

Aplicação do índice de vegetação ajustado ao solo-SAVI para a identificação de fragmentos de caatinga em cultivos de *Agave sisalana* Perrine na região Semiárida do Brasil

Marcus Vinicius Rios da Silva^{1,2}

Joselisa Maria Chaves¹

Rodrigo Nogueira de Vasoncelos^{1,3}

Soltan Galano Duverger^{1,2}

¹ Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS/PPGM
Caixa Postal (75) 3161-8807- Feira de Santana - BA, Brasil

² Bolsistas de Mestrado da Capes

³ Bolsista PNP/PPGM/UEFS - Capes

{riosgeografia rnvuefsppgm, solkan1201}@gmail.com

joselisa@uefs.br

Abstract. Remote sensing has allowed the extraction of information on vegetation and indices-IV are commonly applied in mapping and vegetation modeling. The Vegetation Index Soil-Adjusted SAVI is the most commonly Index used on the identification of vegetation in semi-arid and deserts. The main objective of this article was to present the tests performed using the SAVI to identify fragments of Caatinga among *Agave sisalana* Perrine crops in the semi-arid of Bahia region. The methods consisted: i) collecting 30 points on the field to represent areas of Caatinga and *A. sisalana*; ii) correlation between data field and SAVI values for $L = 1$ and $L = 0.5$, generated from the satellite image Landsat OLI 8; and iii) statistical analysis of the data. The ANOVA test for data samples between Caatinga reflectance and *A. sisalana* classes showed distinct values, with significance less than $p < 0.0001$, thereby demonstrating that areas can be classified from the SAVI IV. The SAVI IV $L = 0.5$ presented the best results, with an accuracy of 98.37% of the pixels classified, reaching a Kappa coefficient of 97.7%.

Palavras-chave: remote sensing, sisal, landsat 8, image processing, sensoriamento remoto, sisal, landsat 8 processamento de imagens.

1. Introdução

O desenvolvimento das técnicas de sensoriamento remoto tem permitido a aquisição de diversas informações sobre a superfície terrestre, contribuindo principalmente nas investigações dos parâmetros biofísicos da vegetação, como Índice de Área Foliar-IAF, porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila, atividade fotossintética, dando suporte às análises temporais, edáficas e fenológicas da vegetação (Vinagó et al, 2011). Aplicação da técnica de índices de vegetação-IV tem facilitado tais estudos, tendo por objetivo o realce das variações da densidade da vegetação, facilitando a identificação e mapeamento de áreas vegetadas e áreas não vegetadas (Meneses 2011).

Alguns índices têm sido desenvolvidos para caracterização dos dosséis da vegetação, a partir da variação de sua densidade e conseqüentemente dos valores biofísicos da vegetação, como os valores de reflectância (Epiphânio et al. 1996). O IV mais utilizado é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada-NDVI (TUCKER, 1979). Entretanto, os resultados obtidos a partir do NDVI, sofrem variações em virtude no *background* do solo (QI et. al 2000). Desta forma, em 1988, Huete desenvolveu o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo-SAVI, que é uma melhoria do NDVI a partir da aplicação da constante L, minimizando os efeitos da cor do solo nos seus resultados. A constante L varia entre 0 a 1, de acordo com a densidade da vegetação, sendo o valor 1 adotado para áreas com pouca cobertura vegetal, já áreas com cobertura intermediária é representa por $L=0,5$, áreas muito densas, geralmente

adota-se a constante $L= 0.25$, quando o L é igual a 0, o SAVI é idêntico ao NDVI (Huete 1988; Qi et al. 1994; Meneses, 2011).

Para o bioma Caatinga relativamente poucos estudos envolvendo índices de vegetação são realizados. Esse bioma é constituído de única extensão vegetal exclusivamente brasileira, situada na região Nordeste do país, composta de arvoretas e arbustos, frequentemente armados de espinhos, além de cactáceas, bromeliáceas e ervas estas quase todas anuais (Leal et al. 2003). Proporcionalmente, a Caatinga é o bioma brasileiro menos protegido, com apenas 2% de suas áreas são constituídas por Unidades de Conservação. Por sua vez, o estado da Bahia possui uma área total de Caatinga de 300.976.81 Km², representado 54% do território. Porém, em virtude das ações antrópicas, esta área gradativamente vem sendo suprimida, sendo que, entre os anos de 2002 a 2009, teve 154.785.85 K² de área desmatada (MMA, 2003).

Já o Território do Sisal, inserido na região semiárida do estado da Bahia, tem como vegetação predominante a Caatinga, porém, o cultivo da *Agave sisalana perrene*, responsável pela produção da fibra natural mais dura no mundo, utilizado entre outros na indústria automobilística, contribuiu em larga escala para o desmatamento do bioma, ocorrendo a substituição das áreas de Caatinga por campos de Agave. Atualmente, no Território do Sisal restam apenas 20% do total de áreas de Caatinga (Evangelista 2010). Entretanto, devido ao declínio do cultivo da *A.sisalana*, em função de fatores, tais como, concorrência com as fibras sintéticas e os preços baixos praticados no mercado, sua produção tem entrado em declínio, ocasionando uma redução das áreas de plantio, havendo dessa forma uma reocupação das áreas de Caatinga. Neste sentido, este artigo tem como objetivo identificar e mapear através do uso de imagem de satélite Landsat 8, sensor OLI, do ano de 2014, as áreas de Caatinga e as áreas de cultivos da *Agave sisalana* no município de Valente-BA, inserido na região semiárida do Brasil, a partir da aplicação do índice de ajustado ao solo-SAVI. Para tanto, partiu-se de duas perguntas principais: Existe diferença nas reflectâncias entre as plantações de Agave e as áreas cobertas por Caatinga? Qual fator de ajuste utilizado no índice de vegetação SAVI é mais adequado para a identificação das classes de Caatinga e *A. sisalana*?

2. Metodologia de Trabalho

Para a realização desta pesquisa foi utilizada uma imagem Landsat 8 sensor OLI, órbita 216/ponto 68, referente a data de 10 de Maio de 2014. A imagem foi adquirida junto ao *site* do Serviço Geológico do Governo dos Estados Unidos (USGS 2014). É importante frisar que a imagem apresenta boa qualidade, sem a interferência de nuvens. Para o georreferenciamento das áreas de Caatinga e dos cultivos de *A.sisalana*, foi utilizado GPS GARMIM. Como aplicativos de processamento de imagens foram utilizados o Envi (versão 4.8) e Esri. Arcmap (versão 10.1). As análises estatísticas foram realizadas no programa estatístico R.

O trabalho foi realizado no município de Valente- BA que se localiza nas coordenadas 11° 24'43"S e 39°27'43"W, e no município de São Domingos-BA que se localiza nas coordenadas 11°30'10"S e 39°32'32"W. O trabalho de campo foi realizado em 29/05/2014. Neste, foram identificadas áreas com cobertura vegetal composta por Caatinga arbórea e arbustiva e áreas com a presença de plantações de *A. sisalana*. Os pontos foram georreferenciados com o auxílio do GNSS. Ao total foram identificados 30 pontos, sendo 15 pontos representando áreas de Caatinga e 15 representando áreas de cultivo de *A. sisalana*. A segunda etapa da pesquisa consistiu no pré-processamento e processamento digital da imagem. Inicialmente, a imagem foi georreferenciada na projeção WGS 89, adotando-se o sistema de coordenada UTM. Em seguida, para tornar mais eficiente o processamento, a imagem foi recortada, delimitando-se apenas a área de estudo, compreendida entre as coordenadas 11°17'15.08" S e 39°39'13.19" O à 11°30'43.22"S e 39°15'3.04"O. Finalizando o pré-processamento, foi feita a correção atmosférica pelo limite inferior do histograma,

empregando-se o método “*Dark Substraction*” (Meneses 2012). Dando continuidade, foi realizada a transformação dos números digitais da imagem para valores físicos, realizando a conversão direta para reflectância a partir da aplicação da equação 01 (Neto 2008):

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \cdot \left[\left(\frac{L_{m\acute{a}x} - L_{m\acute{i}n}}{DN_{m\acute{a}x}} \right) \cdot x(DN) + L_{m\acute{i}n} \right]}{E_{\lambda} \cdot \cos(z) \cdot d_r} \quad \text{Equação 01}$$

Onde, ρ_{λ} é a reflectância monocromática a ser obtida, d_r é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol em unidades astronômicas, z é ângulo solar zenital (graus) no momento da aquisição E_{λ} é irradiância solar média no topo da atmosfera, L é radiância espectral monocromática onde se obtém os valores mínimo e máximo para cada banda. Por fim, temos DN *max* que é o número digital máximo para cada banda (255) e DN que são os valores máximos e mínimos alcançados em cada banda. Feita a conversão dos valores digitais para os valores físicos de reflectância, pôde obter o índice de vegetação SAVI. Para sua obtenção, foi aplicada a equação 02.

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_{nir} - \rho_{red})}{\rho_{nir} + \rho_{red} + L} \quad \text{Equação.02}$$

Onde o ρ_{nir} é o fluxo radiante no infravermelho próximo, e o ρ_{red} é o fluxo radiante na região vermelho do visível, sendo representado pelas bandas 5 e 4 no Landsat ETM 8 respectivamente. L é o fator de ajuste de correção do efeito de brilho do solo, onde este varia de acordo com a densidade da cobertura vegetal, durante aplicação da fórmula, foi testado valores de ajuste entre 1 à 0.5, observando quais apresentam melhores resultados para a classificação da imagem. Após obtenção do SAVI para os dos fatores de ajuste $L=1$ e $L=0.5$ foram coletados os valores de reflectância para as áreas de Caatinga e Agave correspondentes aos índices de vegetação.

Após a coleta dos valores de reflectância (Tabelas 1 e 2), foi realizado o teste para normalidade e homogeneidade das amostras e análise de variância (ANOVA) das amostras, verificando-se a diferença significativa entre as amostras Caatinga e de Agave, entre os índices testados $L=1$ e $L=0.5$, entre os índices e as classes analisadas.

Tabela 1: Valores de reflectância para as classes de Caatinga e Agave e SAVI $L=0.5$

Nº Amostras	Classe identificada	Refletância para SAVI L 0.5	Nº Amostras	Classe identificada	Refletância para SAVI L 0.5
01	Agave	0.133538	01	Caatinga	0.260348
02	Agave	0.186117	02	Caatinga	0.235364
03	Agave	0.164621	03	Caatinga	0.235385
04	Agave	0.15263	04	Caatinga	0.209548
05	Agave	0.211633	05	Caatinga	0.26344
06	Agave	0.211633	06	Caatinga	0.280694
07	Agave	0.18459	07	Caatinga	0.207982
08	Agave	0.155034	08	Caatinga	0.184773
09	Agave	0.136906	09	Caatinga	0.21353
10	Agave	0.125756	10	Caatinga	0.202497
11	Agave	0.125756	11	Caatinga	0.235893
12	Agave	0.119815	12	Caatinga	0.260796
13	Agave	0.175326	13	Caatinga	0.216363
14	Agave	0.199188	14	Caatinga	0.265802
15	Agave	0.174783	15	Caatinga	0.305993

Tabela 2: Valores de reflectância para as classes de Caatinga e Agave e SAVI L=0.1

Nº Amostras	Classe identificada	Refletância para SAVI L 1	Nº Amostras	Classe identificada	Refletância para SAVI L 1
01	Agave	0.177417	01	Caatinga	0.345892
02	Agave	0.247301	02	Caatinga	0.312699
03	Agave	0.218756	03	Caatinga	0.312665
04	Agave	0.202806	04	Caatinga	0.278424
05	Agave	0.281190	05	Caatinga	0.349987
06	Agave	0.281195	06	Caatinga	0.372896
07	Agave	0.245218	07	Caatinga	0.276297
08	Agave	0.205945	08	Caatinga	0.245427
09	Agave	0.181868	09	Caatinga	0.283648
10	Agave	0.167049	10	Caatinga	0.269025
11	Agave	0.243824	11	Caatinga	0.313327
12	Agave	0.159201	12	Caatinga	0.346485
13	Agave	0.232961	13	Caatinga	0.287461
14	Agave	0.264582	14	Caatinga	0.353120
15	Agave	0.232253	15	Caatinga	0.230335

As duas imagens geradas referentes aos índices de vegetação testados, SAVI L =1 e SAVI L = 0.5, foram classificadas a partir do método “*Decision tree*”. As classes de Caatinga e *A. sisalana* foram delimitadas a partir dos valores de reflectância dos índices de vegetação gerados. Devido à existência de sobreposição para alguns valores de reflectância entre as classes de Caatinga e *A. sisalana* estabeleceu-se para a Caatinga, os valores contidos do 1º quantil ao valor máximo encontrado para a classe. Já as áreas de *A. sisalana* foram classificadas utilizando-se os valores imediatamente abaixo ao 1º quantil encontrado para a Caatinga até os valores máximos encontrados para o *A. sisalana*. Além das duas classes citadas, a partir da classificação visual, foram classificadas mais três classes utilizando-se os valores de reflectância observados durante a classificação da imagem, sendo identificadas outras três classes: água, pasto e solo exposto.

3. Resultados e Discussão

Os valores de reflectância encontrados para os dois índices de vegetação, SAVI L=0.5 e L=1 apresentaram valores distintos, onde os valores de SAVI L=1 foram mais elevados em relação ao SAVI L=0.5. Os valores de reflectância encontrados para a classe *A. sisalana* na imagem SAVI L=0.5 (Figura 1) variou do valor mínimo de 0.1198 ao valor máximo de 0.2116. Já a classe Caatinga para a mesma imagem variou entre valores mínimos e máximos de 0.1848 à 0.3060. Já a análise feita para a imagem SAVI L=1 (Figura 2) foram encontrados valores mínimos e máximos que variaram de 0.1592 à 0.2812 para a classe *A. sisalana*, já a classe Caatinga variou entre 0.2303 à 0.3729. O índice de vegetação SAVI L= 0.5 teve uma sobreposição entre as classes Caatinga e *A. sisalana*, onde o valor mínimo até valores próximos ao início do 2º quantil para a classe Caatinga coincidem com próximos do 3º quantil até os valores máximos para o Agave (Tabela 3; Figura 1). Já o índice de vegetação SAVI L=1 teve uma sobreposição na qual o valor mínimo até valores próximos à media para a classe de Caatinga, coincidiram como os valores de Agave que variaram do seu valor máximo à valores próximos ao limie do 3º quantil (Tabela 4; Figura 2).

Tabela 3: Estatísticas dos valores de reflectância para as classes Caatinga e Agave (SAVI L=0.5)

Classes	Agave	Caatinga
Mínimo	0.1198	0.1848
1° Quantil	0.1352	0.2115
Mediana	0.1646	0.2354
Média	0.1638	0.2386
3° Quantil	0.1854	0.2621
Máximo	0.2116	0.3060

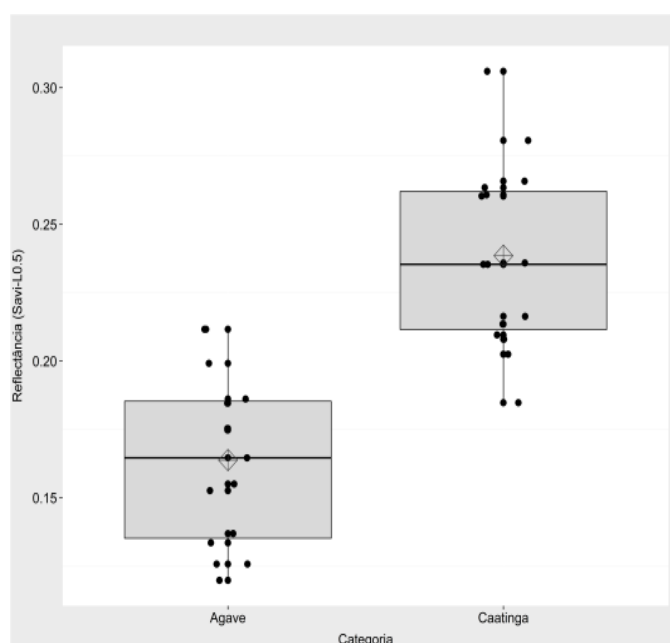


Figura 1: Box plot para análise de distribuição dos valores de reflectância para as classes de Caatinga e Agave (SAVI L=0.5)

Tabela 4: Estatísticas dos valores de reflectância para as classes Caatinga e Agave (SAVI L=1)

Classes	Agave	Caatinga
Mínimo	0.1592	0.2303
1° Quantil	0.1923	0.2774
Mediana	0.2323	0.3127
Média	0.2228	0.3052
3° Quantil	0.2463	0.3462
Máximo	0.2812	0.3729

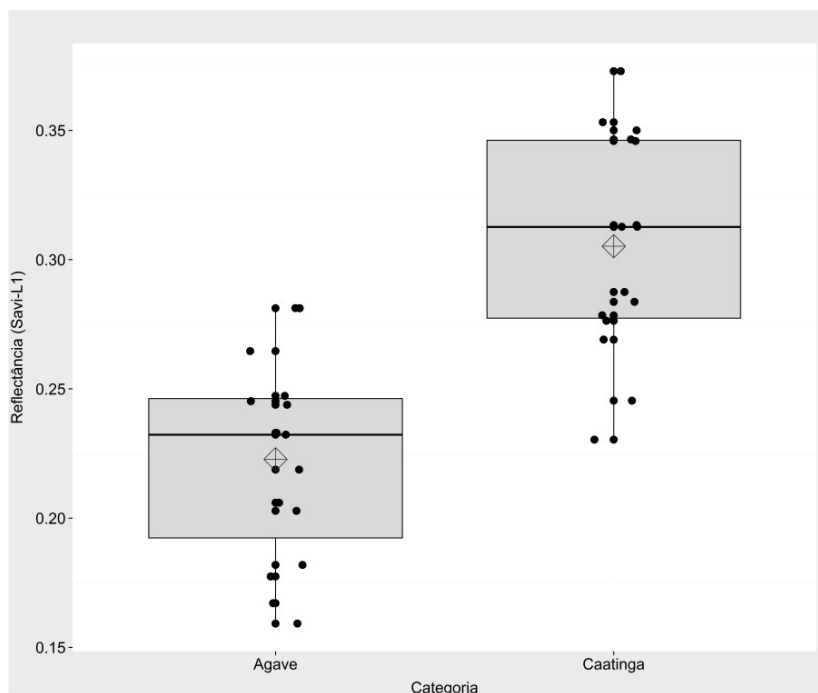


Figura 2: Box plot para análise de distribuição dos valores de reflectância para as classes de Caatinga e Agave (SAVI L=1)

A análise de variância dos grupos comprovou que existe diferença significativa entre as amostras, tanto para as classes e Caatinga e Agave, quanto entre os índices de vegetação testados, SAVI 0.5 e SAVI 1 (Tabela 5). Desta forma, pode-se identificar a cobertura vegetal e os cultivos de Agave a partir da reflectâncias dos índices de vegetação gerados na imagem de satélite Landsat 8.

Tabela 5: Análise de Variância das amostras

Classes	Significância (p)
Caatinga X Agave (SAVI L=0.5)	0.000001
Caatinga X Agave (SAVI L=1)	0.00001
SAVI 0.5 X SAVI 1 (Agave)	0.0001
SAVI 0.5 X SAVI 1 (Caatinga)	0.0001

A imagem classificada utilizando o fator de ajuste L=0.5 obteve uma acurácia de 98.37% dos pixels coletados, atingindo-se o coeficiente Kappa igual a 97.7 (Figura 3). A classe de Caatinga obteve 97.41% de áreas classificada, omitindo-se 2.59%, porcentagem classificada como áreas de cultivo de Agave. A classe identificada como Agave, conseguiu 97.13% de áreas classificada, sendo a porcentagem restante, 2.87%, classificada como pasto, 2.57% e Caatinga, 0.30%. A classificação realizada utilizando-se o fator de ajuste L=1 uma acurácia de 95.48% para os pixels classificados, conseguindo um coeficiente Kappa de 92.7%. A classe identificada como área de Caatinga obteve uma porcentagem de classificação de 98.92% dos pixels classificados, tendo 1.08% dos pixels classificados como áreas de cultivo

de Agave. Já a classe de Agave obteve 79.35% de pixels classificados pertencentes à classe, 14.67% dos pixels foi confundido com a classe pasto, o restante, 5.98% foram confundidos com áreas de Caatinga.

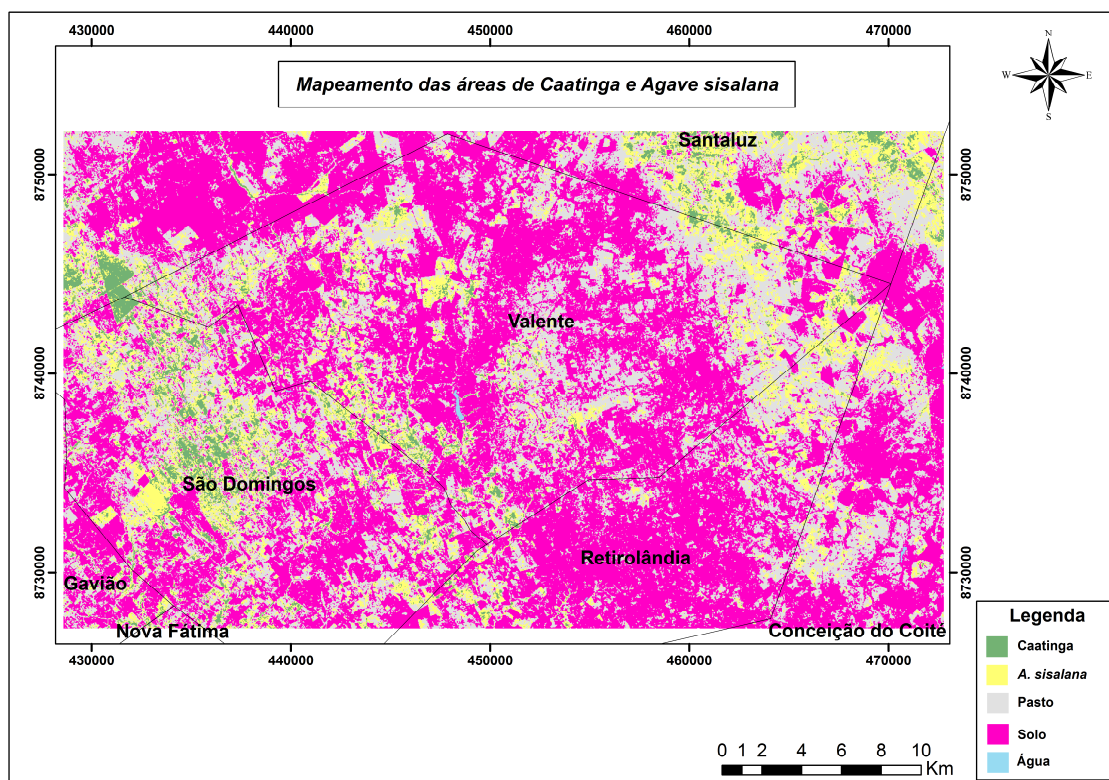


Figura 3: Mapeamento das áreas de Caatinga e Agave na região semiárida da Bahia

4. Conclusões

A partir das análises realizadas pode-se concluir que existe diferença significativa entre as reflectâncias das áreas de Caatinga e Agave para os índices de vegetação ajustado ao solo - SAVI, tanto utilizando o fator de ajuste $L=0.5$ como $L=1$, podendo-se classificar identificar e classificar através do SAVI, tanto áreas de Caatinga, como área com cultivo de Agave. Contudo, mesmo o índice de vegetação $L=1$ tendo uma sutil superioridade na identificação das áreas de Caatinga, o SAVI $L=0.5$ mostrou-se ser mais eficiente na classificação tanto das áreas de Caatinga e Agave, apresentando menor confusão entre as classes identificadas. No entanto, apesar das diferenças significativas encontradas nas áreas de Caatinga e Agave, ficou evidente a sobreposição de alguns valores de reflectância para as classes, o que pode gerar confusão durante a sua classificação, sendo necessários novos estudos para minimizar este problema.

Referências Bibliográficas

- Epiphânio, J. C. N.; Gleriani, J.M; Formagio, A. R; Rudorff, B.F.T.) Índices de Vegetação no Sensoriamento Remoto da Cultura do Feijão. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília. 1996. V31. n. 6 P. 445-454. Jun.
- Evangelista, A. R.S. **O processo de ocupação do bioma Caatinga e suas repercussões socioambientais na Sisalândia.** 2010. 201 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal da Bahia-UFBA Salvador – Bahia. 2010.
- Huete A. R. A. Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). **Remote Sensing of Environment** 1988. 25:295-309

- Leal, I. R.; Tabarelli, M. & Cardoso da Silva, J. M. In: Ecologia e Conservação da Caatinga. Castelletti, H. M. Recife: Ed. Universitária da UFPE. 2003.
- Meneses, P. R.; Almeida, T. D. **Introdução ao Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. BRASÍLIA. 2010..
- MMA, Ministério do Meio Ambiente – IBAMA. Monitoramento dos Biomas Brasileiros – Bioma Caatinga, Brasília-DF. 2010.
- Neto, R. T. de B.; Barros-Filho.: Lopes, M. B. B.; H. L.; Pacheco, A. P. Determinação de valores físicos de imagens Tm/Landsat- 5 utilizando a linguagem legal para obter índices de vegetação. In: II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, , 8-11 de setembro de 2008. 2005, Recife – PE. **Anais**. Disponível em: < https://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOII_CD/Organizado/sens_foto/091.pdf >. Acesso em: 10 out. 2014.
- Qi J. Chehbouni A., Huete A.R., Kerr Y.H., Modified Soil Adjusted Vegetation Index (MSAVI). 1994. **Remote Sens Environment**. 48:119-126.
- Qi. J; Kerr, H.Y; Moran, M.S; Huete, A.R; Sorooshian; Bryant, R. Leaf Area Index Estimates Using Remotely Sensed Data and BRDF Models in a Semiarid Region. 2000. **Remote Sensing of Environment** 73:18-30
- USGS. Serviço Geológico do Governo dos Estados Unidos. Acessado no dia 3 de junho de 2014 em: <http://earthexplorer.usgs.gov/>
- Tucker. C.J.Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. 1979. **Remote Sensing of Environment** 8:127-150.
- 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. [versão eletrônica] **Anais... XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, INPE 2011. p.1828.