



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

ANA CAROLINA DE OLIVEIRA GOULART

**RELAÇÃO ENTRE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E A PRECIPITAÇÃO
PLUVIOMÉTRICA NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO**

Prof. Dr. RAFAEL COLL DELGADO

Orientador

**Seropédica - RJ
Agosto – 2013**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

ANA CAROLINA DE OLIVEIRA GOULART

**RELAÇÃO ENTRE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E A PRECIPITAÇÃO
PLUVIOMÉTRICA NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof.º Dr. RAFAEL COLL DELGADO

Orientador

**Seropédica - RJ
Agosto – 2013**

**RELAÇÃO ENTRE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E A PRECIPITAÇÃO
PLUVIOMÉTRICA NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO**

Comissão Examinadora

Monografia apresentada em 28 de agosto de 2013.

Prof^o. Dr. Rafael Coll Delgado

UFRRJ/IF/DCA

Orientador

Prof^o Dr. Eduardo Vinicius da Silva

UFRRJ/IF/DS

Membro

MSc. Givanildo de Gois

UFRRJ/IF/DCA

Membro

AGRADECIMENTOS

A gradeço a Deus por ter estado ao meu lado durante esta caminhada e por permanecer junto a mim para as próximas etapas da vida, pelas dificuldades enfrentadas, que me valeram de experiência e crescimento, sem Ele nada seria possível.

Aos meus familiares pelo apoio, carinho e compreensão.

A família Reis (Carlos Augusto *in memoriam*) pela amizade eterna.

As amigas de turma Carol, Carla, Monique, Marcelly e Lorena pelas ótimas experiências e dificuldades enfrentadas.

A família F4 206, onde durante cinco anos convivi por mais tempo que meus familiares.

A amizade nascida pela fé de João Junior, pelo apoio e carinho.

Ao grupo de oração, pastoral universitária e ao padre Paulo, por não deixar separar a fé da ciência.

A pesquisadora Joyce Monteiro pela amizade e conhecimento recebidos.

Ao professor e orientador Rafael Delgado, pelo incentivo e apoio a este trabalho.

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, por proporcionar minha formação acadêmica com excelência em professores.

RESUMO

O município do Rio de Janeiro apresenta áreas de remanescentes significativos do bioma Mata Atlântica, em sua maioria protegidas por lei em unidades de conservação. Aos fragmentos existentes compete o papel de minimizar os efeitos negativos ocasionados pela retirada das matas, como a diminuição da biodiversidade, erosão dos solos e influências na disponibilidade hídrica. Com isso, estes se tornam alvos importantes de avaliação com vasta abordagem, onde se busca o conhecimento de sua dinâmica, influências geradas e sofridas. O objetivo deste trabalho é analisar a relação entre a dinâmica espectro-temporal no município do Rio de Janeiro por meio de três índices de vegetação e dados de precipitação pluviométrica, com o intuito em obter o índice que melhor representa essa relação para o município. Os índices utilizados foram IVDN (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), IVAS (Índice de Vegetação com Ajuste do Solo) e o IAF (Índice de Área Foliar), índices provenientes das imagens obtidas pelo sensor TM (Thematic Mapper) do satélite Landsat 5. Para o processamento dos dados foram utilizados os softwares ERDAS IMAGINE 10, onde para os resultados da calibração radiométrica e refletância foi adotado a metodologia de BASTIAANSEN et al. (1998) o SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land), e o software ArcGIS 10.1 utilizado neste trabalho para a análise e organização de banco de dados, seguido da confecção dos mapas em escala espaço-temporal dos dados do produto TM. As imagens analisadas foram disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e escolhidas as que apresentaram ausência de nuvens para cada ano (1984 a 1994), sendo este período de avaliação dependente das informações geradas pelas estações meteorológicas, onde só os anos em os dados eram completos é que foram utilizados. O índice que apresentou melhor relação com a precipitação no município do Rio de Janeiro foi o IVDN, porém novas análises devem ser realizadas com outros índices para a mesma localidade, onde poderão ser encontradas melhores correlações. Outros fatores influenciadores do crescimento da vegetação devem ser verificados em relação aos índices como o Modelo Digital de Elevação e o sensor MODIS. Assim como, outras condições de clima, de relevo e solo são importantes fatores a serem considerados, propondo uma análise conjunta dos mesmos. Os resultados encontrados poderão complementar estudos da dinâmica da vegetação no município e servir como sugestão para uso do IVDN para outros períodos.

Palavras-chave: Landsat 5 TM, vegetação e disponibilidade hídrica

ABSTRACT

The city of Rio de Janeiro has areas of significant remnants of the Atlantic Forest biome, mostly protected in conservation areas. The existing fragments racing role to minimize the negative effects caused by the removal of forests, such as biodiversity loss, soil erosion and water availability influences. With this, they become important targets with extensive evaluation approach, where one seeks the knowledge of its dynamics, influences generated and sustained. The objective of this work is to analyze the relationship between the spectral-temporal dynamics in the municipality of Rio de Janeiro through three vegetation indices and rainfall data in order to obtain the index that best represents this relationship for the municipality. The indices used were NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), SAVI (Soil Adjust Vegetation Index) and LAI (Leaf Area Index) indices from the images obtained by the sensor TM (Thematic Mapper) satellite Landsat 5. For the data processing we used the software ERDAS IMAGINE 10 where the results for the radiometric calibration and reflectance was adopted methodology BASTIAANSEN et al. (1998) the SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land), and ArcGIS 10.1 software used in this work for the analysis and organization of the database, followed by the preparation of maps in scale spatio-temporal TM data product. The images were analyzed by available Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) and chosen the ones with no clouds for each year (1984-1994), and this evaluation period dependent on information generated by meteorological stations, where only the years the data were complete were they used. The index has better relationship with rainfall in the city of Rio de Janeiro was the NDVI, but further studies should be conducted with other indices to the same location where they can be found better correlations. Other factors influencing the growth of vegetation should be checked in relation to indices such as the Digital Elevation Model and MODIS. As well as other conditions of climate, topography and soil are important factors to be considered, proposing a joint analysis. The results can complement studies of vegetation dynamics in the city and serve as a suggestion for the use of NDVI for other periods.

Keywords: Landsat 5 TM, vegetation and water availability.

SUMÁRIO

LISTA DE EQUAÇÕES.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objetivos.....	2
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1. Fatores que afetam a refletividade da cobertura vegetal e sua influência no estudo da vegetação.....	2
2.2. Condições edafoclimáticas.....	4
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	4
3.1. Área de estudo.....	4
3.2. Metodologia.....	5
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	9
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	20
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	20
7. ANEXOS.....	24

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Equação para o cálculo da Calibração Radiométrica.....	6
Equação 2: Equação para o cálculo Refletividade.....	7
Equação 3: Equação para o cálculo da distância relativa terra-sol.....	7
Equação 4: Equação para o cálculo do Índice De Vegetação Da Diferença Normalizada (IVDN).....	7
Equação 5: Equação para o cálculo do Índice de Vegetação por Ajuste do Solo (IVAS).....	8
Equação 6: Equação para o cálculo do Índice de Área Foliar (IAF).....	9
Equação 7: Equação para o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov.....	9
Equação 8: Equação para o teste de normalidade de Shapiro-Wilks.....	9
Equação 9: Equação para o teste de homogeneidade de Hartley.....	9
Equação 10: Equação para o teste de homogeneidade de Bartlett.....	9

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Espectro da refletância de uma folha.....	3
Figura 2: Localização geográfica da área de estudo. A imagem com a composição RGB (5, 4 e 3) é a cidade do Rio de Janeiro em destaque	5
Figura 3: Fluxograma com as etapas de obtenção aos valores dos índices de vegetação.....	8
Figura 4: Probabilidade normal dos índices de vegetação (IVDN, IVAS e IAF).....	10
Figura 5: Boxplot exploratório dos índices de vegetação.....	11
Figura 6: Coeficiente de determinação entre os índices de vegetação versus a precipitação para 31 de maio de 1990.....	14
Figura 7: Coeficiente de determinação entre os índices de vegetação versus a precipitação para 21 de julho 1991.....	15
Figura 8: Coeficiente de determinação entre os índices de vegetação versus a precipitação para os dez anos na estação meteorológica Eletrobrás.....	17
Figura 9: Coeficiente de determinação entre os índices de vegetação versus a precipitação para os dez anos na estação meteorológica Bangu.....	18
Figura 10: Coeficiente de determinação entre os índices de vegetação versus a precipitação para os dez anos na estação meteorológica Campo Grande.....	19
Figura 11: Coeficiente de determinação entre os índices de vegetação versus a precipitação para 30 de maio de 1984.....	28
Figura 12: Coeficiente de determinação entre os índices de vegetação versus a precipitação para 15 de abril de 1985.....	29
Figura 13: Coeficiente de determinação entre os índices de vegetação versus a precipitação para 28 de janeiro de 1986.....	30
Figura 14: Coeficiente de determinação entre os índices de vegetação versus a precipitação para 11 de agosto de 1987.....	31
Figura 15: Coeficiente de determinação entre os índices de vegetação versus a precipitação para 23 de março de 1988.....	32
Figura 16: Coeficiente de determinação entre os índices de vegetação versus a precipitação para 26 de abril de 1989.....	33
Figura 17: Coeficiente de determinação entre os índices de vegetação versus a precipitação para 08 de agosto de 1992.....	34

Figura 18: Coeficiente de determinação entre os índices de vegetação versus a precipitação para 10 de janeiro de 1993.....	35
Figura 19: Coeficiente de determinação entre os índices de vegetação versus a precipitação para 27 de junho de 1994.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relação das estações meteorológicas utilizadas.....	8
Tabela 2: Distribuição dos testes de normalidade dos dados experimentais.....	10
Tabela 3: Resultados da análise de regressão e correlação dos índices de vegetação por ano.....	12
Tabela 4: Valores resultantes da precipitação, IVDN, IVAS e IAF correspondentes a cada estação meteorológica para o ano de 1984.....	24
Tabela 5: Valores resultantes da precipitação, IVDN, IVAS e IAF correspondentes a cada estação meteorológica para o ano de 1985.....	24
Tabela 6: Valores resultantes da precipitação, IVDN, IVAS e IAF correspondentes a cada estação meteorológica para o ano de 1986.....	24
Tabela 7: Valores resultantes da precipitação, IVDN, IVAS e IAF correspondentes a cada estação meteorológica para o ano de 1987.....	25
Tabela 8: Valores resultantes da precipitação, IVDN, IVAS e IAF correspondentes a cada estação meteorológica para o ano de 1988.....	25
Tabela 9: Valores resultantes da precipitação, IVDN, IVAS e IAF correspondentes a cada estação meteorológica para o ano de 1989.....	25
Tabela 10: Valores resultantes da precipitação, IVDN, IVAS e IAF correspondentes a cada estação meteorológica para o ano de 1990.....	26
Tabela 11: Valores resultantes da precipitação, IVDN, IVAS e IAF correspondentes a cada estação meteorológica para o ano de 1991.....	26
Tabela 12: Valores resultantes da precipitação, IVDN, IVAS e IAF correspondentes a cada estação meteorológica para o ano de 1992.....	26
Tabela 13: Valores resultantes da precipitação, IVDN, IVAS e IAF correspondentes a cada estação meteorológica para o ano de 1993.....	27
Tabela 14: Valores resultantes da precipitação, IVDN, IVAS e IAF correspondentes a cada estação meteorológica para o ano de 1994.....	27
Tabela 15: Resultados de Regressão linear e teste Kolmogorov entre 1984 e 1994.....	27

1. INTRODUÇÃO

O município do Rio de Janeiro apresenta áreas de remanescentes significativos do bioma Mata Atlântica, em sua maioria protegidas por lei em unidades de conservação. CLARE et al. (2009) descrevem em seu estudo a totalidade de 43 unidades de conservação, equivalentes a aproximadamente um terço do total de unidades municipais em todo estado. Somados os valores de Floresta Ombrófila Densa, Restinga, Manguezal e Brejo, chega-se ao valor de 35.290 ha, ou seja, 28,9% do território (PCRJ, 2009).

Devido à expansão territorial causada pelas inúmeras construções, tanto regulares como irregulares, estão ocasionando a supressão da vegetação de forma desordenada, e em consequência inviabilizando as essenciais funções das florestas, que desempenham desde o equilíbrio estrutural do solo até alterações microclimáticas. Para FOLEY (2005) a retirada da cobertura florestal, em regiões tropicais, poderá ocasionar alterações no balanço hídrico, tornando o clima mais seco e quente.

Por ser uma das cidades de maior interesse econômico do país, o Rio de Janeiro sofreu ao longo dos anos uma intensa concentração populacional, onde toda a ocupação urbana se localizou em áreas que antes era de vegetação nativa sem o devido planejamento, considerando que o município era em sua totalidade coberto pela Mata Atlântica. Segundo o IBGE (2010) a cidade sofreu um aumento de aproximadamente 840.000 pessoas entre os anos de 1991 e 2010, um acréscimo de 15% para este mesmo período, apresentando tendências à continuidade de crescimento para os próximos anos.

Aos fragmentos existentes compete o papel de minimizar os efeitos negativos ocasionados pela retirada das matas, como a diminuição da biodiversidade, erosão dos solos e influências na disponibilidade hídrica. Com isso, estes se tornam alvos importantes de avaliação com vasta abordagem, onde se busca o conhecimento de sua dinâmica, influências geradas e sofridas.

Para a avaliação da vegetação existem variações metodológicas nos diferentes intuitos de pesquisa, dependentes dos fatores edafoclimáticos que podem ser analisados, se estes irão intervir direta ou indiretamente no crescimento vegetal.

SAMPAIO (2003) afirma que a precipitação pluviométrica influencia a distribuição das espécies e a produção de biomassa, assim como a localização geográfica, a configuração do relevo e as condições edáficas (fertilidade, teor de matéria orgânica e profundidade do solo). Sabendo-se que a disponibilidade hídrica afeta consideravelmente a dinâmica de desenvolvimento vegetal este estudo faz a análise do fator precipitação de forma isolada relacionando-o a índices de vegetação.

Muitas técnicas estão sendo empregadas às pesquisas de monitoramento e comportamento da vegetação buscando cada vez mais atrelar as melhorias na obtenção dos dados à precisão dos resultados. Hoje a tecnologia oferecida pelo sensoriamento remoto possibilita de forma eficaz essa necessidade do meio científico. SHIMABUKURO et al. (2009) consideram que o sensoriamento remoto tem contribuído com informações importantes sobre a localização, tipo e condições da cobertura vegetal, assim fazendo parte de qualquer sistema de informações de recursos agrônômicos e florestais.

Pesquisa realizada por ANACLETO et al. (2005) indicaram que as técnicas de sensoriamento remoto auxiliaram em um bom direcionamento no processo de seleção de áreas para conservação do Cerrado, indicando áreas potenciais para o estabelecimento de novas unidades de conservação, envolvendo também estudos sistemáticos de planejamento que abordem estrutura fundiária, interesses socioeconômicos, tamanho das áreas, conectividade, replicação e escolha de espécies-alvo.

Alguns estudos vem levantando a correlação de variáveis ambientais à índices de vegetação obtidos por meio do sensoriamento remoto. A precipitação é um dos principais

fatores de interferência no crescimento das árvores e conseqüentemente na regeneração natural, indicando o aumento vegetacional nos meses mais chuvosos. CHIKOORE & JURY (2010) obtiveram, em estudo ocorrido na África do Sul, a análise conjunta da precipitação e dados de IVDN (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), no qual foi investigado a interação de seus padrões e estabelecer a distribuição espacial intrasazonal e variabilidade temporal das chuvas e modos de vegetação sobre o sul da África.

Buscando avaliar a variação da cobertura vegetal na Microrregião do Sertão do São Francisco Alagoano, em Alagoas, GOMES et al. (2013) corroboraram que mapas dos índices IVDN e o IVAS (Índice de Vegetação com Ajuste do Solo) gerados com os dados de satélite LANDSAT 5 podem ser utilizados para monitoramento das variabilidades espacial das condições bioclimáticas e seus impactos nas condições de vegetação.

Já o IAF (Índice de Área Foliar) pode ser importante para estudos de dinâmica de dossel para floresta de transição e florestas tropicais, porém precisa ser validado para ser utilizado com segurança em modelos de acoplamento biosfera-atmosfera, segundo SANCHES et. al (2008) em estudo de Floresta de Transição Amazônia-Cerrado utilizando sensor MODIS. (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer - Radiômetro Espectral de Resolução Moderada)

A utilização de metodologias com o auxílio do sensoriamento remoto no setor florestal brasileiro contribui para reforçar e dar maiores subsídios às possíveis ações ligadas à quantificação de recursos e adversidades e ao monitoramento de áreas com potencialidades ao reflorestamento, auxiliando na tomada de decisões, com bases científicas confiáveis (SOUZA et al., 2007).

1.1. Objetivos

O objetivo é analisar a relação entre a dinâmica espectro-temporal no município do Rio de Janeiro por meio de três índices de vegetação e dados de precipitação pluviométrica, com o intuito em obter o índice que melhor representa essa relação para o município.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Fatores que afetam a refletividade da cobertura vegetal e sua influência no estudo da vegetação

O sensoriamento remoto tem como base os processos de interação entre a Radiação Eletromagnética (REM) e os diferentes objetos que se pretende estudar. A esses processos é envolvida a detecção, aquisição e análise (interpretação e extração de informações) da energia eletromagnética emitida ou refletida pelos objetos terrestres e registradas por sensores remotos (MORAES, 2002).

As técnicas aplicadas fundamentam-se na execução de processos cronologicamente organizados como a interação em si; caracterizada principalmente pelo fenômeno de reflexão da radiação; a coleta de dados e seu registro por um sensor; e a análise dos dados possibilitando extrair as informações desejadas do objeto estudado (PONZONI, 2002).

Existem duas faixas espectrais de grande importância no estudo da vegetação o azul, vermelho e o infravermelho próximo (0,4 a 0,9 μm), sendo o azul a região de baixa absorção, e o vermelho região altamente absorvido pelos pigmentos fotossintetizantes, logo, estas

regiões possuem baixa refletância. A região do infravermelho próximo é onde ocorre a máxima refletividade do vegetal (Figura 1).

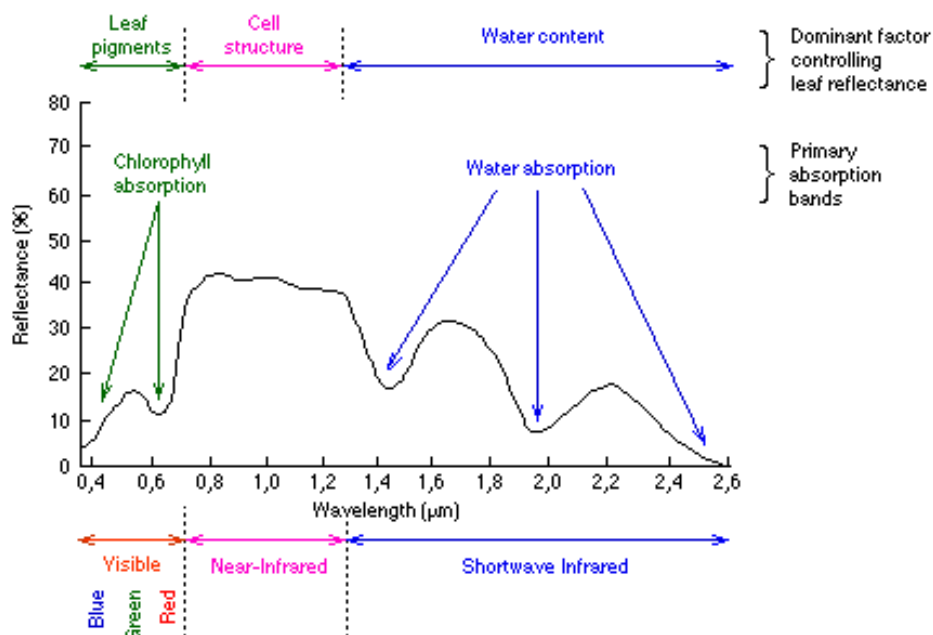


Figura 1: Espectro da refletância de uma folha.

Fonte: Anthony Vodacek

O conhecimento das interações da REM com a vegetação é de importância fundamental para que seja possível entender os fatores que afetam a refletividade deste alvo tais como disponibilidade de água, temperatura, idade de um povoamento, porcentagem de cobertura do solo, etc.

Segundo PONZONI (2002), tal conhecimento permite identificar os diversos padrões de resposta adotados pela vegetação em cada tipo de produto do sensoriamento remoto. Bem como, para o cálculo do albedo de superfície e da Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA) absorvida pela vegetação (ALMEIDA, 2009).

Segundo OLIVEIRA et al. (2007) a pouca refletividade das folhas na faixa espectral correspondente ao visível se deve ao fato de que os pigmentos presentes nos cloroplastos absorvem a radiação solar a taxas muito elevadas, enquanto que a alta refletividade na região do infravermelho próximo deve-se ao espalhamento da radiação solar no mesófilo, devido a interação da radiação solar com a estrutura interna das folhas. Dessa forma o comportamento espectral das folhas depende da sua composição química e de sua estrutura interna.

A estrutura geométrica dos dosséis também tem colaboração relevante nos padrões de resposta espectral da cobertura florestal de uma cena (RUSSEL, 2001). YANAGI (2006), observou variações no albedo, nas bandas do visível e do infravermelho próximo, ao considerar as variações arquitetônicas da vegetação (orientação das folhas) e a parâmetros ópticos (refletividade das folhas).

Seria necessário um levantamento mais completo para a caracterização mais precisa dos fatores que interferem na refletividade, contando com levantamentos de campo, informações de sensoriamento remoto e técnicas de modelagem. Entretanto, produtos como o sensor TM e MODIS (Thematic Mapper) e, voltado à pesquisa e monitoramento da superfície terrestre em escala global e regional, têm sido amplamente utilizado no monitoramento da vegetação, possibilitando a aquisição de dados de alta confiabilidade e qualidade, e com boa

resolução espectral, espacial e temporal dos dados imageados ao estudo ambiental, sem que seja necessário o levantamento de campo, dependendo do objetivo do estudo (ANDRADE, 2008; LIMA, 2010; DELGADO, 2010; DELGADO et al., 2012a; DELGADO et al., 2012b).

2.2. Condições Edafoclimáticas

O turgor das folhas que compõem o dossel florestal, ou uma vegetação qualquer influenciará na refletividade dando à vegetação uma coloração mais escura em algumas imagens, como no caso das imagens LANDSAT 5. No infravermelho médio, a reflexão é devida ao conteúdo de água na planta, assim, a reflexão espectral da planta varia durante o seu ciclo de crescimento, resultando em uma resposta espectral da cobertura vegetal dependente de sua profundidade, densidade, idade e diversidade (ANTUNES, sd).

FIRMINO et al. (2009), constaram que valores de IVDN correspondem respectivamente às características de estresse hídrico e de uma vegetação exuberante. Em regiões com elevada disponibilidade hídrica, observa-se valores negativos, próximos a -1, no IVDN o mesmo se observa em áreas sombreadas, água e com nebulosidade.

Já para áreas de solo nu ou com vegetação rala o IVDN apresenta valores positivos, mas não muito elevados (0 a 0,5). Vegetação densa e bem desenvolvida apresenta os maiores valores de IVDN, próximos a 1. DELGADO et al. (2012b) afirmam que o IVDN acompanha a sazonalidade da região, pois é influenciado pela quantidade de radiação incidente e as taxas de precipitação.

Apesar de muitos autores relacionarem o IVDN com precipitação, WANG et al. (2003) comentam que é necessário que se tenha um tempo de resposta para o crescimento da vegetação.

Outro índice de vegetação importante no estudo da vegetação é o IVAS (Índice de Vegetação por Ajuste do Solo). De acordo com PARISE & VETTORAZZI (2005), o IVAS, proposto por HUETE (1988), representa uma modificação do IVDN, já que em áreas onde refletividade varia devido a diferenças de umidade, variações de rugosidade, sombra ou diferentes teores de matéria orgânica no solo, podem ocorrer mudanças no IVDN.

Variações sazonais de folhas e fenológicas puderam ser identificadas por meio do uso do Índice de Vegetação Realçado (EVI - Enhanced Vegetation Index) provenientes do sensor MODIS, sendo este, mostrando maior variação em resposta a luminosidade do que com a pluviosidade (XIAO et al., 2006; HUETE et al., 2006).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de Estudo

A área de estudo é a cidade do Rio de Janeiro, localizado entre as latitudes 22° 45' e 23° 50' S, e entre longitudes 43° 05' e 43° 50' W (Figura 3). A cidade encontra-se totalmente inserida em parte da área compreendida pela Mata Atlântica, bioma fortemente ameaçado devido à expansão urbana das últimas décadas, porém com fragmentos remanescentes significativos na região, com 18% da área original segundo a FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA/INPE (2013).

A cidade do Rio de Janeiro está localizada na região sudeste do Brasil. A sua classificação climática segundo Köppen, consiste no tipo “Aw”, caracterizado por invernos secos e frios e verões úmidos e chuvosos. A temperatura do ar varia de 21,1°C (temperaturas mínimas médias) durante o inverno de 27,3°C (temperatura média máxima) durante o verão.

A temperatura média anual é de 23,9°C, a precipitação anual é cerca de 1258 mm e o número médio de dias com precipitação é de 124 (ZERI et al., 2011).

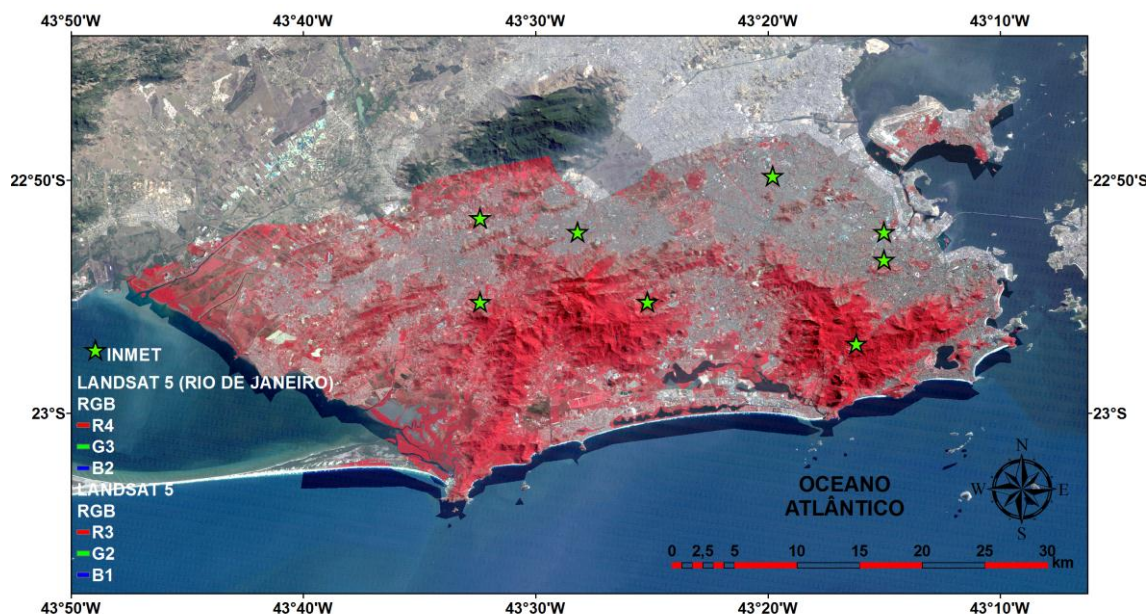


Figura 2: Localização geográfica da área de estudo. A imagem com a composição RGB (4, 3 e 2) é a cidade do Rio de Janeiro em destaque.

3.2. Metodologia

Para o processamento dos dados, foram utilizados os softwares ERDAS IMAGINE 10 e ArcGIS 10.1. O software ArcGIS 10.1 foi utilizado neste trabalho para a análise e organização de banco de dados, seguido da confecção dos mapas em escala espaço-temporal dos dados do produto TM, e os pontos das estações meteorológicas convencionais oriundas do INMET. O mesmo software foi utilizado para vetorização e recorte do polígono da cidade do Rio de Janeiro utilizando a ferramenta Extract by Mask.

O software ERDAS IMAGINE 10 foi utilizado para o processamento das imagens como: cálculo da calibração radiométrica, refletância das bandas, Índice de Área Foliar (IAF), Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) e o Índice de Vegetação ajustado para os efeitos do solo (IVAS).

Essas imagens foram disponibilizadas pelo (INPE) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e escolhidas as que apresentaram ausência de nuvens para cada ano (1984 a 1994) (CDSR, 2012). O período de avaliação foi dependente das informações geradas pelas estações meteorológicas, onde só os anos em os dados eram completos é que foram utilizados.

Para obter os resultados da calibração radiométrica e refletância foi adotado a metodologia de BASTIAANSEN et al. (1998), SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land), técnica processada no software ERDAS IMAGINE 10 processada na interface Model Maker. Na Figura 4 encontra-se o fluxograma de todas as etapas desenvolvidas.

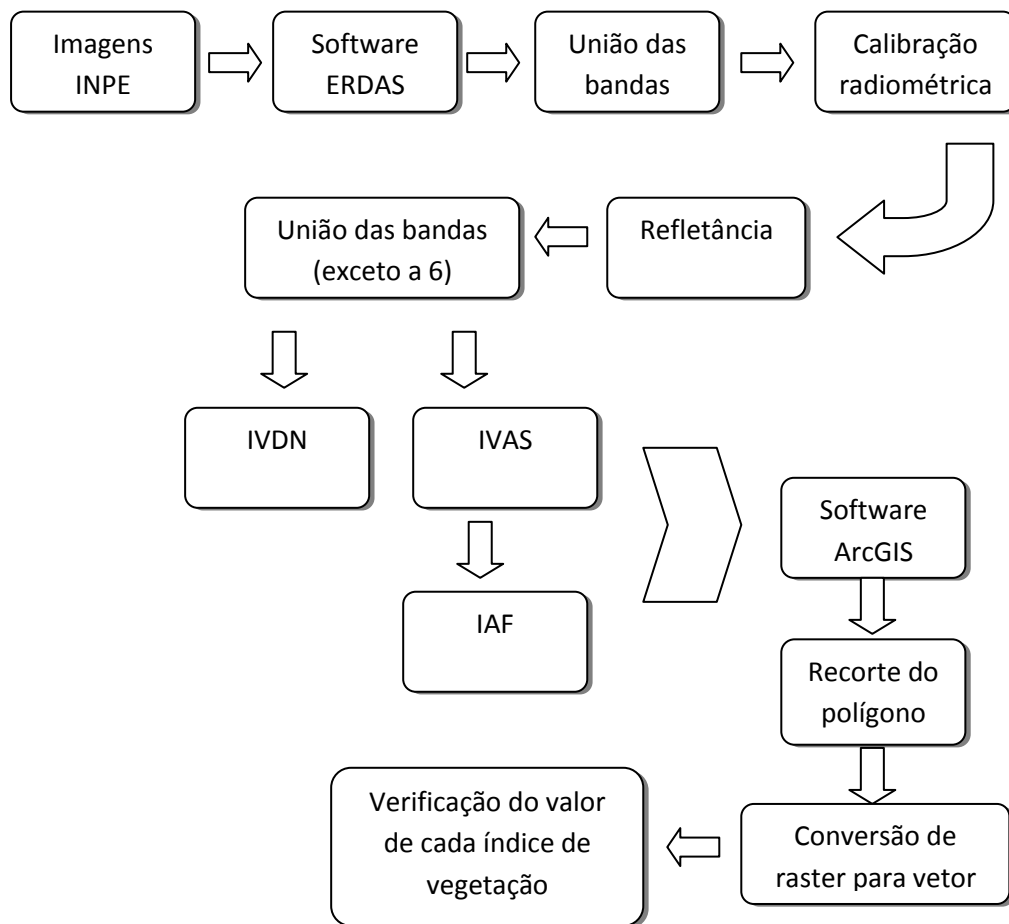


Figura 3: Fluxograma com as etapas de obtenção aos valores dos índices de vegetação.

A necessidade da calibração radiométrica se dá pelo fato das imagens registradas pelo sensor TM, abordo do satélite LANDSAT 5, apresentarem eventuais erros de transmissão dos dados e influências atmosféricas (CHANDER et al., 2009). Com isso, o número digital (ND) de cada pixel da imagem é convertido em radiância espectral monocromática, representando a energia solar refletida por cada pixel, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, evitando que tais erros sejam realçados em procedimentos posteriores. Cada pixel registrado pelo sensor corresponde a uma área real da superfície terrestre de 30m x 30m, o que implica para este estudo nas áreas de localização das estações meteorológicas em que foram correlacionados os dados pluviométricos. A equação 1, descrita abaixo, é utilizada no algoritmo SEBAL proposta por MARKHAM & BAKER (1987):

$$L_{\lambda i} = L_{\min} + \frac{L_{\max} - L_{\min}}{255} \times 255 \quad (1)$$

em que,

$L_{\lambda i}$ = radiância espectral de cada banda (Calibração radiométrica);

L_{\min} , L_{\max} = são as radiâncias espectrais mínimas e máximas;

ND = é a intensidade do pixel (número digital – número inteiro de 0 a 255);

i = são as bandas (1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7) do satélite Landsat 5 sensor TM.

Posteriormente, foi realizada a união das bandas necessária ao processamento da refletância monocromática.

Com o intuito em poder identificar os alvos a serem estudados, neste caso a vegetação, a refletância possibilita este objetivo por meio do comportamento espectral. A radiação eletromagnética é refletida e capturada pelo sensor, posteriormente registrada em uma imagem que apresenta diferentes tonalidades na escala monocromática, assim permitindo distinção de diferentes objetos de comportamento espectral já conhecido. O modelo matemático utilizado na metodologia SEBAL foi sugerido por ALLEN et al. (2002), demonstrado pela Equação 2:

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi L_{\lambda_i}}{E_{\lambda_i} \cos \theta_z d_r} \quad (2)$$

em que, L_{λ_i} é a radiância espectral de cada banda, E_{λ_i} é a radiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($W.m^{-2}.\mu m^{-1}$), θ_z ($^\circ$) é o ângulo zenital solar retirado da informação do cabeçalho das imagens do sensor TM e d_r é a distância relativa Terra-Sol (em unidade astronômica - UA) (Equação 3). A distância relativa terra-sol foi calculada pela equação:

$$d_r = 1 + 0,033 \cos \left(DJ \times \frac{2\pi}{365} \right) \quad (3)$$

em que, DJ representa o dia do ano (Astronômico).

Assim como na calibração a refletância também precisa do processo de união das bandas, onde esta será utilizada no algoritmo criado na obtenção do IVDN.

O cálculo do IVDN apresenta a relação entre a diferença das refletividades do Infravermelho próximo (ρ_{IV}) e do vermelho (ρ_V) e a soma destes. Essa relação informa que quanto maior for a densidade da cobertura vegetal, menor será a refletância na região do vermelho, devido à maior oferta de pigmentos fotossintetizantes (NORA & SANTOS, 2010), seus resultados variam entre -1 e +1. A razão proposta por ALLEN et al. (2002) pode ser observada na Equação 4, sendo em que, ρ_{IV} , ρ_V correspondem, respectivamente, as bandas 4 e 3 do sensor TM do Landsat 5:

$$IVDN = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V} \quad (4)$$

A união das bandas da refletância também foi empregada no cálculo do Índice de Vegetação Ajustado para os efeitos do Solo (IVAS). Este índice atribui em seu cálculo as interferências ocasionadas pela refletância do solo visando minimizá-las para a adequação das imagens que não contenham cobertura total da vegetação. A Equação 5 expressa o cálculo indicado por HUETE (1988):

$$IVAS = \frac{(1+L)(\rho_{IV} - \rho_V)}{(L + \rho_{IV} + \rho_V)} \quad (5)$$

em que, L é a constante que atenua os efeitos do solo, variando entre 0 e 1, sendo utilizado o valor 0,5 apropriado para densidades médias de vegetação (HUETE, 1988).

O terceiro índice avaliado é determinado pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área do solo utilizada por essa vegetação, sendo assim, incluído o resultado de cálculo do IVAS. O Índice de Área Foliar (IAF) é um dos principais indicadores da vegetação, onde esta é apresentada pelos pixels da imagem. Seus valores são adquiridos pela Equação 6 descrita por ALLEN et al. (2002):

$$IAF = - \frac{\ln\left(\frac{0,69-IVAS}{0,59}\right)}{0,91} \quad (6)$$

Para todos os cálculos mencionados foi feita a utilização de algoritmos estruturados no software ERDAS IMAGINE 10, elementos que possibilitaram a inserção das equações e obtenção das imagens ajustadas.

As informações de precipitação foram adquiridas por meio dos dados gerados pelas estações meteorológicas convencionais conforme listado na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1. Relação das estações meteorológicas utilizadas.

Estações	Latitude (°)	Longitude (°)
Alto da Boa Vista	-22,95	-43,27
Bangu	-22,87	-43,47
Benfica	-22,89	-43,25
Bonsucesso	-22,87	-43,25
Campo Grande	-22,92	-43,54
Eletróbrás	-22,92	-43,42
Irajá	-22,83	-43,33
Mendanha	-22,86	-43,54

As datas de análise da precipitação antecederam os 16 dias da passagem do satélite, com isso, foram feitas as somas dos registros pluviométricos ocorridos neste período. Dado que a precipitação pluvial é um fator determinante da variabilidade espacial e temporal sendo um bom indicador do crescimento vegetativo, principalmente em meses, ou dias anteriores de ocorrência destes eventos (LUCAS & SHULER, 2007; DELGADO et al., 2012a).

As verificações estatísticas utilizadas se basearam em testes de normalidade com Kolmogorov-Smirnov (Equação 7) e Shapiro-Wilks (Equação 8), e homogeneidade com Hartley (Equação 9) e Bartlett (Equação 10) realizados pelo programa estatístico *R*, conforme as equações abaixo. Para as análises de correlação e regressão linear foi empregado *BioEstat*.

$$D_n = \sup_{-\infty < x < +\infty} |F_n(x) - F_0(x)| \quad (7)$$

em que,

D_n representa a distância vertical máxima entre as imagens das funções, $F_n(x)$ é a função de distribuição da amostra, e $F_0(x)$ a função de distribuição proposta.

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)}^2}{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (8)$$

em que,

W é a variável estatística, x_i os valores ordenados de amostras (x_1 é o menor), a_i constantes geradas a partir de meio, variâncias e covariâncias da ordem estatística de uma amostra de tamanho n e uma distribuição normal.

$$F_{max} = \frac{S_{max}^2}{S_{min}^2} \quad (9)$$

em que,

S^2_{max} = tratamento que apresentou a maior variância

S^2_{min} = tratamento que apresentou a menor variância

$$\chi^2 = - \left[(n-1) - \frac{2p+5}{6} \right] \ln |R| \quad (10)$$

em que,

$$v = \frac{p(p-1)}{2}$$

uma distribuição qui-quadrado com $v = \frac{p(p-1)}{2}$ grau de liberdade, em que: n é o tamanho da amostra, p o número de variáveis e $|R|$ o determinante da matriz de correlação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores obtidos para os três índices de vegetação foram organizados e apresentados de acordo com cada estação meteorológica e com os anos de análise, conforme estão em anexo.

Os cálculos estatísticos puderam demonstrar o quanto os índices se aproximam ou distanciam de uma distribuição normal e a relação com a precipitação (mm). A Figura 4 apresenta o resultado de probabilidade normal dos dados (IVDN, IVAS e IAF), nota-se uma

dispersão dos dados ao longo da reta evidenciando que os dados em questão não demonstram uma distribuição aproximadamente normal, tais resultados foram confirmados posteriormente pelos testes de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilks conforme a Tabela 2.

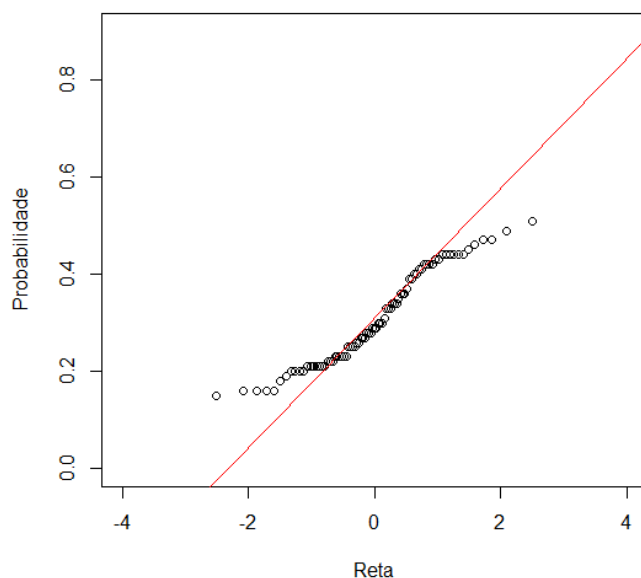


Figura 4. Probabilidade normal dos índices de vegetação (IVDN, IVAS e IAF).

Encontram-se na Tabela 2 os resultados dos testes de normalidades para os dados dos índices (IVDN, IVAS e IAF). Foi aplicado o Teste de Kolmogorov-Smirnov para o conjunto de dados em análise, os resultados mostram que os dados não seguem uma distribuição normal, uma vez que o *p-value* para todos os dados comprova-se inferior ao nível de significância de 5%.

Para se confirmar a rejeição da hipótese de nulidade em que as médias das populações dos dados são iguais e os dados realmente não seguem a distribuição normal foi realizado o Teste Shapiro-Wilks. Pode ser confirmado que realmente os dados não apresentam uma distribuição normal e que os valores para *p-value* mostram-se inferiores para os níveis de significância 5% de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2. Distribuição dos testes de normalidade dos dados experimentais

Testes de Homogeneidade			Testes de Normalidade	
Hartley		Bartlet	Kolmogorov-Smirnov	Shapiro-Wilks
H cal	H Tab	<i>p-value</i>	<i>p-value</i>	<i>p-value</i>
1	7.15	2.84e-5	2.2e-16	0.001033

A não normalidade dos dados sugere a estudos futuros deste trabalho a transformação dos mesmos, ou seja, um tratamento estatístico para melhor assegurar os resultados obtidos.

A análise de homogeneidade de variâncias dos dados foi realizada pelos testes de Hartley (teste da razão máxima) e Bartlet. Os resultados mostram que tanto o teste de Hartley como o Bartlet, Tabela 2, apontam para a ocorrência de heterocedasticidade regular (não homogeneidade dos dados), em que os H calculado > H tabelado, para 27 grupos e 3 repetições, e o *p-value* com valor inferior ao nível de significância de 5%, assim,

corroborando para a rejeição da hipótese de homocedasticidade (homogeneidade) das variâncias dos dados.

A avaliação exploratória dos dados pelo Boxplot, Figura 5, evidencia que o IVDN e IAF foram os índices que apresentaram as maiores e menores variações das variâncias das populações, com valores próximos ao 3º quartil para IVDN e próximos ao 1º quartil para IAF. O IVAS é o índice que apresentou as menores variações das variâncias das populações com valores próximos ao 1º quartil. Valores atípicos (máximos e mínimos) de outlier apresentaram-se em todos os índices.

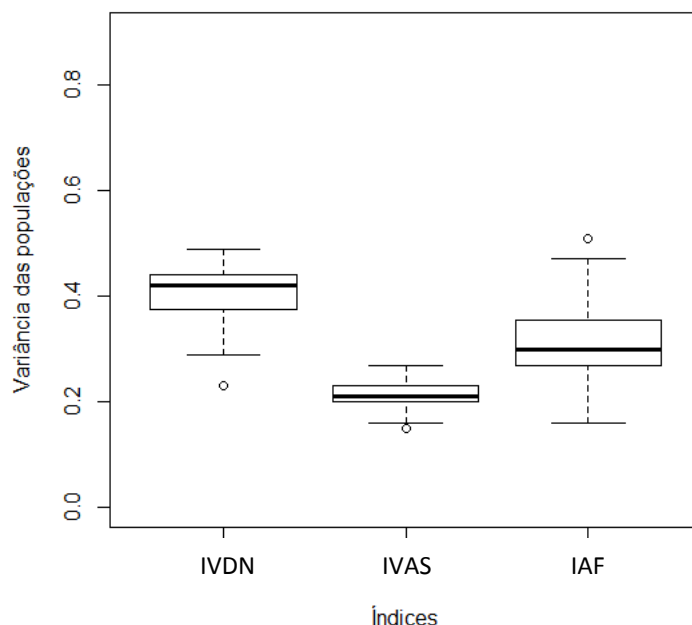


Figura 5. Boxplot exploratório dos índices de vegetação.

Observou-se que entre todos os índices estudados o IAF foi o que apresentou, para alguns anos (em anexo), valores tendendo a zero em diferentes estações, isso devido ao fato deste índice indicar uma resposta espectral da razão entre a área da vegetação e a área no terreno, também considerando a resolução do sensor de 900 m². Nota-se também que a estação de Bonsucesso apresentou com maior frequência valores tendendo a zero, o que não ocorreu para os demais índices, estes resultados também podem ser verificados nos anexos. Este fato pode ser atribuído ao local onde se encontra a estação, visto que está instalada em área bastante urbanizada.

Para as diferentes datas ocorreram grandes variações na avaliação da relação com a precipitação, porém em 60% dos anos analisados o IVDN apresentou maior correlação. Na Tabela 3 pode ser observado como estas variações ocorreram no período avaliado.

Tabela 3: Resultados da análise de regressão e correlação dos índices de vegetação por ano.

Ano	Coeficiente de determinação (r^2)						Correlação (Pearson)		
	Regressão linear			Regressão geométrica			IVDN	IVAS	IAF
	IVDN	IVAS	IAF	IVDN	IVAS	IAF			
1984	42,3%	11,3%	28,1%	39,0%	5,7%	23,7%	0,65	0,34	0,53
1985	10,0%	4,1%	68,2%	9,2%	9,7%	24,7%	0,32	0,20	0,83
1986	19,6%	17,9%	14,2%	6,0%	8,9%	11,5%	0,44	0,42	0,38
1987	1,3%	4,1%	9,7%	1,0%	0,2%	2,7%	0,12	0,20	0,31
1988	17,7%	24,3%	27,3%	8,1%	17,9%	0,8%	0,42	0,49	0,52
1989	56,7%	37,3%	25,7%	76,3%	69,6%	55,1%	0,75	0,61	0,51
1990	37,6%	13,6%	12,6%	39,4%	10,5%	14,4%	0,61	0,37	0,36
1991	82,5%	85,9%	89,9%	82,5%	75,5%	56,8%	0,91	0,93	0,95
1992	32,7%	26,3%	27,8%	36,2%	37,0%	52,5%	0,57	0,51	0,53
1993	0,2%	0,0%	0,2%	3,9%	2,3%	11,3%	0,04	0,00	0,04
1994	26,1%	17,0%	14,1%	24,2%	21,6%	0,8%	0,51	0,41	0,38

Outros trabalhos puderam confirmar a associação existente entre o IVDN e a precipitação pluvial. DELGADO et al. (2012a) encontraram valores mínimos de IVDN para o dia de baixa precipitação acumulada (inverno), já no final da estação chuvosa os resultados apresentaram altos valores, em um estudo em plantação de cana-de-açúcar no Triângulo Mineiro. Porém em comparação ao EVI (Enhanced Vegetation Index), proveniente do sensor MODIS, o IVDN resultou em valores menos correlatos em pesquisa realizada por BECERRA et al. (2008) em fisionomias do cerrado no estado de Tocantins.

O IVAS foi o único índice em que não apresentou maior correlação entre os demais para nenhum dos anos analisados. Seu princípio de cálculo que inclui a refletância do solo pode ser um fator significativo para as baixas correlações, o que pode ter também influenciado os resultados do IAF, onde utiliza em sua equação os resultados do IVAS. Sabendo-se que na faixa espectral em que ocorre a refletividade da vegetação seus valores podem ser influenciados pela refletância do solo.

Observou-se que os resultados dos índices não apresentaram variações muito altas quando comparados níveis de precipitação elevados com níveis mais baixos. Este fato pode ser visto nas tabelas (em anexo) dos anos de 1989 e 1990, onde na estação de Bangu obtiveram-se valores iguais a 116,4 e 4,4 mm respectivamente e para a estação de Irajá valores iguais a 101,9 e 9,2 mm.

Considerando-se que os meses de observação para os dois anos são próximos, abril e maio, onde possivelmente a incidência de radiação não se alterou muito, as causas dessa ocorrência podem ser oriundas de questões edáficas. Com isso, pressupõe-se que até certo nível de precipitação ocorre a correlação normal, ou seja, com o aumento da disponibilidade hídrica havendo o aumento dos valores dos índices, porém ao alcançar níveis muito altos de precipitação a atividade fotossintética diminui. Para HUETE et al. (2006) a disponibilidade hídrica de áreas de floresta é um fator que causaria estabilidade na atividade fotossintética o que manteria a produção de fitomassa foliar na época seca.

Analisando as estações em uma mesma data de coleta de dados destacam-se respostas diferentes a um mesmo índice para níveis de precipitação quase iguais, podendo ser observado na maioria dos anos. A localização e as características da área de abrangência da resolução espectral do sensor são os fatores principais desta questão, fazendo-se importante

um estudo posterior para cada estação avaliando os meses durante o ano, devido mudanças ambientais ocasionadas pelas estações climáticas.

Abaixo estão apresentados dois anos com os respectivos gráficos (Figuras 6 e 7) de cada índice que foram selecionados como representantes dos resultados à análise de regressão, os demais gráficos se encontram em anexo. Nota-se que houve tendências negativas e positivas.

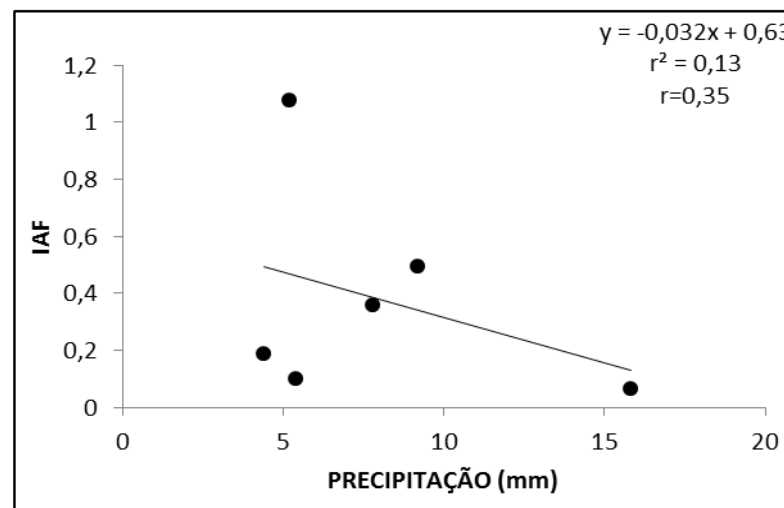
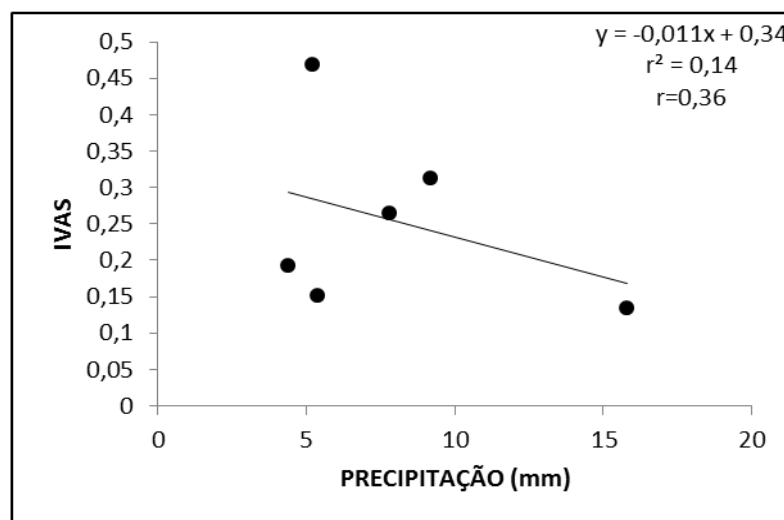
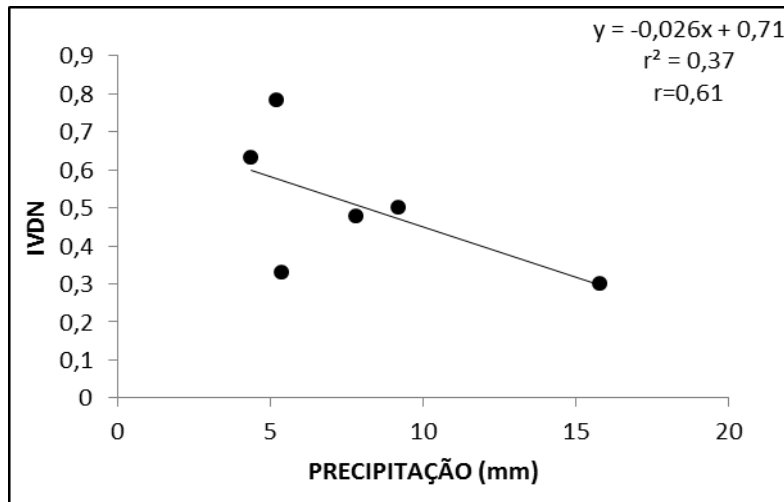


Figura 6: Coeficiente de determinação entre os índices de vegetação versus a precipitação para 31 de maio de 1990.

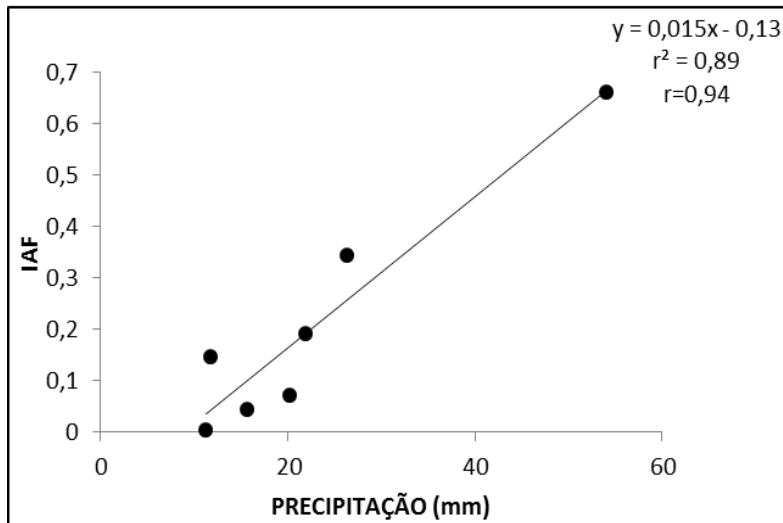
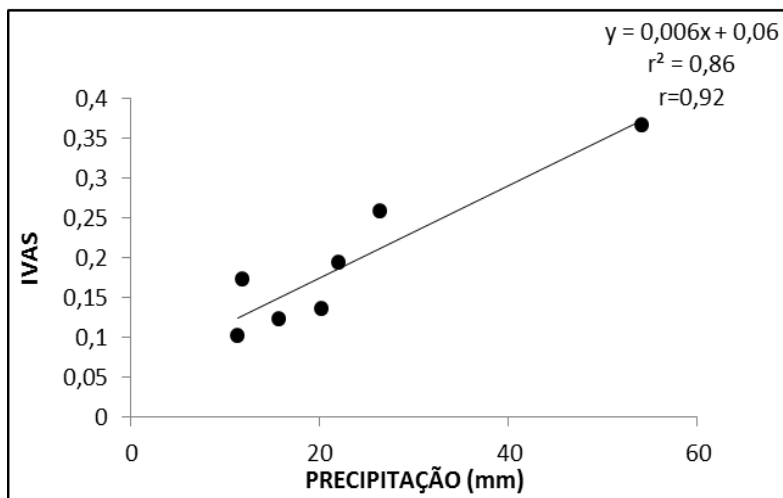
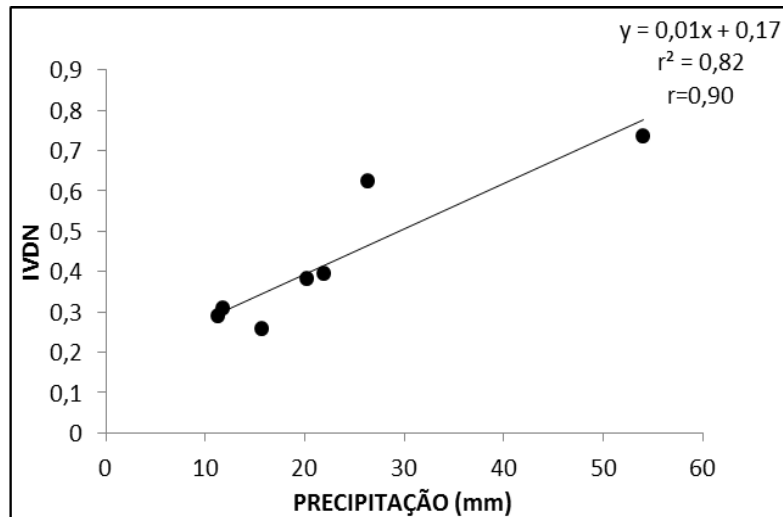


Figura 7: Coeficiente de determinação entre os índices de vegetação versus a precipitação para 21 de julho 1991.

Os anos de 1986, 1988 e 1990 foram as que apresentaram essas correlações inversas, este fato não pode ser atrelado a mudança de estação climática, ocasionado pela senescência das folhas, por exemplo, sendo os três anos datados em estações diferentes. Porém é

importante ressaltar que em 1986 e 1988 houve níveis discrepantes de precipitação apresentando valores baixos dos índices. Obtida essa resposta inversa de relação entre as variáveis tem-se a necessidade de um estudo acompanhando ao longo de todo o ano possibilitando levantar hipóteses mais seguras.

Para melhor aferir os dados adquiridos também foi realizada a verificação da relação dos índices com a precipitação por estação meteorológica. Os gráficos de correlação e regressão (Figuras 8, 9 e 10) foram feitos considerando os dez anos de dados sendo representados por tres estações que continham o máximo de dados pluviométricos. Abaixo são apresentados os gráficos da estação Eletrobrás, Bangu e Campo Grande.

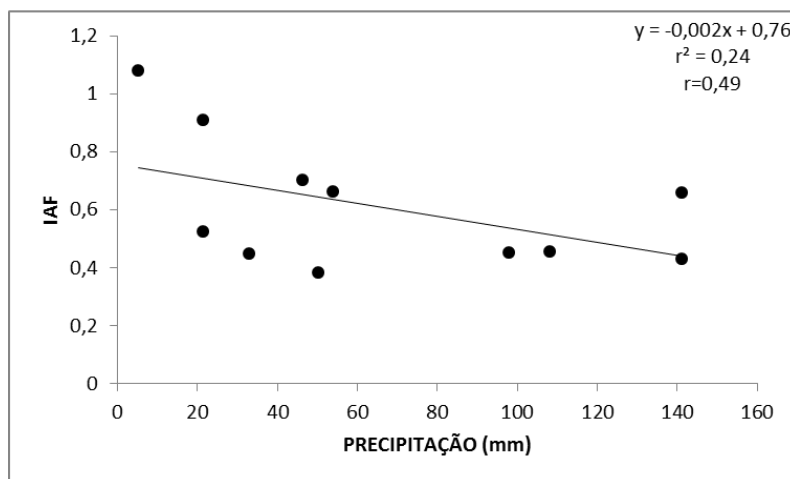
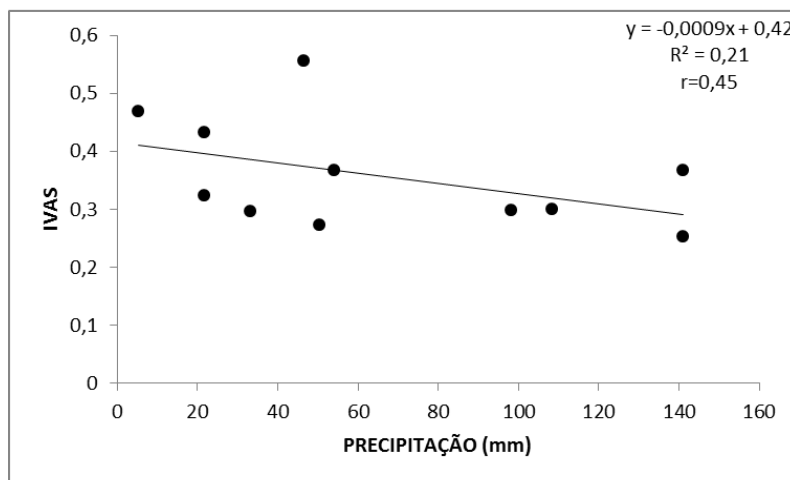
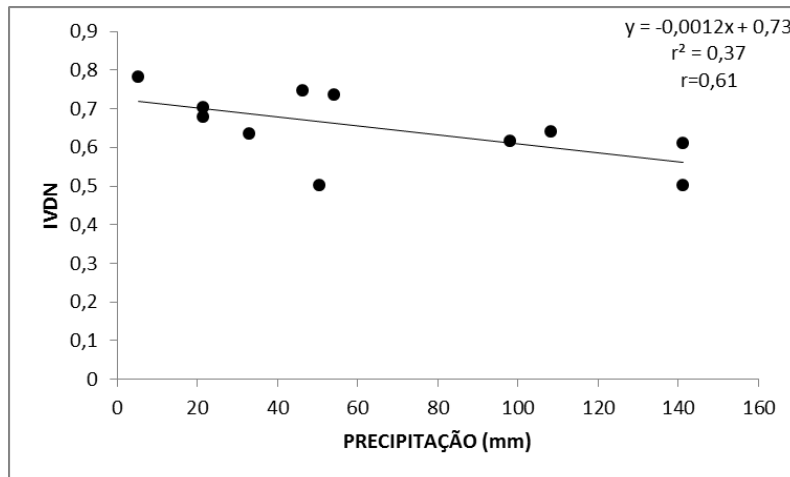


Figura 8: Coeficiente de determinação entre os índices de vegetação versus a precipitação para os dez anos na estação meteorológica Eletrobrás

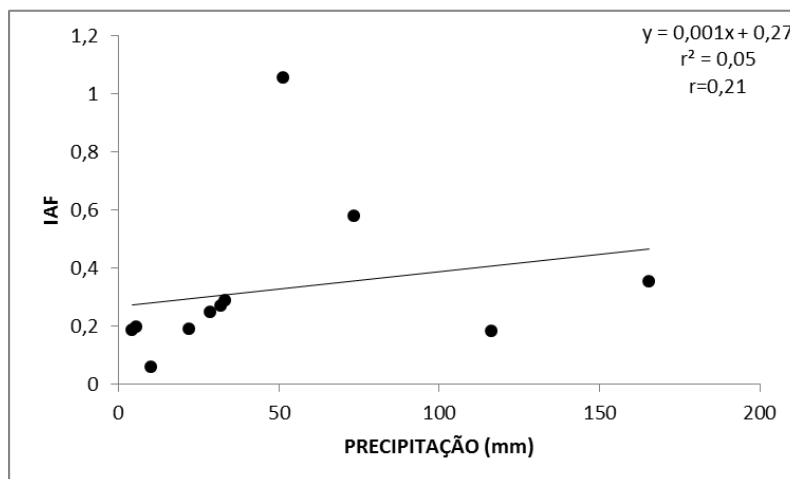
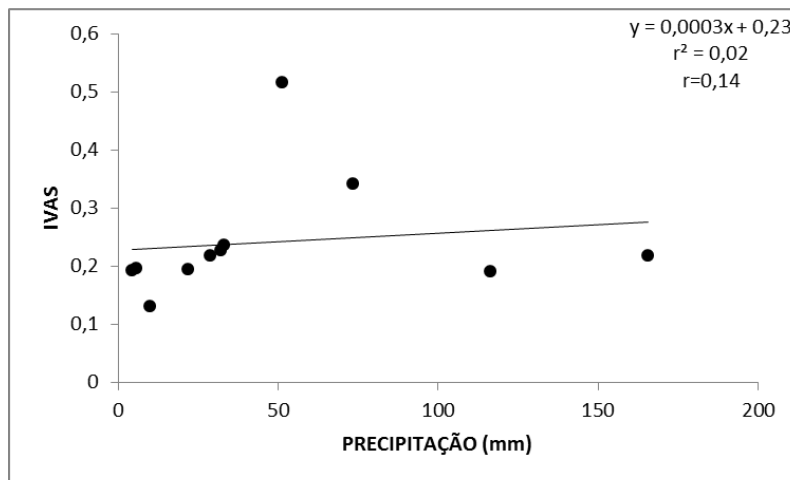
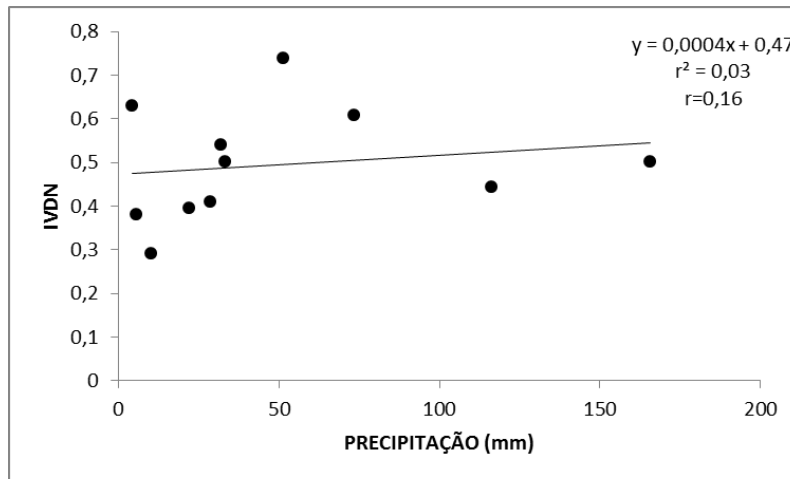


Figura 9: Coeficiente de determinação entre os índices de vegetação versus a precipitação para os dez anos na estação meteorológica Bangu .

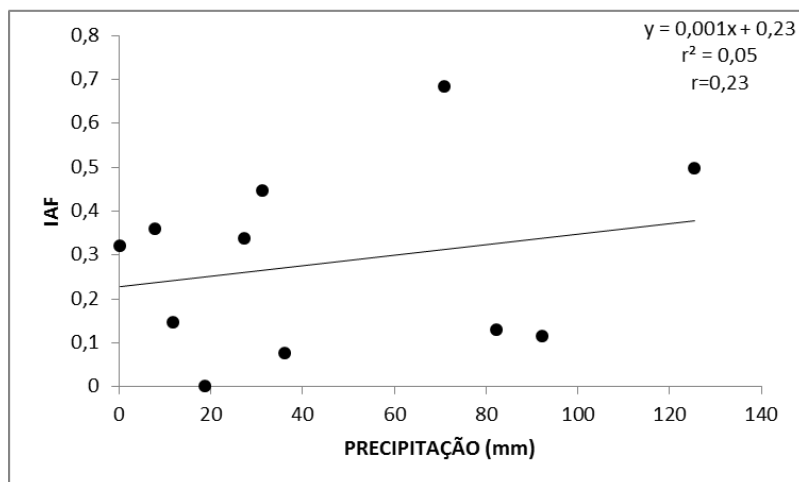
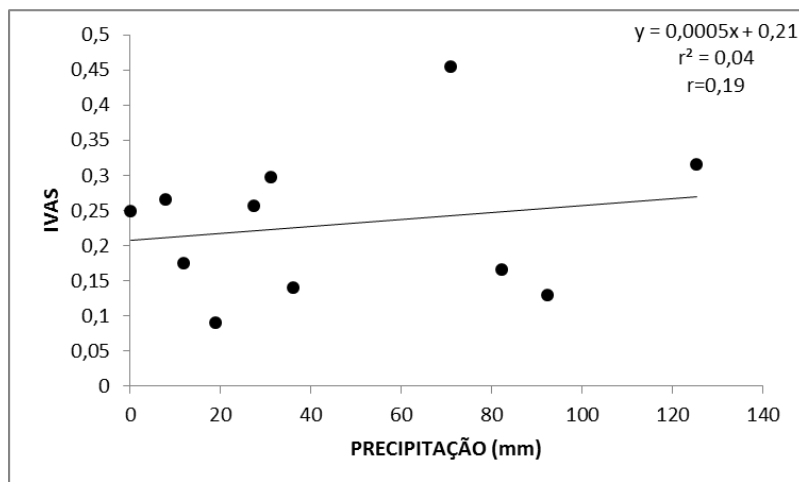
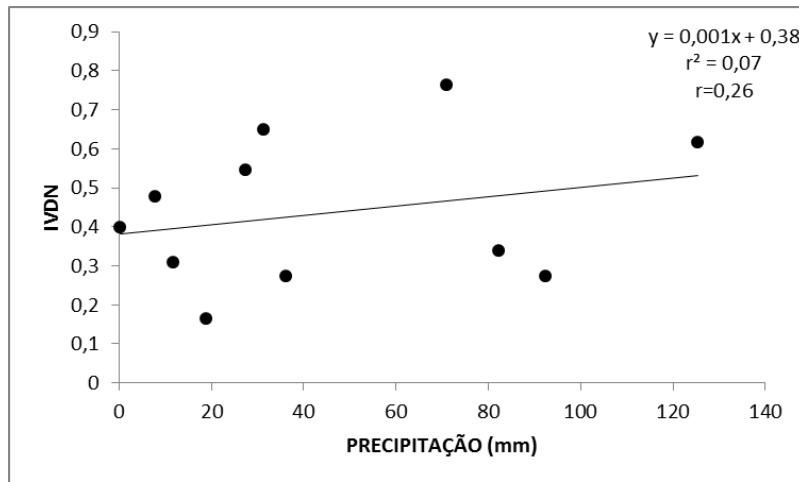


Figura 10: Coeficiente de determinação entre os índices de vegetação versus a precipitação para os dez anos na estação meteorológica Campo Grande.

Verifica-se para a análise da correlação por estações que os resultados não diferiram dos encontrados por verificação anual, também havendo correlação inversa e tendo o índice com maior correlação o IVDN. Sendo esta verificação indicada para análises de uma localidade específica, ou seja, a área no entorno da estação, inserindo informações de uso e cobertura do solo será possível obter resultados satisfatórios quanto a precisão.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O índice que apresentou melhor relação com a precipitação no município do Rio de Janeiro foi o IVDN, porém novas análises devem ser realizadas com outros índices para a mesma localidade, onde poderão ser encontradas melhores correlações.

Outros fatores influenciadores do crescimento da vegetação devem ser verificados em relação aos índices como o Modelo Digital de Elevação e o sensor MODIS. Outras condições de clima, assim como, de relevo e solo são importantes fatores a serem considerados, propondo uma análise conjunta dos mesmos.

As avaliações futuras poderão apresentar maior precisão dos resultados para períodos mensais.

O conhecimento do uso do solo da localidade estudada poderá auxiliar na melhor interpretação dos resultados.

Os resultados encontrados poderão complementar estudos da dinâmica da vegetação no município e servir como sugestão para uso do IVDN para outros períodos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.; TREZZA, R.; TASUMI, M. **Surface energy balance algorithms for land: advance training and users manual**, version 1.0. 2002. 98 p.

ALMEIDA, T. S. Sensibilidade da reflectância de uma floresta tropical em 460 nm, 650 nm e 850 nm aos parâmetros ópticos e arquitetônicos do dossel, Dissertação, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil, 2009.

ANACLETO, T. C. da S.; FERREIRA, A. A.; DINIZ FILHO, J. A. F. e FERREIRA, L. G. Seleção de áreas de interesse ecológico através de sensoriamento remoto e de otimização matemática: um estudo de caso no município de Cocalinho, MT. **Acta Amaz.**, Manaus, v. 35, n. 4, dez. 2005. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672005000400008. Acesso em: Jun. 2013.

ANDRADE, R. G. **Aplicação do algoritmo SEBAL na estimativa da evapotranspiração e da biomassa acumulada da cana-de-açúcar**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. 2008.

ANTUNES, A. F. B. **Fundamentos de sensoriamento remoto em ambiente de geoprocessamento**. Geoprocessamento – Universidade Federal do Paraná, sd. (Apostila). Disponível em: <http://people.ufpr.br/~felipe/apostilasr.pdf>. Acesso em: Mar 2013.

BASTIAANSEN, W. G. M.; MENENTI, M.; FEDDES, R. A. A. M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 1. Formulation. **Journal of Hydrology**, v. 212-213, n. 220, p. 198-212, 1998.

BECERRA, J.A.B.; ALVALÁ, R. C. dos S., SHIMABUKURO, Y. **Precipitação, fogo e índices de vegetação na detecção de fisionomias de savana tropical na região amazônica**

brasileira. In: IX Simpósio Nacional Cerrado, 2008, Brasília, DF e II Simpósio Internacional Savanas Tropicais.

CENTRO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO – CDSR.
<<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 15 ago. 2012.

CHANDER, G.; MARKHAM, B.; HELDER, D. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+ and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, n.5, p. 893-903, 2009.

CHIKOORE, H.; JURY, M. R. Intraseasonal Variability of Satellite-Derived Rainfall and Vegetation over Southern Africa. **Earth Interactions**. Bowling Green, vol 14, no. 3, jan 2010. Disponível em: <http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/2010EI267.1>. Acesso em: Jun. 2013.

CLARE, V. N.; GONÇALVES, I. I. ; MEDEIROS, R. Ocorrência e distribuição de unidades de conservação municipais no estado do Rio de Janeiro. **Floram**, v.16, n.1, p. 11 - 22, 2009.

DELGADO R. C. **Análise da evolução espaço-temporal das lavouras no Estado de Minas Gerais**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 132p, 2010.

DELGADO, R. C.; SEDIYAMA, G. C.; COSTA, M. H.; SOARES, V. P.; ANDRADE, R. G. Classificação espectral de área plantada com a cultura da cana-de-açúcar por meio da árvore de decisão. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n.2, p.369-380, mar./abr. 2012a.

DELGADO, R.C.; SOUZA, L.P.; SILVA, I.W.R.; PESSÔA, C.S.; GOMES, F.A. Influência da mudança da paisagem amazônica no aumento da precipitação em Cruzeiro do Sul, AC. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, n.14; p. 665-674, 2012b.

FIRMINO, J. L. N. Análise comparativa preliminar do Índice de Vegetação derivado do Satélite Landsat - 5 para a cidade de São João do Rio do Peixe na Paraíba com a precipitação. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril de 2009, INPE, p. 3801-3807.

FOLEY, J. A. Global Consequences of Land Use. **Science**. vol. 309 – pp. 570-574. 2005.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA & INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas dos remanescentes florestais da mata Atlântica**: período 2011-2012. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica; São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2013. Disponível em: <http://mapas.sosma.org.br/site_media/download/estatisticas/lista_municipios_desflorestamento_2011_2012.pdf>. Acesso em: 20/08/2013

GOMES, H.; S. JUNIOR, R.; DE PACI, F.; DE LIMA, D.; DE CASTRO, P.; SANTOS, F.; CABRAL, S.; FERREIRA, R. Mapeamento Temático da Cobertura Vegetal na Microrregião do Sertão do São Francisco Alagoano, Utilizando Imagens TM LANDSAT 5. **Revista Brasileira de Geografia Física**, América do Norte, vol. 5, nº 5, jan. 2013. Disponível em: <http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/view/358/342>. Acesso em: Mai. 2013.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, n.3, v.2, p.295-309, 1988.

HUETE A. R.; HUENNRICH, K. F.; MIURA T.; XIAO, X.; DIDAN, K., LEEUWEN, W.; HALL, F.; TUCKER, C. J. **Vegetation Index greenness global data set**. Nasa ESDR/CDR. 2006.

HUETE, A. R.; DIDAN, K.; SHIMABUKURO, Y.; RATANA, P.; SALESKA, S.R.; HUTYRA, L.R.; YANG, W.; NEMANI, R. R. and MYNENI, R. Amazon rainforest green-up with sunlight in dry season. *Geophysical Research Letters*, v. 33, 2006.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: Mai. 2013.

LIMA, E. DE P. **Estimativa da evapotranspiração e do balanço hídrico a partir de imagens de satélite de duas sub-bacias do Paracatu**. 2010. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

LUCAS, A. A.; SCHULER, C. A. B. Análise do NDVI/NOAA em cana-de-açúcar e Mata Atlântica no litoral norte de Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 6, p. 607-614, 2007.

MARKHAM, B. L., BARKER, J. L. Thematic mapper band pass solar exoatmospherical irradiances. **International Journal of Remote Sensing**, v. 8, n. 3, p.517-523, 1987.

MORAES, E. C. **Fundamentos de sensoriamento remoto** – Capítulo 1. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos. 2002. (Apostila). Disponível em: http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.12.18/doc/CAP1_ECMoraes.pdf. Acesso em: Jun. de 2013.

NORA, E. L. D.; SANTOS, J. E. dos. Análise da dinâmica sazonal de duas formações florestais do bioma Mata Atlântica com base em índices de vegetação. **Perspectiva, Erechim**. v.34, n.125, p. 41-51, 2010.

OLIVEIRA, L. G. L. **Estudo da variabilidade de índices de vegetação através de imagens do ETM+/LANDSAT 7**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 5995-6002.

PARISE, F. J. O.; VETTORAZZI, C. A., Análise de dados de produção em um pomar jovem de laranjeiras Hamlin: I. Relações com a resposta espectral. **Revista Brasileira Fruticultura**., Jaboticabal - SP, v. 27, n. 1, p. 43-47, Abr. 2005.

PONZONI, F. J. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: diagnosticando a mata atlântica**. In: RUDORFF, B. F. T.; MORAES, E. C.; PONZONI, F. J.; CAMARGO JÚNIOR, H.; CONFORTE, J. C.; MOREIRA, J. C.; EPIPHANIO, J. C. N.; MOREIRA, M. A.; KAMPEL, M.; ALBUQUERQUE, P. C. G. de; MARTINI, P. R.; FERREIRA, S. H.; TAVARES JÚNIOR, S. S.; SANTOS, V. M. N. dos (Ed.). Curso de uso de sensoriamento remoto no estudo do meio ambiente. São José dos Campos: INPE, 2002. p. 27. Capítulo 8.

(INPE-8984-PUD/62).Disponível em:<<http://urlib.net/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.13.11>>. Acesso em: Mai. 2013.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO - PCRJ. **Mapeamento da cobertura vegetal e do uso das terras no município do Rio de Janeiro no ano de 2010**. Disponível em: <http://sigfloresta.rio.rj.gov.br/>. Acesso em: Mai. 2013.

SAMPAIO, E.V.S.B.. **Caracterização da caatinga e fatores ambientais que afetam a ecologia das plantas lenhosas**. p. 129-142. In: V.C. Sales (ed.). *Ecossistemas brasileiros: manejo e conservação*. Fortaleza, Expressão Gráfica e Editora. 2003.

SANCHES, L.; ANDRADE, N. L. R. de ; NOGUEIRA, J. de S.; BIUDES, M. S.; VOURLITIS, G. L. Índice de área foliar em floresta de transição amazonia cerrado em diferentes métodos de estimativa **Ciência e Natura**, UFSM, 30(1): 57 - 69, 2008

SHIMABUKURO, Y E.; MAEDA, E. E.; FORMAGGIO, A. R. Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas aplicados ao estudo dos recursos agronômicos e florestais. **Ceres**. 56(4): 399-409, 2009. Disponível em: http://www.ceres.ufv.br/CERES/revistas/V56N004_00409.pdf. Acesso em: Mai. 2013.

SOUZA, C. C. de; MOREIRA, A. de A.; SCHIMITH, R. S; BRANDÃO, P. C.; SILVA, E. Técnicas de sensoriamento remoto como subsídios aos estudos de florestas implantadas no brasil – uma revisão bibliográfica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 4, p. 409-417. 2007. Disponível em: <http://www.cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/1972/1226> . Acesso em: Jun. de 2013.

VODACEK, A. **Special Topics: Environmental Applications of Remote Sensing - Vegetation Optical Properties**. Disponível em: http://www.cis.rit.edu/class/simg553_01/agriculture.html. Acesso em: Mar. de 2013.

WANG, J.; PRICE, K. P.; RICH, P. M. Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the Central Great Plains. **International Journal of Remote Sensing**, v.24, n. 11, p. 2345-2364, 2003.

XIAO, X.; HAGEN, S.; ZHANG, Q.; KELLER, M.; MOORE, B. Detecting leaf phenology of seasonally moist tropical forest in South America with multitemporal MODIS images. **Remote Sensing of Environment**. V. 103, p.465-473. 2006

YANAGI, S. N. M. **Meling Radiative Transfer in Tropical Raing Forest Canopies: Sensitivity of Simulated Albedo to Canopy Architectural Parameters**. 2006. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) - Viçosa, Minas Gerais- Brasil.

ZERI, M., OLIVEIRA JÚNIOR, J. F., LYRA, G. B. Spatiotemporal analysis of particulate matter, sulfur dioxide and carbon monoxide concentrations over the city of Rio de Janeiro, Brazil. *Meteorology and Atmospheric Physics* 113, 1-14. 2011

7. ANEXOS

Tabela 4: Valores resultantes da precipitação, IVDN, IVAS e IAF correspondentes a cada estação meteorológica para o ano de 1984

Estações	Precipitação (mm)	IVDN	IVAS	IAF	Data
Alto da Boa Vista	49,1	0,29	0,33	0,00	30/05/1984
Bangu	51,4	0,74	0,52	1,05	
Benfica	38,8	0,50	0,07	0,03	
Bonsucesso	21,5	0,23	0,36	0,12	
Campo Grande	71,1	0,76	0,45	0,68	
Eletróbrás	46,4	0,75	0,56	0,70	
Irajá	43,8	0,21	0,34	0,02	
Mendanha	51,6	0,64	0,28	0,58	

Tabela 5: Valores resultantes da precipitação, IVDN, IVAS e IAF correspondentes a cada estação meteorológica para o ano de 1985

Estações	Precipitação (mm)	IVDN	IVAS	IAF	Ano
Alto da Boa Vista	188,4	0,64	0,30	0,49	15/04/1985
Bangu	165,5	0,50	0,22	0,35	
Benfica	46,9	0,38	0,14	0,11	
Bonsucesso	71,8	0,28	0,11	0,00	
Campo Grande	92,4	0,27	0,13	0,11	
Eletróbrás	141,1	0,50	0,25	0,43	
Irajá	60,5	0,54	0,26	0,04	
Mendanha	72,2	0,74	0,44	0,32	

Tabela 6: Valores resultantes da precipitação, IVDN, IVAS e IAF correspondentes a cada estação meteorológica para o ano de 1986

Estações	Precipitação (mm)	IVDN	IVAS	IAF	Ano
Alto da Boa Vista	15,3	0,77	0,47	1,10	28/01/1986
Bangu	28,8	0,41	0,22	0,25	
Benfica	12,5	0,30	0,14	0,08	
Bonsucesso	178,5	0,19	0,11	0,02	
Campo Grande	0,2	0,40	0,25	0,32	
Eletróbrás	21,6	0,68	0,32	0,52	
Irajá	22,6	0,17	0,10	0,00	
Mendanha	18,8	0,58	0,34	0,57	

Tabela 7: Valores resultantes da precipitação, IVDN, IVAS e IAF correspondentes a cada estação meteorológica para o ano de 1987

Estações	Precipitação (mm)	IVDN	IVAS	IAF	Ano
Alto da Boa Vista	32	0,64	0,32	0,53	11/08/1987
Bangu	33,2	0,50	0,24	0,29	
Benfica	26,6	0,38	0,15	0,10	
Bonsucesso	0,4	0,28	0,12	0,04	
Campo Grande	36,2	0,27	0,14	0,08	
Eletróbrás	50,4	0,50	0,27	0,38	
Irajá	20,5	0,54	0,29	0,41	
Mendanha	-	0,74	0,47	1,09	

Tabela 8: Valores resultantes da precipitação, IVDN, IVAS e IAF correspondentes a cada estação meteorológica para o ano de 1988

Estações	Precipitação (mm)	IVDN	IVAS	IAF	Ano
Alto da Boa Vista	67,8	0,77	0,44	0,92	22/03/1988
Bangu	73,4	0,61	0,34	0,58	
Benfica	91,6	0,36	0,15	0,10	
Bonsucesso	75,4	0,11	0,06	0,00	
Campo Grande	125,4	0,61	0,31	0,50	
Eletróbrás	108,3	0,64	0,30	0,45	
Irajá	280,9	0,26	0,10	0,00	
Mendanha	42,1	0,66	0,35	0,60	

Tabela 9: Valores resultantes da precipitação, IVDN, IVAS e IAF correspondentes a cada estação meteorológica para o ano de 1989

Estações	Precipitação (mm)	IVDN	IVAS	IAF	Ano
Alto da Boa Vista	-	-	-	-	26/04/1989
Bangu	116,4	0,44	0,19	0,18	
Benfica	82,9	0,40	0,21	0,22	
Bonsucesso	18,4	0,19	0,07	0,00	
Campo Grande	82,3	0,34	0,17	0,13	
Eletróbrás	98,1	0,62	0,30	0,45	
Irajá	101,9	0,49	0,26	0,34	
Mendanha	66,5	0,47	0,29	0,42	

Tabela 10: Valores resultantes da precipitação, IVDN, IVAS e IAF correspondentes a cada estação meteorológica para o ano de 1990

Estações	Precipitação (mm)	IVDN	IVAS	IAF	Ano
Alto da Boa Vista	-	-	-	-	31/05/1990
Bangu	4,4	0,63	0,19	0,19	
Benfica	5,4	0,33	0,15	0,10	
Bonsucesso	15,8	0,30	0,13	0,06	
Campo Grande	7,8	0,48	0,26	0,36	
Eletróbrás	5,2	0,78	0,47	1,08	
Irajá	9,2	0,50	0,31	0,49	
Mendanha	-	-	-	-	

Tabela 11: Valores resultantes da precipitação, IVDN, IVAS e IAF correspondentes a cada estação meteorológica para o ano de 1991

Estações	Precipitação (mm)	IVDN	IVAS	IAF	Ano
Alto da Boa Vista	-	-	-	-	21/07/1991
Bangu	22	0,40	0,19	0,19	
Benfica	15,7	0,26	0,12	0,04	
Bonsucesso	11,3	0,29	0,10	0,00	
Campo Grande	11,8	0,31	0,17	0,15	
Eletróbrás	54,1	0,74	0,37	0,66	
Irajá	20,3	0,38	0,14	0,07	
Mendanha	26,4	0,62	0,26	0,34	

Tabela 12: Valores resultantes da precipitação, IVDN, IVAS e IAF correspondentes a cada estação meteorológica para o ano de 1992

Estações	Precipitação (mm)	IVDN	IVAS	IAF	Ano
Alto da Boa Vista	241	0,66	0,30	0,45	08/08/1992
Bangu	10,1	0,29	0,13	0,06	
Benfica	17,6	0,34	0,12	0,05	
Bonsucesso	0	0,30	0,11	0,02	
Campo Grande	31,3	0,65	0,30	0,45	
Eletróbrás	33,1	0,63	0,30	0,45	
Irajá	16,8	0,44	0,24	0,29	
Mendanha	21,9	0,21	0,09	0,00	

Tabela 13: Valores resultantes da precipitação, IVDN, IVAS e IAF correspondentes a cada estação meteorológica para o ano de 1993

Estações	Precipitação (mm)	IVDN	IVAS	IAF	Ano
Alto da Boa Vista	25,6	0,75	0,42	0,87	10/01/1993
Bangu	5,6	0,38	0,20	0,20	
Benfica	0,6	0,18	0,09	0,00	
Bonsucesso	26,8	0,26	0,11	0,03	
Campo Grande	18,9	0,16	0,09	0,00	
Eletróbrás	3,0	0,61	0,37	0,66	
Irajá	4,1	0,45	0,24	0,29	
Mendanha	9,7	0,70	0,43	0,89	

Tabela 14: Valores resultantes da precipitação, IVDN, IVAS e IAF correspondentes a cada estação meteorológica para o ano de 1994

Estações	Precipitação (mm)	IVDN	IVAS	IAF	Ano
Alto da Boa Vista	79,8	0,76	0,36	0,64	27/06/1994
Bangu	32	0,54	0,23	0,27	
Benfica	28,5	0,27	0,10	0,00	
Bonsucesso	25	0,07	0,02	0,00	
Campo Grande	27,4	0,55	0,26	0,34	
Eletróbrás	29,7	0,70	0,43	0,91	
Irajá	30,3	0,23	0,10	0,00	
Mendanha	33,7	0,75	0,40	0,77	

Tabela 15: Resultados de Regressão linear e teste Kolmogorov entre 1984 e 1994

Ano	Regressão linear						Teste de Kolmogorov		
	Teste F			p			Valor crítico (.01)		
	IVDN	IVAS	IAF	IVDN	IVAS	IAF	IVDN	IVAS	IAF
1984	4,40	0,76	2,34	0,08	0,58	0,18	0,81	0,96	0,92
1985	0,67	0,25	12,88	0,55	0,64	0,01	0,83	1,20	1,20
1986	1,46	1,31	0,99	0,27	0,30	0,64	0,88	1,17	0,97
1987	0,08	0,26	0,64	0,78	0,63	0,54	0,84	1,16	0,96
1988	1,29	1,93	2,25	0,30	0,21	0,18	0,81	1,14	0,92
1989	6,55	2,98	1,73	0,05	0,14	0,24	0,95	1,34	1,24
1990	2,41	0,63	0,58	0,19	0,53	0,51	0,97	1,12	0,92
1991	23,53	30,49	44,53	0,01	0,00	0,00	0,95	1,41	1,13
1992	2,91	2,14	2,31	0,14	0,19	0,18	0,87	1,30	1,23
1993	0,01	0,00	0,01	0,91	0,99	0,92	0,89	1,18	0,97
1994	2,12	1,23	0,99	0,19	0,31	0,64	0,84	1,19	0,96

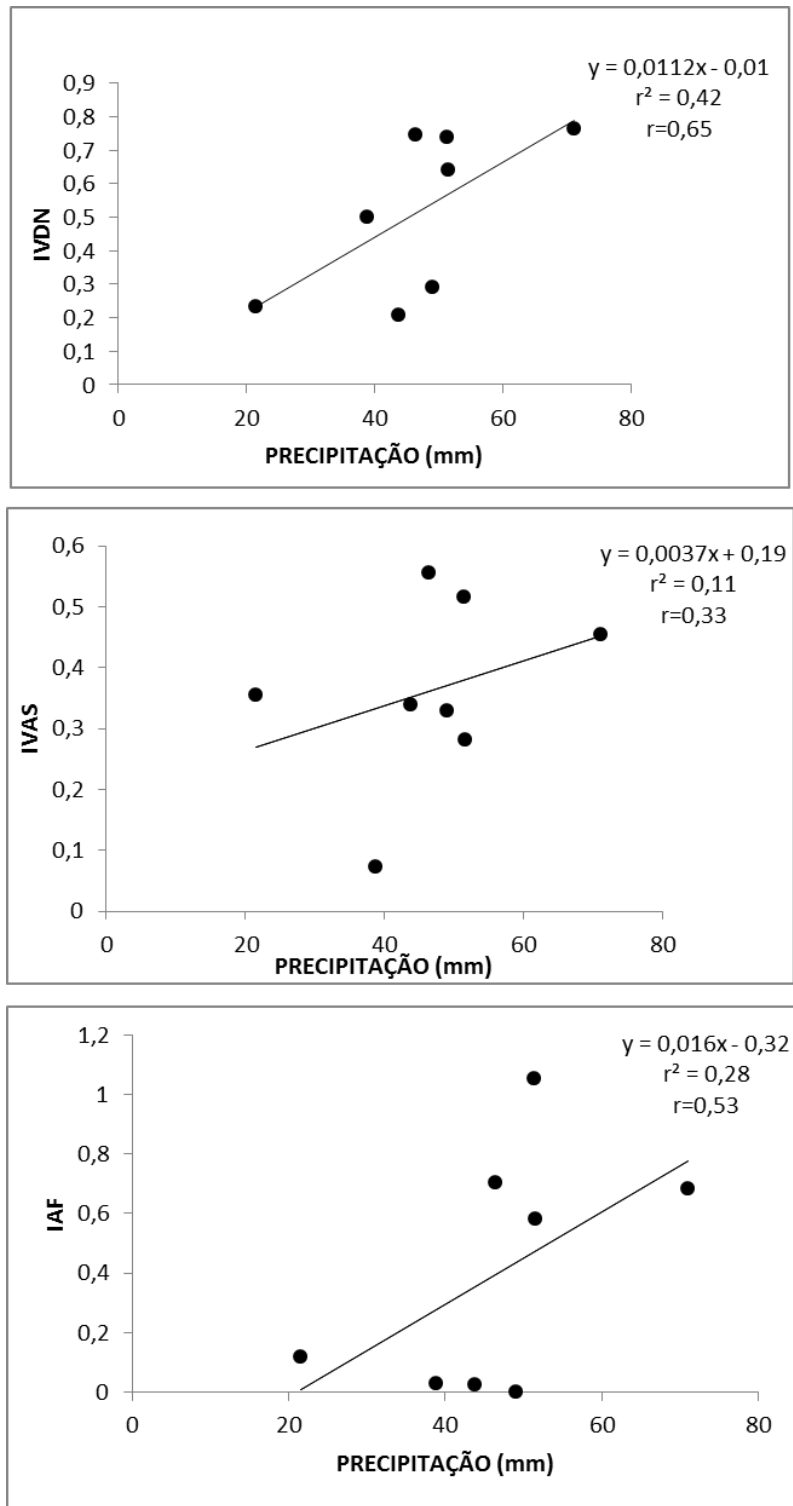


Figura 11: Coeficiente de determinação entre os índices de vegetação versus a precipitação para 30 de maio de 1984.

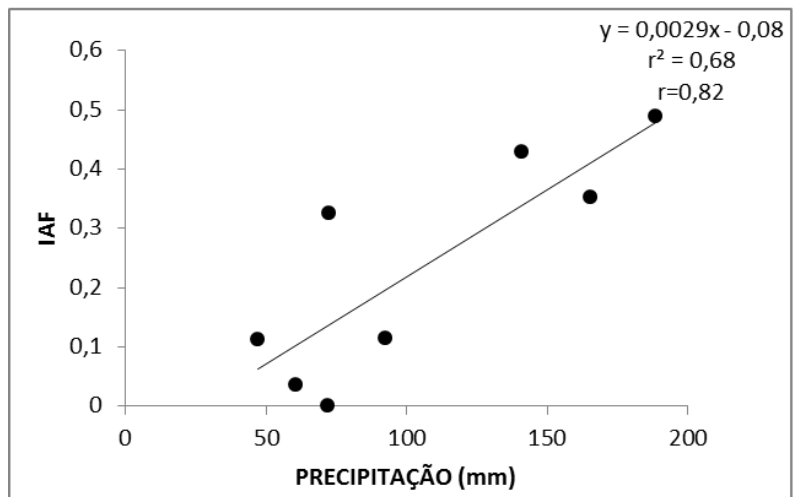
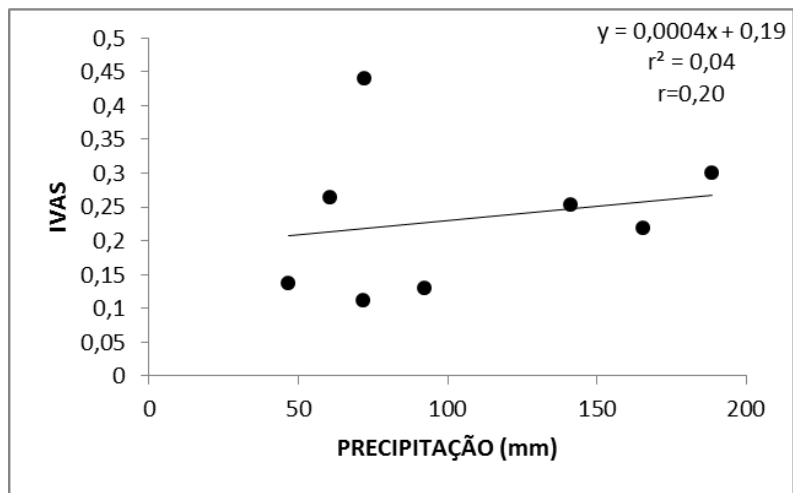
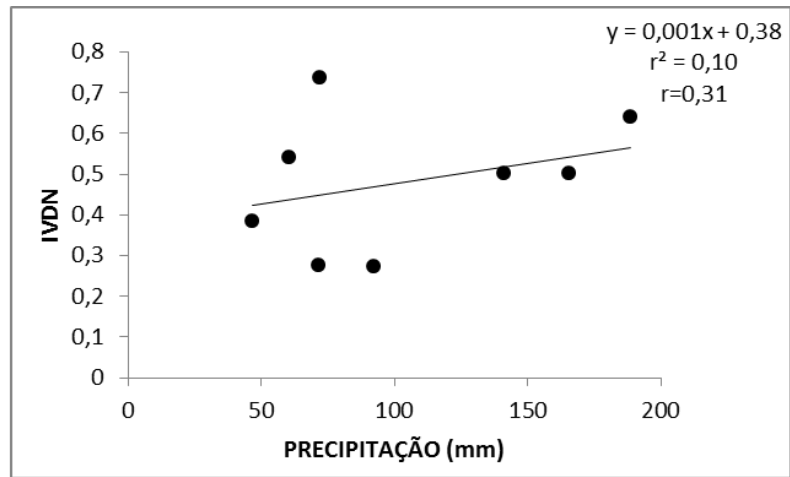


Figura 12: Coeficiente de determinação entre os índices de vegetação versus a precipitação para 15 de abril de 1985.

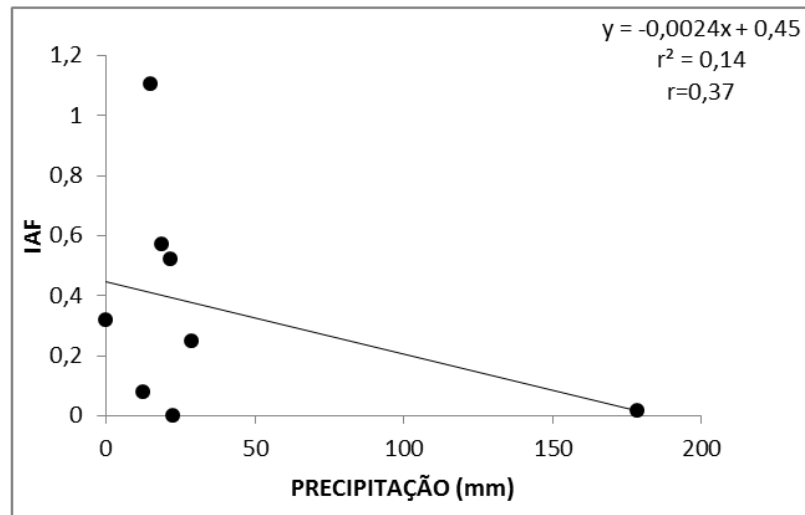
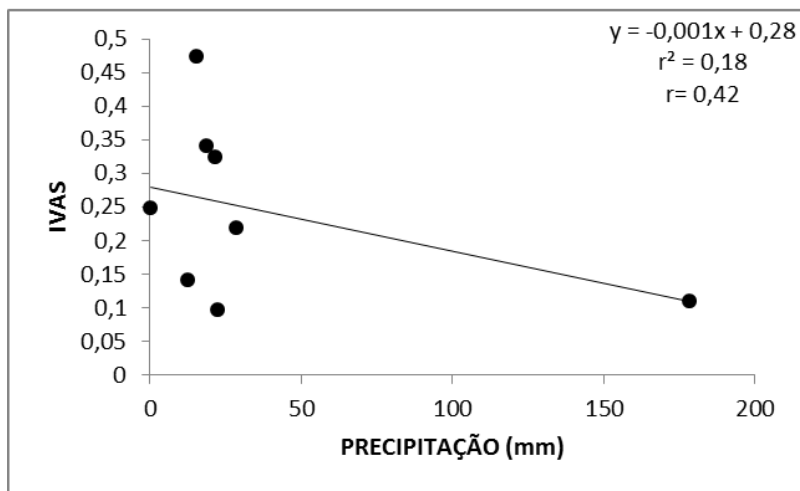
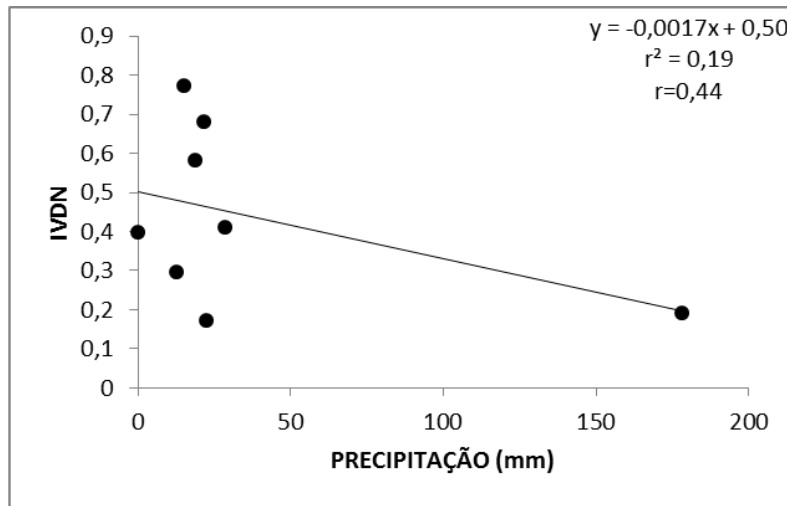


Figura 13: Coeficiente de determinação entre os índices de vegetação versus a precipitação para 28 de janeiro de 1986.

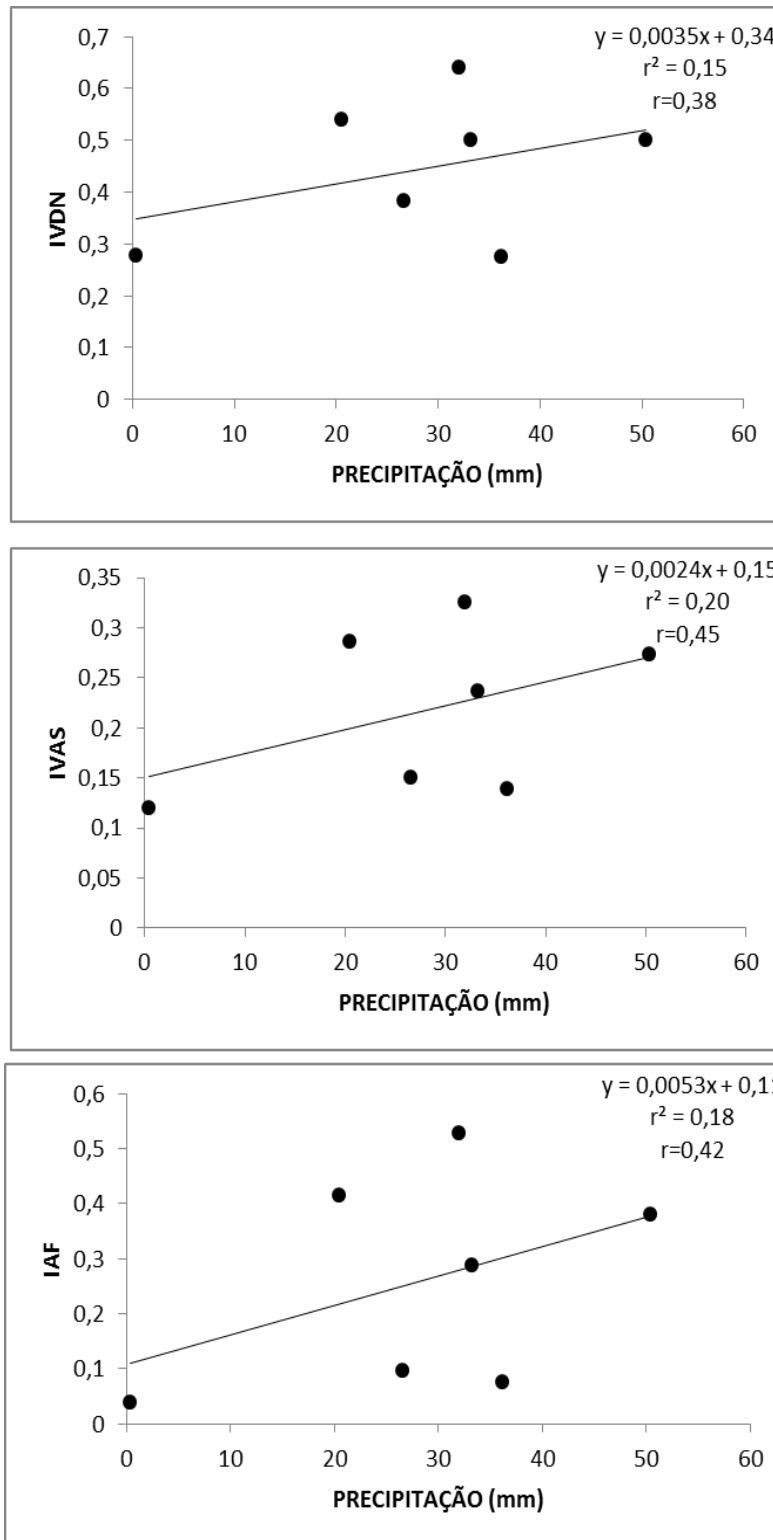


Figura 14: Coeficiente de determinação entre os índices de vegetação versus a precipitação para 11 de agosto de 1987.

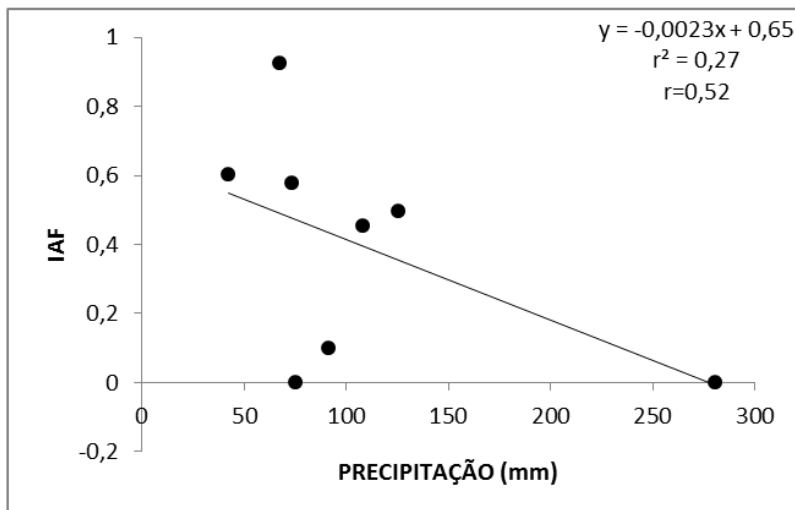
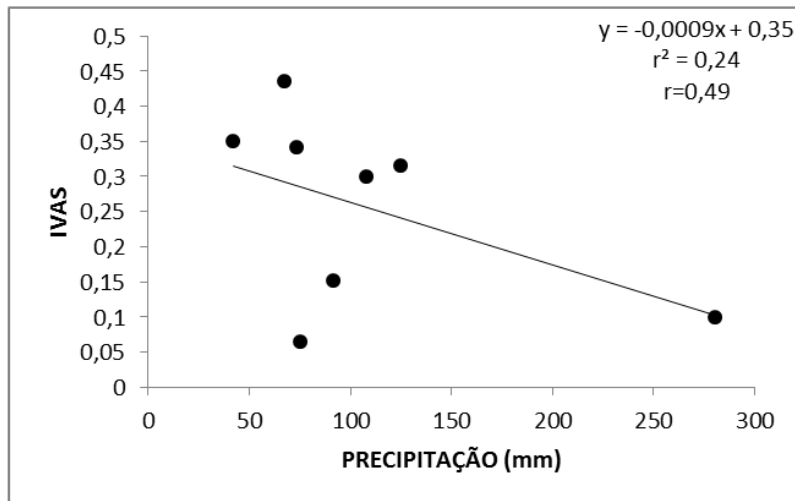
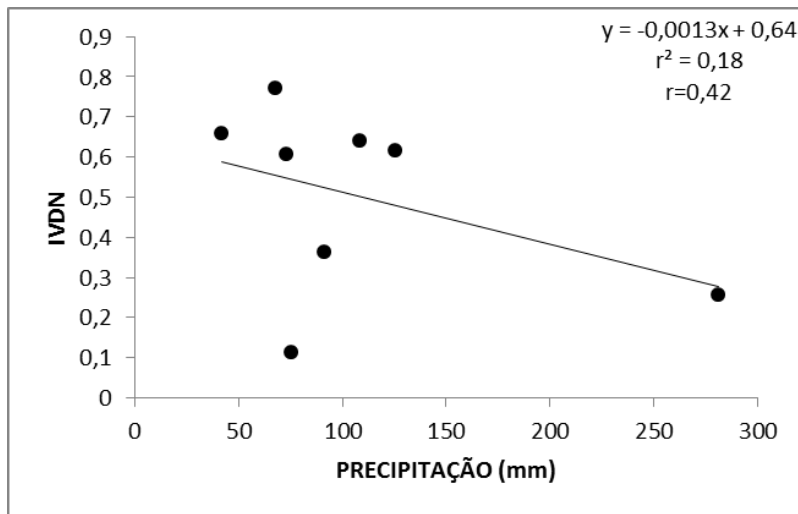


Figura 15: Coeficiente de determinação entre os índices de vegetação versus a precipitação para 23 de março de 1988.

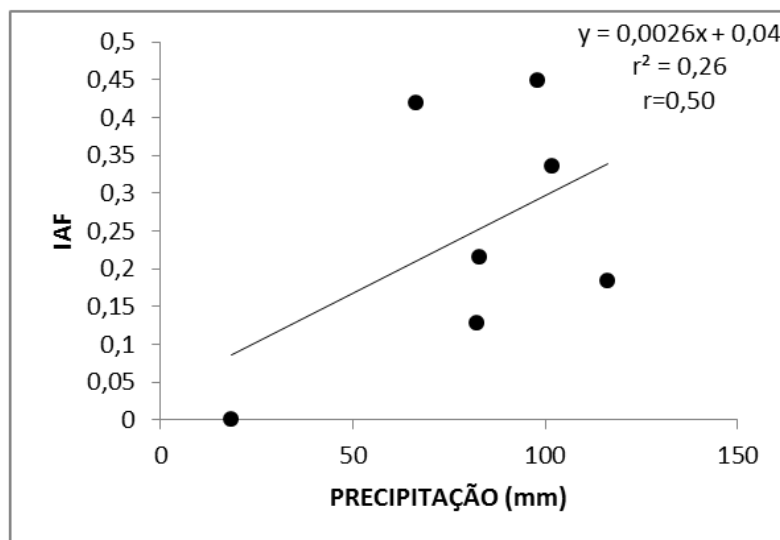
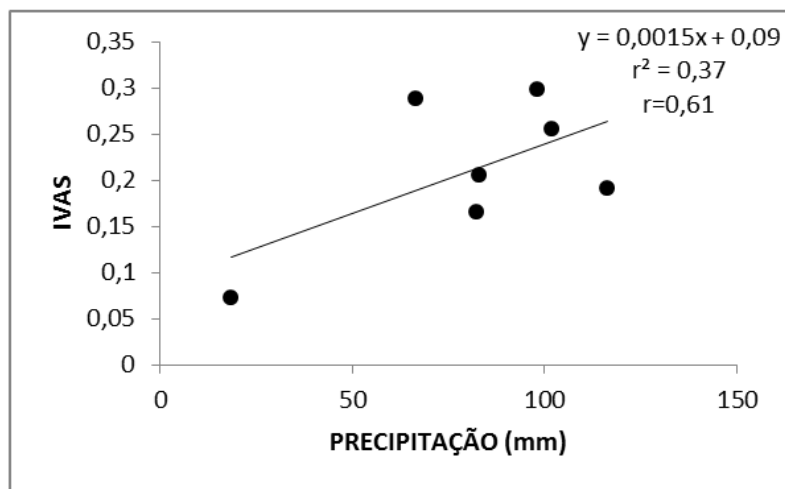
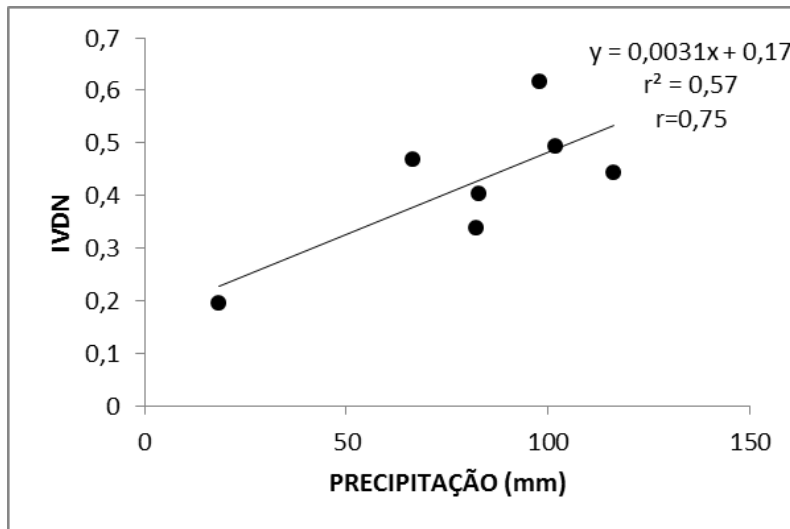


Figura 16: Coeficiente de determinação entre os índices de vegetação versus a precipitação para 26 de abril de 1989.

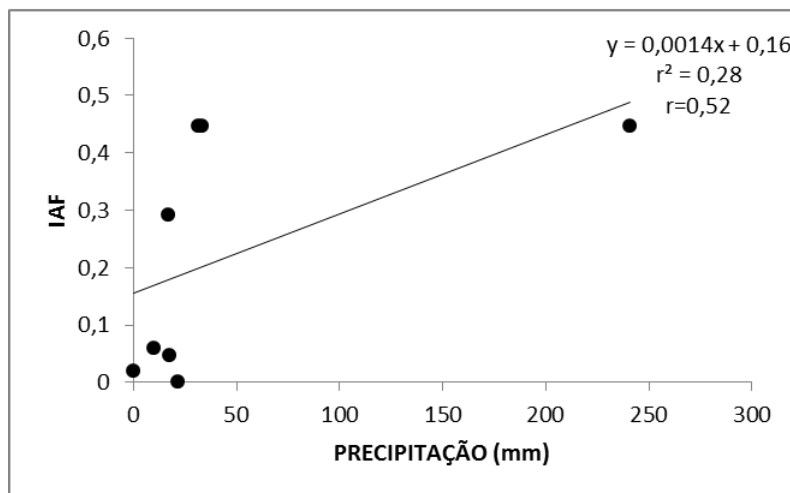
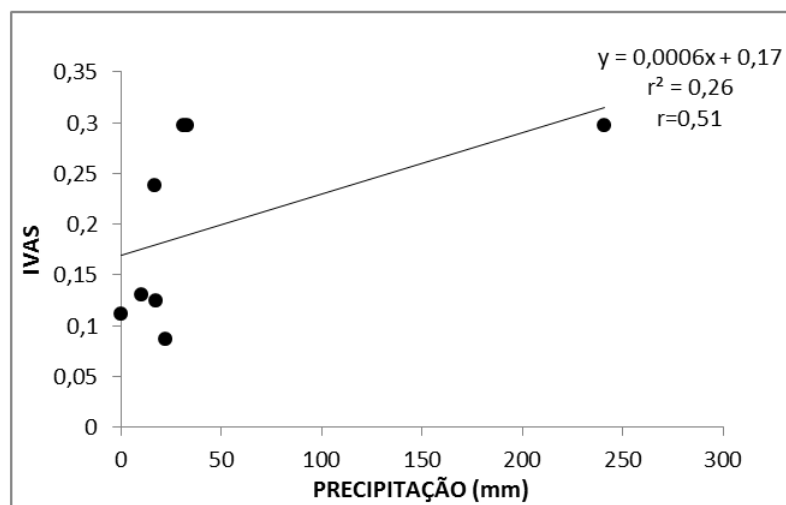
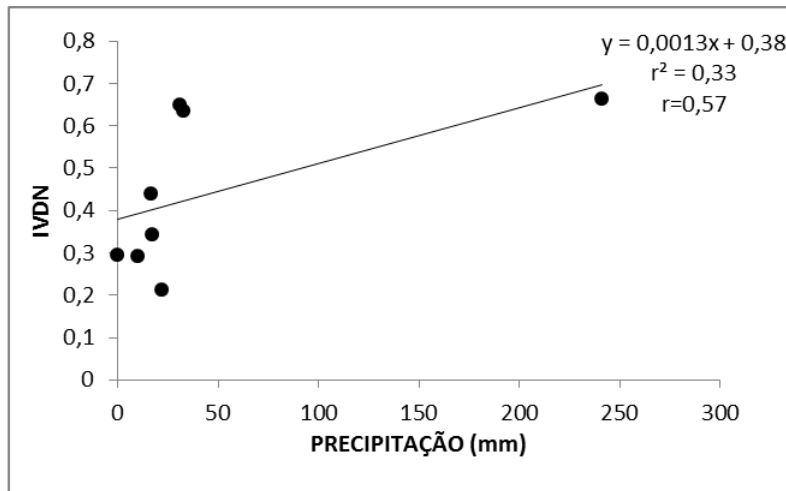


Figura 17: Coeficiente de determinação entre os índices de vegetação versus a precipitação para 08 de agosto de 1992.

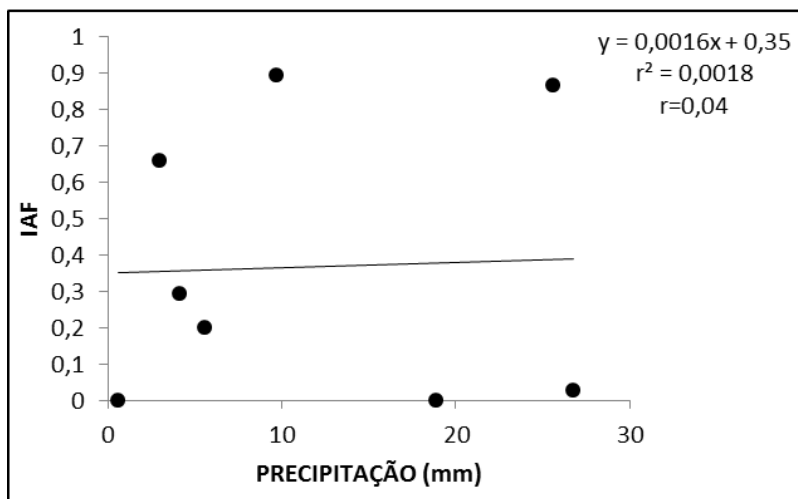
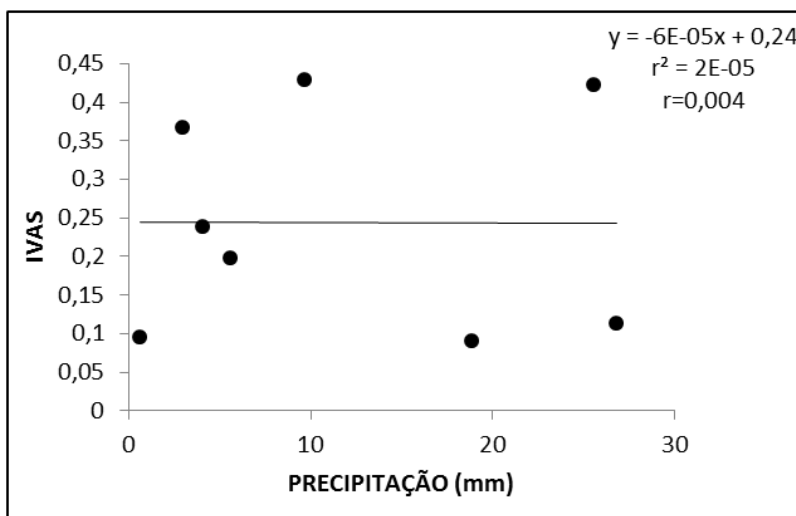
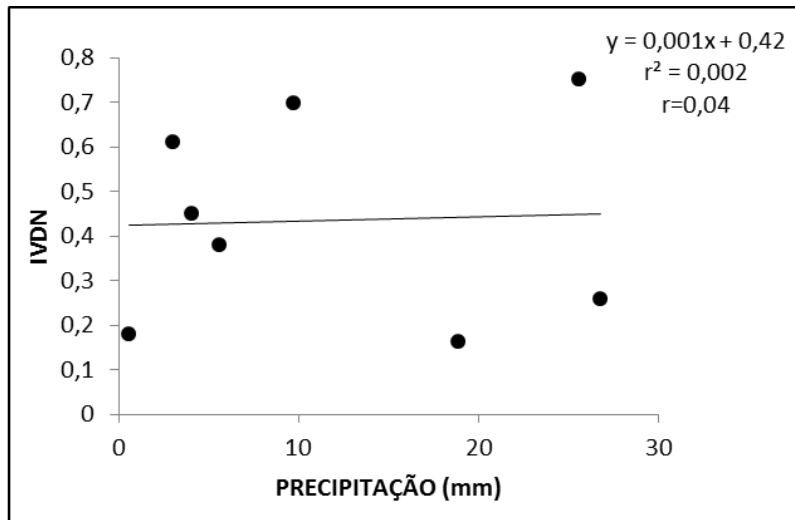


Figura 18: Coeficiente de determinação entre os índices de vegetação versus a precipitação para 10 de janeiro de 1993.

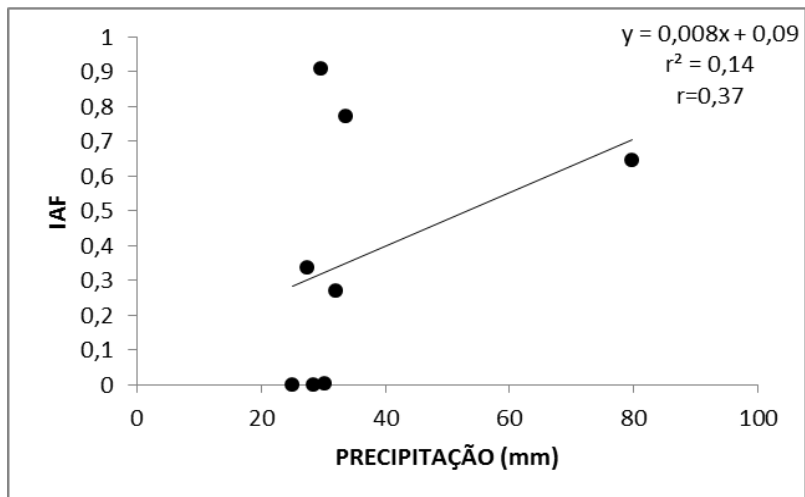
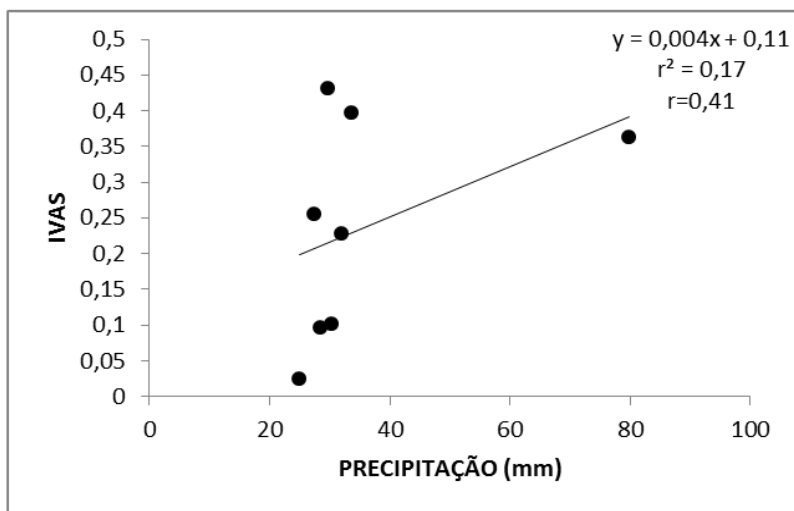
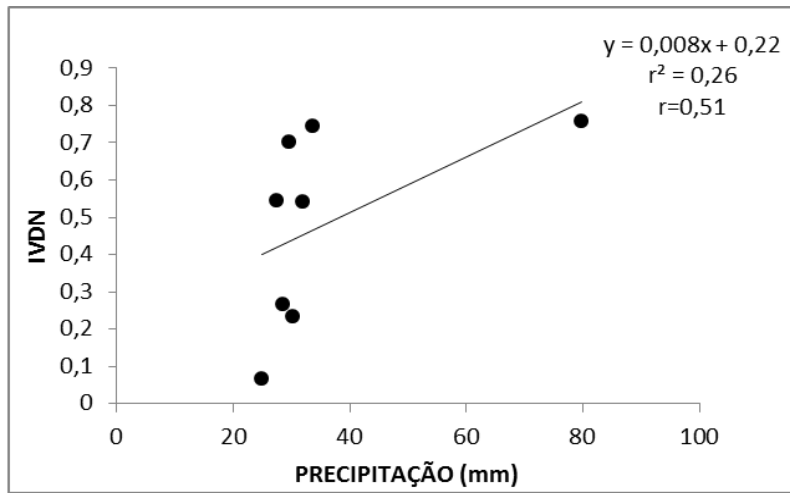


Figura 19: Coeficiente de determinação entre os índices de vegetação versus a precipitação para 27 de junho de 1994.