

Avaliação do desempenho dos índices de vegetação NDVI e SAVI no bioma Caatinga, a partir de imagens do satélite Landsat 8

Daniel Brondani Ilha¹
Mariana Alves Pagotto²

¹Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - Ibama
Av. Dr. Carlos Rodrigues da Cruz, 1548 - Capucho - 49080-903- Aracaju - SE, Brasil
daniel.ilha@ibama.gov.br

²Laboratório de Botânica: anatomia vegetal e dendrocronologia
Universidade Federal de Sergipe – UFS
Av. Marechal Rondon, s/n - Rosa Elze - 49100-000 - São Cristóvão, SE, Brasil
maripagotto07@gmail.com

Abstract. The vegetation of the Caatinga biome presents seasonal variations, where the climate is characterized by a seasonality in precipitation levels. These variations can be recognized through the interpretation of vegetation indices. The objective of this study was to evaluate the vegetation index by calculating the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), in the Caatinga biome of Sergipe state, detecting the seasonal variation and the spectral behavior of vegetated areas -, in different densities of vegetation cover. Sensor OLI images of the Landsat satellite 8, during January, April, July, August and October of 2015, was used. A Geographic Information System (GIS) of six sample plots were placed, using a 5x5 pixels for each category: pasture, caatinga vegetation dense and caatinga vegetation altered. The values of the NDVI and SAVI indices were calculated from the pixels mean of the parcels. The results showed highest values of NDVI and SAVI in the months with higher precipitation and lower values in periods of drought. The density of the vegetation cover influenced the values of NDVI and SAVI, with higher values in areas with high vegetation density when compared with lower vegetation density. Moreover, the vegetation of the study area was better discriminated by SAVI index.

Palavras-chave: remote sensing, degradation, vegetation coverage, sensoriamento remoto, degradação, cobertura vegetal.

1. Introdução

O comportamento espectral da vegetação não apresenta caráter linear ao longo do seu ciclo vegetativo, sendo impactado por alterações fenológicas e morfológicas das plantas formadoras do dossel, variando de acordo com a região do espectro, com o tipo de cultura e com o ângulo de visada. A arquitetura do dossel, o tipo de substrato e a disponibilidade de água, também alteram o comportamento espectral da vegetação (Novo, 2010). Na Caatinga notam-se claramente as alterações no comportamento espectral da vegetação, pois o principal fator de regulação dos estágios fenológicos das plantas neste bioma está relacionado com o regime pluviométrico, que apresenta sazonalidade quanto à quantidade, intensidade e distribuição temporal e espacial das precipitações pluviométricas.

A fim de estudar este comportamento Espig et al. (2006) mencionam que as alterações na biomassa foliar podem ser monitoradas através da aplicação de índices de vegetação derivados de sensores remotos. Esses índices permitem verificar a dinâmica da cobertura vegetal ao destacar a resposta da vegetação fotossinteticamente ativa em relação aos demais alvos da superfície terrestre, possibilitando distinguir diferentes tipos de cobertura e uso da terra. Existe uma diversidade de índices de vegetação com finalidades e resultados distintos, dos quais merecem destaque o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Vegetação Ajustada ao Solo (SAVI).

O NDVI é definido “como um índice de vegetação capaz de determinar a densidade de fitomassa foliar fotossinteticamente ativa por unidade de área” (Melo et al., 2011). Os valores mais altos desse índice se relacionam com coberturas vegetais mais densas e vigorosas,

enquanto os menores valores se referem à vegetação alterada ou áreas desnudas (Viganó et al., 2011).

As faixas espectrais do vermelho (RED) e infravermelho próximo (NIR) correspondem a mais de 90% da resposta espectral da vegetação (Rosa, 2007), sendo assim o NDVI é obtido através da equação (1):

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

Onde: NIR se refere ao Fator de reflectância bidirecional (FRB) no infravermelho próximo; e RED o FRB no vermelho (Ponzoni et al., 2012).

Os valores de NDVI variam entre -1 e +1, (quanto mais próximo de um maior a densidade de cobertura vegetal). Rochas e solos sem vegetação apresentam valores próximos à zero, enquanto que a água apresenta valores negativos (Holben, 1986; Justice et al., 1985 *apud* Espig et al., 2006). O NDVI detém a habilidade para minimizar efeitos topográficos ao produzir uma escala linear de medida (Rosendo e Rosa, 2008). Através de sua aplicação é possível monitorar as mudanças sazonais da atividade e do desenvolvimento da vegetação (Jensen, 2009), bem como eventuais perturbações em seu ciclo sazonal (Nery et al., 2014). Contudo, segundo Jensen (2009), os resultados do NDVI podem ser deturpados devido à sua sensibilidade às mudanças do substrato/solo do dossel, bem como influenciados pela radiância de trajetória atmosférica e pela saturação do Índice de Área Foliar (IAF). Segundo Elmore (2010), o NDVI é altamente influenciado pelo brilho e pelo efeito espectral do solo, como nos dosséis vegetais esparsos, o que prejudica as avaliações sobre a vegetação. Para Ponzoni et al. (2012) o brilho do solo tem superestimado os valores do NDVI. A fim de minimizar os efeitos do solo no sinal da vegetação o NDVI foi adaptado, surgindo o SAVI (Índice de Vegetação Ajustada ao Solo) através da incorporação na equação do NDVI de uma constante de ajuste do solo, o fator “L” (Rêgo et al., 2012), que pode variar de zero a um. O SAVI se expressa a partir da seguinte equação (2):

$$SAVI = \frac{(1+L)(NIR-RED)}{(L+NIR+RED)} \quad (2)$$

Onde: NIR se refere ao Fator de reflectância bidirecional (FRB) no infravermelho próximo; RED o FRB no vermelho e L é a constante que minimiza o efeito do solo.

Segundo Huete (1988) *apud* Ponzoni et al. (2012) os valores ótimos de L são 1,00 para densidades baixas de vegetação; 0,50 para densidades intermediárias 0,25 para altas densidades de vegetação. O fator L = 0,5 oferece um índice espectral superior ao NDVI para um amplo intervalo de condições de vegetação (Ponzoni et al., 2012). O SAVI, entretanto, apresenta limitações relacionadas à sua aplicação em biomas e aos distintos usos do solo, pois não considera as especificações dos ambientes analisados, mas apenas a densidade da vegetação (Ponzoni e Shimabukuro, 2010).

O presente trabalho faz uma abordagem sobre a aplicação de ferramentas de geoprocessamento para avaliar o comportamento espectral da vegetação da Caatinga através da aplicação dos índices de vegetação NDVI e SAVI, ao longo do ano de 2015, utilizando imagens do sensor OLI, do satélite Landsat 8. Objetiva-se identificar os efeitos da sazonalidade, característicos deste bioma, na resposta espectral da vegetação, uma vez que a maioria das espécies perde as folhas no período seco, mas se recupera rapidamente no período das chuvas (Maldonado, 1999; 2005 *apud* Chaves et al., 2013), o que pode gerar confusão na

distinção de áreas vegetadas ou não, em mapeamentos do uso e ocupação do solo por sensores remotos.

2. Metodologia de trabalho

2.1 Área do estudo

O estudo foi realizado no Monumento Natural Grota do Angico ($37^{\circ} 40' 19,6''W$; $9^{\circ} 38' 26,2''S$), Unidade de Conservação situada no extremo oeste do Estado de Sergipe, às margens do rio São Francisco, entre os municípios de Canindé de São Francisco e Poço Redondo.

A classificação climática da região segundo Köppen (1948) é do tipo BSh, quente e seco, com precipitação anual total variando entre 380 e 760mm e evapotranspiração potencial anual superior à precipitação, o que gera balanço hídrico negativo (Semarh, 2011). O clima semiárido é caracterizado pela presença de um período chuvoso de abril a julho, e um período seco, de agosto a março. A Figura 1 apresenta a precipitação mensal do ano de estudo.

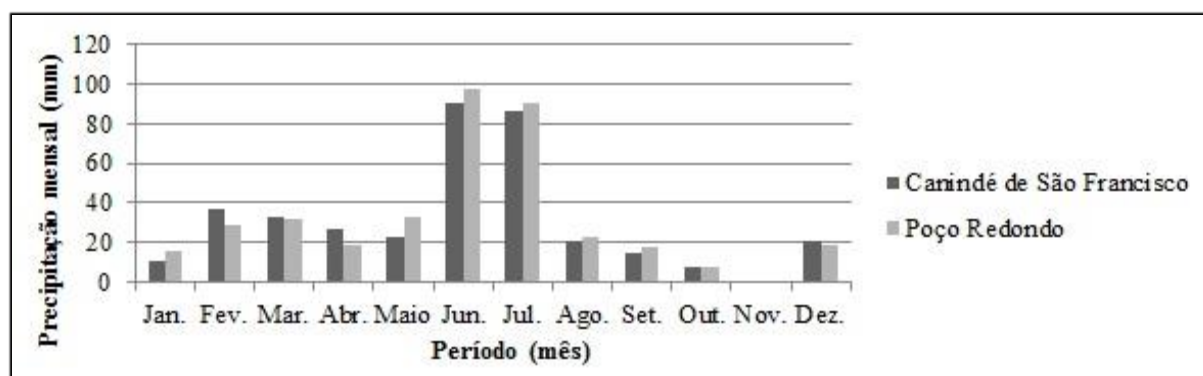


Figura 1 – Índice pluviométrico mensal entre os meses de janeiro a dezembro de 2015, registrados nos municípios de Canindé de São Francisco e Poço Redondo, em Sergipe. Fonte: INPE (Proclima), 2016.

O relevo da região é suave-ondulado, com vales estreitos e vertentes dissecadas. As cotas máximas do relevo situam-se a 196 metros, enquanto que às menores situam-se abaixo de 40 metros. Os solos do tipo Neossolos Litólicos predominam, ocorrendo nos trechos de maior declividade, ao longo dos entalhes fluviais do vale do rio São Francisco e seus afluentes. Nas áreas mais elevadas e menos declivosas ocorrem os Luvisolos (Semarh, 2011).

A vegetação predominante é classificada como Caatinga hiperxerófito arbórea-arbustiva, devido ao clima mais árido da região, aos solos relativamente rasos, que tornam o porte da vegetação arbórea mais baixa. As plantas apresentam caráter xerófilo e caducifólio, pois a folhas caem na época de estiagem. Há também ocorrência de Caatinga hiperxerófito arbórea associada a riachos, que se estende de modo predominante ao longo dos córregos e grotas (Semarh, 2011). Ribeiro e Mello (2007) *apud* Silva et al. (2013) relatam também a ocorrência de pastagens e áreas agrícolas, ativas e degradadas, além de formações secundárias com vegetação em processo de regeneração, com o predomínio da espécie *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L. P. Queiroz, conhecida popularmente como catingueira.

2.2 Material e Métodos

Foram utilizadas cinco imagens do satélite Landsat 8 do sensor OLI, fornecidas pela *United States Geological Survey* – USGS, através do sítio <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>, já georreferenciadas e corrigidas das interferências atmosféricas, referentes a Órbita 215 e Ponto 67, datadas no ano de 2015, em 14 de janeiro, 20 de abril, 25 de julho, 26 de agosto e 29 de outubro. Foram selecionadas imagens capazes de retratar a temporalidade e à sazonalidade da região (período seco e chuvoso) aliada à baixa cobertura de nuvens.

Os índices SAVI e NDVI foram gerados em plataforma SIG (Sistema de Informações Geográficas), tendo como resultado a geração de cinco arquivos matriciais para cada índice de vegetação.

Posteriormente foram delimitadas, distribuídas e representadas espacialmente em ambiente SIG seis parcelas amostrais para as classes: “Caatinga densa”, “Caatinga alterada” e “Pastagem”, totalizando 18 parcelas amostrais, cada uma medindo 150x150 metros, o que equivale a 5x5 *pixels* da imagem do sensor OLI. As parcelas foram alocadas com base na interpretação visual de imagens do sensor REIS, dos satélites RapidEye, em composição RGB das bandas 4, 5 e 3, com passagem no ano de 2015.

Na Figura 2 é apresentada a caracterização da vegetação das três classes, onde merece destaque o menor porte e densidade da cobertura vegetal da classe “Caatinga alterada” quando comparada à “Caatinga densa”. No dia 29 de janeiro de 2016, foram verificadas *in loco*: três parcelas amostrais da “Caatinga alterada”, onde foram observados pastejo de animais domésticos e a supressão de vegetação, o que ocasionou a abertura do dossel; seis parcelas da classe “Pastagem”, onde foi observado o amplo predomínio de gramíneas no estrato herbáceo; e uma parcela da classe “Caatinga densa”, onde foi evidenciado o predomínio do estrato arbóreo e o entrelaçamento das copas das árvores.



Figura 2 – Caracterização das classes amostradas: (A) Pastagem; (B) Caatinga alterada e (C) Caatinga densa.

Posteriormente foi realizada a leitura dos *pixels* resultantes da intersecção das imagens NDVI e SAVI com as parcelas amostrais, sendo calculada a média aritmética dos valores registrados nos 25 *pixels* constituintes de cada parcela amostral, resultando em um valor médio para cada uma das 18 parcelas amostrais, sendo seis para cada classe.

Para estudar a variabilidade sazonal dos valores dos índices NDVI e SAVI, bem como entre as classes, foram obtidos a média aritmética, o desvio padrão e o coeficiente de variação (CV) das classes, considerando os valores encontrados nas seis repetições, para cada um dos cinco períodos analisados. Logo a seguir foi realizada análise estatística para verificar se a intensidade de amostragem foi suficiente, admitindo-se uma margem de erro de 10% e um nível de confiança de 95%. Por último foram comparados por meio do Teste de Tukey em 5% de probabilidade, os valores médios dos índices NDVI e SAVI entre as classes temáticas e entre os períodos, chuvoso e de estiagem.

Destaca-se que para o cálculo do índice SAVI foi adotado, neste estudo, o valor de 1,0 como fator de ajuste do solo, em razão da presença de áreas com baixa densidade de vegetação, originada por intervenções antrópicas ocorridas no pretérito; e as características xerófilas e caducifólias, intrínsecas às plantas do bioma caatinga, fatores estes que acentuam a exposição do solo à radiação solar.

3. Resultados e Discussão

A análise estatística evidenciou que a intensidade amostral de seis parcelas por classe foi suficiente em todos os períodos analisados, admitindo-se margem de erro de 10% e um nível

de confiança de 95%. Os dados apresentaram homogeneidade, pois o CV entre as seis parcelas amostrais para cada classe, nos cinco períodos analisados, não excedeu a 10%.

Os maiores índices de NDVI e SAVI foram registrados na imagem de 25 de julho de 2015 (Figura 3), o qual correspondeu ao período chuvoso, cuja precipitação mensal deste mesmo ano foi de 80mm. Isso se deve à maior presença de biomassa vegetal na estação chuvosa em relação aos períodos de estiagem, pois com a maior disponibilidade de água, ocorre o desenvolvimento do mesófilo, alta produção de fotossíntese e o aumento do dossel, enquanto que na época seca as plantas perdem parte da folhagem para reduzir as perdas excessivas de água pelos estômatos, em razão do déficit hídrico que estão submetidas, aumentando a exposição do solo à radiação solar (Oliveira et al., 2009).

A sensibilidade dos índices NDVI e SAVI a disponibilidade de água no solo é esclarecida por Rosendo (2005) *apud* Oliveira et al. (2009) ao mencionar que na região espectral do infravermelho próximo, uma vegetação verde e sadia é caracterizada por alta reflectância, alta transmitância e baixa absorvância quando comparada ao visível, o que garante altos valores para o NDVI e SAVI quanto maior a disponibilidade de água no solo às plantas.

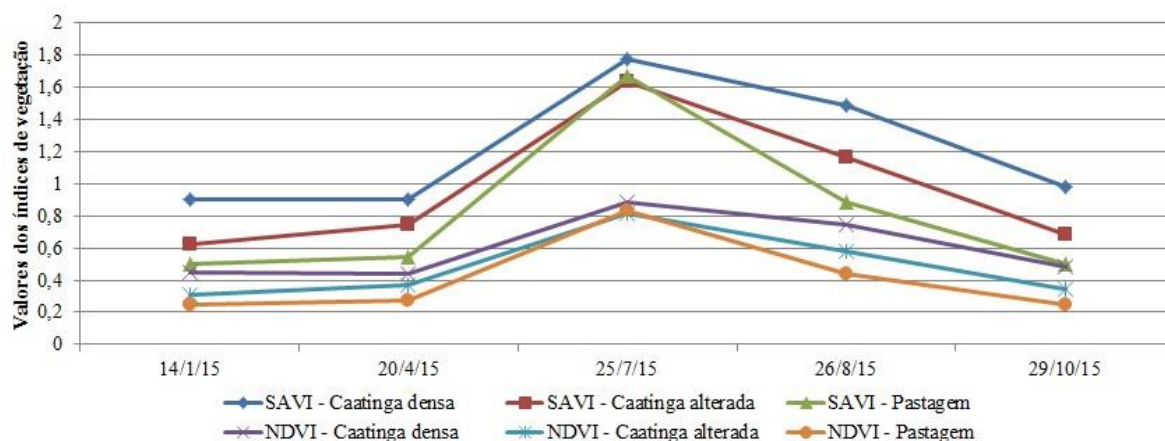


Figura 3 – Valores dos índices NDVI e SAVI para as classes de vegetação nos meses de janeiro, abril, julho, agosto e outubro de 2015.

O NDVI apresentou menores valores que o SAVI para todas as classes nos cinco períodos analisados. Segundo Rêgo et al. (2012), isso se deve pelo SAVI apresentar um fator de ajuste para o brilho do solo, o que altera a escala de valores que acompanha cada índice, apesar da utilização das mesmas bandas no algoritmo. Mesmo com esta diferença, ambos os índices de vegetação apresentaram a mesma tendência, sendo encontrados valores mais baixos para todas as classes nos períodos mais secos, e mais altos nos períodos de maior disponibilidade hídrica.

O índice SAVI apresentou maior sensibilidade para distinguir as classes “Pastagem”, “Caatinga alterada” e “Caatinga densa”, por registrar maior amplitude entre os valores médios, quando comparados aos obtidos pelo NDVI. Desta forma, o SAVI torna mais ampla a faixa passível de distinção das classes de vegetação.

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados os resultados do índice de vegetação NDVI e SAVI para os meses de janeiro, abril, julho, agosto e outubro de 2015. O teste de Tukey em 5% de probabilidade, mostrou que há diferença significativa entre os valores médios das classes “Caatinga densa”, “Caatinga alterada” e “Pastagem” quando comparados em cada período avaliado, com exceção na imagem de 25 de julho de 2015 (período chuvoso), pois as médias obtidas para as classes “Caatinga alterada” e “Pastagem” não apresentaram diferença significativa neste período. Isso indica que a estação de chuvas é inadequada para trabalhos de

classificação e mapeamento da vegetação de caatinga. Resultados semelhantes também foram observados por Chaves et al. (2014).

Tabela 1 – Valores médios do índice de vegetação NDVI.

Classe Temática	14/01/2015	20/04/2015	25/07/2015	26/08/2015	29/10/2015
Caatinga densa	0,447068 Acd	0,439060 Ad	0,887062 Aa	0,741278 Ab	0,483591 Ac
Caatinga alterada	0,312864 Bd	0,374094 Bc	0,818325 Ba	0,583534 Bb	0,345564 Bcd
Pastagem	0,251121 Cc	0,271735 Cc	0,834754 Ba	0,442305 Cb	0,248259 Cc

Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 5\%$), letras minúsculas entre as linhas; e maiúsculas entre as colunas.

Tabela 2 – Valores médios do índice de vegetação SAVI.

Classe Temática	14/01/2015	20/04/2015	25/07/2015	26/08/2015	29/10/2015
Caatinga densa	0,899643 Ad	0,900827 Ad	1,773588 Aa	1,485411 Ab	0,984269 Ac
Caatinga alterada	0,625573 Bc	0,743099 Bc	1,636286 Ba	1,166719 Bb	0,687557 Bc
Pastagem	0,502127 Cc	0,541643 Cc	1,669149 Ba	0,884342 Cb	0,499192 Cc

Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 5\%$), letras minúsculas entre as linhas; e maiúsculas entre as colunas.

Houve variação no comportamento das classes ao longo do período analisado (Tabelas 1 e 2). Este comportamento é retratado principalmente pelo índice de vegetação NDVI, considerando que foram encontradas através do teste de Tukey em 5% de probabilidade, diferenças significativas para as classes “Caatinga densa” e “Caatinga alterada” nos cinco períodos avaliados. Entretanto, este comportamento não foi verificado no índice de vegetação SAVI, o que pode estar relacionado à capacidade do SAVI de minimizar os efeitos do solo no sinal da vegetação.

Destaca-se que apesar do mês de outubro de 2015 ter apresentado o menor índice pluviométrico registrado entre os períodos analisados, cerca de oito milímetros, os menores valores dos índices NDVI e SAVI não foram registrados neste período para as classes “Caatinga densa” e “Caatinga alterada”. Este resultado pode estar relacionado com a maior capacidade de retenção e infiltração de água nestes locais, quando comparadas com áreas desnudas ou cobertas por gramíneas (pastagens). Pinheiro et al. (2009) citam que as pastagens nativas perenes apresentam baixa capacidade de infiltração de água no solo, enquanto que Souza e Martins (2012) mencionam que áreas com maior cobertura vegetal apresentam maiores taxas de infiltração.

A maior amplitude dos valores do NDVI e SAVI entre as classes avaliadas foi encontrada na imagem obtida em 26 de agosto de 2015 (Figura 4), sendo assim, esta imagem foi a que melhor diferenciou as classes de vegetação. Esta imagem representa a resposta da vegetação, logo após o término do período chuvoso, sendo este período o mais indicado para distinção da vegetação do bioma Caatinga por meio de sensores remotos. Fato este, que está relacionado, com as características intrínsecas das plantas, como as relacionadas com o sistema radicular, já que plantas com raízes mais desenvolvidas e profundas, típicas de vegetação lenhosa, auxiliam na infiltração da água no solo, mantendo a umidade por mais tempo, e assim postergam a disponibilidade de água às plantas. Segundo Moraes (1993), isto ocorre, entre outros fatores, devido à formação de pequenos canais com a decomposição das raízes das plantas, que favorecem o processo de infiltração de água no solo, além de melhorar a estrutura do solo pela incorporação de matéria orgânica, e assim elevando a capacidade de retenção de água, bem como, reduzindo a velocidade de escoamento superficial das águas das chuvas.

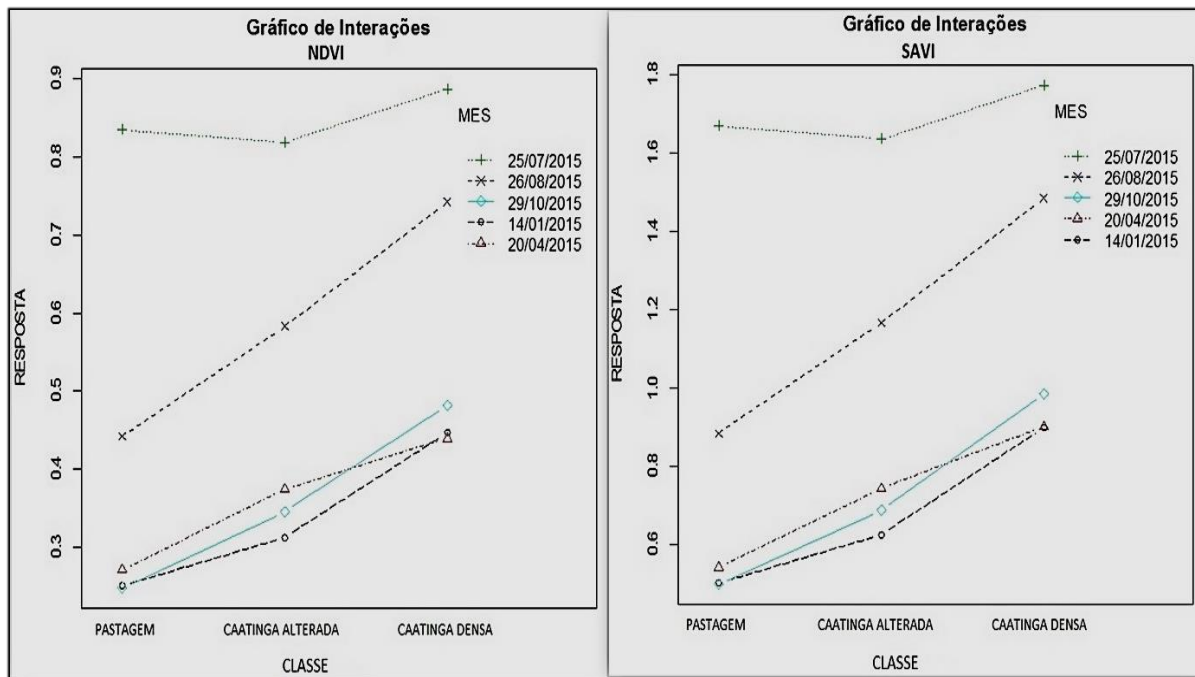


Figura 4 - Interações entre os valores do índice NDVI e SAVI para as classes temáticas e os períodos avaliados.

4. Conclusões

A partir do presente estudo foi possível concluir que:

- A vegetação de caatinga apresenta índices de vegetação mais altos no período de chuva quando comparado com o período de estiagem;
- Os índices de vegetação para as classes avaliadas apresentaram diferenças significativas nos períodos de estiagem, o que possibilita distingui-las por meio de sensoriamento remoto nesta época;
- O período de chuvas é inadequado para a realização de estudos de classificação e mapeamento da cobertura vegetal na Caatinga, sendo indicado a sua realização logo após o término do período chuvoso;
- Os índices NDVI e SAVI apresentaram resultados similares, contudo o SAVI sobressaiu-se na discriminação da cobertura vegetal.

Referências Bibliográficas

Chaves, I. de B.; Francisco, P. R. M.; Lima, E. R. V. de; Silva, B. B.; Brandao, Z. N.; Chaves, L. H. G. Índices espectrais, diagnóstico da vegetação e da degradação da caatinga da bacia do Rio Taperoá-PB. In: Silva, B. B. da. (Org.). **Aplicações ambientais brasileiras de geoprocessamento e sensoriamento remoto**. Campina Grande: EDUEFCG, 2013. p. 1-31.

Elmore, A. J.; Mustard, J. F.; Manning, S. J.; Lobell, D. B. Quantifying Vegetation Change in Semi-arid Environments: Precision and Accuracy of Spectral Mixture Analysis and the Normalized Difference Vegetation Index. **Remote Sensing Of Environment**, v. 73, n. 1, p.87-102, 2000.

Espig, S. A.; Soares, J. V.; Santos, J. R. Variações sazonais do EVI e NDVI em áreas do semiárido brasileiro. In: Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas aplicadas a Engenharia Florestal, 7., 2006. **Anais...** Curitiba: INPE, 2006 p. 219-226. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m12@80/2006/11.07.12.16/doc/espig.pdf>>. Acesso em: 11 jan. 2016.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos**. Disponível em <<http://www.proclima.cptec.inpe.br>>. Acesso em: 10 jan. 2016.

Jensen, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 604 p.

Melo, E. T.; Sales, M. C. L.; Oliveira, J. G. B. Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da Microbacia Hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús-CE. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 23, 2011. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/raega/article/viewArticle/24919>>. Acesso em: 30 out. 2016.

Moraes, A. Pastagens como fator de recuperação de áreas degradadas In: Simpósio Sobre Ecossistemas de Pastagens, 2, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: UNESP, 1993. p.191-215.

Nery, C. V. M.; Moreira, A. A.; Fernandes, F. H. S.; Almeida, L. S. de; Almeida, R. P. de. Utilização do Modelo Linear de Mistura Espectral e NDVI para avaliação do comportamento espectral de área desmatada no município de Rio Pardo de Minas /MG. **Caminhos de Geografia**, v.15, n.49, p. 104-112, 2014..

Novo, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 4ª ed. São Paulo. Edgard Blücher, 2010. 387p.

Oliveira, W. M. de; Chaves, I. de B.; Lima, E. R. V de. Índices espectrais de vegetação de caatinga em um neossolo litólico do semiárido paraibano. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14., 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009. Artigos, p. 2103-2110. On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. Disponível em: <<http://martel.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.00.32/doc/2103-2110.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2015.

Pinheiro, A.; Teixeira, L. P.; Kaufmann, V. Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola. **Revista Ambiente e Água**, v.4, p. 188-199, 2009.

Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2010.

Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y. E.; Kuplich, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. 2ª ed. Atualizada e ampliada, São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 160p.

Rêgo, S. C. A.; Lima, P. P. S.; Lima, M. N. S.; Monteiro, T. R. R. Análise comparativa dos índices de vegetação NDVI e SAVI no município de São Domingos do Cariri-PB. **Revista Geonorte**, v.2, n.4, p.1217-1229, 2012

Rosa, R. Introdução ao Sensoriamento Remoto, Uberlândia: EDUFU, 2007.

Rosendo, J. S.; Rosa, R. **Mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal a partir do índice de vegetação NDVI**. Universidade Federal de Uberlândia, Brasil, 2008. Disponível em: <<http://www.observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal12/Nuevastecnologias/Teledeteccion/16.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2015.

Semarh. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. **Plano de manejo do Monumento Natural Grotta do Angico**. Aracaju: Semarh, 2011. 55f. Disponível em: <<http://www.semarh.se.gov.br/uploads/planos/PlanodeManejoMONA.pdf>>. Acesso em 18 jan. 2016.

Silva, A. C. C.; Prata, A. P. N.; Mello, A. A.; Santos, A. C. A. S. Síndromes de dispersão de Angiospermas em uma Unidade de Conservação na Caatinga, Sergipe, Brasil. **Hoehnea**, v.40, n.4, p.601-609, 2013.

Souza, B. I.; Martins, V. L.. Infiltração da água em solos de zona semiárida e sua relação com os processos de desertificação. **Boletim Gaúcho de Geografia**, v.39, p.25-39, 2012.

Viganó, H. A.; Borges, E. F.; Franca-Rocha, W. J. S.. Análise do desempenho dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI a partir de imagem Aster. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 15., 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011. Artigos, p. 1828-1834. On-line. ISBN 978-85-17-000056-0. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1364.pdf>>. Acesso em 20 jan. 2016.