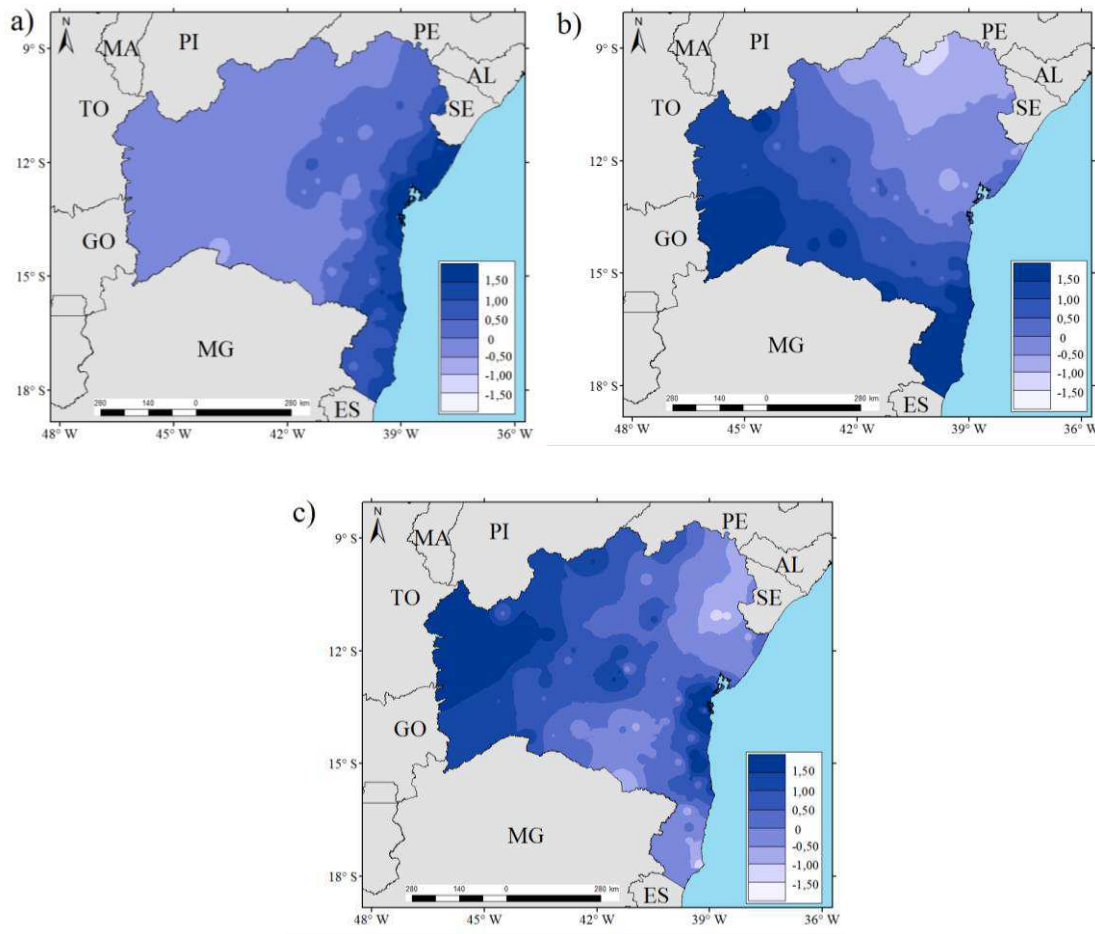


Figura 6 (a, b, c). Padrões espaciais para os três primeiros fatores comuns rotacionados (escores) da precipitação, no Estado da Bahia (2001-2015)

5.1.2. Análise Temporal do EVI e IVDN

Nesta seção aplicou-se os mesmos procedimentos utilizados para precipitação, ou seja, são analisados e discutidos os resultados obtidos da aplicação da ACP aos dados de EVI e IVDN obtidos do sensor MODIS/Terra. Conforme já mencionado anteriormente, os principais fatores comuns que explicaram 95,85 % e 97,32 % da variabilidade total das variáveis, foram retidos segundo o critério matemático de Kaiser (Tabela 3).

Tabela 03: Autovalores e a contribuição (%) da variância mensal dos fatores não rotacionados e rotacionados dos índices de vegetação no estado da Bahia

Índice	CP	Fatores Não Rotacionados			Fatores Rotacionados		
		Autovalor	Variância Explicada (%)	Variância Acumulada (%)	Autovalor	Variância Explicada (%)	Variância Acumulada (%)
EVI	1	8,36	69,63	69,63	5,77	48,12	48,12
	2	2,61	21,73	91,35	4,69	39,08	87,2
	3	0,54	4,5	95,85	1,04	8,65	95,85
	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...
	12	12	100	100	12	100	100
IVDN	1	8,89	74,1	74,1	5,78	48,13	48,13
	2	2,52	21,01	95,11	5,61	46,72	94,85
	3	0,26	2,21	97,32	0,30	2,47	97,32
	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...
	12	12	100	100	12	100	100

As Figuras 7a e 7b ilustram as correlações temporais dos principais fatores comuns que explicaram aproximadamente 100% da variância total do EVI e IVDN. O primeiro fator do EVI que explica 48,12 % da variância total tem correlações (r) elevadas positivas superiores a 0,8 nos meses de maio a outubro (Figura 7a). O segundo fator do IVDN, que explica 46,72 % da variância, apresenta correlações superiores a 0,8 nos meses de junho a outubro (Figura 7b). O padrão espacial correspondente a estes fatores (Figura 8a e 8e) apresenta contribuições positivas superiores a 1,0 em todo litoral leste e inferiores a -0,5 no restante do Estado. Este fator mostra a resposta da vegetação às maiores precipitações ocorridas no leste de abril a outubro (conforme descrito na seção 5.1).

O segundo fator comum do EVI que explica 39,08 % da variância total dos dados apresenta correlações acima de 0,9 nos meses de janeiro a março e se assemelha com o primeiro fator do IVDN que explica 48,13% da variância e apresenta correlações

superiores a 0,9, nos meses de dezembro a abril. A distribuição espacial destes fatores tem contribuições superiores a 1 em grande parte da região centro-oeste e no vale do São Francisco, núcleos positivos de menor intensidade são encontrados no sul do Estado. Nas demais regiões as contribuições são baixas (negativas) principalmente no nordeste (Figura 8b e 8d). O padrão espacial e correlações temporais destes, indicam em cada região, o quão as variáveis respondem às precipitações nos referidos meses, fortalecendo o que já era esperado. Segundo Kousky, (1979); Molion e Bernardo, (2002); Braga et al., (2006), nos meses de outubro a fevereiro no sul da Bahia às precipitações são oriundas de sistemas frontais e ZCAS.

Como pode ser visto nas Figuras 7a e 7b o terceiro fator tanto do EVI como do IVDN apresenta baixas correlações em quase todo ano, com exceção do EVI que possui correlação $r = 0,6$ no mês de novembro. O caso do IVDN pode ser considerado como ruído. Apesar da baixa correlação o padrão espacial destes fatores (Figura 8c e 8f) indicam que as contribuições positivas superiores a 1 no sudoeste e negativas no norte e nordeste evidenciam às chuvas/secas nessas regiões. Nessa época as chuvas normalmente ocorrem na região (sul) devido a influência de sistemas frontais e ZCAS (BRAGA, 2000; COSTA, 2016).

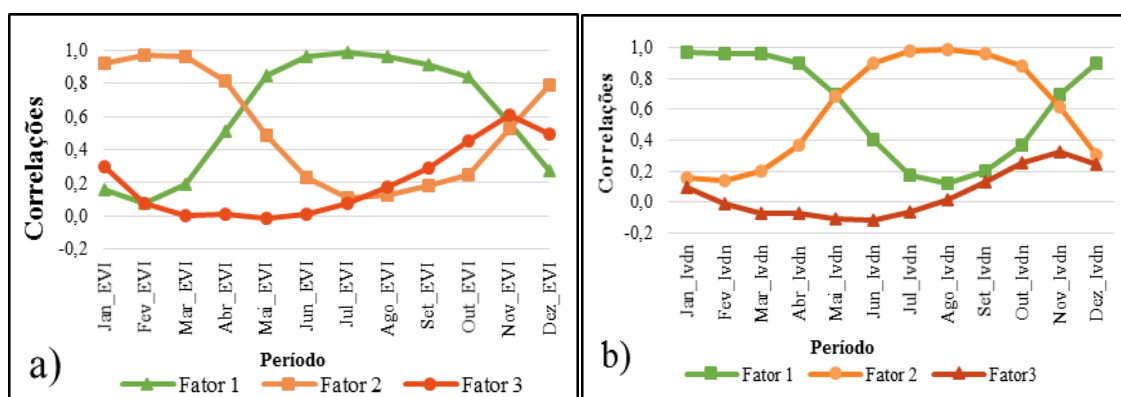


Figura 7. Cargas fatoriais rotacionadas (correlações) para os três primeiros fatores comuns que explicam 95,85% e 97,32 % da variância total mensal do EVI (a) e IVDN (b) respectivamente

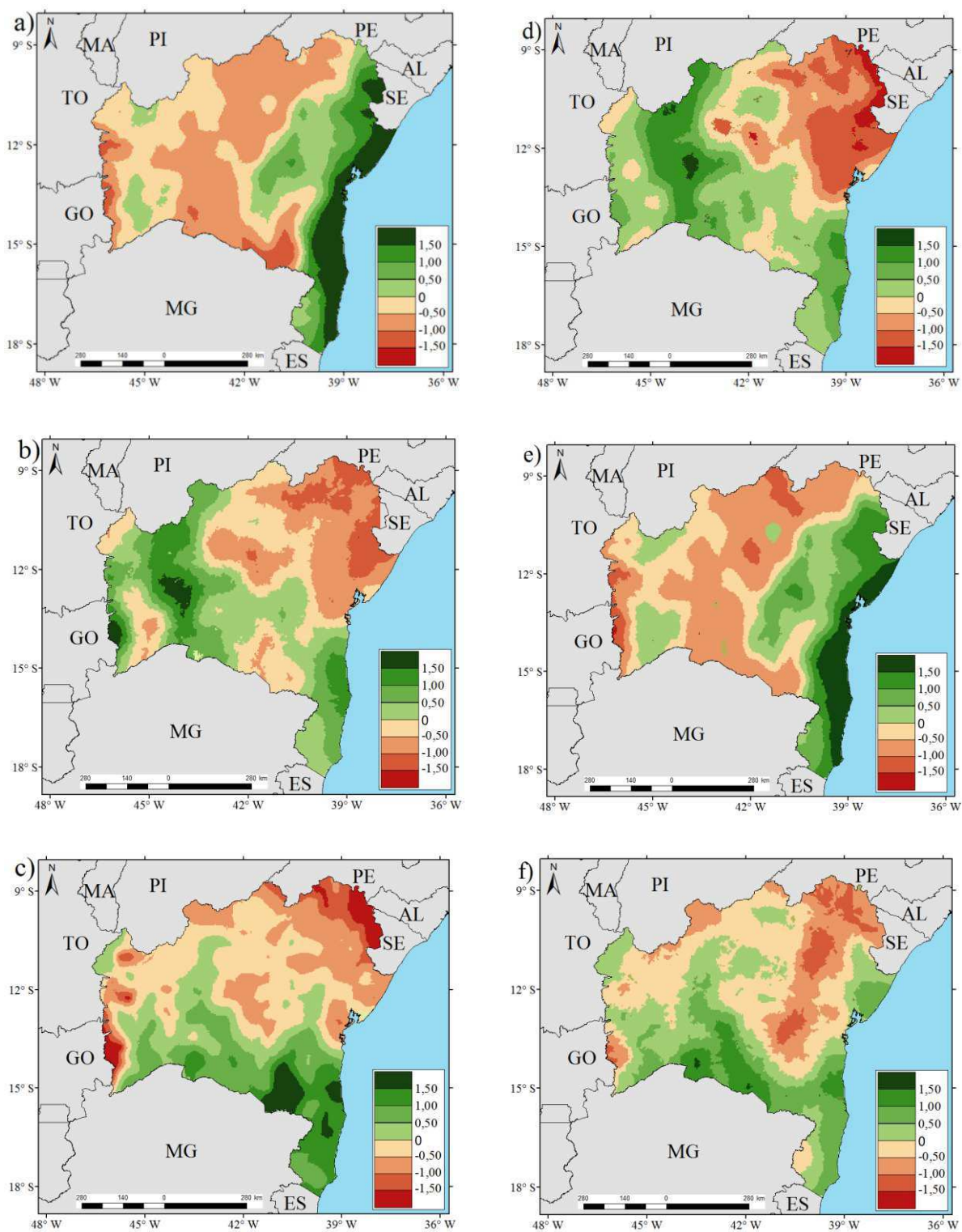


Figura 8. Padrões espaciais dos três primeiros fatores comuns rotacionados (escores) do EVI (a,b,c) e IVDN (d,e,f) no estado da Bahia

5.2. Regiões Homogêneas do EVI, IVDN e Precipitações

Na segunda etapa do estudo são discutidos e analisados a resposta dos índices de vegetação às variabilidades mensais da precipitação no estado da Bahia. As regiões homogêneas foram obtidas a partir dos escores espaciais/temporais dos índices e da precipitação conjuntamente.

5.2.1. Regiões Homogêneas da Precipitação e EVI

Foram retidas as três primeiras Componentes da precipitação e EVI que explicam 89,43% da variância total dos dados. O primeiro fator comum que explica 39,34% da variância de EVI e precipitação, tem correlações positivas com a precipitação ($r > 0,8$) nos meses de abril a setembro, e maiores que ($r > 0,6$) com o EVI, de maio a outubro (Figura 9). O padrão espacial associado a este fator apresenta contribuições positivas superiores a 1 na faixa litorânea leste e contribuições negativas inferiores a -1 em direção do oeste da Bahia e vale do São Francisco (Figura 10a). Este fator evidencia que a maior correlação da precipitação com o EVI ocorre com defasagem de 1 mês.

O segundo fator comum que explica 30,81% da variância total, está fortemente correlacionado com o EVI ($r > 0,6$) de janeiro a maio e de setembro a dezembro. Já com a precipitação este fator apresenta baixas correlações nos meses de outubro a janeiro (Figura 9). A configuração espacial associada a este fator apresenta valores positivos estendendo-se de parte da região Oeste ao sul da Bahia, com contribuições mais elevadas superiores a 1 no sudeste do Estado. Nas demais regiões as contribuições são negativas inferiores a -0,5 o que indica período de pouca chuva e de menor índice (Figura 10b). A distribuição deste fator evidencia o regime de chuvas regulares no sul e sudeste da Bahia, as quais são influenciadas por vários sistemas meteorológicos.

O terceiro fator comum que explica 19,29% da variância total da série de dados, está fortemente correlacionado com a precipitação ($r > 0,8$) durante os meses de novembro a março. Entretanto, observa-se que este fator possui baixas correlações ($r < 0,3$) com o EVI nos meses de dezembro a abril (Figura 9). O padrão espacial deste terceiro fator apresenta altas contribuições superiores a 1 no extremo oeste baiano, as

contribuições negativas inferiores a -1 são observadas no norte e nordeste do Estado (Figura 10c). Este fator evidencia as chuvas ocorridas nos meses de novembro a março, que segundo Reboita et al., (2010) às precipitações neste período na referida região podem estar associadas com a atuação da ZCIT, ZCAS, VCAN e SF.

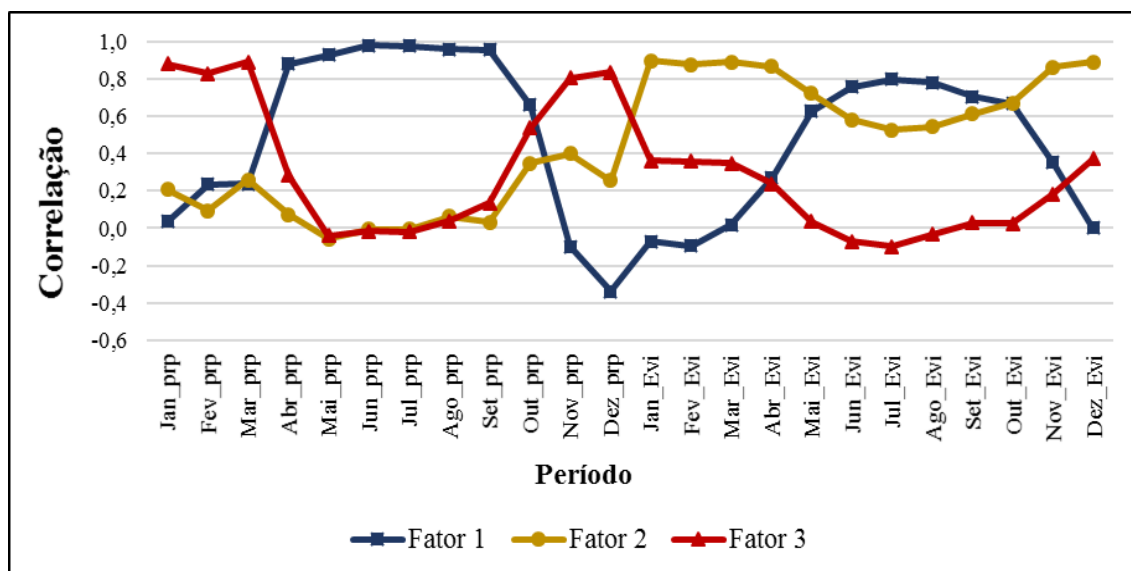
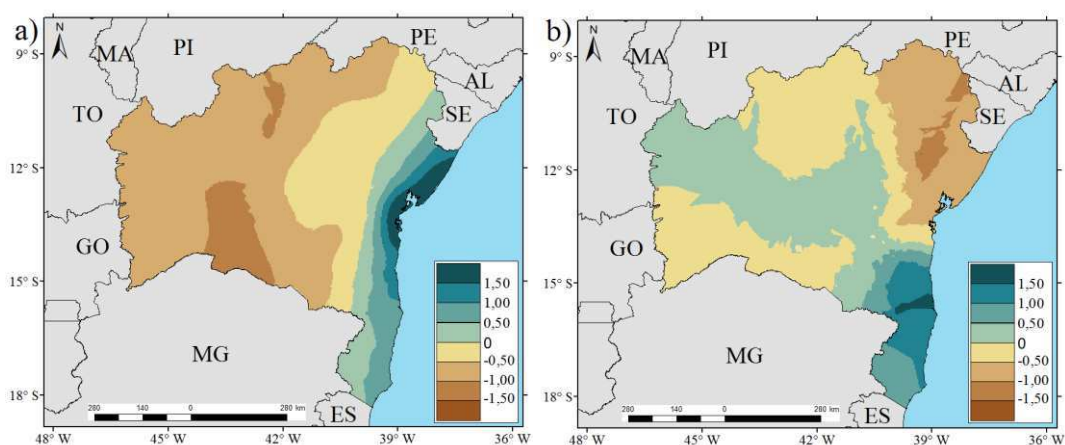


Figura 9. Cargas fatoriais rotacionadas (correlações) para os três primeiros fatores comuns temporais, que explicam 89,43% da variância conjunta de EVI e precipitação no estado da Bahia (2001-2015)



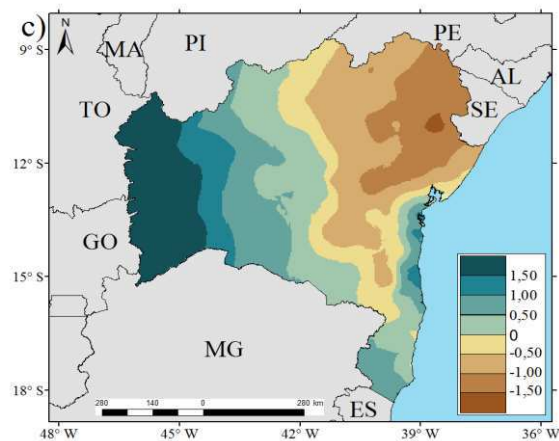


Figura 10. (a, b, c). Padrões espaciais para os três primeiros fatores comuns rotacionados (escores) do EVI e da precipitação no estado da Bahia (2001-2015)

Através do método de agrupamento de Ward o estado da Bahia foi subdividido em 6 regiões homogêneas de EVI e precipitação (Figura 11). A seguir será apresentada uma descrição das principais características dessas regiões.

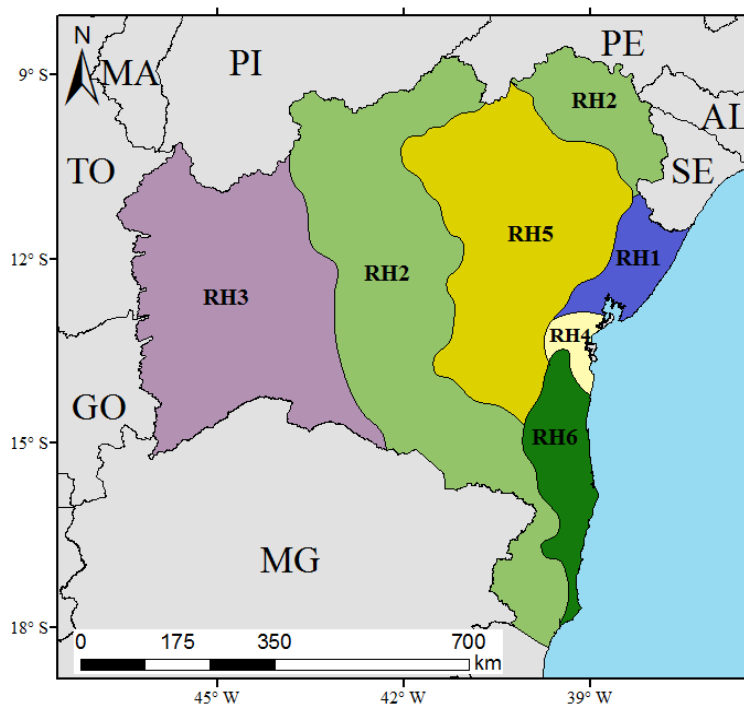


Figura 11: Regiões homogêneas da resposta do EVI à precipitação, para o estado da Bahia no período de 2001-2015

As Regiões Homogêneas RH1, RH4 e RH6 estão situadas no litoral do Estado, porém com regimes pluviométricos distintos, ou seja, na RH1 e RH4 as maiores precipitações ocorrem em média de abril a agosto, enquanto que na RH6 de novembro a junho.

A RH1, localizada no leste da Bahia, apresentou total médio anual de precipitação de ordem de 1301,00 mm e EVI médio de 0,40, nesta região o trimestre mais chuvoso ocorre de maio a julho. A vegetação característica predominante é a Floresta Atlântica além de pequenos núcleos de Mata Caducifólia. A Figura 12 ilustra a variação da precipitação e do EVI, destaca-se alguns anos/meses com índices pluviométricos superiores a 300 mm, a exemplo de janeiro de 2004, maio de 2015, junho de 2006 e julho de 2010. Nestes meses o EVI mensal é superior a 0,45. Observa-se ainda que os menores índices pluviométricos e os menores valores de EVI ocorreram de setembro a março, ou seja, os menores valores de EVI foram observados em meses de baixa precipitação o que mostra que é possível relacionar a quantidade pluviométrica com o índice de vegetação, pois a variação dos valores de EVI acompanharam a variação dos valores da precipitação.

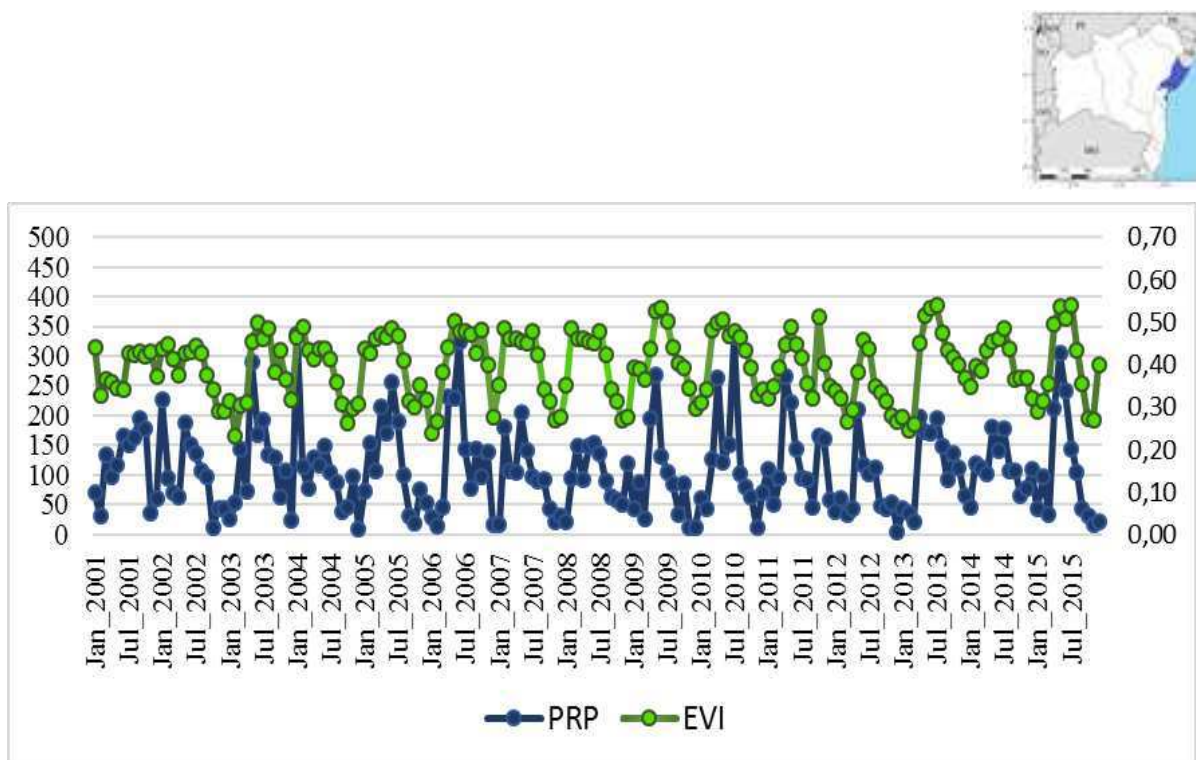


Figura 12: Série temporal da precipitação e EVI para a RH1

A RH4 compreende o litoral leste, nesta região ocorreram os maiores índices pluviométricos do Estado, com total médio anual de 1869,00 mm e EVI médio de 0,49. A região apresenta chuvas regulares e predominância da cobertura vegetal floresta Atlântica. Os índices pluviométricos mais elevados ($> 345,00$ mm) são observados em maio de 2003, janeiro de 2004, abril de 2005, junho de 2006, fevereiro de 2007 e julho de 2010. Consequentemente os índices de EVI mais elevados ocorreram em meses posteriores às precipitações (Figura 13). Da mesma forma que na RH1, às chuvas são mais regulares nesta região, solo umedecido e vegetação em pleno vigor o ano inteiro, mesmo quando se observa uma queda brusca da precipitação (abril de 2007).

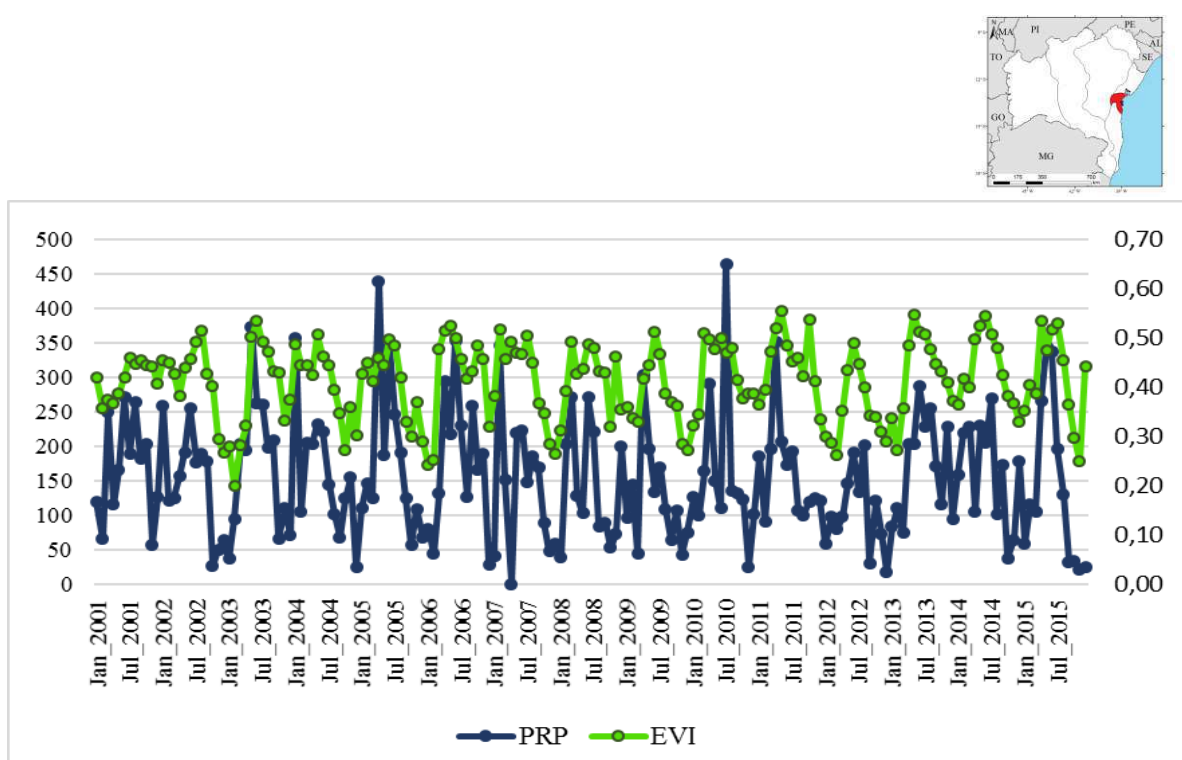


Figura 13: Série temporal da precipitação e EVI para a RH4

A RH6 corresponde ao litoral sudeste, apresenta total médio anual pluviométrico de 1215,00 mm e EVI médio de 0,54. Assim como na RH4 nessa região também predomina o bioma Floresta Atlântica. A série temporal (Figura 14) mostra o comportamento das variáveis. As mesmas considerações feitas na seção anterior são válidas para esta região, portanto dispensado maiores comentários.

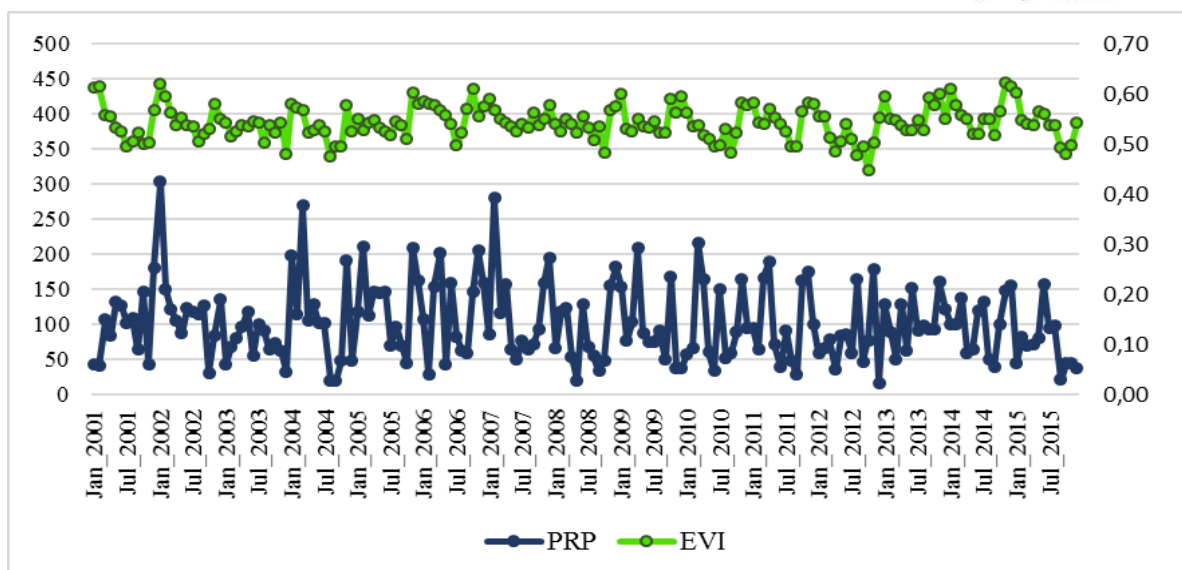


Figura 14: Série temporal da precipitação e EVI para a RH6

A RH2 localizada na porção central estende-se do Norte até o Sul do Estado, a vegetação predominante é do tipo caatinga, embora sejam encontrados outros tipos de vegetação tais como: Mata Caducifólia, Floresta Atlântica, Campos de Altitude e Contatos entre tipos de Vegetação. Apresenta total médio anual de precipitação de 815,00 mm e EVI médio de 0,32. Observa-se que os maiores índices pluviométricos nessa região ocorrem de novembro a março, destacando os meses de janeiro de 2004, março de 2006, fevereiro de 2007, e dezembro de 2013. Os índices mais elevados de EVI ocorrem nos meses seguintes às maiores precipitações, conforme pode ser visto na série das variáveis (Figura 15). Neste tipo de vegetação que compõe a RH2 é bastante evidente a relação entre as variáveis, isto é, à medida que a precipitação cresce o EVI cresce em resposta a mesma. Esses resultados também foram confirmados por trabalhos realizados em diversas regiões semiáridas do Nordeste do Brasil (BRAGA, 2000; DANTAS et al., 2016; ARAUJO et al., 2009).

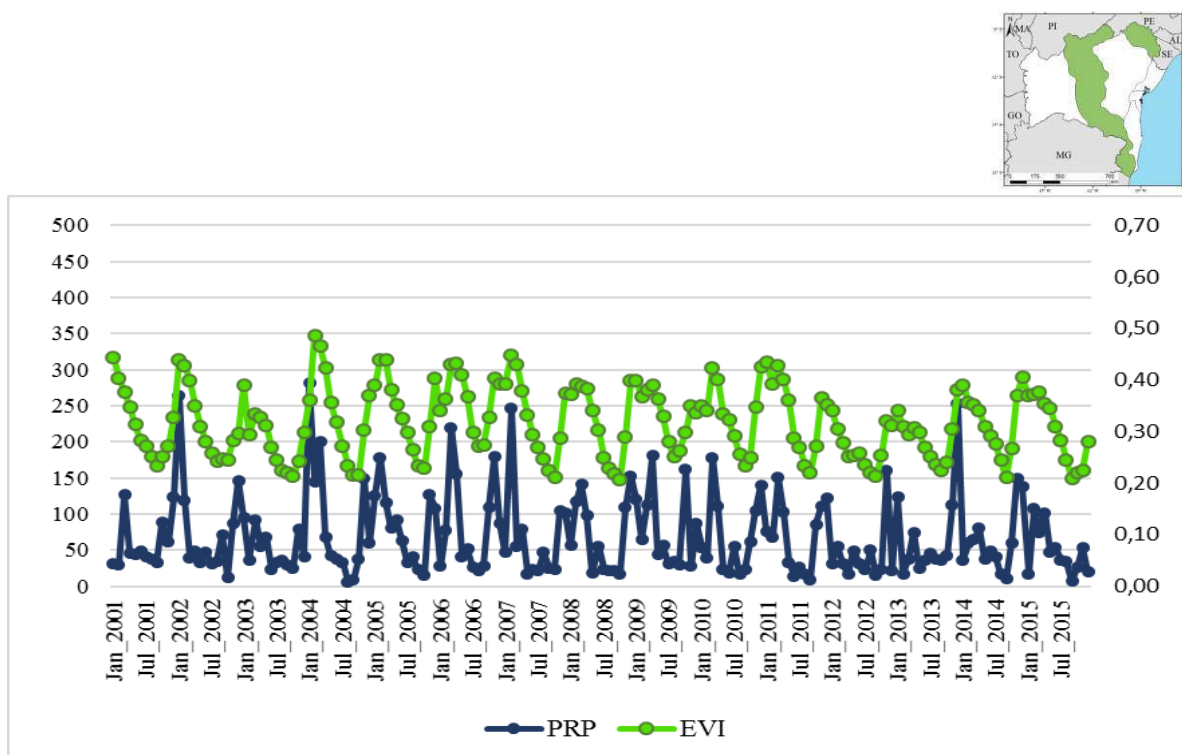


Figura 15: Série temporal da precipitação e EVI para a RH2

A RH3 compreende o extremo oeste baiano, apresenta cobertura vegetal do tipo Cerrado, Mata Caducifólia e Contatos entre tipos de Vegetação. Tem total médio anual de precipitação de 841,00 mm e EVI médio de 0,36 respectivamente. A série temporal da precipitação e EVI (Figura 16) evidencia que o EVI cresce/decrece em função das precipitações. A exemplo, dos meses de janeiro de 2002, janeiro de 2004, fevereiro de 2007, março de 2011, novembro de 2012 e dezembro de 2013, com EVI máximo de um a dois meses após os máximos de precipitação.

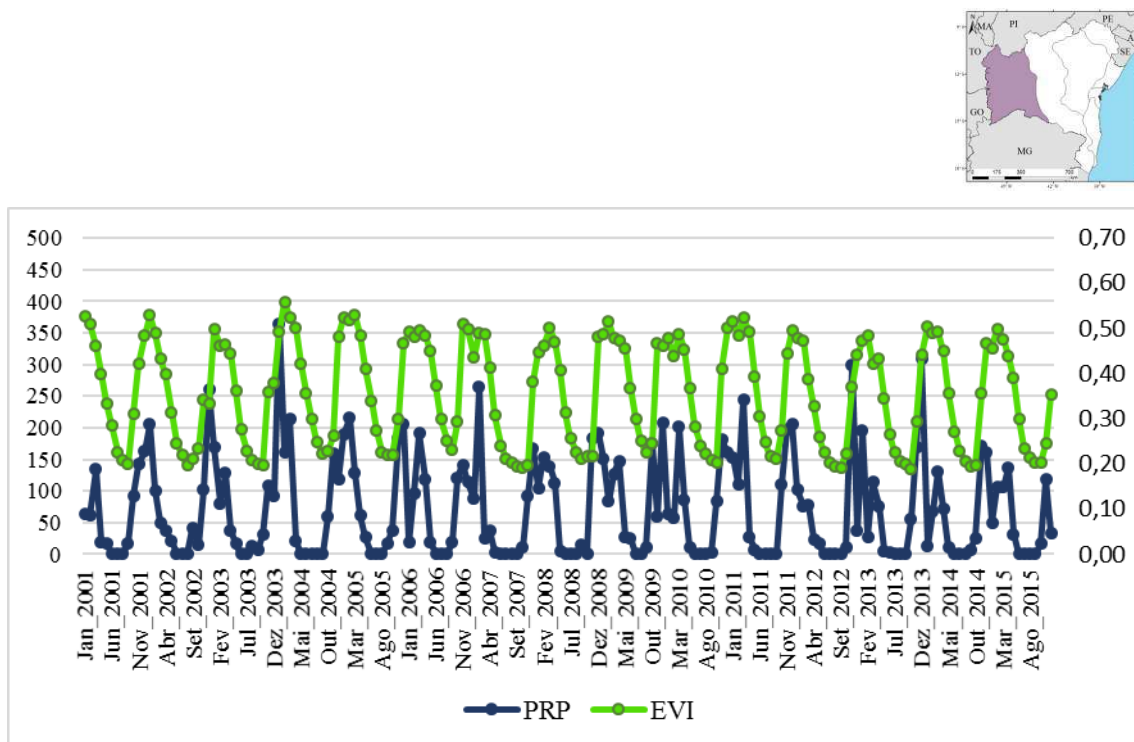


Figura 16: Série temporal da precipitação e EVI para a RH3

A RH5 compreende o centro norte baiano, destaca-se por apresentar os menores índices pluviométricos do estado, com total médio anual de 573,00 mm, e EVI médio de 0,33. A vegetação predominante é a Caatinga, além de Atividades Agrícolas e Mata Caducifólia (perdem suas folhas durante a estiagem). A análise da série temporal (Figura 17) mostra grande variabilidade das chuvas e índices mais baixos no final da década de 2008 até 2015. O EVI máximo da Caatinga responde às precipitações máximas um a dois meses após a ocorrência das mesmas.

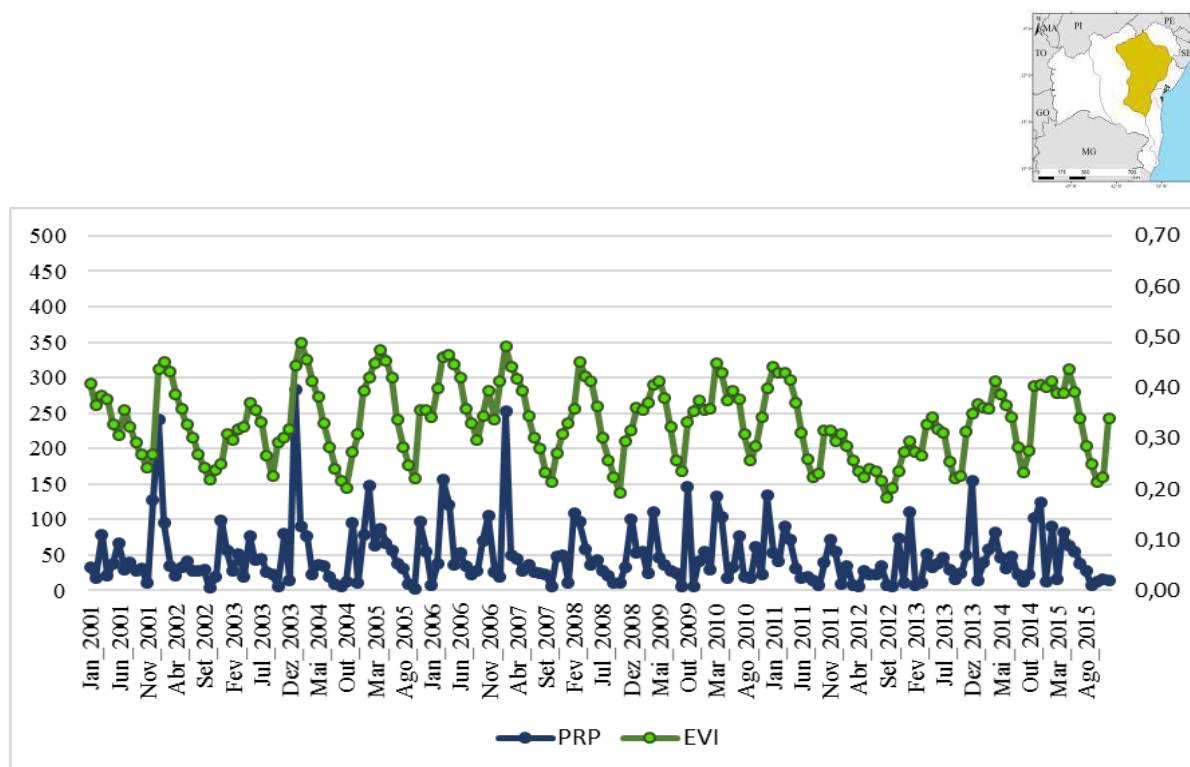


Figura 17: Série temporal da precipitação e EVI para a RH5

A análise quantitativa dos dados indica uma forte dependência do EVI com as variações da precipitação, à medida que a precipitação decresce ao longo dos meses o EVI também decresce em função da cobertura ao estresse hídrico (Tabela 4). Pode-se observar que para as regiões onde as chuvas são mais regulares nem sempre os índices mais elevados se verificam no mês de maior chuva, ou seja, para um certo limite de precipitação a resposta da vegetação é mais lenta a exemplo das RH1 e RH6 que tem valores máximos de EVI dois meses após o valor máximo da precipitação. Para a caatinga (RH5) a resposta do EVI ocorre com defasagem de um mês após os máximos de precipitação. De modo geral, o crescimento mensal do EVI retrata a sazonalidade na fenologia da vegetação nas diferentes regiões, o aumento do índice com a precipitação corresponde ao início fenológico da mesma.

Tabela 4: Totais médios mensais da precipitação e médias mensais do EVI para cada região Homogênea no estado da Bahia

Regiões	RH1		RH2		RH3		RH4		RH5		RH6	
Período	PRP	EVI	PRP	EVI	PRP	EVI	PRP	EVI	PRP	EVI	PRP	EVI
Jan	79,30	0,35	92,42	0,38	128,74	0,49	120,85	0,36	69,12	0,37	107,26	0,58
Fev	82,32	0,36	90,75	0,38	111,03	0,49	133,72	0,36	71,56	0,38	103,74	0,55
Mar	85,52	0,39	109,23	0,39	134,32	0,48	156,93	0,41	63,09	0,39	127,31	0,55
Abr	152,50	0,42	86,65	0,36	67,93	0,44	223,94	0,45	60,20	0,39	120,71	0,54
Mai	196,47	0,46	40,86	0,33	14,58	0,37	211,22	0,48	41,29	0,38	83,44	0,53
Jun	173,72	0,46	40,59	0,30	2,34	0,30	242,57	0,49	40,50	0,35	103,57	0,53
Jul	153,62	0,47	33,40	0,27	0,25	0,25	218,09	0,48	35,06	0,32	94,36	0,53
Ago	106,81	0,43	29,97	0,24	0,97	0,22	158,52	0,45	24,77	0,27	81,18	0,52
Set	82,90	0,37	24,54	0,23	9,25	0,21	132,20	0,40	15,34	0,24	56,64	0,53
Out	73,88	0,37	52,39	0,25	56,63	0,23	96,05	0,38	30,08	0,25	91,25	0,53
Nov	67,88	0,34	107,61	0,31	153,99	0,35	91,47	0,36	54,94	0,30	134,88	0,56
Dez	46,63	0,33	106,88	0,36	161,70	0,45	83,68	0,33	67,85	0,33	110,91	0,56
Resposta	2 Meses		Coincide c/ a maior chuva		1 Mês		Coincide c/ a maior chuva		1 Mês		2 Meses	

Para cada RH foram feitas as correlações entre precipitação e EVI objetivando precisar o que foi obtido pelas CPS. Através das correlações obtidas entre as variáveis pode-se constatar que a resposta da vegetação às precipitações em algumas regiões iniciam-se no mesmo mês de ocorrência da mesma. A exemplo da RH2, cuja vegetação predominante é a Caatinga, destacando a precipitação do mês de março com o EVI de março, abril e maio ($r = 0,7$; $r = 0,8$; $r = 0,8$), respectivamente. Vale ressaltar que a vegetação predominante nessa região responde rapidamente às precipitações. Já na RH6 onde as chuvas são regulares e a vegetação é do tipo Floresta Atlântica, encontram-se as menores correlações, isso devido ao fato de que nesta região existe uma grande quantidade de umidade presente no solo, decorrente dos altos índices pluviométricos ocorridos praticamente o ano inteiro, fazendo com que esse tipo de vegetação permaneça sempre verde, tornando quase constante o valor do EVI na região.

A análise comparativa das seis regiões homogêneas aqui apresentadas, evidenciam que eventualmente a resposta da vegetação (EVI) às precipitações ocorre no mesmo mês apresentando defasagem de 1 a 2 meses até atingir maior vigor (Tabela 5). Isso concorda em parte com resultados obtidos por Braga et al., (2006) quando fez uso

dos dados do AVHRR/NOAA para avaliar a fração vegetação no litoral do estado da Bahia no período de 1981-2000.

Tabela 5: Coeficientes de Correlação Linear entre EVI e Precipitação para cada Região Homogênea do estado da Bahia (2001-2015)

Regiões	Correlação PRP x EVI											
RH1	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Jan_Pr	0,6*											
Fev_Pr		0,8**										
Mar_Pr			0,5*									
Abr_Pr				0,7**	0,7**							
Mai_Pr					0,5*	0,6*						
Jul_Pr								0,6*	0,5*			
Set_Pr									0,7**	0,5*	0,6*	
Out_Pr										0,8**	0,8**	
Nov_Pr											0,6*	
RH2	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Jan_Pr		0,5*										
Fev_Pr		0,8*	0,6*									
Mar_Pr			0,7**	0,8**	0,8**	0,8**						
Abr_Pr				0,7**	0,8**	0,8**	0,6*	0,6*	0,6*	0,6*		
Out_Pr										0,8**	0,6*	
Nov_Pr											0,5*	0,5*
Dez_Pr												0,5*
RH3	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Jan_Pr		0,6*										
Fev_Pr			0,5*									
Mar_Pr			0,6*	0,7**	0,6*	0,6*	0,6*	0,6*	0,6*			0,8**
Abr_Pr					0,6	0,5						
Out_Pr										0,6*	0,8**	0,5*
Rh4	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Jan_Pr	0,7**											
Fev_Pr		0,6*										
Set_Pr									0,6*	0,6*		
Nov_Pr											0,5*	
RH5	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Fev_Pr		0,7**	0,5*									
Mar_Pr			0,7**	0,6*								
Jun_Pr						0,5*	0,6*	0,7**	0,7**			
Jul_Pr							0,7	0,5*				0,7**
Set_Pr									0,5*			
Out_Pr										0,7**	0,5*	
Nov_Pr											0,5*	
RH6	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Abr_Pr				0,5*								
Set_Pr									0,5*			
Dez_Pr												0,5*

** Significativa para $\alpha = 1\%$; * Significativa para $\alpha = 5\%$

5.2.2. Regiões Homogêneas de Precipitação e IVDN

A seguir são analisados e discutidos a variabilidade do IVDN em relação à precipitação. A aplicação da ACP aos escores espacial e temporal do IVDN e precipitação mensal, resultou na retenção dos três primeiros fatores comuns que explicaram aproximadamente 90% da variância total dos dados (Figura 18). O primeiro fator comum obtido da análise conjunta entre as variáveis explicou 36,83%, da variância total. A análise temporal deste fator mostra que as maiores correlações da precipitação $r > 0,8$ se verificam nos meses de abril a setembro e para o IVDN $r > 0,6$ de junho a outubro. As maiores contribuições positivas associadas a este fator encontram-se na faixa litorânea leste e contribuições negativas inferiores a -1 no oeste da Bahia e Vale do São Francisco. Tanto para o EVI como para o IVDN o comportamento da vegetação segue o mesmo padrão, delimitando o setor leste, onde possivelmente as chuvas sofrem influências de sistemas meteorológicos, como DOL, brisas, ondas de leste, dentre outros.

O segundo fator comum que explica 32,46% da variância total apresenta altas correlações, $r > 0,6$ com o IVDN praticamente o ano inteiro de janeiro a junho e setembro a dezembro. Para a precipitação as correlações são insignificantes. O padrão espacial do segundo fator apresenta valores positivos estendendo-se do oeste ao sul do Estado, com as maiores contribuições superiores a 1 centradas ao sul. Contribuições negativas inferiores a -1 são observadas no norte e nordeste indicando período de pouca chuva e de menor índice. Este padrão mostra que apesar da pouca correlação com a chuva não houve mudanças significativas na fenologia da vegetação do sul da Bahia onde predomina a vegetação Floresta Atlântica.

O terceiro fator comum, que explica 20,5% da variância tem altas correlações com a precipitação ($r > 0,8$) de novembro a março. Porém este fator possui baixas correlações com o IVDN ($r < 0,4$) nos meses de novembro a abril e correlações insignificantes nos demais meses. A configuração espacial do terceiro fator mostra contribuições positivas nas regiões oeste e sul da Bahia, apresentando altas contribuições superiores a 1 centradas no extremo oeste baiano. Este fator evidencia as chuvas ocorridas nos meses de novembro a março.

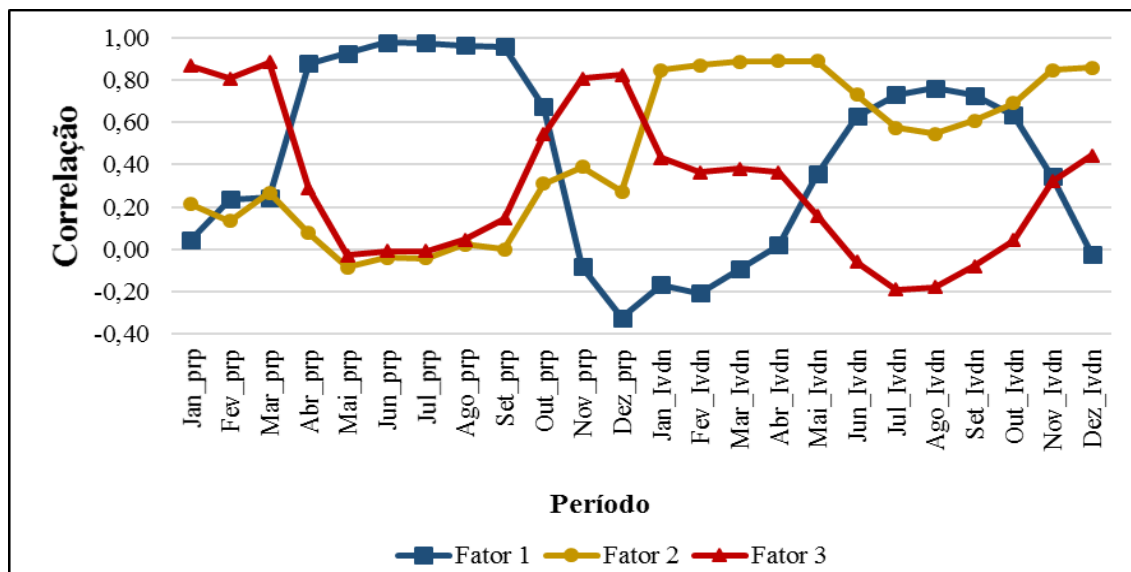


Figura 18: Cargas fatoriais rotacionadas (correlações) para os três primeiros fatores comuns temporais, que explicam 89,78 % da variância conjunta do IVDN e da precipitação no estado da Bahia (2001-2015)

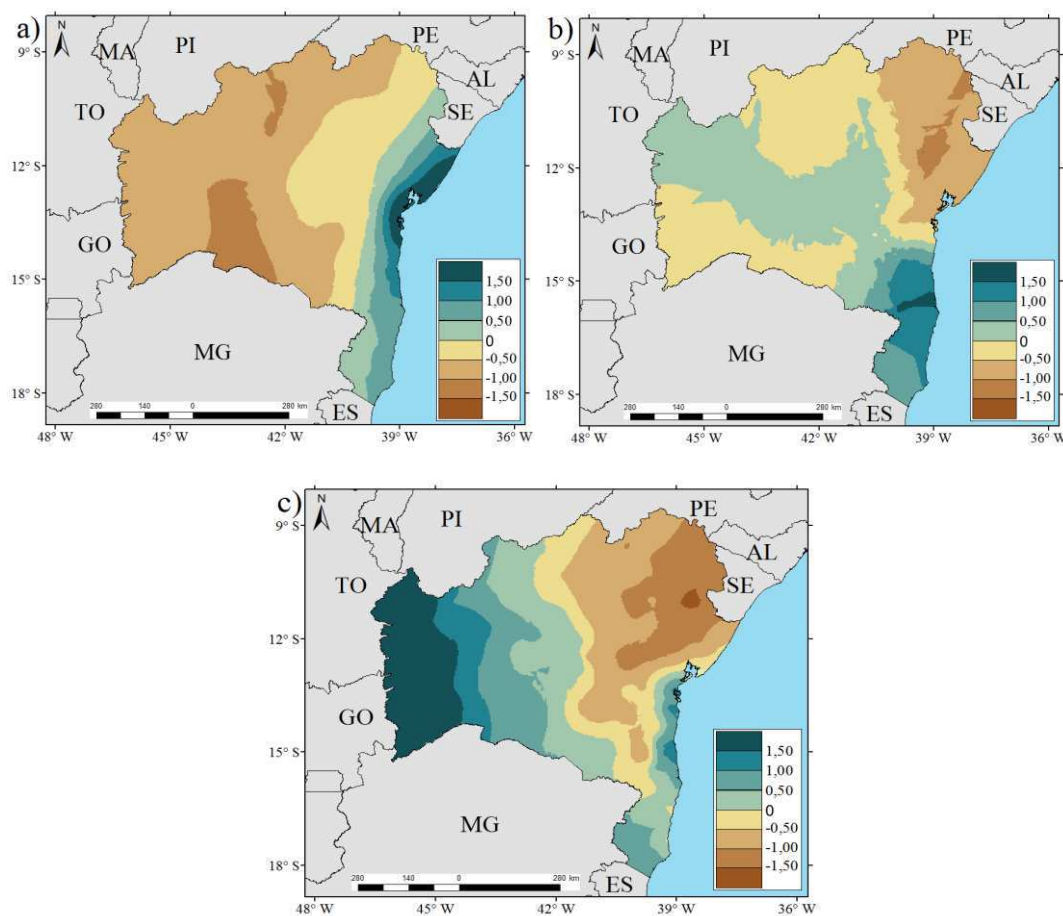


Figura 19. (a, b, c). Padrões espaciais para os três primeiros fatores comuns rotacionados (scores) do IVDN e da precipitação no estado da Bahia

Para a determinação das regiões homogêneas de precipitação e IVDN conjuntamente, utilizou-se a mesma metodologia aplicada para a análise do EVI. Tanto para o EVI como para o IVDN o método de Ward (1963) foi o que apresentou resultados condizentes com o regime pluviométrico da Bahia. A Bahia foi classificada em 6 sub-regiões em relação a variabilidade mensal da precipitação e IVDN (Figura 20). A seguir são apresentadas a descrição das principais características de cada região homogênea.

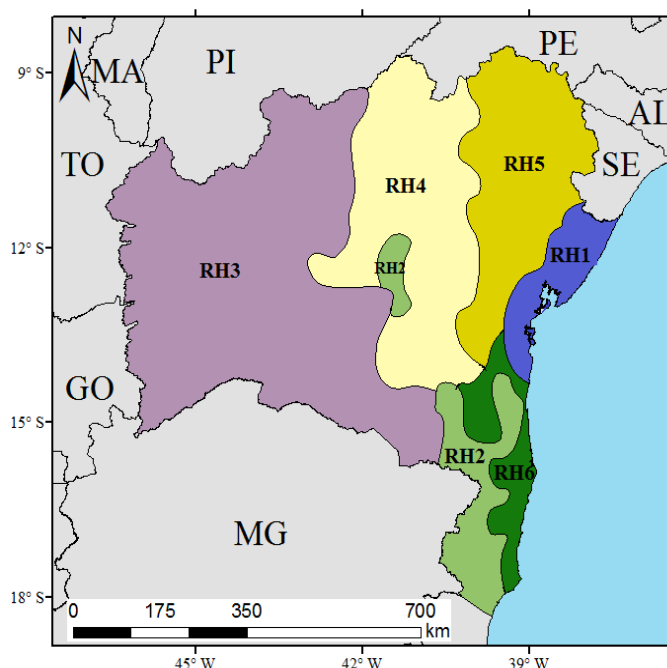


Figura 20: Regiões homogêneas de IVDN e precipitação, para o estado da Bahia

As RH1, RH2 e RH6 são semelhantes, sendo RH1 e RH6, localizadas no litoral da Bahia, que se estende desde o norte até o sul, e a RH2 paralela ao litoral sul com um pequeno núcleo inserido na região central.

A RH1 corresponde ao litoral leste, apresenta precipitação média anual de 1504,00 mm e IVDN médio de 0,40. O trimestre mais chuvoso dessa região concentra-se de abril a junho, porém apresenta totais elevados praticamente o ano inteiro (semelhante ao EVI). A vegetação predominante é a Floresta Atlântica. A variabilidade temporal correspondente a precipitação e IVDN estão ilustradas na Figura 21. No geral o IVDN cresce/decrece com a variabilidade das chuvas. Pode-se destacar nesta região que em alguns anos com a diminuição das chuvas não ocorreram mudanças

significativas na vegetação, a mesma continua em pleno vigor, isso ocorre devido ao tipo de vegetação aqui presente (Como explicado na seção anterior).

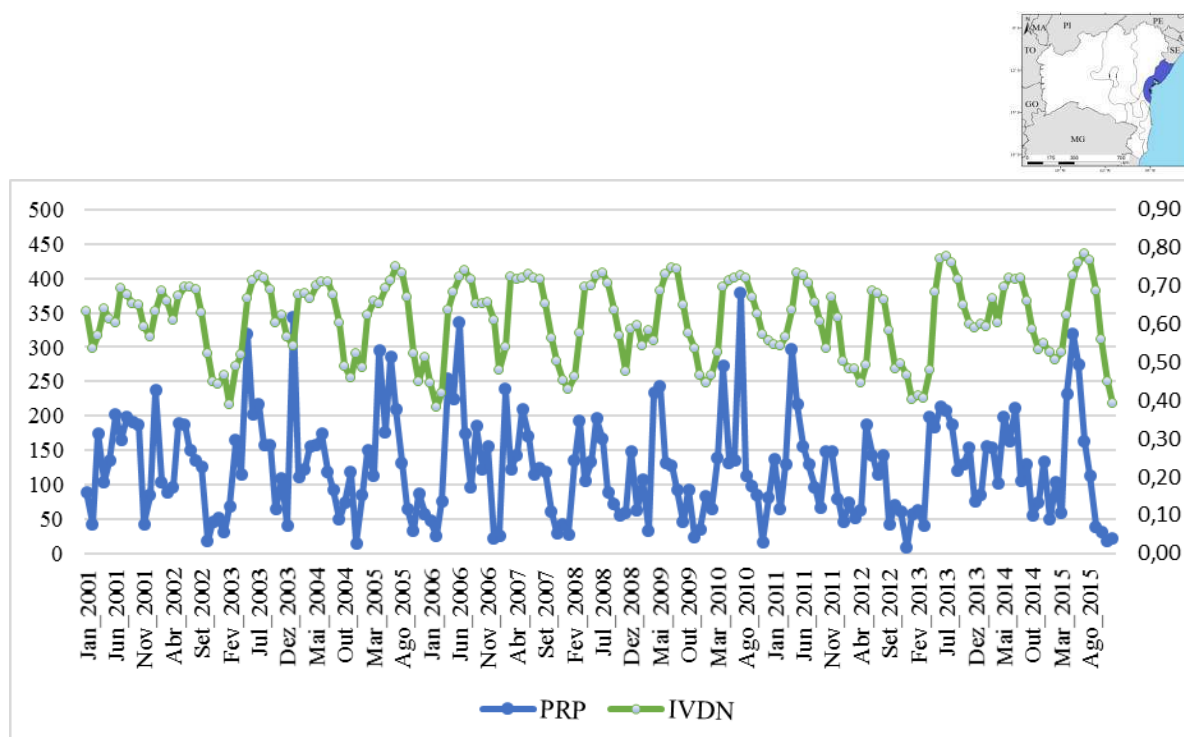


Figura 21: Série Temporal da precipitação e IVDN para a RH1

A RH2 localizada no Sul/sudoeste paralela ao litoral do Estado possui total médio anual de precipitação de 1212,00 mm e IVDN médio de 0,68. Os tipos de vegetação presentes nesta região são a Floresta Atlântica, e a Mata Caducifólia. A variabilidade temporal da precipitação e IVDN são vistos na Figura 22. Assim como na região anterior nem sempre ocorre mudanças no IVDN com a diminuição das chuvas, a exemplo de janeiro de 2001, janeiro de 2012 e janeiro de 2015. Ambas as regiões têm o bioma Floresta Atlântica, estas foram separadas devido à quantidade de precipitação. Pode-se observar a periodicidade de caráter sazonal bem definida das variáveis analisadas, demonstrando tendência de crescimento do IVDN nos períodos chuvosos, mesmo em anos menos chuvoso.

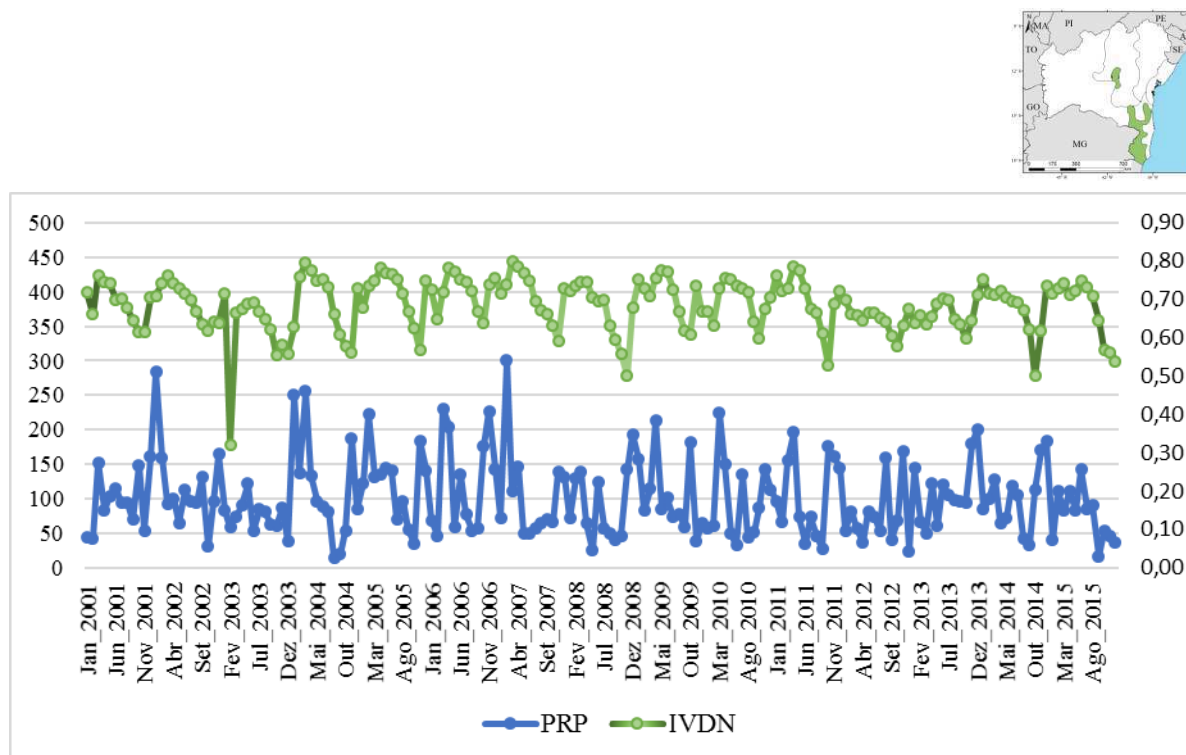


Figura 22: Série temporal da precipitação e IVDN para a RH2

A RH6 pertencente ao litoral Sul/sudeste apresenta precipitação média anual de 1100,00 mm e IVDN médio de 0,81. A variabilidade temporal do IVDN consta na Figura 23. Nesta região o IVDN é mais homogêneo que nas outras regiões e os valores são mais elevados, isso pelo fato da ocorrência de chuvas frequentemente e o tipo de vegetação predominante, a Floresta Atlântica, ou seja, solo umedecido e vegetação verde o ano inteiro, como já discutido anteriormente.

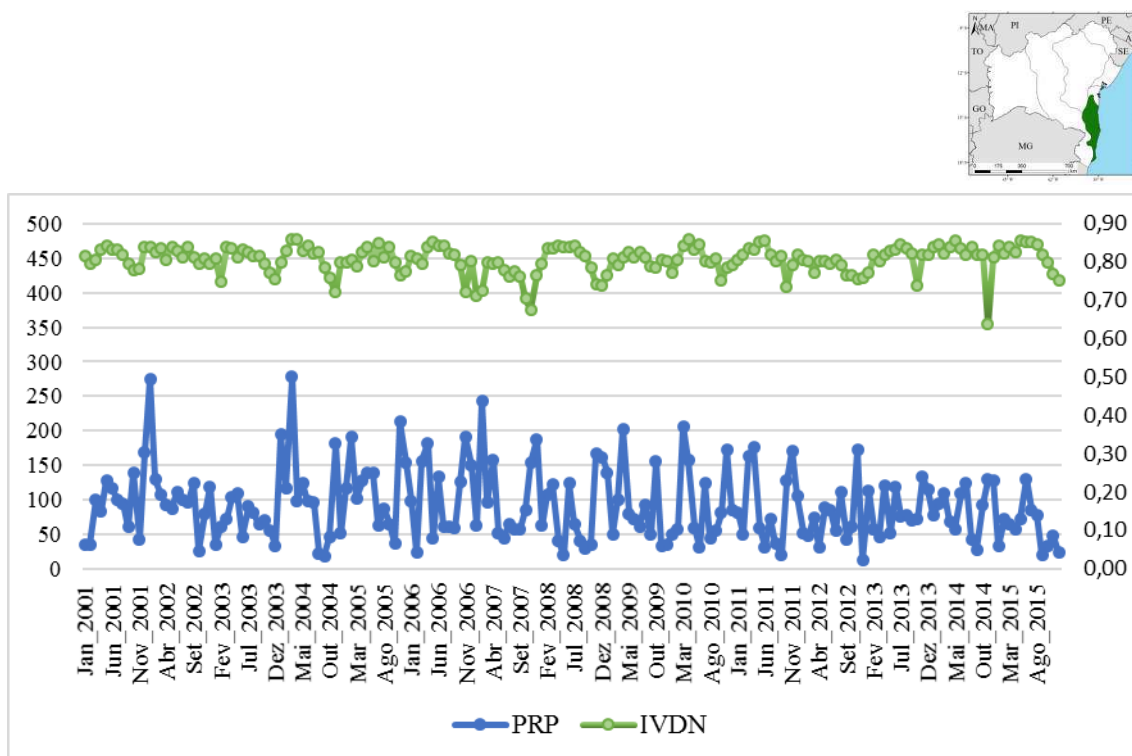


Figura 23: Série temporal da precipitação e IVDN para a RH6

A RH3 compreende grande parte do extremo oeste, noroeste e sudoeste baiano, tem total médio anual de precipitação de 784,00 mm, com as maiores precipitações no trimestre de novembro a janeiro, e IVDN médio de 0,56. O bioma da região é formado por vegetação do tipo Mata Caducifólia, Contatos entre tipos de Vegetação, Caatinga e o Cerrado predominando. Nesta região observa-se que o IVDN tem periodicidade bem definida demonstrando tendência de crescimento/diminuição nos períodos chuvosos/secos (Figura 24).

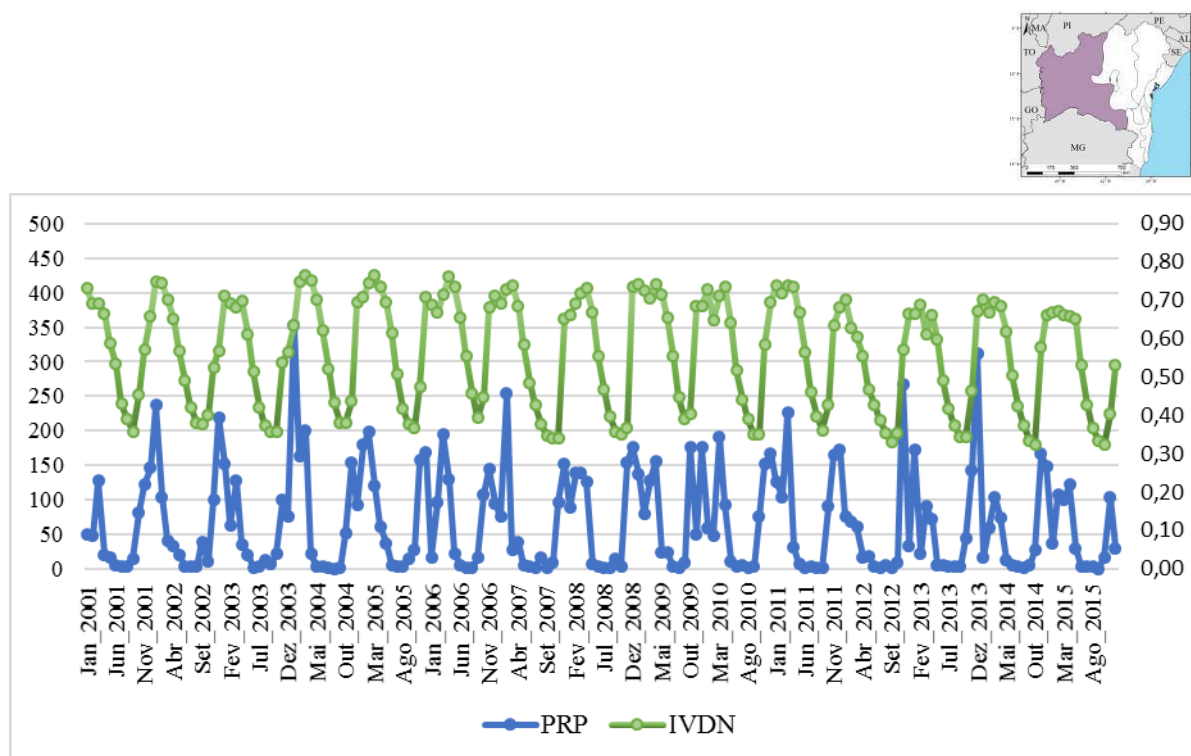


Figura 24: Série temporal da precipitação e IVDN para a RH3

A RH4 situada no extremo Norte até a região central do Estado possui um total médio anual de precipitação de 581,00 mm e IVDN médio de 0,59. A vegetação característica predominante é a Caatinga, esse tipo de vegetação responde rapidamente às precipitações, porém a região apresenta outros tipos de vegetação como: Mata Caducifólia, Atividades Agrícola e Contatos entre tipos de Vegetação, o que pode mascarar a cobertura Caatinga. A Figura 25 indica que as maiores precipitações ocorreram na década de 2000 diminuindo consideravelmente a partir de 2008 até 2015. Observa-se o comportamento crescente/decrecente do IVDN com a variabilidade das chuvas.

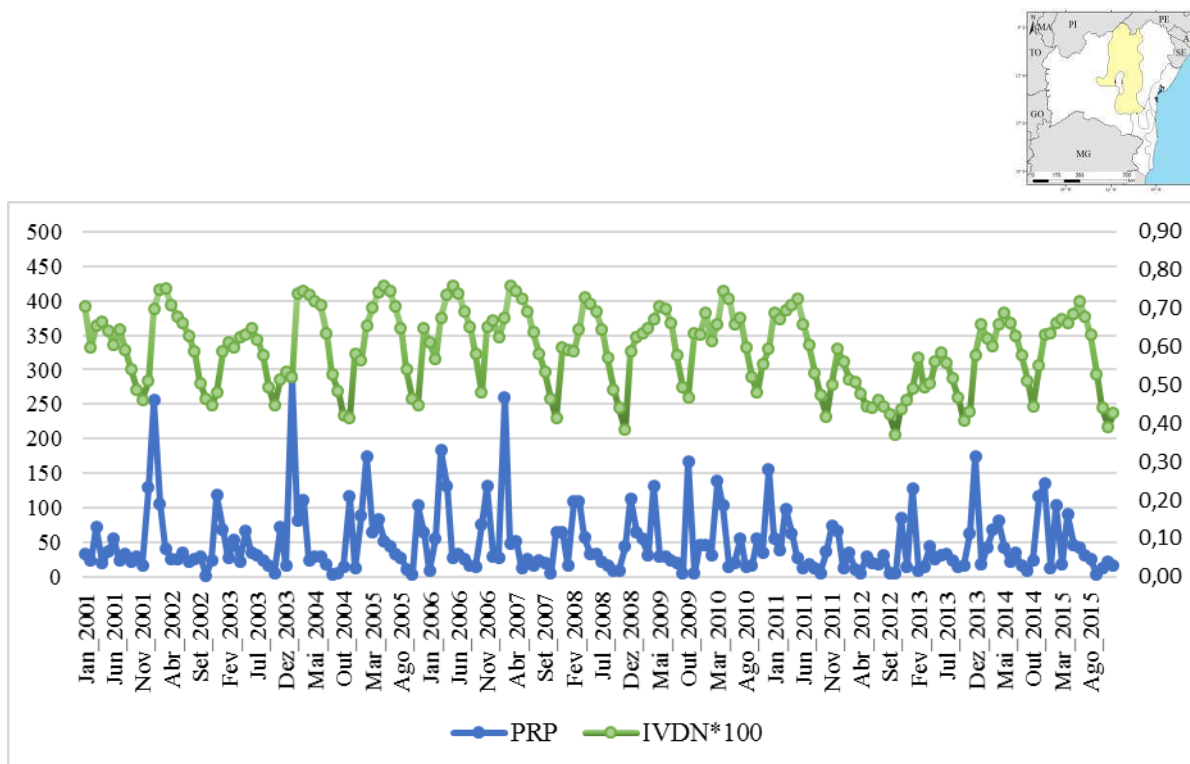


Figura 25: Série temporal da precipitação e IVDN para a RH4

A RH5 compreende as regiões Norte e Nordeste, destaca-se por apresentar os menores índices pluviométricos do Estado, com total médio anual de 548,00 mm e IVDN médio de 0,43. O Trimestre mais chuvoso dessa região corresponde aos meses de dezembro a fevereiro. Têm como vegetação característica a Caatinga predominando, Atividades Agrícola e a Mata Caducifólia. É possível observar a vegetação variando de acordo com as variações da precipitação (Figura 26). Esta região tem comportamento idêntico ao da RH4. No entanto é ainda mais seca que a anterior.

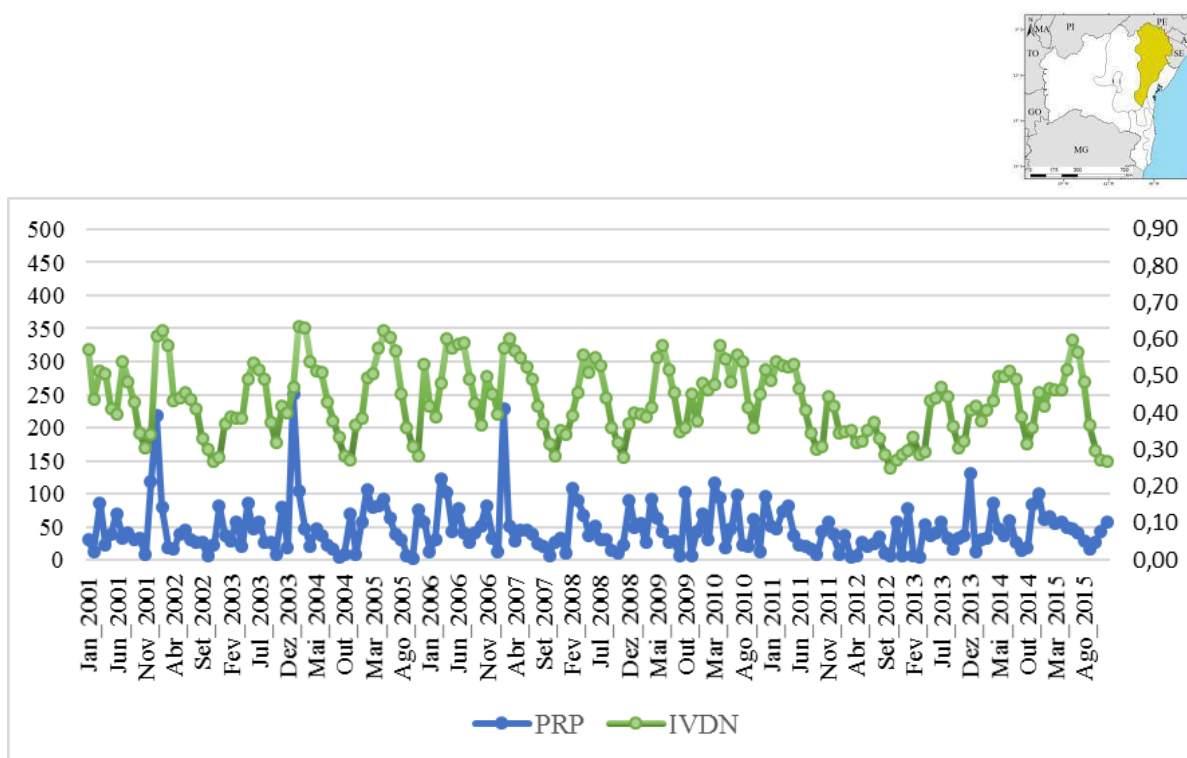


Figura 26: Série temporal da precipitação e IVDN para a RH5

Na Tabela 6 consta os totais médios mensais de precipitação e IVDN médio para cada RH. A análise quantitativa conjunta dos dados indica uma forte dependência do IVDN com as variações da precipitação, à medida que a precipitação cresce ao longo dos meses do ano, os valores de IVDN aumentam. Nas regiões onde as chuvas são mais regulares, solo com bastante umidade, o IVDN permanece quase constante durante vários meses, ou seja, para um certo limite de precipitação a resposta da vegetação é mais lenta a exemplo da RH6 (situada no litoral sul) que tem valores máximos de IVDN (0,84) cinco meses após o valor máximo da precipitação (129,66). O crescimento/diminuição do IVDN com a precipitação deixa claro o início e o fim do ciclo fenológico da vegetação, ou seja, os eventos periódicos da vida da planta em função da sua reação às condições do ambiente.

Tabela 6: Totais médios mensais da precipitação e médias mensais do IVDN para cada região Homogênea do estado da Bahia

Regiões	RH1		RH2		RH3		RH4		RH5		RH6	
Período	PRP	IVDN	PRP	IVDN	PRP	IVDN	PRP	IVDN	PRP	IVDN	PRP	IVDN
Jan	94,14	0,52	108,70	0,71	118,36	0,71	75,03	0,62	60,94	0,43	95,14	0,80
Fev	100,68	0,52	111,08	0,68	103,52	0,70	76,74	0,63	65,55	0,46	89,23	0,81
Mar	111,02	0,57	133,27	0,73	125,33	0,70	70,85	0,65	55,08	0,47	119,89	0,82
Abr	178,01	0,61	123,59	0,74	68,81	0,70	62,17	0,67	56,53	0,48	113,18	0,84
Mai	201,74	0,68	77,89	0,73	15,58	0,63	33,31	0,68	48,75	0,50	78,15	0,83
Jun	198,31	0,72	96,15	0,73	4,83	0,54	31,06	0,66	47,33	0,51	92,56	0,83
Jul	176,64	0,73	83,23	0,71	2,48	0,46	26,98	0,63	41,64	0,50	82,74	0,83
Ago	125,28	0,71	73,71	0,68	3,70	0,40	20,86	0,57	27,77	0,44	68,21	0,82
Set	100,50	0,65	55,47	0,63	8,62	0,36	12,52	0,51	17,44	0,36	50,98	0,81
Out	81,80	0,57	92,70	0,57	50,24	0,37	30,70	0,45	26,87	0,32	79,28	0,78
Nov	76,31	0,54	134,78	0,62	138,27	0,52	64,67	0,48	43,09	0,35	129,66	0,76
Dez	59,86	0,53	121,84	0,69	144,39	0,66	77,04	0,57	57,41	0,39	101,91	0,79
Resposta	2 Meses		5 Meses		1 Mês		5 Meses		4 Meses		5 Meses	

A Tabela 7 ilustra as correlações estatisticamente significativas ($r > 0,5$) para cada RH de IVDN e precipitação. As correlações obtidas indicam que a resposta da vegetação às precipitações em determinadas regiões iniciam-se no mesmo mês em que ocorreu o máximo de chuva. Para as correlações mais elevadas $r = 0,8$ a resposta da vegetação tem defasagem de 1 a 2 meses, o que indica que após esse período a vegetação atinge seu maior vigor, a exemplo da RH5, destacando a precipitação do mês de janeiro com o IVDN de janeiro e fevereiro ($r = 0,5$; $0,7$) e a precipitação de junho com o IVDN de julho e setembro ($r = 0,8$) respectivamente. Salienta-se que nessa região predomina o bioma caatinga, esse tipo de cobertura tende a responder mais rapidamente as precipitações. Já na RH6 onde as chuvas são mais regulares e a vegetação é do tipo Floresta Atlântica, as correlações são mais baixas, isso ocorre pela pouca variação do IVDN, devido à quantidade de umidade presente no solo, decorrente das frequentes precipitações, fazendo com que a vegetação permaneça em pleno vigor durante todo o ano. Logo nesta região não se pode precisar com exatidão o tempo de resposta da vegetação. De modo geral a análise de correlação aos níveis de significância $\alpha = 0,01$ e $\alpha = 0,05$ para as 6 regiões homogêneas indicam uma defasagem de 1 a 2 meses na resposta da vegetação às precipitações (Tabela 7).

Tabela 7: Coeficientes de Correlação Linear entre IVDN e Precipitação para Cada Região Homogênea no estado da Bahia (2001-2015)

Regiões	Correlação PRP X IVDN											
RH1	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Jan_PRP		0,7**										
Fev_PRP			0,8**									
Mar_PRP				0,5*								
Abr_PRP					0,6*		0,6*					
Nov_PRP											0,6*	0,7**
RH2	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Fev_PRP			0,6*									
Mar_PRP			0,5*	0,7**	0,6*		0,5*					
Abr_PRP				0,6*	0,8**	0,8**	0,5*					
Out_PRP											0,8**	
Nov_PRP												0,7**
Dez_PRP												0,6**
RH3	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Jan_PRP		0,7**										
Fev_PRP		0,6**	0,7**									
Mar_PRP				0,7**	0,7**	0,6*	0,6*	0,6*				
Abr_PRP					0,6*	0,5*	0,5*	0,5*				
Jun_PRP							0,5*	0,5*	0,5*			
Out_PRP										0,6*	0,7**	
RH4	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Jan_PRP		0,7**										
Fev_PRP		0,5*	0,6*	0,5*		0,5*						
Mar_PRP				0,7**	0,6*		0,5*		0,5*			
Abr_PRP					0,6*	0,6*	0,6*	0,6*	0,5*	0,5*	0,7**	0,6*
Out_PRP											0,8**	
Nov_PRP												0,5*
RH5	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Jan_PRP	0,5*	0,7*	0,5*									
Fev_PRP		0,6*	0,6*	0,5*								
Mar_PRP				0,8*	0,6*		0,7**	0,5*	0,6*	0,6*		
Jun_PRP							0,8**	0,6*	0,8**	0,6*		
Jul_PRP							0,5*	0,7**	0,6*			
Set_PRP									0,7**	0,5*		
Out_PRP										0,7**	0,7**	
RH6	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Mar_PRP			0,5*	0,7**								
Out_PRP												0,6*

** Significativa para $\alpha = 0,01$; *Significativa para $\alpha = 0,05$

A comparação dos valores médios dos índices de vegetação em relação a precipitação, apresenta uma defasagem de 1 a 2 meses para o EVI (Tabela 4) e de 1 a 5 meses para o IVDN (Tabela 6), isto pode estar relacionado ao fato do EVI apresentar em sua fórmula fatores de correção atmosférica (aerossóis), promovendo a redução das influências atmosféricas e do solo sobre a resposta do dossel vegetativo (JUSTICE et al., 1998), dessa forma otimiza o sinal da vegetação, principalmente em áreas de biomassa mais densa. Segundo Huete et al., (2002) o EVI melhora algumas respostas do IVDN, por ser mais sensível as variações estruturais e arquitetônicas do dossel de fitofisionomias com maior densidade de biomassa, além da redução de influências atmosféricas e do solo.

A análise quantitativa conjunta dos padrões mensais do EVI e IVDN em relação às precipitações indica uma forte dependência dos índices, com o regime pluviométrico em cada região. A evolução ou diminuição dos índices com as chuvas deixa claro o início e o fim do ciclo fenológico da vegetação. Para ambos os índices à medida que as chuvas vão diminuindo durante os meses do ano, os valores do EVI e IVDN decrescem em função da resposta da cobertura ao estresse hídrico. Com base nas correlações obtidas entre EVI e precipitação (Tabela 5) pode-se dizer que para a RH1 elas são maiores no período chuvoso e menos chuvoso, apresentando defasagem de 1 mês. Na RH4 e RH6 onde as chuvas são mais frequentes (solo úmido) e a vegetação é do tipo floresta são encontradas as menores correlações. Na RH2, RH3 e RH5, onde predomina a Caatinga, o Cerrado, e Caducifólia, as correlações são maiores tanto no período seco quanto no chuvoso, com defasagem de 1 a 2 meses. Para as correlações entre IVDN e precipitação (Tabela 7), observa-se que para as RH1, RH3 e RH5 as maiores correlações ocorrem tanto no período chuvoso como no menos chuvoso, apresentando defasagem de 1 mês. Na RH2 e RH4 as maiores correlações se encontram no período chuvoso e na RH6 encontra-se as menores correlações, com defasagem de 1 a 2 meses.

6 CONCLUSÕES

A ACP aplicada aos dados de EVI e IVDN obtidos das imagens MODIS/Terra e precipitações, possibilitou a extração de importantes informações sobre a cobertura vegetal no bioma da Bahia.

A primeira e a segunda CP do EVI e IVDN apresentaram comportamentos semelhantes, com altas correlações superiores a 0,8 de maio a outubro para o EVI e de junho a outubro para o IVDN. O terceiro fator do EVI apresentou correlação superior a 0,6 apenas em novembro. Observou-se núcleos de EVI mais intensos que o IVDN em todos os padrões espaciais.

A análise conjunta entre EVI, IVDN e precipitação, indicou que nas diferentes regiões o crescimento e decréscimo dos índices estão diretamente associados com a intensidade da precipitação. O tempo de resposta do EVI e IVDN em relação as máximas precipitações são variantes, ou seja, para o EVI a defasagem foi de 1 a 2 meses e para o IVDN de 1 a 5 meses dependendo do tipo de vegetação. Para regiões com chuvas mais regulares e cobertura vegetal floresta, a resposta é mais lenta, devido a umidade do solo e ao porte da vegetação permanecendo em pleno vigor durante vários meses, atingindo o máximo quando a precipitação começa a diminuir (tabela 4, 6).

As maiores correlações entre os índices e precipitação, ocorreram tanto no período seco quanto no chuvoso, com uma defasagem de 1 a 2 meses, dependendo das características da região. Em regiões de regime de chuvas mais regulares se concentram as menores correlações.

Em geral os índices apresentaram resultados semelhantes, porém o EVI apresentou melhor resposta que o IVDN, possivelmente devido ao fato que no seu calculo é considerada a correção atmosférica, que otimiza o sinal da vegetação, principalmente em áreas de cobertura mais densa, o que pode estar relacionado a variação do tempo de resposta obtido entre os índices no presente estudo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMANAJAS, J.C. **Modelagem do impacto das mudanças de uso e cobertura do solo no microclima sobre área de cerrado no amapá**. 2015. 170p. Tese (Doutorado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015.
- AMANAJÁS, J.C.; BRAGA, C.C. Padrões espaço-temporal Pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando Análise Multivariada. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, p. 323–338, 2012.
- ANDERSON, L.O; LATORRE, M.L.; SHIMABUKURO, Y.E.; ARAI, E., CARVALHO JÚNIOR, O.A. **Sensor MODIS: Uma abordagem geral**, São José dos Campos: INPE, 2003.
- ARAÚJO, S.M.B. **Estudo da variabilidade climática em regiões homogêneas de temperaturas médias no Rio Grande do Sul**. 2005. 54p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2005.
- ARAUJO, A. L.; BRAGA, C.C.; SILVA, B.B. Variação do NDVI na Chapada do Araripe com dados Landsat 5 - TM. **In: III Simpósio Internacional de Climatologia**, 2009, Canela/RS.
- ASSIS, A.M., OMASA, K. Estimation of vegetation parameter for modeling soil erosion using linear Spectral Mixture Analysis of Landsat ETM data. **Journal of Photogrammetry e Remote Sensing**, v. 62, p.309-324, 2007.
- BARET, F.; GUYOT, G.; MAJOR, D. TSAVI: A vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI and APAR estimation. **In: IGARSS' 89**, Canadian Symposium on Remote Sensing, 12., V3, 1195-1197, 1989.
- BARKER, J.L.; HARDEN, M.K.; ANUTA, E.A.; SMID, J.E.; HOUGHT, D.; **MODIS spectral sensitivity study: requirements and characterization**. Washington: Nasa, Oct, 1992, 84p.
- BAKR, N.; WEINDORF, D.C.; BAHNASSY, M.H.; MAREI, S.M.; EL-BADAWI, M.M. Monitoring land cover changes in a newly reclaimed area of Egypt using multi-temporal Landsat data. **Applied Geography**, v.30, p.592-605, 2010.
- BRAGA, C. C.; DANTAS, F. R. C. ; NEVES, D. G. Estimativa da cobertura vegetal no setor leste de Pernambuco utilizando dados do AVRHH/NOAA. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 4, p. 99-107, 2009.
- BRAGA, C.C.; SANTOS, A.S.; SILVA, B.K.N. Resposta da vegetação às precipitações em regiões homogêneas no estado da Bahia. **In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Florianópolis, 2006.

- BRAGA, C.C.; NEVES, D.G.; BRITO, J.I. Estimativa da fração vegetação no leste da Bahia no período de 1982 a 1999. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 14, nº. 3, p. 252 – 260, 2006.
- BRAGA, C.C.; **Inter-relações entre padrões de índice de vegetação e de pluviometria no Nordeste do Brasil**. 2000. 124 p. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Curso de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2000.
- BRAGA, C.C.; MELO, M. L. D. . Análise de Agrupamento Aplicada à Distribuição da Precipitação no Estado da Bahia. In: **X Congresso Brasileiro de Meteorologia e VIII Congresso da FLISMET**, Brasília, 1998.
- CHEN, X.; VIERLING, L.; ROWELL, E.; DE FELICE, T. Using lidar and effective LAI data to evaluate IKONOS and Landsat 7 ETM + vegetation cover estimates in a ponderosa pine forest. **Remote Sensing of Environment**, v.91, p. 14-26, 2004.
- CHRISTOFOLETTI, A. Implicações climáticas relacionadas com as mudanças climáticas globais. **Boletim de Geografia Teórica**. Rio Claro, vol. 23, n. 45-46, p. 1831, 1993.
- CLIMANALISE: Climatologia de Precipitação e Temperatura. Edição especial, 1996. acesso em 07/08/2016 disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/chuesp.html>
- COSTA, L.F.F.; KUPLICH, T.M. ; UBESSI, C. Tabulação cruzada entre índice de vegetação mensal e as variáveis climáticas precipitação e temperatura no Estado do Rio Grande do Sul. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. João Pessoa. **Anais do XVII SBSR**. 2015. p. 4776-4783.
- COSTA, A.S.; Modulação Regional das Chuvas no Estado do Maranhão. 2016. 86 p. Dissertação de (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016.
- DANTAS, M.P.; BRAGA, C.C.; SOUSA, E.P.; BARBIERI, L.F.P.; VILAR, R.A. Temporal analysis of rainfall and vegetation index using satellite images in Pernambuco State. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, Recife, v. 6, p. 99-107, 2016.
- DOURADO, C.S; OLIVEIRA, S.R.M; AVILA, A.M.H . Análise de zonas homogêneas em séries temporais de precipitação no Estado da Bahia. **Bragantia**, v. 72, p. 192-198, 2013.
- EASTMAN, J.R., FULK, M. Long sequence time series evaluation using standardized principal components. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v.59, n.9 p.1307- 1312, 1993.
- EVERITT, B. **Cluster Analysis**. Heinemann Education Books, London: Academic Press, 3 edição, 1993. p. 170.
- FERREIRA, L.G.; FERREIRA, N.C.; FERREIRA, M.E. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado-da-arte. **Acta Sci. Biol. Sci**, v. 30, n. 4, p. 379-390, 2008.

- FERREIRA, A.G., MELLO, N.G.S. Principais Sistemas Atmosféricos Atuantes Sobre a Região Nordeste do Brasil e a Influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no Clima da Região. **Revista Brasileira de Climatologia**, Vol. 1, n. 1, p. 15-28, 2005.
- FORMIGONI, M. H.; XAVIER, A.C.; LIMA, J.S.S. Análise temporal da vegetação na região do Nordeste através de dados EVI do MODIS. **Ciência Florestal (UFSM Impresso)**, v.21, p. 1-8, 2011.
- GALINA, M.H.; CARVALHO, S.S. ; NUNES, V.V. ; NOGUEIRA, J.L.R. Análise espaço-temporal do cultivo de milho em Sergipe, com auxílio de NDVI/EVI- Sensor Modis, no período de 2003-2012. In: Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto - GEONORDESTE 2014, Aracaju. **Anais...**, 2014. p. 18-21.
- GAO, X.; Huete, A.R.; Ni, W.; Miura, T. Optical–biophysical relationships of vegetation spectra without background contamination. **Remote Sensing of Environment**, v. 74, p. 609 – 620, 2000.
- GONG, X., RICHMAN, M.B. On the Application of Cluster Analysis to growing season precipitation data in North America East of the Rockies. **Journal of Climate**, v.8, p. 897-924, 1995.
- HUETE, A.R.; LIU, H.Q.; BATCHILY, K.; VAN LEEUWEN, W.J.D.A. Comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, p. 440–451, 1997.
- HUETE, A.; DIDAN, K.; Miura, T.; RODRIGUEZ, E.P.; GAO, X.; FERREIRA, L.G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, n. 83, p. 195-213, 2002.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=ba>. Acesso em: 10 de julho de 2015.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=ba>. Acesso em: 04 de agosto de 2015.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=ba>. Acesso em: 06 de dezembro de 2015.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=ba>. Acesso em: 14 de julho de 2016.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acesso em: 18 de fevereiro de 2015.
- JESUS, S.C.; MIURA, A.K. Análise de regressão linear múltipla para estimativa do índice de vegetação melhorado (EVI) a partir das bandas 3, 4 e 5 do sensor TM/Landsat 5. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal. **Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2009.

- JONES M.R.; BLENKINSOP S.; FOWLER H.J.; KILSBY C.G. Objective classification of extreme rainfall regions for the UK and updated estimates of trends in regional extreme rainfall. **International Journal of Climatology**, v. 34, p. 751–765, 2014.
- JUSTICE, C.O.; RUNNING, S.W. et al. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): Land Remote Sensing for Global Change Research. **Ieee Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.36, n.4, p. 1228-1249, 1998.
- JUSTICE, C.O.; TOWNSHEND, J.R.G.; VERMOTE, E.F.; MASUOKA, E.; WOLFE, R.E.; SALEOUS, N.; ROY, D.P.; MORISETTE, J.T. An overview of MODIS Land data processing and product status. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n.1-2, p. 3–15, 2002.
- KOUSKY, V.E. Frontal influences on Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v.107, p. 1140-1153, 1979.
- KOUSKY, V.E. Diurnal rainfall variation in Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v.108, n. 4, p. 488-498, 1980.
- LATORRE, M.L. et al. Sensor MODIS: características gerais e aplicações. **Espaço & Geografia**. v. 6, n. 1, p. 97–126, 2003.
- LIESENBERG, V.; PONZONI, F.J.; GALVÃO, L.S. Análise da dinâmica sazonal e separabilidade espectral de algumas fitofisionomias do cerrado com índices de vegetação dos sensores MODIS/TERRA e AQUA. **Revista Árvore** (Impresso), v. 31, p. 295-305, 2007.
- LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. New York, John Wiley, 3. ed., 1994, 750p.
- LIMA, F.J.L.; BRAGA, C.C. ; SILVA, E.M. Emprego da análise de componente principal e agrupamentos a dados de vento em regiões do Nordeste do Brasil. In: XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, Belém (PA). **Anais... A Amazônia e o Clima Global**. SBMET, 2010.
- MARTON, E.; SILVA, D.P.L. Energética ZCPS/ZCAS. In: IX Congresso Brasileiro de Meteorologia, Campos do Jordão. 1996. v. 01. p. 783-786.
- MELESSE, A.M. et al. Remote Sensing Sensors and Applications in Environmental Resources Mapping and Modelling. **Sensors**, v.7, p. 3209-3241, 2007.
- MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. Disponível em: http://www.cpatsa.embrapa.br/public_eletronica/downloads/OPB1839.pdf Acesso em maio de 2016.
- MIRANDA, E.E. de; (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 21 dez. 2015.
- MODIS Website. Disponível em: <<http://modis.gsfc.nasa.gov/>>. Acesso em: abr. 2015.

- MOLION, L.C.B., BERNARDO, S.O. Uma Revisão da Dinâmica Das Chuvas no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, n. 1, p. 1-10, 2002.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Viçosa: Ed. UFV, 2005. 320 p.
- NASCIMENTO, G.S.; **Obtenção do Saldo de Radiação no Estado do Ceará Utilizando Imagens Modis**. 2012. 85p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012.
- NASCIMENTO, F.C.A. **Padrões climáticos associados à periodicidade de eventos extremos de precipitação no Estado do Maranhão**. 2014. 108p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014.
- NETO, J. M.M.; MOITA, G.C. Uma Introdução à Análise Exploratória de Dados Multivariados. **Química Nova**, São Paulo - SP, v. 21, n.4, p. 467-469, 1998.
- NEVES, D.G.; BRAGA, C.C. Variabilidade Espacial e Temporal de IVDN para Região da Mata Atlântica no Estado da Bahia. In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza- CE. **Climatologia e Previsão Climática**, 2004.
- NICHOLSON, S.E.; FARRAR, T.J. The Influence of Soil Type on the Relationships between NDVI, Rainfall, and Soil Moisture in Semiarid Botswana. **Remote Sensing of Environment**, v. 50, p. 107-120, 1994.
- NISHIDA, K.; NEMANI, R.; GLASSY, J.; RUNNING, S. Development of an evapotranspiration index from aqua/MODIS for monitoring surface moisture status. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.41, p.493-501, 2003.
- PEARSON, K. **On lines and planes of closest fit to systems of points in space**, Phil. Mag., v. 6, p. 559-72, 1901.
- REBOITA, M.S.; GAN, M.A.; ROCHA, R.P.; AMBRIZZI, T. Regimes de Precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.2, p. 185-204, 2010.
- RICHMAN, M.B., ADRIANTO, I. Classification and regionalization through kernel principal component analysis. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 35, p. 316-328, 2010.
- RICHMAN, M.B. Rotation of principal components. **Journal of Climatology**, v.6, p. 293-335, 1986.
- RICHMAN, M. B. Specification of complex modes of circulation with T-mode factor analysis. In: II International Conference on Statistics and Climate, Lisbon. **Anais**. National Institute of Meteorology and Geophysics, 1983. p. 511-518.
- RISSO, J.; RIZZI, R.; EPIPHANIO, R.D.V.; RUDORFF, B.F.T.; FORMAGGIO, A.R.; SHIMABUKURO, Y.E.; FERNANDES, S.L. Potencialidades dos índices de vegetação

EVI e NDVI dos produtos MODIS na separabilidade espectral de áreas de soja. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal. 2009. p. 379-386.

- ROSENDO, J.S. **Índice de vegetação e monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na bacia do Rio Araguaia – MG utilizando dados do sensor MODIS**. 2005. 152. p. Dissertação (Mestrado em Geografia e Gestão do Território) – Universidade de Uberlândia, MG, Uberlândia, 2005.
- ROUSE J. W.; HAAS, J.R.H.; SCHELL J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, Third ERTS Symposium. NASA SP-351, p. 309–317, 1973.
- RUDORFF, B.F.T.; SHIMABUKURO, Y.E.; CEBALLOS, J.C. (Eds). **Sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. 1 ed. São José dos Campos, SP: Editora Parentese, 2007.
- SALOMONSON, V.V.; TOLL, D.L. Execution phase (C/D) spectral band characteristics of the EOS Moderate Resolution Imaging Spectrometer (MODIS-N) facility instrument. **Advances in Space Research**, v.2 (3), p. 231-236, 1990.
- SANTOS, A.H.M. **Eventos Extremos de Chuva em Salvador, Bahia: Condições Atmosféricas e Impactos Ambientais**. 2008. 65 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.
- SANTOS, F.A.C. **Alterações no balanço radiativo e impactos climáticos decorrentes do uso da terra no estado de São Paulo**. 2011. 70 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.
- SANTOS, J.Y.G.; SILVA, R.M.; CARVALHO, N.J.G.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; SANTOS, C.A.G.; SILVA, A.M. Assessment of land use change on the streamflow using GIS, **Remote sensing and physically-based model**. v. 368, p. 232-239, 2014.
- SANTOS, N.A. **Modulação Regional da precipitação e temperatura da superfície do mar no estado da Bahia**. 2016. 89 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016.
- SILVA, J. R.S.; MOURA, M.A.L.; MEIXNER, F.X.; KORMANN, R.; LYRA, R.F.F.; NASCIMENTO, F.M.F. Estudo da concentração do CO₂ atmosférico em área de pastagem na região amazônica. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.22, n.3, p.259-270, 2004.
- SOUZA, A.M. **Monitoração e ajuste de realimentação em processos produtivos multivariados**. 2000. 166 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2000.
- SOUSA, E.P.; COSTA, A. S.; BRAGA, C.C.; BRITO, J.I.B. ; SILVA, M.T. Padrões climáticos da razão de mistura do ar em Minas Gerais/Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 08, p. 1661-1672, 2015.

- STRANG, D.M.G. Análise climatológica pluviométrica do Nordeste brasileiro. **Relatório IAE-M-02/72**, Centro Técnico Aeroespacial. São José dos Campos, p. 70, 1972.
- YAMAZAKI, Y.; RAO, V.B. Tropical cloudiness over the South Atlantic Ocean. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, Tokyo, v.55, p. 205-207, 1977.
- WARD, J.H. Hierarchical grouping of otimizada objective function. **Journal of American Statistical Association**, v. 58, p. 236-244. 1963.
- WENG, Q. **Remote Sensing and GIS Integration: Theories, Methods, and Applications**. New York: McGraw-Hill, 2010, p. 397.
- WILKS, D.S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. London, 2. ed. Academic Press, 2006. 649 p.