



ARTIGO ORIGINAL

Ana Carolina de Oliveira Goulart¹
Rafael Coll Delgado^{2*}
José Francisco de Oliveira Júnior²
Givanildo de Gois³
Ednaldo Oliveira dos Santos²

Relação espectro-temporal entre índices de vegetação e a chuva na cidade do Rio de Janeiro¹

Vegetation indexes and rain time-spectrum relationship in the city of Rio de Janeiro

¹ Universidade Federal Fluminense – UFF, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Biosistemas, Rua Passo da Pátria, 156. São Domingos, 24210-240, Niterói, RJ, Brasil
² Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, Instituto de Florestas, Departamento de Ciências Ambientais, BR 465 Km 7, Campus Universitário, Zona Rural, 23851-970, Seropédica, RJ, Brasil
³ Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais e Florestais, BR 465 Km 7, Campus Universitário, Zona Rural, 23851-970, Seropédica, RJ, Brasil

*Autor correspondente:

E-mail: rafaelcolldelgado32@gmail.com

PALAVRAS-CHAVE

Plataformas orbitais
Disponibilidade hídrica
Crescimento de floresta

KEYWORDS

Orbital platforms
Water availability
Forest growth

RESUMO: O município do Rio de Janeiro nas últimas décadas vem crescendo desordenadamente, principalmente pela falta de políticas públicas de urbanização, o que vem diminuindo a densidade de áreas verdes. Assim, a relação espectro-temporal fundamentada em três índices de vegetação do satélite Landsat 5 (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI, Soil Adjusted Vegetation Index – SAVI e o Leaf Area Index – LAI) e dados de chuva de estações convencionais foram avaliados com testes e índices estatísticos com o objetivo de obter a melhor correlação entre eles para o município do Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Os resultados não apresentaram normalidade e homogeneidade de variância dos dados baseados nos testes de Kolmogorov Smirnov e Shapiro Wilk-WS, e Hartley e Bartlet, respectivamente. Foram identificados altos valores do coeficiente de correlação de Pearson (r), seguidos de alta variabilidade significativa dos índices (NDVI, SAVI e LAI), nos anos de 1984, 1985, 1989 e 1991. O índice que melhor representou a relação no período estudado, em comparação aos demais, foi o NDVI, apresentando em 60% dos anos observados a maior correlação com a chuva. Portanto, ele pode ser utilizado em estudos da dinâmica da vegetação no município. A regressão linear entre os índices e a chuva nos períodos de 1990 e 1991 apresentam tendências negativas e positivas para os índices de vegetação.

ABSTRACT: The municipality of Rio de Janeiro in recent decades has been growing wildly, mainly due to the lack of public policies in the urbanization evolutionary process, which has decreased the density of green areas. Thus, the time-spectrum relationship based on three satellite vegetation indexes, Landsat 5 (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI, Soil Adjusted Vegetation Index – SAVI and the Leaf Area Index – LAI) and rainfall data from conventional stations were evaluated with statistical tests and indexes in order to obtain their best correlation for the city of Rio de Janeiro, RJ, Brazil. The results did not show variance normality and homogeneity of the data based on the Kolmogorov-Smirnov and Shapiro Wilk-WS, and Hartley and Bartlet tests, respectively. They identified high values of the Pearson correlation coefficient (r), followed by significant high variability indices (NDVI, SAVI and LAI) in the years of 1984, 1985, 1989 and 1991. The index that best represented the relationship during the study period, compared to the others, was the NDVI, with 60% in the years with the highest correlation with rain. Therefore, it can be used for dynamic studies of the vegetation in the city. Linear regression between the indexes and the rain in 1990 and 1991, have positive and negative trends for the vegetation indexes.

1 Introdução

A cidade do Rio de Janeiro (CRJ) apresenta áreas de remanescentes do domínio Mata Atlântica, em sua maioria protegidas por leis, principalmente na forma de Unidades de Conservação (UCs). Clare et al. (2009) descreveram um total de 43 UCs, equivalendo à aproximadamente um terço do total de unidades municipais de todo o estado. Somados os valores de Floresta Ombrófila Densa, Restinga, Manguezal e Brejo, chega-se ao valor total de 35.290 ha (28,9%) do território da CRJ (Rio de Janeiro, 2010).

O município era em sua totalidade coberto pela Mata Atlântica, porém, devido à expansão territorial, causada pelas inúmeras construções, pelo aumento populacional e ocupação urbana desordenada na CRJ, houve uma diminuição significativa da cobertura do bioma Mata Atlântica. Segundo o IBGE (2013), a cidade teve um aumento de aproximadamente 840.000 habitantes entre os anos de 1991 e 2010, que representou 15% neste período.

A remoção da vegetação pode inviabilizar as principais funções das florestas, como o equilíbrio estrutural do solo até regulações e manutenções do microclima. Em regiões tropicais, poderá ocasionar alterações no balanço hídrico, tornando o clima mais seco e quente (Foley, 2005).

Neste contexto, estes fragmentos são alvos importantes de avaliação com vasta abordagem, neles se busca o conhecimento de sua dinâmica, influências que estes fragmento podem gerar para a cidade ou sofrer pela urbanização.

Alguns estudos mostram a correlação de variáveis ambientais com os índices de vegetação obtidos por meio do Sensoriamento Remoto (SR) – Wang et al. (2003), Lucas & Shuler (2007), Delgado et al. (2012a, 2012b). A radiação solar e a chuva estão entre os principais fatores que influenciam o crescimento das árvores e, consequentemente, a regeneração natural. De acordo com Ataíde et al. (2011) e Menezes et al. (2011), esses fatores se encaixam em um dos grupos considerados mais importantes, o dos fatores climáticos.

A correlação existente entre variáveis ambientais e índices de vegetação pode ser observada por alguns modelos distintos conforme o satélite, sensor utilizado e objetivo de estudo. Um dos índices de vegetação mais utilizados tem sido o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI), afirmam Ferreira et al. (2008). Este permite avaliar o vigor vegetativo dos estágios sucessionais de determinada vegetação ou cultura, bem como identificar e diferenciar áreas com algum tipo de vegetação e áreas sem cobertura vegetal (Lima et al., 2013).

Outro índice importante no estudo da vegetação é o Índice de Vegetação por Ajuste do Solo (Soil Adjusted Vegetation Index – SAVI). De acordo com Parise & Vettorazzi (2005), o SAVI, proposto por Huete (1988), representa uma modificação do NDVI, já que, em áreas em que a refletividade varia devido a diferenças de umidade, variações de rugosidade, sombra ou diferentes teores de matéria orgânica no solo, podem ocorrer mudanças no NDVI. Para a medida da cobertura vegetal, tem-se em evidência o Índice de Área Foliar (Leaf Area Index – LAI), em que, para Sanches et al. (2008), definido como a razão entre a área foliar de uma população de plantas e a área de solo por ela ocupada, é um parâmetro dinâmico que pode variar de dia para dia.

Em estudo realizado na microrregião do Sertão do São Francisco, no Estado de Alagoas, avaliou a variação da cobertura vegetal, os autores verificaram que mapas dos índices NDVI e o SAVI gerados com os dados do satélite LANDSAT 5 podem ser utilizados para monitoramento das variabilidades espaciais das condições bioclimáticas e os impactos nas condições de vegetação da região (Gomes et al., 2013).

O índice LAI é importante nos estudos de dinâmica de dossel nas florestas de transição e florestas tropicais. No entanto, precisa ser validado para ser utilizado com segurança em modelos de acoplamento biosfera-atmosfera, conforme Sanches et al. (2008) descreveram em um estudo na floresta de transição Amazônia-Cerrado, utilizando o sensor MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer).

Na CRJ, não foi realizado até o presente momento nenhum estudo sobre a relação dos índices de vegetação e qualquer variável meteorológica. Diante do exposto, o objetivo do estudo é avaliar a relação entre os índices de vegetação (LAI, NDVI e SAVI) existentes na literatura e os dados de chuva na cidade do Rio de Janeiro, RJ, Brasil, com a finalidade de obter o índice que melhor representa esse padrão relacional.

2 Material e Métodos

A área de estudo compreende a CRJ, localizada nas latitudes 22° 45' e 23° 50' S, e longitudes 43° 05' e 43° 50' W (Figura 1), situada 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 média anual é de 23,9 °C, com uma chuva anual de 1258 mm (Zeri et al., 2011).

Para o processamento dos dados, foram utilizados os *softwares* ERDAS IMAGINE 2014 e ArcGIS 10.2. O ArcGIS 10.2 foi usado para a análise e organização do banco de dados, seguido da confecção dos mapas em escala espaço-temporal dos dados do produto Thematic Mapper (TM), e os pontos das Estações Meteorológicas Convencionais (EMC), provenientes do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O ArcGIS 10.2 também foi utilizado para vetorização e recorte do polígono da CRJ, utilizando o aplicativo Extract by Mask.

O ERDAS IMAGINE 2014 foi utilizado no processamento das imagens tais como, cálculo da calibração radiométrica (Markham & Barker, 1987; Chander et al., 2009), reflectância das bandas (Allen et al., 2002), os índices LAI e NDVI (Allen et al., 2002) e SAVI proposto por Huete (1988) de acordo com a metodologia proposta por Bastiaanssen et al. (1998), seguindo os critérios do manual SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land).

Essas imagens foram disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e, posteriormente, foram escolhidas as que apresentaram ausência de nuvens para cada ano no período de 1984 a 1994. O período de avaliação foi dependente das informações obtidas pelas EMC, somente os anos em que os dados eram homogêneos, em que as informações eram completas, registradas a ocorrência ou ausência de chuvas.

As informações de chuva (mm) foram obtidas das EMC (Tabela 1).

As datas das análises de chuva antecederam aos 16 dias da passagem do satélite, com isso, foram realizadas as somas dos

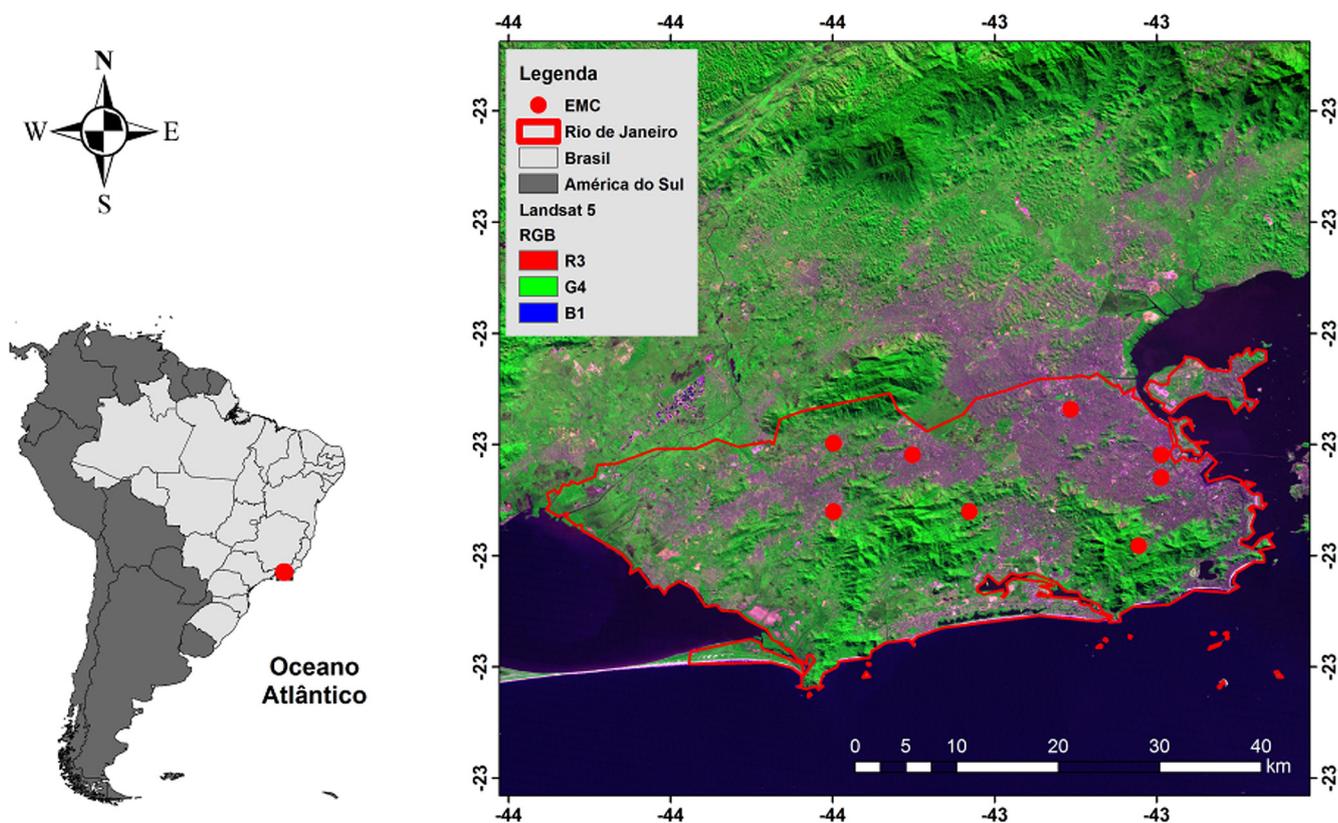


Figura 1. Localização geográfica da área de estudo com as respectivas estações meteorológicas convencionais. A imagem com a composição RGB (3, 4 e 1) é a cidade do Rio de Janeiro em destaque.

Figure 1. Geographic Location of the study area with its Weather Stations as conventional. The image with a RGB composition (3, 4 and 1) and The City of Rio de Janeiro highlighted.

Tabela 1. Relação das estações meteorológicas convencionais utilizadas no estudo, seguidas das coordenadas geográficas latitude e longitude (°) e da altitude (m), respectivamente.

Table 1. List of conventional weather stations used in the study, followed by the geographical latitude and longitude coordinates (°) and altitude (m), respectively.

Estações	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)
Alto da Boa Vista	-22,95	-43,27	347
Bangu	-22,87	-43,47	40
Benfica	-22,89	-43,25	2
Bonsucesso	-22,87	-43,25	5
Campo Grande	-22,92	-43,54	28
Eletrobras	-22,92	-43,42	80
Irajá	-22,83	-43,33	6
Mendanha	-22,86	-43,54	10

registros pluviométricos ocorridos neste período (Delgado et al., 2012b). Dado que a chuva é um fator determinante da variabilidade espacial e temporal, isso demonstra que ele é um bom indicador do crescimento vegetativo, principalmente em meses, ou dias anteriores de ocorrência destes eventos (Lucas & Schuler, 2007; Delgado et al., 2012a, 2012b).

Foram realizados testes de normalidade e homogeneidade dos dados por meio de estatística não paramétrica (Kolmogorov-Smirnov (K-S), Shapiro-Wilks (S-W), Hartley e Bartlett), no ambiente R versão 3.1.0. Para a análise do coeficiente de correlação de Pearson (r), foi empregado o programa BioEstat

versão 5.0. O teste K-S baseia-se na máxima diferença entre a distribuição acumulada da amostra e distribuição acumulada esperada (Equação 1).

$$D_{\text{Max}} = |F_0(x) - S_n(x)| \quad (1)$$

Em que:

$F_0(x)$ – distribuição teórica acumulada;

$S_n(x)$ – distribuição de frequência dos valores amostrais;

D_{Max} – desvio máximo.

Se o valor calculado de D_{Max} é estatisticamente significativo (para $p = 0,05$), rejeita-se a hipótese H_0 que a distribuição estudada é a de interesse, caso contrário, aceita-se a hipótese alternativa de que a distribuição é a de interesse ao nível de significância.

O teste de S-W tem sido amplamente utilizado na literatura para identificar com precisão se uma amostra ou um conjunto de dados segue a distribuição normal. Com base nos comandos shapiro test aplicativo existente no ambiente R, foram obtidos os valores de W e p-valor. O teste é fundamentado na seguinte hipótese:

H_0 - A distribuição representa uma curva gaussiana, ou seja, uma distribuição normal e H_1 - A distribuição não representa uma curva gaussiana, ou seja, não é uma distribuição normal.

Se o valor calculado de W é estatisticamente significativo (para $p < 0,05$), rejeita-se a hipótese H_0 que a distribuição estudada é normal. Ou seja ($p < 0,05$) e estatisticamente não significativo aceita-se a H_1 . Posteriormente, foi gerado o gráfico da distribuição de porcentagens acumuladas denominado de probabilidade normal. Conforme os comandos do R qqnorm e qqline (Equação 2).

$$W = \frac{\left(\sum_{i=1}^n a_{n-i+1} (x_{n-i+1} - x_i) \right)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

Em que:

- $i - 1, 2, \dots, n$, é o tamanho da amostra;
- x_i - valor da medição da amostra em análise, ordenado do menor para o maior valor;
- \bar{x} - valor médio da medição;
- a_{n-i+1} - coeficiente calculado por S-W;
- W - estatística de S-Ws.

Um dos testes mais utilizados para verificação da homocedasticidade é o Teste de Hartley ou teste da razão máxima (Equação 3). Considerou-se um conjunto de g grupos, cada um com r dados, para os quais se desejou testar a homocedasticidade. Para tanto, foram calculadas as estimativas de variância (S_i^2) dos diferentes grupos e a estatística.

$$H_C = \frac{S_{max}^2}{S_{min}^2} \quad (3)$$

Em que:

- S_{max}^2 - maior variância
- S_{min}^2 - menor variância; e foi comparado seu valor com os valores críticos de $H(g, r - 1)$.

Se a hipótese de homocedasticidade for rejeitada, conclui-se que não existe homogeneidade de variâncias entre os grupos.

Este teste tem como pressuposto que as populações tenham distribuição normal. Além disso, só é aplicável quando as diferentes amostras envolvidas tenham dimensões n_j não inferiores a quatro ($n_j \geq 4$, para todo o j).

Hipóteses a testar: $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2$ e $H_1: \sigma_i^2 \neq \sigma_j^2$, para algum i e algum j, tais que $i \neq j$.

Estatística de teste (Equações 4-9):

$$B_0 = \frac{q}{C} \quad (4)$$

$$q = (N - K) \ln S_p^2 - \sum_{j=1}^k (n_j - 1) \ln S_j^2 \quad (5)$$

$$N = \sum_{j=1}^k n_j \quad (6)$$

$$S_j^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{x})^2}{(n_j - 1)} \quad (7)$$

$$S_p^2 = \frac{\sum_{j=1}^{n_j} (n_j - 1) S_j^2}{(N - K)} \quad (8)$$

$$C = 1 + \frac{1}{3(K - 1)} \left[\sum_{j=1}^k \frac{1}{(n_j - 1)} - \frac{1}{N - K} \right] \quad (9)$$

Sob H_0 (igualdade das variâncias), sabe-se que B_0 tem distribuição assintótica quiquadrado χ_{k-1}^2 com graus de liberdade. Desta forma, rejeita-se H_0 se $B_0 > Q_{[1-\alpha; k-1]}$ no qual $B_0 > Q_{[1-\alpha; k-1]}$ representa o quantil $(1 - \alpha)100\%$ da distribuição quiquadrado com $(k - 1)$ graus de liberdade. Além disso, o p-valor é calculado pela Equação 10.

$$P - \text{valor} = P \left[\chi_{k-1}^2 > \frac{B_0}{H_0} \right] \quad (10)$$

Em que:

- S_j^2 e S_p^2 - variâncias da amostral e populacional;
- N - número de observações;
- n_j - número de medidas em cada nível;
- K - número de nível do fator;
- σ_k^2 - variância da população;
- B_0 - estatística de Bartlett

3 Resultados e Discussão

Os testes SW e B aplicados à série temporal de dados (Tabela 2) apresentaram um baixo nível de significância para P-valor ($\alpha < 5\%$) de probabilidade e, portanto, rejeitou-se a hipótese de normalidade e homogeneidade de variâncias em todas as estações existentes na CRJ.

A confirmação de rejeição da hipótese de nulidade, em que as médias foram iguais e os dados não seguem a distribuição normal, foi aplicado o teste S-W. Novamente os valores para p-valor foram inferiores para os níveis de significância de 5% (Tabela 2).

Os resultados dos testes de Hartley e Bartlett mostraram que ambos (Tabela 2) identificaram a ocorrência de heterocedasticidade regular (não homogeneidade dos dados), em que o $H_{calculado} > H_{tabelado}$, para 27 grupos e 3 repetições, e o p-valor com valor inferior ao nível de significância de 0,05

Tabela 2. Distribuição dos testes de normalidade (Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilks) e homogeneidade (Hartley e Bartlet) utilizados no estudo.
Table 2. Distribution of normality tests (Kolmogorov-Smirnov and Shapiro-Wilks) and homogeneity (Hartley and Bartlet) used in the study.

Testes de Homogeneidade			Testes de Normalidade	
Hartley		Bartlet	Kolmogorov-Smirnov	Shapiro-Wilks
H cal	H Tab	p-valor	p-valor	p-valor
1	7,15	$2,84 \times 10^{-5}$	$2,2 \times 10^{-16}$	$1,033 \times 10^{-3}$

($2,84 \times 10^{-5}$). Corroborando para a rejeição da hipótese de homocedasticidade das variâncias dos dados do estudo.

Observam-se os resultados dos índices estatísticos referentes aos índices de vegetação com a chuva do período (Tabela 3) mostras que as diferentes datas obtidas ocorreram variações significativas no padrão relacional, porém, em 60% (7 das 11 totais) dos anos analisados, o índice NDVI apresentou maior correlação em comparação aos demais índices adotados no estudo. Segundo Delgado et al. (2012b), o NDVI acompanha a sazonalidade da região, pois é influenciado pela quantidade de radiação incidente e pelas taxas de precipitação.

Entre os valores dos índices estudados, o LAI, apresentou resultados tendendo a zero em diferentes EMC existentes na CRJ. Isso se deve ao fato de que o índice obtém a resposta espectral da razão entre a área da vegetação e a área no terreno, seguido da resolução do sensor utilizado (900 m²).

A estação de Bonsucesso teve maior ocorrência de valores tendendo a zero, para o índice LAI (Tabela 1). Este fato é atribuído às características do local da estação, visto que ela encontra-se em área densamente urbanizada da zona norte da CRJ.

Outros trabalhos científicos confirmaram o padrão relacional entre o NDVI e a chuva. Delgado et al. (2012a, 2012b) encontraram valores mínimos de NDVI para o dia de baixa chuva acumulada (inverno), enquanto que, no final da estação chuvosa, os resultados apresentaram altos valores para um estudo em plantação de cana-de-açúcar no Triângulo Mineiro, Minas Gerais.

O SAVI foi o único que não obteve boa correlação em comparação aos demais índices para o período de estudo (Tabela 3). Isso se deve ao cálculo incluir a reflectância do solo (constante). Consequentemente interferiu nos resultados do índice LAI, devido a equação utilizar resultados obtidos do SAVI, traduziu-se em uma dependência. Além disso, na faixa espectral em que ocorre a refletividade da vegetação, seus valores podem ser influenciados pela reflectância do solo.

Os índices não apresentaram altas variações quando comparados aos valores extremos de chuva. Este fato foi verificado nos anos de 1989 e 1990, principalmente na estação de Bangu (116,4 e 4,4 mm) e na estação de Irajá (101,9 e 9,2 mm), respectivamente. Os meses de observação para os dois anos são próximos, abril e maio, e 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

Tabela 3. Resultados da correlação de Pearson (r) dos índices de vegetação anuais.

Table 3. Results of the Pearson correlation (r) of annual vegetation indices.

Ano	Correlação de Pearson (r)		
	NDVI	SAVI	LAI
30/05/1984	0,65	0,34	0,53
15/04/1985	0,32	0,20	0,83
28/01/1986	0,44	0,42	0,38
11/08/1987	0,12	0,20	0,31
22/03/1988	0,42	0,49	0,52
26/04/1989	0,75	0,61	0,51
31/05/1990	0,61	0,37	0,36
21/07/1991	0,91	0,93	0,95
08/08/1992	0,57	0,51	0,53
10/01/1993	0,04	0,00	0,04
27/06/1994	0,51	0,41	0,38

de floresta é um fator que causaria estabilidade na atividade fotossintética, o que manteria a produção de fitomassa foliar na época seca.

Isso mostrou que até certo nível de chuva ocorreu a correlação normal, ou seja, com o aumento da disponibilidade hídrica há o aumento dos valores dos índices de vegetação, porém ao alcançar valores elevados de chuva a atividade fotossintética diminui, que foi o caso da CRJ.

Os resultados da análise de regressão entre os índices de vegetação e a chuva para os anos de 1990 e 1991 indicaram que houve tendências negativas e positivas para ambos os três índices (Figura 2).

Entre os diversos componentes do ambiente, a luz é primordial para o crescimento das plantas, não só por fornecer energia para a fotossíntese, mas também fornecer sinais que regulam seu desenvolvimento por meio de receptores de luz sensíveis a diferentes intensidades, qualidade espectral e estado de polarização (Rego & Possamai, 2006). Por outro lado, o comportamento morfológico das plantas também é influenciado pelos diferentes níveis de déficit hídrico e em solos de diferentes texturas (Pereira et al., 2008).

Os resultados obtidos pela regressão linear demonstraram que os anos 1986, 1988 e 1990 foram de correlações inversas. Em princípio, este fato não pode ser vinculado à sazonalidade, ocasionado pela senescência das folhas, pois os três anos foram datados em estações do ano diferentes. Porém é importante ressaltar que em 1986 e 1988 ocorreram valores discrepantes de chuvas, que, por sua vez, ocasionaram valores dos índices baixos. Obtida essa resposta inversa de relação entre as

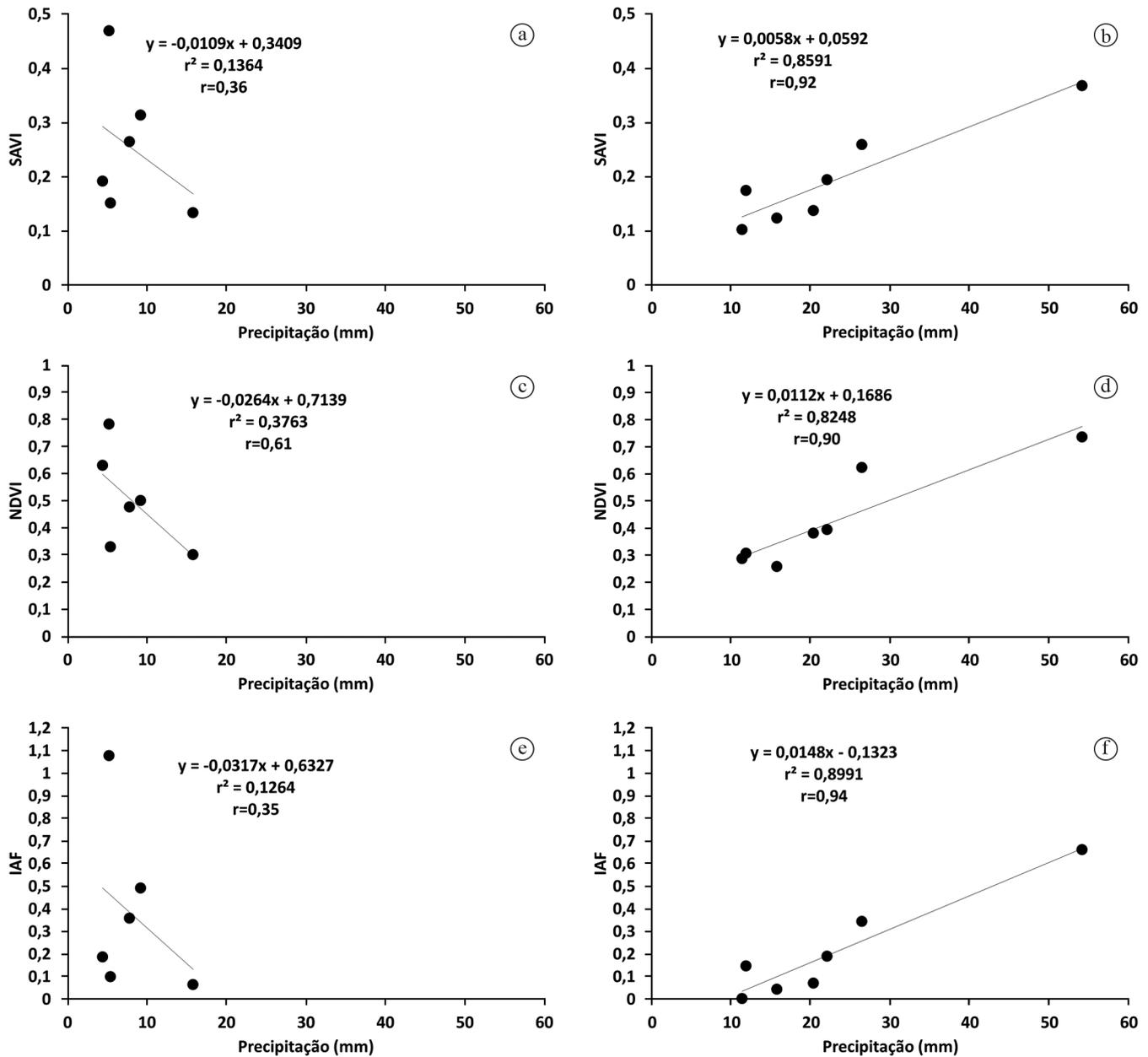


Figura 2. Coeficiente de correlação (r) entre os índices de vegetação versus a precipitação pluvial (mm) para os anos de 1990 (a, c, e) e 1991 (b, d, f).

Figure 2. Correlation coefficient (r) between the vegetation indexes versus rainfall (mm) for the years 1990 (a, c, e) and 1991 (b, d, f).

variáveis, tem-se a necessidade de um estudo acompanhando ao longo de todo o ano.

Foram verificadas a relação dos índices de vegetação com a chuva por estação, considerando o período de estudo e as estações (Eletrobras, Bangu e Campo Grande) com dados homogêneos e completos. Verificou-se que a correlação nestas estações os resultados não diferiram dos encontrados no período anual, sendo que novamente foram encontradas correlações inversas e o índice com maior correlação foi o NDVI.

Outros fatores ambientais, como clima, relevo e solo, possivelmente influenciaram de forma significativa os resultados obtidos deste estudo. Portanto se faz necessária uma análise conjunta dos fatores com o aumento da série de dados.

4 Conclusões

O índice que apresenta melhor relação com a chuva na cidade do Rio de Janeiro é o NDVI. Características do uso do solo influenciam diretamente os índices LAI e SAVI. Portanto, como a cidade do Rio de Janeiro não possui nenhum outro estudo com esta relação, este método pode ser utilizado em estudos da dinâmica da vegetação.

Referências

ALLEN, R. G.; TREZZA, R.; TASUMI, M. *Surface energy balance algorithms for land (SEBAL): Advanced training and user's manual*. Idaho Implementation, 2002. v. 1. 98 p.

- ATAIDE, G. M.; CASTRO, R. V. O.; CRREIA, C. G.; CASTRO, A. F. M. N.; SANTANA, R. C. Cobertura retrátil no crescimento de mudas clonais de eucalipto. *Revista Ciência Agrônômica.*, v. 42, n. 3, p. 750-757, 2011.
- 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, p. 198-212, 1998.
- 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, p. 893-903, 2009.
- CLARE, V. N.; GONÇALVES, I. I.; MEDEIROS, R. Ocorrência e distribuição de unidades de conservação municipais no estado do Rio de Janeiro. *Revista Floresta e Ambiente*, v. 16, p. 11-22, 2009.
- DELGADO, R. C.; SEDIYAMA, G. C.; LIMA, E. P. Evolução espaço-temporal do café no estado de Minas Gerais por meio do classificador árvore de decisão. *Revista Enciclopédia Biosfera*, v. 8, p. 904-913, 2012a.
- 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 de Engenharia Agrícola*, v. 32, p. 369-380, 2012b.
- FERREIRA, L. G.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M. E. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado-da-arte. *Acta Scientiarum Biological Sciences*, v. 30, n. 4, p. 379-390, 2008.
- FOLEY, J. A. Global consequences of land use. *Science*, v. 309, p. 570-574, 2005.
- GOMES, H. B.; SILVA JÚNIOR, R. S.; DE PACE, F. T. Mapeamento temático da cobertura vegetal na microrregião do sertão do São Francisco Alagoano, utilizando imagens TM LANDSAT 5. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 5, p. 1121-1132, 2013.
- HUETE, A. R. Adjusting vegetation indices for soil influences. *International Agrophysics*, v. 4, n. 4, p. 367-376, 1988.
- HUETE, A. R.; DIDAN, K.; SHIMABUKURO, Y.; RATANA, P.; SALESKA, S. R.; HUTYRA, L. R.; YANG, W.; NEMANI, R. R.; MYNENI, R. Amazon rainforest green-up with sunlight in dry season. *Geophysical Research Letters*, v. 33, p. 1-4, 2006.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Censo Brasileiro*. 2013. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 22 maio 2013.
- LIMA, G. C.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SILVA, M. A.; OLIVEIRA, A. H.; AVANZI, J. C.; UMMUS, M. E. Avaliação da cobertura vegetal pelo índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN). *Revista Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 8, n. 2, 2013.
- 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, p. 607-614, 2007.
- MARKHAM, B. L.; BARKER, J. L. Thematic mapper band pass solar exoatmospherical irradiances. *International Journal of Remote Sensing*, v. 8, p. 517-523, 1987.
- MENEZES, S. J. M. C.; SEIYAMA, G. C.; SOARES, V. P.; GLERIANI, J. M.; ANDRADE, R. G. Estimativa dos componentes do balanço de energia e da evapotranspiração em plantios de eucalipto utilizando o algoritmo sebal e imagem landsat 5 – TM. *Árvore*, v. 35, n. 3, 2011. Suplemento.
- 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*, v. 27, n. 1, p. 43-47, 2005.
- PEREIRA, M. R. R.; KLAR, A. E.; MENDONÇA FILHO, A. L.; RODRIGUES, A. C. P.; SILVA, M. R. Influências de solos de diferentes texturas no desenvolvimento de plantas de *Eucalyptus urograndis* submetidas a déficit hídrico. *Irriga*, v. 13, p. 249-260, 2008.
- REGO, G. M.; POSSAMAI, E. Efeito do sombreamento sobre o teor de clorofila e crescimento inicial do jequitibá-rosa. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 53, p. 179-194, 2006.
- RIO DE JANEIRO (Prefeitura) *Mapeamento da cobertura vegetal e do uso das terras no município do Rio de Janeiro no ano de 2010*. 2010. Disponível em: <<http://sigfloresta.rio.rj.gov.br/>>. Acesso em: 15 maio 2013.
- SANCHES, L.; ANDRADE, N. L. R.; NOGUEIRA, J. 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*, v. 30, p. 57-69, 2008.
- 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, p. 2345-2364, 2003.
- 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*, v. 113, p. 139-152, 2011.

Contribuição dos autores: Ana Carolina de Oliveira Goulart, desenvolveu todo o pensamento científico, processamento de imagens, etc; Rafael Coll Delgado contribuiu na orientação e formação da primeira autora e na idealização da ideia e iniciativa da escrita do artigo; José Francisco de Oliveira Júnior e Givanildo de Gois ajudaram com a escrita, discussão de resultados, montagem do banco de dados meteorológicos de precipitação, etc; Ednaldo Oliveira dos Santos ajudou na confecção dos resultados estatísticos e geração de Figuras, bem como na revisão de literatura e metodologia estatística do artigo.

Agradecimentos: À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro por permitir a realização deste trabalho.

Fonte de financiamento: CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. Este trabalho está tendo continuidade com um bolsista da CAPES de mestrado do PPGCAF.

Conflito de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.