



## **MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**

FUNDAÇÃO JOAQUIM NABUCO

Diretoria de Pesquisas Sociais

Rua Dois Irmãos, 92 | Apipucos | 52071-440 | Recife - PE

Fone: (81) 3073.6641 | Fax: (81) 3073.6614 | CNPJ: 09.773.169/0001-59

[www.fundaj.gov.br](http://www.fundaj.gov.br)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

Centro de Humanidades

Rua Aprígio Veloso, 882 | Bairro Universitário | 58429-900 | Campina Grande - PB

Fone: (83) 2101-1469 | Fax: (83) 2101-1722

[www.ufcg.edu.br](http://www.ufcg.edu.br)

## Relatório Parcial da Pesquisa

# **MAPEAMENTO E ANÁLISE ESPECTRO-TEMPORAL DAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DE PROTEÇÃO INTEGRAL DA ADMINISTRAÇÃO FEDERAL NO BIOMA CAATINGA**

# **SENSORIAMENTO REMOTO E MEIO AMBIENTE**

EQUIPE:

**COORDENADOR:**

**DR. NEISON CABRAL FERREIRA FREIRE (FUNDAJ)**

PESQUISADORES:

DRA. DÉBORA COELHO MOURA (UFMG)

DRA. JANAÍNA BARBOSA DA SILVA (UFMG)

DRA. ALEXANDRINA SALDANHA SOBREIRA DE MOURA (FUNDAJ)

COLABORADORES:

DR. JOSÉ IRANILDO MIRANDA DE MELO (UEPB)

RICARDO NÓBREGA (FUNDAJ)

M. SC. JUVENITA LUCENA (FUNDAJ)

GEO. ANA PAULA ARAÚJO (UFMG)

BOLSISTAS E ESTAGIÁRIOS:

AMAURI LOPES (UFPE/DECART)

ATHOS MENEZES (UFPE/DCG)

FRANCILAINE LIMA (UFMG/DCG)

ÍTALO FRANCIS (UFPE/DCG)

RAFAEL DANTAS (UFMG/DCG)

Recife

Março de 2015

# SENSORIAMENTO REMOTO E MEIO AMBIENTE

---

## *A contribuição do Sensoriamento Remoto para o estudo do bioma Caatinga*

Admilson da Penha Pacheco<sup>1</sup>

Neison Cabral Ferreira Freire<sup>2</sup>

Janaína Barbosa da Silva<sup>3</sup>

### 3.1 Introdução

Neste capítulo, pretende-se fazer uma breve revisão de literatura sobre Sensoriamento Remoto, com enfoque sobre os estudos no bioma da Caatinga, objetivando-se uma melhor compreensão das técnicas e tecnologias geoespaciais utilizadas na pesquisa.

Inicialmente, pode-se afirmar que o Sensoriamento Remoto (SR) trata da aquisição de dados de um objeto ou cena por um sensor que está distante dos alvos (COLWELL, 1983). Fotografias aéreas, imagens de satélites e radares são exemplos de produtos gerados a partir de dispositivos remotamente sensoriados (FREIRE & PACHECO, 2004), onde a energia registrada por esses instrumentos apresenta interações fundamentais entre os alvos e os sensores (propriedades bio-físico-químicas dos alvos, atmosfera, etc.) que devem ser modeladas para a correta extração de informações obtidas por meio de dados de Sensoriamento Remoto (JENSEN, 2009).

---

<sup>1</sup> Docente Doutor, Professor Titular, Centro de Tecnologias e Geociências, Departamento de Engenharia Cartográfica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, Brasil.

<sup>2</sup> Pesquisador Doutor, Pesquisador Adjunto III, Diretoria de Pesquisas Sociais, Fundação Joaquim Nabuco (Fundaj), Recife-PE, Brasil.

<sup>3</sup> Docente Doutora, Professora Adjunto III, Unidade Acadêmica de Geografia, Centro de Humanidades, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, Brasil.

Com o constante aprimoramento dos instrumentos de aquisição e processamento de dados espaciais, tem-se um consenso formado entre os meios acadêmicos e políticos de que é necessária a utilização de novas tecnologias que tenham como foco principal a representação e quantificação das áreas da superfície terrestre para auxiliar os diagnósticos finais, principalmente os de meio ambiente, uma vez que essas tecnologias estão se tornando cada vez mais modernas e dinâmicas.

Essas novas perspectivas científicas para a análise ambiental têm como centro o paradigma de multidisciplinaridade, que contempla as inter-relações e as interações entre as áreas de conhecimento das geociências e engenharias. Sendo assim, o foco principal para as diversas áreas do conhecimento é compreender melhor a distribuição espacial dos dados advindos de fenômenos ocorridos no espaço (CÂMARA et al., 2001).

Assim, dados de Sensoriamento Remoto obtidos por satélites têm o potencial de fornecer informações detalhadas sobre as propriedades da superfície da terra e os parâmetros a nível local ou em escala regional, imageando porções do espectro eletromagnéticos além da região do visível. Tal característica permite aprofundar a extração de informações sobre os alvos na superfície terrestre, especialmente aqueles de maior sensibilidade à região do infravermelho, como é o caso de estudos que envolvam a cobertura de vegetação.

Apesar das diversas possibilidades de aplicação do SR, compreende-se que a mais amplamente utilizada nos estudos da Terra é aquele referente ao monitoramento e análises da cobertura vegetal (MARCUSSEI et al., 2010).

O interesse por mensurar informações referentes a vegetação, a partir de dados qualitativos e ou quantitativos, e dados espectrais resultaram na criação de Índices de Vegetação (BANNARI et al., 1995; FERREIRA et al., 2008), esses aplicados aos mais diversos biomas terrestres, entre eles a Caatinga.

A Caatinga é o tipo de vegetação que recobre a maior porção da área com clima semiárido da região Nordeste do Brasil e o norte do estado de Minas Gerais, sendo esse um

bioma exclusivamente brasileiro, com área aproximada de 850 mil km<sup>2</sup> (GIULIETTI et al. 2002; SANTANA, 2004).

Como na maioria dos biomas terrestre, a remoção parcial ou total da cobertura vegetal resulta na redução do estoque da produção de biomassa vegetal e na diminuição da cobertura dos solos. Quando ocorre na Caatinga, esses fatores, juntamente com as características predominantes de solos rasos e pobres em nutrientes orgânicos, podem levar ao aumento na degradação desse bioma (COSTA et al., 2009).

Comumente, a Caatinga está associada ao fornecimento de recursos madeireiros e medicinais. Pelas formas de obtenção de alguns desses produtos da natureza, não se tem enxergado alternativa que não seja a proteção total das áreas remanescentes, principalmente quando se considera o uso intenso de algumas espécies que apresentam uma esparsa distribuição e/ou pequenas populações (ALBUQUERQUE, 2002). A demanda de uso energético da vegetação da Caatinga tem gerado modificações nas paisagens e perda de diversidade biológica por insuficiência de informações sobre o manejo das espécies (FIGUEIROA et al., 2008).

Mesmo sendo a única grande região natural tipicamente brasileira cujos limites estão inteiramente restritos ao território nacional, pouca atenção tem sido dada à conservação da heterogênea paisagem da Caatinga (SILVA et al., 2004). Os estudos na região Nordeste do País são imprescindíveis e, principalmente, nesse ecossistema, uma vez que esse bioma é um dos mais ameaçados devido ao uso inadequado e insustentável dos recursos naturais. O Bioma Caatinga é um dos mais alterados pelas atividades antrópicas nos últimos séculos (ALMEIDA et al., 2009).

Imagens de satélite de observação da Terra, em conjunto com bases de dados locais, mapas temáticos e pesquisas de campo, têm sido utilizadas para examinar a natureza, tendência e quantificação do processo de monitoramento ambiental das Unidades de Conservação, apresentando como resposta a delimitação e o mapeamento da Caatinga, realizados para estabelecer uma base confiável para o seu monitoramento no espaço tempo.

Estudos mais recentes (LOPES et al., 2010; BEZERRA et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2012; ALVES et al. 2014; ALVES E AZEVEDO 2015) estimaram, de forma simples e eficaz, alguns parâmetros biofísicos da superfície, dentre os quais são o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) e o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS), como as técnicas de Sensoriamento Remoto mais utilizadas a partir de imagens do Satélite Landsat-5.

Diante do contexto apresentado, o presente capítulo tem como objetivo contextualizar a contribuição do Sensoriamento Remoto para o estudo do Bioma Caatinga e, conseqüentemente, das Unidades de Conservação de Proteção Integral contidas nesta área do território Nacional.

Para tanto, considera-se que nos últimos anos o Sensoriamento Remoto tem assumido grande importância no monitoramento de diversos fenômenos (meteorológicos, ambientais, urbanos, etc.), oferecendo suporte nas previsões (tempo e melhor entendimento das mudanças climáticas), além de auxiliar no planejamento (agrícola, urbano e econômico-ecológico). Como consequência, tem-se tornado uma ferramenta poderosa para a obtenção de informações necessárias ao manejo, gerenciamento e gestão de recursos naturais (BEZERRA et al., 2011; GÓMEZ et al., 2011; CUNHA et al., 2012).

### **3.2 Sensoriamento Remoto e Caatinga**

Para o estudo e mapeamento de áreas protegidas da Caatinga foi realizada uma pesquisa envolvendo os novos satélites de Sensoriamento Remoto e uma revisão bibliográfica com o objetivo de caracterizar uma contribuição do Sensoriamento Remoto para este Bioma, considerando a evolução das resoluções espacial, temporal, espectral e radiométricas.

Nesta pesquisa, optou-se pela utilização das imagens fornecidas pelos satélites Landsat 5 sensor TM e 8 sensor OLI pela facilidade de obtenção por meio de download gratuitos no site da *United States Geological Survey* (USGS), mas também devido à cobertura espacial, precisão geométrica e datas de aquisição atualizadas (na pesquisa, as imagens mais

recentes utilizadas foram as disponibilizadas pelo Landsat 8 OLI de 2014 e 2015, enquanto as mais antigas foram do satélite Landsat 5 TM e que datam de 2000 a 2004).

Em relação às técnicas de Sensoriamento Remoto foi dada ênfase aos estudos relacionados ao Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) e ao Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS), em decorrência do uso contínuo desses por pesquisadores em ambientes análogos ao dessa pesquisa.

Assim, o Processamento Digital de Imagens (PDI) caracterizou-se como imprescindível para a realização dessa pesquisa, uma vez que há a necessidade de calibrações diversas, como, por exemplo, a conversão do Número Digital em radiância monocromática, mais conhecida como calibração radiométrica, além do cômputo da reflectância (que consiste na subtração da radiação total que chega a superfície da Terra em detrimento daquela que foi transmitida e absorvida) e, também, os modelos oriundos dos Índices de Vegetação.

Consultas foram realizadas em periódicos nacionais e internacionais, teses, dissertações, livros e em alguns artigos publicados em revistas e eventos técnico-científicos. Os critérios para inclusão foram trabalhos que abordassem as dimensões de relevância técnico-científica significativa com a temática em estudo. A pesquisa de campo foi imprescindível para calibrar os resultados de laboratório e melhorar sua acurácia.

Vários estudos têm demonstrado que a detecção de áreas degradadas em ambientes naturais ou protegidos do semiárido está essencialmente relacionada às atividades antrópicas. Estas se desenvolvem, na maior parte das vezes, por meio de manejos não sustentáveis, ocasionando diversas modificações nos alvos naturais sobre a superfície terrestre.

Nesse sentido, Freire & Pacheco ressaltam que:

Ao fazer uma abordagem multiescala para o monitoramento do processo de desertificação no semiárido brasileiro, diz que a escolha metodológica de investigação do problema, associada à escolha dos indicadores, varia em função das escalas temporais e espaciais. (FREIRE & PACHECO, 2006, p.13)

Ainda sobre áreas de degradação ambiental, Freire & Pacheco também destacaram que:

As informações obtidas por sistemas sensores nos diferentes níveis de observação são complementares e integradas, parte de uma mesma realidade. Modificações no albedo, índices de vegetação e de brilho, mudanças na forma de uso e manejo da terra, observação das condições biológicas, físicas e químicas da água, além de variações nas paisagens naturais e radiação solar, dentre outros, são exemplos de aplicações em PDI voltadas ao estudo de áreas degradadas em estado de desertificação. (FREIRE & PACHECO, 2009, p.14)

Utilizando técnicas de PDI, é possível monitorar as ações antrópicas nas paisagens, identificando distintos graus de degradação do meio ambiente e permitindo, assim, uma quantificação de áreas atingidas pelo problema – condição essencial para a avaliação do estado de conservação das 14 Unidades de Conservação objeto desta pesquisa.

Atualmente, as técnicas mais apuradas referem-se aos Índices de Vegetação, tais como o IVDN e o IVAS – ambos utilizados nesta pesquisa, como se observará nos capítulos seguintes concernentes às Unidades de Conservação mapeadas e analisadas. Tais índices permitem avaliar o grau de modificação provocada pela ação humana na paisagem de domínio da Caatinga, pois “facilita a obtenção e modelagem de parâmetros biofísicos das plantas, como... a porcentagem de cobertura do solo...” (JENSEN, 2009; BORATTO & GOMIDE, 2013).

### **3.3 Sistemas sensores orbitais Landsat**

Atualmente, são muitos os sistemas sensores remotos orbitais em operação voltados para o estudo dos recursos naturais da superfície terrestre. Dentro do contexto atual de evolução as resoluções espacial, temporal, espectral e radiométricas são aquelas que precisam ser conhecidas e devem se alinhar aos objetivos de uma pesquisa. Como será abordado mais adiante neste capítulo, justifica-se o uso dos Landsat 5 sensor TM e 8 sensor OLI face às suas características técnicas (resoluções) compatíveis com os objetivos da pesquisa.

A resolução espacial refere-se à habilidade do sistema sensor em distinguir e medir os alvos (FLORENZANO, 2002), normalmente expressa em metros. Segundo Bamler e

Eineder (2008), a resolução espacial é um dos componentes principais na definição de um projeto envolvendo Sensoriamento Remoto.

Assim, a escala de análise em conjunto com a resolução espacial irá definir a viabilidade da pesquisa. Dessa forma, os satélites Landsat 5 e 8 têm resolução espacial nas bandas multiespectrais de 30x30 m (o que representa uma área contínua de 900m<sup>2</sup> na superfície terrestre, chamada de “pixel”, ou célula de uma matriz ou grade espacial). Considerando a menor área da Unidade de Conservação que é o Parque Nacional Serra de Ubajara com 573 hectares, o uso desses sistemas é compatível com a escala de mapeamento adotada (1:10.000).

Considerando a resolução temporal, o extenso banco de dados da série Landsat é outro fator importante, visto que o período de criação em 2000 do Sistema Nacional de Unidades de Conservação-SNUC do Ministério do Meio Ambiente é posterior à operacionalização do Landsat 5 (que de acordo com a USGS [2016]) iniciou sua operação em março de 1984, finalizado em novembro de 2011 para o sensor TM). Quando do Landsat 8, esse foi lançado em fevereiro de 2013, imageando até os dias atuais (USGS, 2016<sup>2</sup>), com disponibilidade de imagens mais recentes, justamente quando dos momentos finais dessa pesquisa.

Em se tratando das resoluções espectrais, ambos os sensores TM e OLI apresentam as mesmas faixas espectrais utilizadas na pesquisa, sendo elas o Vermelho (0,64 a 0,67 $\mu$ m) e infravermelho próximo (0,85 a 0,88 $\mu$ m) (USGS, 2016), compatíveis para as mesmas análises.

Quando da resolução radiométrica, houve uma melhora significativa entre as imagens do sensor TM para o OLI. De acordo com Jensen (2009), essa resolução expressa a sensibilidade de detectores a pequena diferença de energia eletromagnética, variando entre si e o alvo, medida em quantidade de bits (profundidade em tons de cinza com 4, 8 ou 16) ou variação de energia que cada sensor é capaz de registrar para cada pixel.

Apesar do aumento dessa resolução, onde o primeiro gerava imagens com oito bits, e o segundo gera com 16 bits, efetivamente acredita-se que essa melhoria é compatível, uma vez que as classes analisadas são as mesmas.



Outro fator importante para além das resoluções, mas que favorece o uso das imagens da série Landsat é a gratuidade dessas, seja no sítio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), seja no sítio da USGS.

### **3.4 Índices de vegetação**

Com o advento e a disponibilidade de imagens obtidas por vários sensores orbitais desde a década de 70 do século XX, vários modelos matemáticos foram propostos no sentido de determinar a distribuição, variabilidade, sazonalidade e características da vegetação das distintas áreas imageadas por cada sensor, e comumente, tais modelos são denominados de Índices de Vegetação. Estes avanços nas pesquisas permitiram estudos cada vez mais precisos e acurados no mapeamento da vegetação ao redor das áreas emersas do planeta, trazendo aportes científicos significativos tanto para as áreas agrícolas, como para as áreas de preservação ambiental.

Segundo Silva (2012), os Índices de Vegetação (IV) são utilizados para o estudo da vegetação através do Sensoriamento Remoto, estes são resultados de operações algébricas entre os valores de pixels de uma imagem para as faixas espectrais.

O objetivo do IV é extrair e ampliar as informações do pixel acerca da vegetação e ao mesmo tempo minimizar os efeitos do ambiente através da combinação de duas ou mais bandas de distintas regiões do espectro (JACKSON & HUETE, 1991).

Um dos índices de vegetação mais utilizados é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN). Sua simplicidade e sua relativa alta sensibilidade à densidade da cobertura vegetal tornaram possíveis comparações espaciais e temporais da atividade fotossintética terrestre, bem como o monitoramento sazonal, interanual e variações de longo prazo dos parâmetros estruturais, fenológicos e biofísicos da vegetação em escala global (WANG et al., 2003).

O IVDN é um indicador sensível à quantidade de vegetação verde, calculado como uma razão entre a refletância medida nas regiões do vermelho (Red) e infravermelho próximo (NIR) do espectro eletromagnético, sendo essas duas bandas espectrais selecionadas em razão de serem mais afetadas pela absorção pela clorofila na folhagem da vegetação verde e conseqüentemente pela densidade dessa vegetação na superfície (FRANCISCO et al., 2012). Para vegetação seca, o IVDN é baixo, mas é alto para vegetação em pleno vigor. Isto ocorre devido à pigmentação da cor verde da vegetação sadia refletir mais no infravermelho próximo e menos a banda do visível, o que ocasiona altos valores para esse índice (PARKINSON, 1997).

Jacóbsen et al. (2004) afirmaram que além de proporcionar uma visão de como a cobertura vegetal se encontra distribuída na superfície, o IVDN permite um estudo da dinâmica da cobertura, evidenciando as variações apresentadas por ela em decorrência de situações climáticas isoladas, dos ciclos fenológicos anuais e de eventos episódicos.

Nesta pesquisa, também foi utilizado o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS), proposto por Huete (1988). Como o IVDN, este índice também considera a quantidade geral da vegetação, bem como seu vigor. Contudo, utiliza um fator de ajuste às características do solo da área imageada, evitando possíveis interferências da energia eletromagnética refletida por esse, além de considerar a estrutura dos dosséis e morfologia das plantas.

Algumas pesquisas desenvolvidas para a Caatinga com o IVAS por Silva e Galvêncio 2012, Alves et al. 2014, Alves e Azevedo 2015, apresentaram eficácias em seu uso. Justificando assim o seu uso nessa pesquisa.

### **3.5 Considerações finais**

Paralelamente a evolução dos sistemas de aquisição de dados de Sensoriamento Remoto, surgiram novas abordagens metodológicas em Processamento Digital de Imagens e melhorias em metodologias já existentes, otimizando assim a extração de informações de imagens de Unidades de Conservação.

Aspectos teóricos do estado da arte do sensoriamento remoto vinculado ao estudo da Caatinga foram apresentados neste trabalho no sentido de fornecer uma contribuição técnico-científica para a elaboração de futuros trabalhos nesta temática.

Registre-se, também, que aqui foram apresentados os aspectos e técnicas mais relevantes no que concerne aos objetivos desta pesquisa, ou seja, mapear e analisar o estado de conservação da biodiversidade do bioma Caatinga nas áreas de proteção integral, orientadas aos estudos de vegetação e combinadas com pesquisas de campo, como se observará nos capítulos seguintes.

### **REFERÊNCIAS:**

ALBUQUERQUE, U. P., ANDRADE, L. H. C. Conhecimento botânico tradicional e conservação em uma área de caatinga no estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil, *Acta Bot. Bras*, São Paulo, v. 16, n. 3, p.273-285, 2002.

ALLEN, R.G., TASUMI, M.; TREZZA, R.; BASTIAANSEN, W.G.M. SEBAL - Surface Energy Balance Algorithms for Land. Advanced Training and Users Manual, Version 1.0. University of Idaho, EUA. 97 p. 2002.

ALMEIDA, S. A. S.; FRANÇA, R. S.; CUELLAR, M. Z. Uso e ocupação do solo no Bioma Caatinga do Estado do Rio Grande do Norte. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal – RN, Brasil pp. 5555-5561, 25 a 30 de abril de 2009.

ARRAES, F. D. D.; ANDRADE, E. M. DE; SILVA, B. B. DA. Dinâmica do balanço de energia sobre o açude de Orós e suas adjacências. *Revista Caatinga (UFERSA. Impresso)*, v. 25, p.119-127, 2012.

ALVES, T. L. B.; AZEVEDO, P. V.; SANTOS, C. A. C.; SANTOS, F. A. C., 2014. Comportamento Sazonal do Albedo e dos índices de vegetação na bacia hidrográfica do Alto curso do rio Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física* 7, 1015 -1027.

ALVES, T. L. B.; AZEVEDO, P. V., 2015. Análise da variação espacial e temporal do índice de vegetação e sua relação com parâmetros climáticos na Bacia Hidrográfica do alto curso do rio Paraíba, estado da Paraíba, Brasil. *Boletim Goiano de Geografia [online]* 35, n.3. Disponível <https://www.revistas.ufg.br/bgg/article/view/38842> . Acesso: 04 de jul. 2016.

BAMLER, R.; EINEDER, M. The Pyramids of Gizeh seen by TerraSAR-X — A prime

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

BEZERRA, B. G.; SILVA, B. B.; FERREIRA, N. J. Estimativa da evapotranspiração real diária utilizando- se imagens digitais TM - Landsat 5. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Jose dos Campos, v. 23, n. 3, p.305-317, 2008.

BEZERRA, M. V. C.; SILVA, B. B. DA; BEZERRA, B. B. Avaliação dos efeitos atmosféricos no albedo e NDVI obtidos com imagens de satélite. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.709-717, 2011.

BORATTO, Isa Maria de Paula; GOMIDE, Reinaldo Lúcio. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. In: *Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE, p. 7.345 a 7.352.

CÂMARA, G.; DAVIS. C.; A. M. MONTEIRO; J. C. D'ALGE. Introdução à Ciência da Geoinformação. 2 ed. São José dos Campos-Brasil: INPE, 2001, disponível em ([disponível em www.dpi.inpe.br/gilberto/livro](http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro)).

CARVALHO, C.M. Avaliação da desertificação no sudoeste do Estado do Piauí-Pi, através de técnicas de Sensoriamento Remoto. 100f. Dissertação (Mestrado). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 2007.

CARVALHO, V. Abordagem multiescala para o monitoramento de indicadores do processo de desertificação. In: *X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Foz do Iguaçu, 2001, p. 1539-1551. *Anais*.

CHAVES, I. DE B.; LOPES, V. L.; FOLLIOTT, P. F.; PAES-SILVA, A. P. Uma classificação morfo-estrutural para descrição e avaliação da biomassa da vegetação da caatinga. *Revista Caatinga*, vol. 21, n. 2, p.204-213, 2008.

COMPAORÉ, H., HENDRICKX, J. M., HONG, S., FRIESEN, J., VAN DE GIESEN, N. C.; RODGERS, C. Evaporation mapping at two scales using optical imagery in the White Volta Basin, Upper East Ghana. *Physics and Chemistry of the Earth*, v.33, p.127-140, 2007.

COSTA, T. C. C.; OLIVEIRA, M. A. J.; ACCIOLY, L. J. O.; SILVA, F. H. B. B. Análise da degradação da caatinga no núcleo de desertificação do Seridó (RN/ PB). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 13, p. 961-974, 2009.

COSTA, T. C. E. C.; ACCIOLY, L. J. O.; OLIVEIRA, M. A. J.; BURGOS, N.; SILVA, F. H. B. Phytomass mapping of the Seridó Caatinga vegetation by the plant área and the normalized difference vegetation indeces. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 707-715, 2002.

COSTA, T.; ACCIOLY, L.; OLIVEIRA, M.; BURGOS, N.; SILVA, F. Mapeamento da Fitomassa da Caatinga do Núcleo de Desertificação do Seridó, pelo Índice de Área de Planta (IAP) e o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), obtido com dados do Sensor Landsat

7 TM. In: X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu, 2001, p. 1563-1573. Anais.

COSTA, T.; ACCIOLY, L.; OLIVEIRA, M.; BURGOS, N.; SILVA, F. Mapeamento da Fitomassada Caatinga do Núcleo de Desertificação do Seridó, pelo Índice de Área de Planta (IAP) e o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), obtido com dados do Sensor Landsat 7 TM. In: X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu, 2001, p. 1563-1573. Anais.

CUNHA, J. E. DE B. L.; RUFINO, I. A. A.; SILVA, B. B. DA; CHAVES, I. DE B. Dinâmica da cobertura vegetal para a Bacia de São João do Rio do Peixe, PB, utilizando-se sensoriamento remoto. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.16, p.539-548, 2012.

DANTAS F. R. C.; BRAGA C. C.; SOUZA E. P.; SILVA S. T. A. Determinação do albedo da superfície a partir de dados AVHRR/NOAA e TM/LANDSAT-5. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 25, n.º.1, p. 24-31, 2010.

DI PACE, F. T. Mapeamento do saldo de radiação com imagens Landsat 5 e modelo de elevação digital. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 12, n. 4, p.385- 392, 2008.

DIGITALGLOBE. WorldView-3. Disponível em: < <https://www.digitalglobe.com/about-us/content-collection/> >. Acesso em 15 de novembro de 2015.

Epiphanyo, J. C. N.; Gleriani, J. M.; Formaggio, A. R.; Rudorff, B. F. T. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996.

Example for unexpected scattering mechanisms in SAR. IEEE Geosciences and Remote Sensing Letters, v.5, p. 468–470. 2008.

FERREIRA, L. G.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M. E. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado-da-arte. Acta Scientiarum. Biological Sciences. Maringá, v. 30, n. 4, p. 379-390, 2008.

FIGUEIRÔA, J. M., ARAÚJO, E. L., PAREYN, F. G. C., CUTLER, D. F., GASSON, P., LIMA, K. C., SANTOS, V. F. 2008. Variações sazonais na sobrevivência e produção de biomassa de *Caesalpinia pyramidalis* Tul. após o corte raso e implicações para o manejo da espécie. Rev. Árvore, Viçosa, v. 32, n. 6, p.1041-1049.

FLORENZANO, T. Imagens de satélite para estudos ambientais. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97 p.

FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. B.; LIMA, E. R. V.; BANDEIRA, M. M.; SILVA, B. B. Mapeamento da Caatinga com uso de geotecnologia e análise da umidade antecedente em bacia hidrográfica. Revista Brasileira de Geografia Física, Recife, v. 5, n. 3, p. 676-693, 2012.

FREIRE, Neison; PACHECO, Admilson. Desertificação: Mapeamento e Análise. Editora da UFPE: Recife, 2009.

GIULIETTI, A.M., HARLEY, R.M., QUEIROZ, L.P., BARBOSA, M.R.V., BOCAGE NETA, A.L., FIGUEIREDO, M.A. Espécies endêmicas da Caatinga, p.103-119, 2002.

GÓMEZ, C.; WHITE, J. C.; WULDER, M. A. Characterizing the state and processes of change in a dynamic forest environment using hierarchical spatio-temporal segmentation. *Remote Sensing of Environment*, v.115, p.1665-1679, 2011.

JACÓBSEN, L. O; FONTANA, D. C; SHIMABUKURO, Y. E. Efeitos associados a El nino e La nina na vegetação do Estado do Rio Grande do Sul, observados através do IVDN/NOAA. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.19, n.2, p.129-140, 2004.

JENSEN, J. R. (1949) Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres / tradução José Carlos Neves Epiphanyo et al. São José dos Campos. SP. 2009.

JULIEN, Y.; SOBRINO, J. A. The yearly land cover dynamics (YLCD) method: An analysis of global vegetation from NDVI and LST parameters. *Remote Sensing of Environment*, v.113, p.329-334, 2009.

KAZMIERCZAK, M. Uso de dados AVHRR/NOAA GAC para análise da sazonalidade da caatinga. Fortaleza, CE: Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, 1996. 157p.

LIU, Y., HIYAMA, T., YAMAGUCHI, Y. 2006. Scaling of land surface temperature using satellite data: A case examination on ASTER and MODIS products over a heterogeneous terrain area. *Remote Sensing of Environment*, v.105, p.115-128.

LOPES, H. L. Modelagem de parâmetros biofísicos para avaliação de risco à Desertificação. Dissertação de Mestrado ((Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) Universidade Federal de Pernambuco. Pernambuco, p.101. 2005.

LOPES, H. L.; CANDEIAS, A. L. B.; ACCIOLY, L. J. O.; SOBRAL, M. DO C. M.; PACHECO, A. P. Parâmetros biofísicos na detecção de mudanças na cobertura e uso do solo em bacias hidrográficas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p.1210-1219, 2010.

LOPES, HL ; SILVA, B. B. ; PACHÊCO, A. P . Distribuição espacial do saldo de radiação e do fluxo de calor no solo no território de Itaparica, Nordeste do Brasil. *RBC. Revista Brasileira de Cartografia (Online)*, v. 66, p. 233-244, 2014.

MALDONADO, F. Rotação Espectral Controlada como alternativa em Análise por Componentes Principais para detecção de mudanças em regiões do semi-árido. In: X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu, 2001, p. 627-630. Anais. Marcussi, A. B.; Bueno, C. R. P.; Miqueloni, D. P.; Arraes, C. L., Utilização de índices de vegetação para os sistemas de informação geográfica. *Revista Caminhos da Geografia* 11, 41-53. 2010.

Marcussi, A. B.; Bueno, C. R. P.; Miqueloni, D. P.; Arraes, C. L., 2010. Utilização de índices de vegetação para os sistemas de informação geográfica. *Revista Caminhos da Geografia* 11, 41-53.

MELO, D. H. C. T. B. Uso de dados Ikonos II na análise urbana: testes operacionais na zona leste de São Paulo / D. H. C. T. B. Melo. - São José dos Campos: INPE, 2002. 146p. - (INPE-9865-TDI/870).

OLIVEIRA, L. M. M. DE; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D.; SILVA, B. B. DA; MACHADO, C. C. C.; GALVÍNIO, J. D. Análise quantitativa de parâmetros biofísicos de bacia hidrográfica obtidos por sensoriamento remoto. *Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.47, p.1209- 1217, 2012.

PACHECO, Admilson da Penha; LUCAS, Abdoral de Andrade; SILVA, Bernardo Barbosa; MARIANO, Gorki. Desertificação: Contextualização e Sensoriamento Remoto. In: *Estudos Geológicos* vol. 24(2), UFPE: 2014.

PARKINSON, C. L. "Earth from above". University Sciences Books, Sansalito. Land vegetation, p.107- 111, 1997.

PEGADO, C. M. A., ANDRADE, L. A; FÉLIX, L. P.; PEREIRA, I. M. Efeitos da invasão biológica de algaroba - *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. sobre a composição e a estrutura do estrato arbustivo-arbóreo da caatinga no Município de Monteiro, PB, Brasil, *Acta Bot. Brás, São Paulo*, vol. 20, n. 4, p.887-898, 2006.

SILVA, B. B., LOPES, G. M. , AZEVEDO, P. V. de. Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens Landsat 5-TM.. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Piracicaba, SP, v. 13, n. 2, p. 11-21, 2005.

SILVA, J. B., 2012. Sensoriamento Remoto aplicado ao estudo do ecossistema manguezal em Pernambuco. Tese (Doutorado). Recife, UFPE.

SILVA, J. M. C. T., M. E FONSECA, M. T. Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente: Universidade Federal de Pernambuco, 2004.

SILVA, L. G.; GALVÍNIO, J. D., 2012. Análise comparativa da variação dos índices NDV e SAVI no sítio PELD – 22 em Petrolina – PE, na primeira década do século XXI. *Revista Brasileira de Geografia Física* 06, 1446-1456.

TASUMI, M., ALLEN, R. G., TREZZA, R. At-Surface Reflectance and Albedo from Satellite for Operational Calculation of Land Surface Energy Balance. *Journal of Hydrologic Engineering*, v. 13, n. 2, p. 51-63, 2008.

TEIXEIRA, A. H. DE C.; BASTIAANSSEN, W. G. M. AHMAD, M. D.; BOS, M. G. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-

Middle São Francisco River basin, Brazil Part B: Application to the large scale. Agricultural and Forest Meteorology, v.149, p.477-490, 2009.

USGS, UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Disponível em: <[http://landsat.usgs.gov/band\\_designations\\_landsat\\_satellites.php](http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php)>. Acesso em: 09 mar de 2015.

VIANA, H.; LOPES, D.; ARANHA, J. Predição de biomassa arbustiva lenhosa empregando dados do inventário e o índice de diferença normalizada extraído em imagens landsat5 TM. Millenium, n. 37, nov. 2009.

WANG, Z.X.; LIU, C.; HUETE. A. Ecologica Sinica, Amsterdam, v. 23, n. 5, p. 979-988, 2003.

WENG, Q.; QUATTROCHI, D. A. Thermal remote sensing of urban areas: An introduction to the special issue. Remote Sensing of Environment, v.104, p.119-122, 2006.

WESSELS, K. J.; PRINCE, S. D.; FROST, P. E.; VAN ZYL, D. Assessing the effects of human-induced land degradation in the former homelands of northern South Africa with a 1 km AVHRR IVDN time-series. Remote Sensing of Environment. v. 91, p. 47-67, 2004.

USGS, 2016<sup>1</sup> [http://landsat.usgs.gov/about\\_landsat5.php](http://landsat.usgs.gov/about_landsat5.php)

USGS, 2016<sup>2</sup> [http://landsat.usgs.gov/about\\_ldcm.php](http://landsat.usgs.gov/about_ldcm.php)