

**ANÁLISE E MAPEAMENTO DA DEGRADAÇÃO POR SENSORIAMENTO REMOTO NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA RASO DA CATARINA-SEMIÁRIDO BRASILEIRO**Douglas Alberto de Oliveira Silva¹, Élvís da Silva Alves², Iug Lopes³, Wellington Manoel dos Santos⁴ & Edivânia Matias da Silva⁵1 - Mestre, Universidade Fed. Rural de Pernambuco, Depto. de Tecnologia Rural. Recife, Pernambuco. *E-mail:* douglasalbertosilva@hotmail.com2 - Pós-Graduação em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG. *E-mail:* elvistv@gmail.com3 - Professor, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, *Campus* Bom Jesus da Lapa. Bahia. *E-mail:* iug.lopes@ifbaiano.edu.br4 - Mestre em Agronomia, Universidade Federal de Alagoas - Centro de Ciências Agrárias. Rio Largo, AL. *E-mail:* wellington.ea@hotmail.com5 - Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Arapiraca – AL. *E-mail:* edvaniafera2009@hotmail.com.**Palavras-chave:**albedo
árvore de decisão
caatinga
desertificação**RESUMO**

O Semiárido Brasileiro está passando por variações nos índices pluviométricos e acentuação do uso dos recursos naturais, e o monitoramento por imagens de satélite possibilita detectar, analisar e inferir sobre alterações da superfície da terra provocadas por processos naturais e/ou antrópicos, devendo-se monitorar constantemente as áreas de reserva ambiental e ecológica, a exemplo do Raso da Catarina, que está localizada na região mais seca do semiárido. O presente estudo objetivou analisar e mapear o avanço da degradação na Estação Ecológica Raso da Catarina no Semiárido Brasileiro, utilizando dados de superfície e imagens do Landsat-8, para os anos de 2014 a 2017. Técnicas de sensoriamento remoto foram utilizadas para estimar o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), albedo de superfície e Índice de Desvio Padrão Móvel (MDSI). A técnica de detecção de mudança e a classificação da degradação por árvore de decisão baseadas em regras predefinidas no NDVI, albedo e MDSI foram aplicadas para inferir sobre as alterações na área estudada. Com base nos mapas de degradação, constatou-se que houve diminuição nas áreas de vegetação, estando associada à redução nos valores do regime pluviométrico. Conclui-se que a técnica de intensidade da mudança e degradação identificou áreas degradadas durante o período de estudo.

Keywords:albedo
decision-tree
caatinga
desertification**MAPPING OF THE DEGRADATION BY REMOTE SENSING IN THE ECOLOGICAL STATION RASO DA CATARINA – BRAZILIAN SEMIARID REGION****ABSTRACT**

The Northeastern region of Brazil, mainly the Brazilian semiarid region, has been facing great problems over the years, where water shortages are highlighted, as a result of long periods of drought. Orbital image monitoring allows to detect, analyze and consider about changes on the surface of the Earth caused by natural or anthropic processes. One should constantly monitor the environmental and ecologic preservation areas, such as Raso da Catarina, located at the driest region within the Semiarid. The objective of this study was to analyze and map the evolution of the degradation at the Raso Ecological Station of the Brazilian semiarid region, using surface data and Landsat-8 images for the years 2014 to 2017. Remote sensing techniques were used to estimate the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), surface albedo, and Mobile Standard Deviation Index (MDSI). The change-detection technique and the decision-tree degradation classification based on predefined rules in the NDVI, albedo and MDSI were applied to infer the changes in the studied area. Based on the degradation maps, it was verified that there was a change in the vegetation pattern, and a decrease was observed in the areas with these parameters, influenced by the low rainfall values. It was concluded that the technique of change and degradation intensity identified areas degraded during the study period.

INTRODUÇÃO

A degradação ambiental é um dos principais problemas ambientais do século, por causa do impacto sobre a segurança alimentar e qualidade ambiental (MEA, 2005; GRAINGER, 2015; CHASEK *et al.*, 2015). As regiões de clima semiárido possuem baixa tolerância às mudanças antrópicas, sendo mais predispostas à degradação e/ou desertificação, em que cerca de 30% das terras são cobertos por áreas em processo de degradação e desertificação (REYNOLDS *et al.*, 2007).

A Caatinga é um bioma que vem sendo substituído por áreas de agricultura, pecuária, mineração e remoção de madeira para produção de lenha e carvão, associadas às condições climáticas desfavoráveis, são as principais causas de degradação na região do Nordeste brasileiro, que têm alto risco de desertificação (SANTOSA & KAZUO, 2012).

Com o avanço do sensoriamento remoto, é possível analisar e interpretar as mudanças ambientais causadas por processos que podem ser naturais e/ou antrópicos. Este avanço se dá por meio de imagens orbitais mediante o uso de algoritmos baseados em técnicas como a árvore de Decisão-AD, que obtém o conhecimento da variação da degradação ambiental de grandes áreas (SILVA *et al.*, 2018).

O uso do sensoriamento remoto tornou-se uma ferramenta inovadora e promissora para o monitoramento em grande escala da degradação de áreas heterogêneas, facilitando o planejamento, a organização e a administração na tomada de decisões para o uso sustentável dos recursos naturais (TANG *et al.*, 2013; GIONGO & VETTORAZZI, 2014; TEIXEIRA *et al.*, 2014; ZHENG *et al.*, 2016).

Muitos autores afirmam que a degradação ambiental ocorre principalmente devido à interferência humana (MULITZA *et al.*, 2010), bem como pela variação do padrão da vegetação (KÉFI *et al.*, 2007; MAESTRE *et al.*, 2012) e mudanças na qualidade química e física do solo (NI *et al.*, 2014; REYNOLDS *et al.*, 2007). Estudos mais recentes

mostraram que a degradação e a desertificação são suscetíveis a serem controladas por mudanças no clima e por processos geomorfológicos (MUNSON *et al.*, 2011; XUE *et al.*, 2015).

Ultimamente, as técnicas de sensoriamento remoto estão ajudando no monitoramento constante das áreas de reserva ambiental e ecológica. Exemplo de área de reserva que deve possuir destaque é o Raso da Catarina, que está localizado na região mais seca do semiárido.

Diante desse contexto, o presente estudo objetivou analisar e mapear o avanço da degradação na Estação Ecológica Raso da Catarina no Semiárido Brasileiro, utilizando dados de superfície e imagens do Landsat-8, para os anos de 2014 a 2017.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área estudada compreende a Estação Ecológica Raso da Catarina, situada na região Nordeste do Estado da Bahia, delimitada entre as coordenadas 9° 7' 28" a 10° 1' 26.30" S e 38° 11' 11" a 39° 0' 22" W, abrangendo partes dos municípios de Paulo Afonso, Rodelas, Glória, Jeremoabo, Chorrochó e Canudos. Do ponto de vista geográfico, a Estação Ecológica Raso da Catarina ocupa uma área de, aproximadamente, 8.720 Km² (Figura 1), com altitude média de 656 m (OLIVEIRA & CHAVES, 2010).

A Estação Ecológica Raso da Catarina possui clima tropical do tipo semiárido, caracterizado pelos baixos índices pluviométricos e mal distribuídos durante o ano, com precipitações médias anuais entre 500 e 650 mm (VELLOSO *et al.*, 2002). A área abrange duas bacias hidrográficas: nas regiões central e norte, encontra-se inserida na Bacia do Baixo-médio São Francisco, e a região sul está inserida na Bacia do Rio Vaza-Barris (OLIVEIRA & CHAVES, 2010).

Nos limites da Estação Ecológica Raso da Catarina, encontram-se as seguintes Unidades de Conservação: a Área de Proteção Ambiental

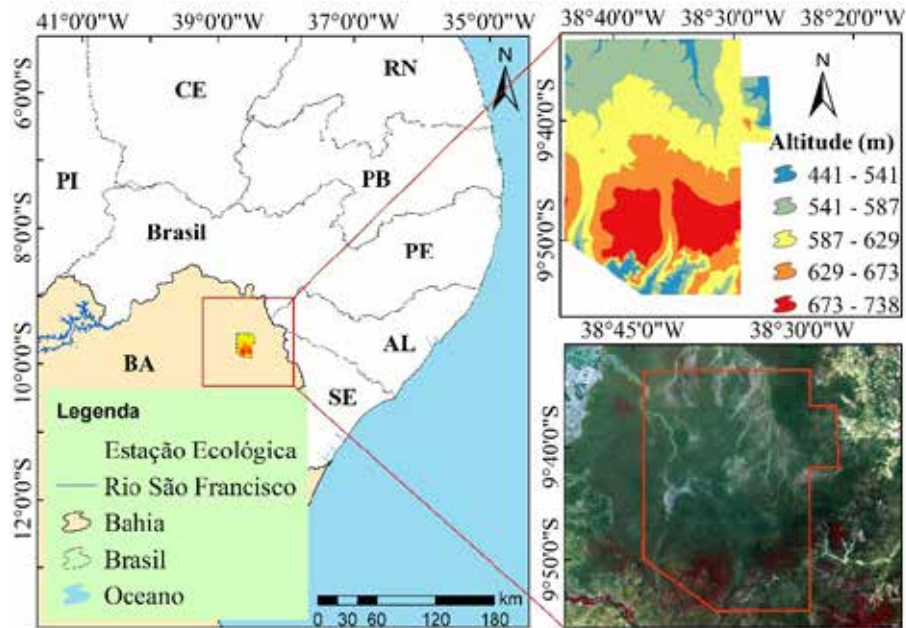


Figura 1. Mapa de localização espacial da Estação Ecológica Raso da Catariana, Brasil

Estadual (APA Serra Branca/Raso da Catarina); as que são monitoradas pelo IBAMA, a Estação Ecológica (ESEC Raso da Catarina) e a Área de Relevante Interesse Ecológico ARIE Cocorobó (OLIVEIRA & CHAVES, 2010).

Obtenção de dados

Os dados climáticos foram obtidos das Estações Meteorológicas Automáticas (EMA) do município Monte Santo-BA com código INMET OMM: 83090, localizadas nas coordenadas geográficas: 10° 25' 49.538"e 39° 17' 25.304" W. O período utilizado compreendeu a série histórica de 1987 a 2017, total de 30 anos, com isso, atendendo a recomendação da Organização Mundial de Meteorologia (OMM) de 30 anos ou mais de dados (WMO, 1989). Assim, admite-se a confiabilidade em conjunto de dados meteorológicos para caracterizar as regiões estudadas. Os totais anuais de precipitação foram usados para selecionar os anos extremos de precipitação, utilizando o Índice de Anomalia de Chuva (IAC) proposto por ROOY (1965) e, posteriormente, adaptado por FREITAS (1998), a fim da obtenção das anomalias positivas e negativas (Equações 1 e 2).

$$+IAC = 3 \times \left[\frac{N - \bar{N}}{M - \bar{N}} \right] \quad (1)$$

$$-IAC = -3 \times \left[\frac{N - \bar{N}}{X - \bar{N}} \right] \quad (2)$$

em que,

\bar{N} = precipitação anual atual (mm),

\bar{N} = precipitação média da série histórica (mm),

M = média das dez maiores precipitações anuais da série histórica (mm), e

X = média das dez menores precipitações anuais da série histórica (mm).

O regime de chuva da Estação Ecológica Raso da Catariana foi classificado de acordo com a metodologia do IAC, apresentada na Tabela 1. Foi utilizada a classificação elaborada por ROOY (1965) para os anos secos e chuvosos. A classificação é feita de acordo com os valores registrados para o IAC, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Classificação da pluviosidade segundo o IAC

IAC	Classificação Pluviométrica
Maior que 4	Extremamente chuvoso (EC)
Entre 2 e 4	Muito chuvoso (MC)
Entre 0 e 2	Chuvoso (C)
0	Normal
Entre 0 e -2	Seco (S)
Entre -2 e -4	Muito Seco (MS)
Menor que -4	Extremamente Seco (ES)

Processamento de imagens

As cenas do Landsat 8 de sensor OLI (Operational Land Imager) foram adquiridas no *site* americano da USGS/NASA (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) e possuem resolução espacial de 30 m. As cenas que cobrem a área de estudo possuem órbita/ponto 215/67 e 216/6 e foram escolhidas com base nos seguintes critérios: condição de céu claro com menor presença de nuvens possível (<10%) e pertencentes ao mesmo período do ano, passando sobre o local aproximadamente às 09h00min (hora local).

Antes de realizar a correção atmosférica, foi necessário converter as imagens de níveis digitais (ND) para radiância (PONZONI & SHIMABUKURO, 2009). Esta conversão foi feita utilizando o *software* ENVI 5.1, por meio da ferramenta Radiometric Calibration. A correção atmosférica das imagens foi realizada utilizando o modelo QUick Atmospheric Correction – QUAC. O QUAC é um Módulo de correção atmosférica para imagens multiespectrais e hiperespectrais na faixa espectral do infravermelho próximo e médio entre 0,4 a 2,5 μm . A correção atmosférica foi feita a partir de modelos empíricos, usando as informações contidas nos metadados das imagens. Para o cômputo deste algoritmo, usou-se a ferramenta QUAC da plataforma Envi 5.1.

O albedo da superfície (α) representa a capacidade da superfície de refletir a energia solar, calculado conforme a Equação 3 (ALLEN *et al.*, 2002).

$$\alpha = -62,2 \times \rho_2 - 57,3 \times \rho_3 - 48,3 \times \rho_4 - 29,5 \times \rho_5 - 7,3 \times \rho_6 - 2,4 \times \rho_7 \quad (3)$$

em que,

ρ_2 , ρ_3 , ρ_4 , ρ_5 , ρ_6 e ρ_7 são as refletâncias de cada banda.

O NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) indica o grau de atividade fotossintética da vegetação sadia, sendo estimado conforme a Equação 4.

$$NDVI = \frac{\rho_5 - \rho_4}{\rho_5 + \rho_4} \quad (4)$$

O MSDI corresponde ao desvio padrão calculado por meio de um filtro de 3×3 aplicado na banda 3 do Landsat-8, conforme Equação 5.

$$MSDI = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (DN_i - \overline{DN})^2}{N}} \quad (5)$$

em que,

N = número de pixels do filtro 3×3 , ou seja, N = 9;

DN_i = valor do pixel; e

\overline{DN}_i = valor do número digital médio de cada janela de nove pixels.

Os mapas de degradação foram estimados a partir da classificação por Árvore de Decisão (AD). As regras que determinaram cada classe de degradação foram adaptadas com base no método proposto por XU *et al.* (2009) (Tabela 2). As classes degradação inexistente, baixa e degradação severa foram classificadas com precisão, usando o NDVI e albedo. O MSDI foi usado, principalmente, para distinguir a média e a alta degradação.

A intensidade da mudança do uso e ocupação do solo (I) foi calculada a partir dos valores de refletância das bandas 4 e 5 do Landsat-8 no tempo

Tabela 2. Regra para classificação e identificação das classes de degradação

Classes de Degradação	Índices		
	NDVI	MSDI	Albedo
Inexistente	< 0,25	---	< 0
	< 0,50	---	---
	< 0	---	---
Baixo	< 0,25	---	> 0
Médio	$0,32 < e < 0,40$	> 3	$0,175 < e < 0,19$
	$0,32 < e < 0,40$	< 3	$0,175 < e < 0,19$
Alto	$0,25 < e < 0,32$	> 3	$0,175 < e < 0,19$
	$0,25 < e < 0,32$	< 3	$0,175 < e < 0,19$
Severo	< 0,25	---	> 0,22

1 (mês analisado) e no tempo 2 (mês posterior ao mês analisado) expresso pela Equação 6 (ZHAN *et al.*, 2000).

$$I = \sqrt{(\Delta\rho_4)^2 + (\Delta\rho_5)^2} \quad (6)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2, podem ser observados os valores de IAC anual da Estação Ecológica Raso da Catarina, constatando-se dois períodos de três anos consecutivos de muita chuva, entre os anos de 1987 a 1989, e 2004 a 2006.

Constata-se também um período de sete, um de quatro e outro de dois anos consecutivos com quantitativo reduzido de precipitação, sendo o primeiro de 1990 a 1996, o segundo entre os anos de 2010 e 2013 e o terceiro e, mais recente, de 2015 a 2016. Somente o ano de 2014 foi classificado como chuvoso entre 2010 e 2016.

Os valores calculados para IAC anual variam entre -5,291 e +6,440, ficando similares ao calculado por ALVES *et al.* (2016) em cidade próxima, Petrolina, utilizando dados de 1964 a 2007, encontrando valores de IAC variando entre -5,31 e +7,24. Essa variação permite verificar não só instabilidade em produções agrícolas, como também variações no desenvolvimento natural da Caatinga.

Com as classificações do clima, detalham-se os anos considerados extremamente chuvosos, com IAC acima de 4,0, sendo 1988, 1989 e 2005. Já sob a perspectiva dos anos considerados secos, apenas os anos de 1992, 2011, 2012 e 2017 da série analisada mostraram-se como “extremamente secos”. No entanto, os anos de 1993 (El Niño forte), 2003 (El Niño moderado) e 2014 (El Niño moderado) são classificados pelo IAC como “muito secos”.

Determinação do albedo da superfície

A Figura 3 apresenta o albedo da superfície para os anos de 2014 (chuvoso), 2015 (seco), 2016 (seco) e 2017(extremamente seco). De modo geral, os valores de albedo variam entre 0,009 e 1, sendo que as áreas de corpos hídricos, bem como a umidade presente na superfície foliar da vegetação, estão representadas pela tonalidade azul-escuro, que apresenta os menores valores (0,009 – 0,09); os maiores valores são destacados pela cor em amarelo-escuro e, principalmente, pela tonalidade vermelha, que denotam áreas de solo exposto ou áreas com pouca vegetação. Os pixels com valores próximos a 1 são pontos com presença de nuvens, o que justifica o valor máximo do albedo de 1.

As variáveis albedo, NDVI, degradação e Intensidade da mudança estão inter-relacionadas, uma vez que a degradação é diretamente dependente do albedo e o índice NDVI influencia na intensidade da mudança (TIAN *et al.*, 2012).

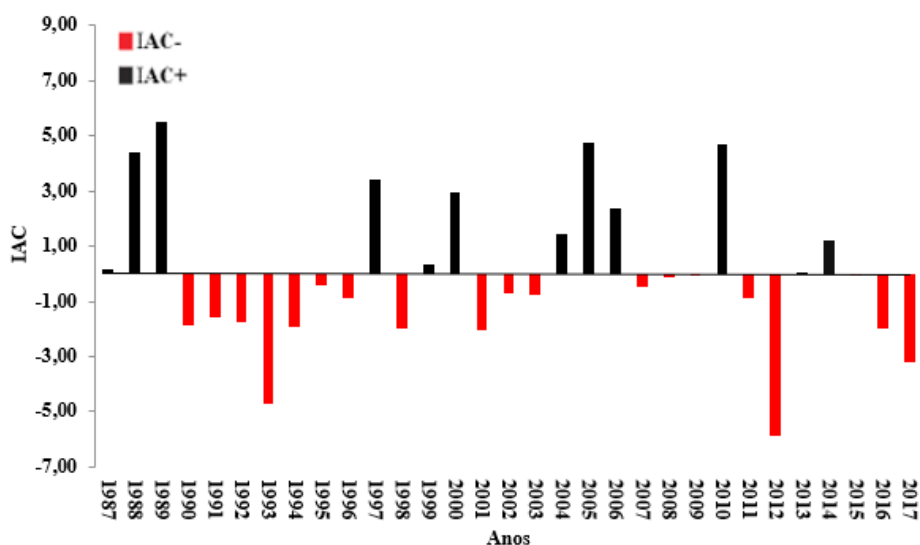


Figura 2. IAC anual da Estação Ecológica Raso da Catarina, para o período consecutivo de 1987 a 2017

Observa-se espacialmente, na Figura 3, que o ano de 2014 apresentou os menores valores de albedo – este fato ocorre praticamente em toda a Estação Ecológica Raso da Catarina, os maiores valores estão localizados na região adjacente à área estudada na parte superior direita da imagem, vale ressaltar que estes valores elevados de albedo são nuvens. Contudo, os valores de albedo da superfície encontrados para o ano de 2014 apresentam baixa variabilidade espacial, estando associados à cobertura vegetal heterogênea de caatinga preservada da Estação Ecológica Raso da Catarina, enquanto que, ao se analisarem os demais anos, a variação temporal foi afetada pela sazonalidade climática local. Corroborando a Figura 3, o ano de 2014 foi considerado chuvoso, além disso, a precipitação acumulada dos três meses antes da passagem do satélite foi de 139,1 mm.

Comportamento oposto é observado nas imagens de 2015 e 2016, onde se notam próximo ao ponto de controle 2 os maiores valores de albedo, com valores entre 0,33 e 1, este fato é justificado porque 2015 e 2016 foram classificados como

extremamente seco e seco, respectivamente.

BEZERRA *et al.* (2014), ao avaliarem a dinâmica espaço-temporal dos parâmetros biofísicos (albedo da superfície, NDVI e temperatura da superfície), na área de caatinga do Parque Nacional da Fuma Feia e suas adjacências, por meio de técnicas de sensoriamento remoto, encontraram resultados similares aos deste trabalho.

SILVA & BEZERRA (2006), usando imagens do Landsat-5 nos anos de 2000 e 2001, analisaram o lago de Sobradinho-Bahia, estudando algumas áreas irrigadas com fruticultura e vegetação nativa típica do bioma caatinga, e encontraram valor médio de albedo da superfície de 0,22. Os autores ainda constataram que, para a classe solo exposto, o albedo foi superior a 0,28, corroborando os valores detectados no presente estudo (Figura 3).

Na Tabela 3, estão representados os valores da estatística descritiva, mínimo (Mín.), máximo (Máx.), médio, mediano, desvio padrão (DP), coeficiente de variação (CV) e erro, obtidos na análise das imagens de albedo da superfície.

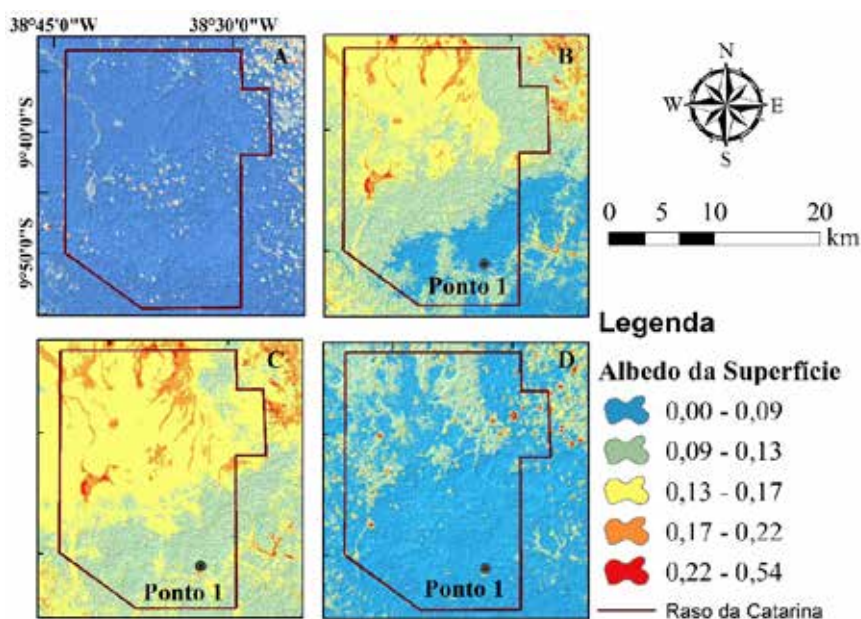


Figura 3. Distribuição espaço-temporal do albedo da superfície da Estação Ecológica Raso da Catarina

Tabela 3. Valores dos parâmetros estatísticos obtidos na análise das cartas do albedo corrigido da superfície

Datas das imagens	Albedo da Superfície						
	Mín.	Máx.	Médio	Mediano	DP	CV	Erro
2014	0,009	1	0,07	0,06	0,0014	0,02	0,1
2015	0,003	1	0,13	0,1	0,007	0,05	0,05
2016	0	1	0,3	0,31	0,042	0,13	0,11
2017	0,002	1	0,15	0,13	0,014	0,1	0,1

Os parâmetros estatísticos do DP, CV e Erro mostraram valores variando de 0,0014 a 0,042, 0,05 a 0,11, respectivamente. Para o CV e o DP, observam-se os valores mínimos nos anos de 2014, enquanto que o máximo em 2016. O valor máximo do DP indica que os dados estão espalhados por uma gama de valores, já o valor mínimo indica que os dados tendem a estar próximos da média. Posto isso, observa-se, diante das cartas temáticas dos respectivos anos 2015, 2016 e 2017, maior variabilidade espacial e temporal, desse modo, permite-se observar a ação antrópica exercida na área estudada, em especial nos distintos usos do solo.

A Figura 4 mostra a evolução temporal e espacial do NDVI da Estação Ecológica Raso da Catarina e adjacências. Observa-se que as cartas de NDVI dos anos de 2014, 2015, 2016 e 2017 apresentam pouca variabilidade temporal (Figura 4). Observa-se que, em média, os maiores valores da cobertura vegetal expressos no mapa em tonalidade azul-escuro encontram-se próximos aos pontos de controle 2, 4 e 5 (Figura 4), e os menores valores estão próximos ao ponto de controle 1. Este fato é justificado pelo efeito da sazonalidade climática, especialmente da precipitação sobre a sazonalidade da vegetação, bem como pelo poder de resiliência característico do bioma caatinga. Segundo BUSTAMANTE *et al.* (2012), o ciclo de crescimento anual da vegetação da caatinga tem relação direta com a sazonalidade climática anual.

As datas de imageamentos estão dentro do período seco, porém, em alguns setores, a umidade do solo acumulada antes da passagem do satélite contribuiu para a manutenção dos extratos herbáceos e presença marcante de dossel foliar da vegetação, favorecendo a elevação do NDVI.

Nas datas analisadas, as precipitações acumuladas nos anos de 2014, 2015, 2016 e 2017 (três meses antes das datas da passagem do Landsat-8) somam 139,1 mm, 13,3 mm, 13,4 mm e 23,3 mm, respectivamente. Nos três meses antes das datas da passagem do satélite, os anos de 2015, 2016 e 2017 apresentaram baixas precipitações, contribuindo para menor atividade fotossintética para as áreas de vegetação da caatinga, além disso, a Estação Ecológica Raso da Catarina e adjacências possuem áreas cobertas por vegetação nativa de caducifólias ralas que não se mantêm verdes na estação seca.

Assim como o albedo da superfície, os resultados de BEZERRA *et al.* (2014) estão em consonância com os dados de NDVI deste trabalho. Segundo o autor, o NDVI e o albedo da superfície, ao serem avaliados de forma sazonal e em longo prazo, tornam-se importante indicador de desertificação e da redução de fitomassa da caatinga.

CORDEIRO *et al.* 2017, ao caracterizarem a dinâmica espaço-temporal do NDVI com o satélite AVHRR/NOAA, encontraram valores superiores aos deste trabalho, principalmente para a classe vegetação nativa. Esta superioridade, em parte, é

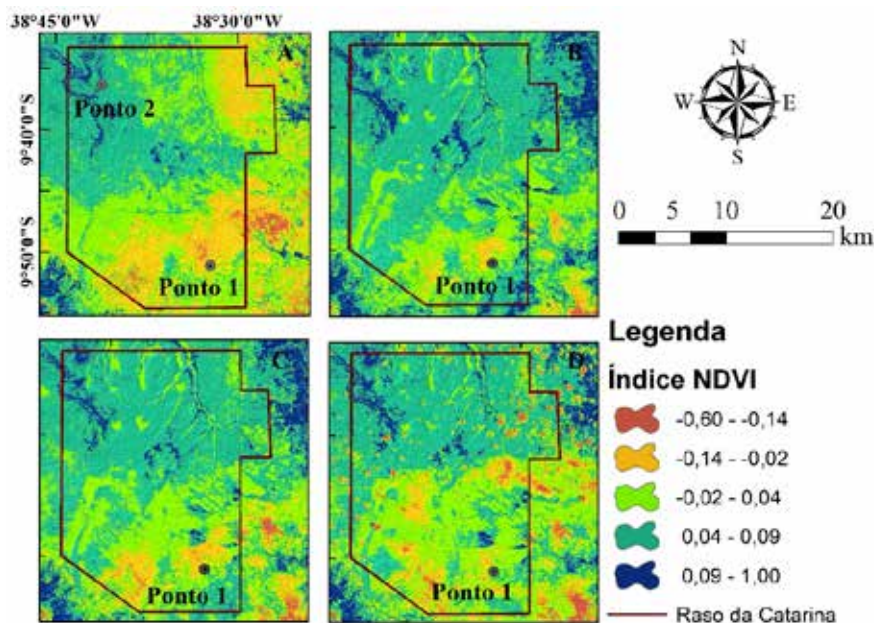


Figura 4. Distribuição espaço-temporal do NDVI da Estação Ecológica Raso da Catarina

influenciada pela correção atmosférica feita neste trabalho, uma vez que os autores não realizaram correção atmosférica.

Na Tabela 4, estão representados os valores dos parâmetros estatísticos, obtidos na análise das cartas do NDVI. Em geral, os respectivos valores mínimos e máximos variaram de -0,61 a 1, em todos os anos analisados, demonstrando que a área estudada apresenta heterogeneidade. Estes valores são superiores aos encontrados por SILVA *et al.* (2017), que, estudando o município de Petrolina, encontraram valores mínimos de 0,61 a 0,64 e máximos de 0,74 a 0,79.

Os resultados de desvio padrão variaram entre o mínimo valor de 0,13, no ano de 2015, e o máximo de 0,24, em 2016. Os valores mínimos e máximos do coeficiente de variação são de 0,41, em 2015, e 0,51, para o ano de 2014. Conforme a Tabela 4, observou-se, para o ano de 2015, o maior valor de coeficientes de variação; com isso, foi observada

para os demais anos maior variabilidade espacial.

Os resultados da avaliação da degradação nos anos de 2014 a 2017 são apresentados na Figura 5. A comparação dos anos de 2014 e 2015 (Figura 5) mostra que as áreas de degradação das classes média (tonalidade amarela) e severa (tonalidade roxa) aumentaram consideravelmente. Esse aumento está associado ao regime de chuvas antecedentes às datas dos imageamentos, uma vez que no ano de 2014 as precipitações acumuladas medidas na estação meteorológica automática foram de 139,1 mm, e em 2015 as precipitações acumuladas foram de 13,3 mm. É válido salientar que o mapa da degradação está em consonância com os demais parâmetros estudados, NDVI (Figura 4), albedo (Figura 3) e intensidade da mudança (Figura 6).

Segundo VOROVENCII (2015), os anos de 2010 a 2015, com exceção de 2014, foram anos muito secos, com diferentes condições meteorológicas, contribuindo para aumentar o risco de degradação,

Tabela 4. Valores dos parâmetros estatísticos obtidos na análise das cartas do índice de vegetação NDVI

Datas das imagens	Índice NDVI						
	Mín.	Máx.	Médio	Mediano	DP	CV	Erro
2014	-0,15	1	0,29	0,29	0,15	0,51	0,0008
2015	-0,43	1	0,31	0,31	0,13	0,41	0,0007
2016	-0,61	1	0,55	0,55	0,24	0,43	0,0006
2017	-0,41	1	0,30	0,30	0,15	0,50	0,0008

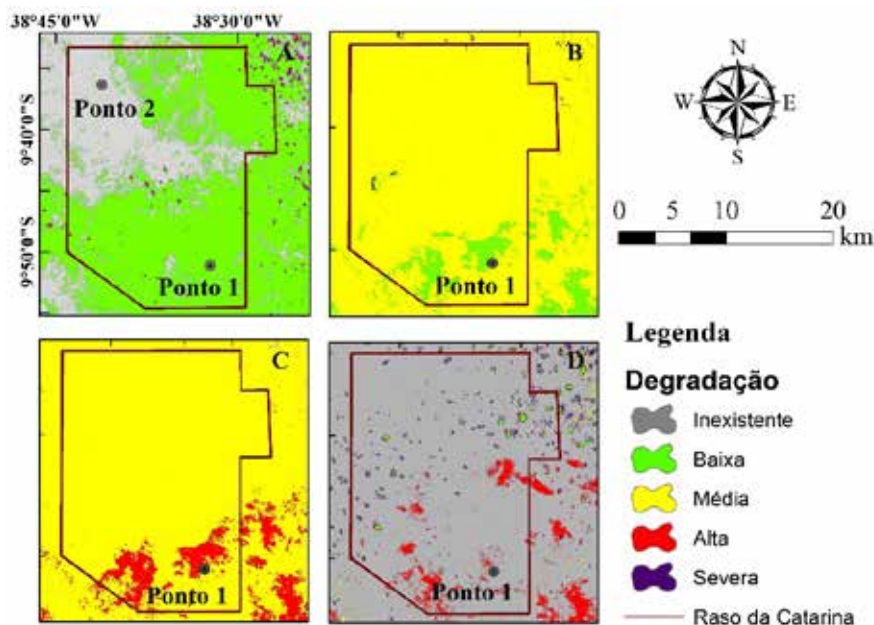


Figura 5. Distribuição espaço-temporal da degradação da Estação Ecológica Raso da Catarina

provocado pelas modificações das distribuições espacial e temporal da temperatura, precipitação, vento e insolação, uma vez que ocorrem com maior intensidade durante os períodos de secas severas.

Alguns autores realizaram trabalhos similares. Os resultados apresentados neste trabalho podem ser comparados aos de SILVA *et al.* (2017). Os autores utilizaram técnicas de processamento digital de imagens de satélite para geração de mapas temáticos dos níveis de degradação da cobertura vegetal no município de Petrolina e adjacências. Corroborando a Figura 5, DIAS *et al.* (2014) identificaram os níveis de degradação de matas ripárias por meio de Sistema de Informações Geográficas (SIG) e as classificaram em categorias de degradação empregadas na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) do Tietê-Jacaré, no município de São Carlos-SP.

Os resultados da avaliação da intensidade da mudança na ocupação e no uso do solo dos anos de 2014 a 2017 são apresentados na Figura 6. Observa-se que o imageamento da cena do ano de 2015 (Figura 6), em comparação ao ano de 2016, apresenta áreas classificadas como mudança severa (tonalidade roxa), esta mudança alta é observada próxima ao ponto de controle 3, indicativo de que no

ano de 2015 há grandes mudanças, principalmente nas áreas de caatinga, impulsionadas pelos baixos índices pluviométricos (13,3 mm). Segundo ZHAN *et al.* (2000), as baixas precipitações estão diretamente relacionadas à presença das classes de mudanças mais severas nas áreas estudadas.

Comparando os resultados, na Figura 6, é possível notar que há grande similaridade entre estas imagens obtidas no ano de 2014 comparadas às de 2015, 2016 e 2017, com predominância da classe mudança média (tonalidade amarela). Esse comportamento é explicado, em parte, pelo fato de que a caatinga apresenta grande poder de resiliência. Sua resposta à precipitação ocorre de forma rápida, com isso, no período entre as cenas comparadas, a precipitação foi suficiente para ocorrer a regeneração da caatinga na Estação Ecológica Raso da Catarina (MALDONADO, 2005).

Os resultados deste trabalho corroboram os resultados de vários autores, os quais constataram que o algoritmo da técnica de intensidade da mudança tem boa resposta às alterações da cobertura vegetal, sendo indicador de processos de degradação da vegetação e do solo em diversos biomas (XU *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2018).

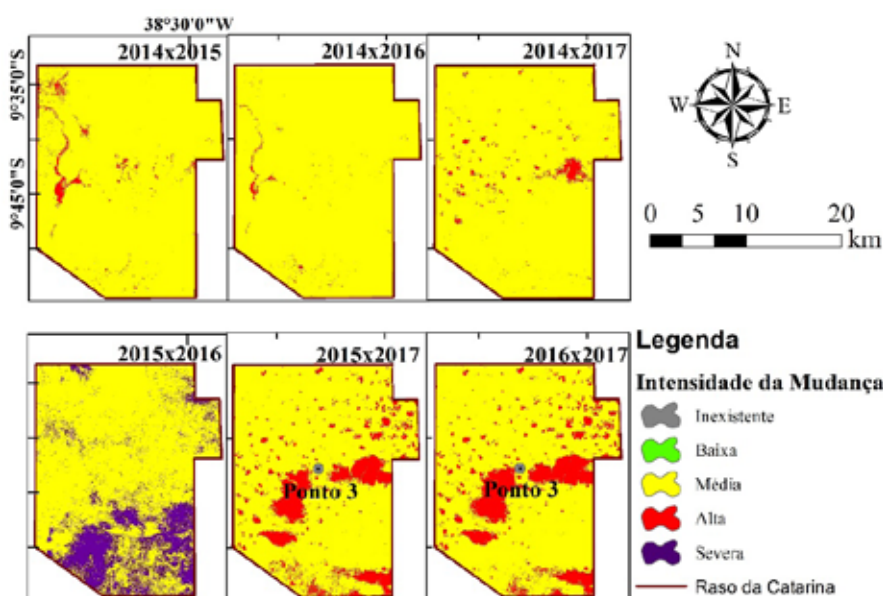


Figura 6. Distribuição espaço-temporal da intensidade da mudança da Estação Ecológica Raso da Catarina

CONCLUSÕES

- O mapeamento da degradação permitiu localizar na Estação Ecológica Raso da Catarina a distribuição geográfica das áreas degradadas e identificar as áreas críticas em relação à cobertura vegetal.
- As alterações do uso e da ocupação do solo foram identificadas com o aumento do albedo e do MSDI e diante da redução do NDVI.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.; TASUMI, M.; TREZZA, R.; BASTIAANSEN, W.G.M. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land). 2002. p.97.

ALVES, J.O.; PEREIRA, P.C.; QUEIROZ, M.G.; SILVA, T.G.F.; FERREIRA, J.M.S. Index of rainfall anomaly for different mesoregions of the State of Pernambuco. **Journal Think Academic**, v.14, p.37-47, 2016.

DIAS, R.M.; SALVADOR, N.N.B.; BRANCO, M.B.C.; Identificação dos níveis de degradação de matas ripárias com o uso de SIG. **Revista Floresta e Ambiente**, v.21, p.150-161, 2014.

FREITAS, M.A.S. A decision support system for the monitoring of meteorological droughts in semi-arid regions. **Journal Technology**. V.19, p.84-95, 1998.

GIONGO, P.R.; VETTORAZZI, C.A. Albedo da superfície por meio de imagens TM-Landsat 5 e modelo numérico do terreno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, p.833-838, 2014.

SANTOSA, S.F.O. M.; KAZUO. H. Processo sustentável de produção de carvão vegetal quanto aos aspectos: ambiental, econômico, social e cultural. **Produção**, v.22, p.309-321, 2012.

SILVA, D.A.O. SILVA, J.L.B.; OLIVEIRA, J.D.A.; BATISTA, P.H.D.; LOPES, P.M.O.; MOURA, G.B.A. Evolução espaço-temporal da vegetação em região semiárida. Geotecnologias aplicada à estudos ambientais. **EPGRAF**, v.1, 2018, p.88-102.

SILVA, D.A.O. **Interferência da precipitação em variáveis ambientais utilizadas para detecção de mudanças no município de Petrolina – PE**. 76f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2017.

TANG, R, LI. Z.L.; CHEN, K.S.; JIA, Y.; LI. C.; SUN, X. Spatial-scale effect on the SEBAL model for evapotranspiration estimation using remote sensing data. **Agricultural and forest meteorology**, v.174, p.28-42, 2013.

TEIXEIRA, A.H.D.C.; HERNANDEZ, F.B.; ANDRADE, R.G.; LEIVAS, J.F.; BOLFE, E.L. Energy balance with Landsat images in irrigated central pivots with corn crop in the São Paulo State, Brazil. Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XVI. **International Society for Optics and Photonics**, v.9239, p.1-10, 2014.

WMO - **Calculation of monthly and annual 30-year standard normals: prepared by a Meeting of Experts**, Washington, D.C. USA, 1989.

Velloso, A.L., E.V.S.B. Sampaio and F.G.S. Pareyn. 2002. Ecorregiões Propostas Para o Bioma Caatinga. Instituto de Conservação Ambiental The Nature Conservancy do Brasil. 76p.

ZHENG, C.; WANG, Q.; LI, P. Coupling SEBAL with a new radiation module and MODIS products for better estimation of evapotranspiration. **Hydrological Sciences Journal**, v.61, p.1535-1547, 2016.

CHASEK, P.; SAFRIEL, U.; SHIKONGO, S.; FUHRMAN, V.F. Operationalizing zero net land degradation: the next stage in international efforts to combat desertification? **J. Arid Environ**, v.112, p.5-13, 2015.

GRAINGER, A. Is land degradation neutrality feasible in dry areas? **J. Arid Environ**, v.112, p.14-24, 2015.

KÉFI, S.M.; RIETKERK, C.L.; ALADOS, Y.; PUEYO, V.P.; PAPANASTASIS, A.; ELAICH, P.C. Spatial vegetation patterns and imminent

desertification in Mediterranean arid ecosystems, **Nature**, v.449, p.213–217, 2007.

MALDONADO, F.D. **Development and evaluation of a methodology to detect changes in semi-arid vegetation cover**. 311f. Tese (doutorado em sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, 2005.

MAESTRE, F.T.; QUERO, J.L.; GOTELLI, N.J.; ESCUDERO, A.; OCHOA, V.; BAQUERIZO, M.D.; GÓMEZ, M.G.; BOWKER, M.A.; SOLIVERES, S.; ESCOLAR, C.; PALACIOS, P.G.; BERDUGO, M.; VALENCIA, E.; GOZALO, E.; GALLARDO, A.; AGUILERA, L.; ARREDONDO, T.; BLONES, J.; BOEKEN, B.; BRAN, D.; CONCEIÇÃO, A.A.; CABRERA, O.; CHAIEB, M.; DERAK, M.; ELDRIDGE, D.J.; ESPINOSA, C.I.; FLORENTINO, A.; GAITÁN, J.; GATICA, M.G.; GHILOUFI, W.; GONZÁLEZ, S.G.; GUTIÉRREZ, J.R.; HERNÁNDEZ, R.M.; HUANG, X.; SANNWALD, E.H.; JANKJU, M.; MIRITI, M.; MONERRIS, J.; MAU, J.L.; MORICI, E.; NASERI, K.; OSPINA, A.; POLO, V.; PRINA, A.; PUCHETA, E.; COLLANTES, D.A.R.; ROMÃO, R.; TIGHE, M.; DÍAZ, C.T.; VAL, J.; VEIGA, J.P.; WANG, D.; ZAADY, E. Plant species richness and ecosystem multifunctionality in global drylands, **Science**, v.335, p.214–218, 2012.

MULITZA, S.D.; HESLOP, D.; PITTAUEROVA, H.W.; FISCHER, I.; MEYER, J.B.; STUUT, M.; ZABEL, G.; MOLLENHAUER, J.A.; COLLINS, KUHNERT, H. Increase in African dust flux at the onset of commercial agriculture in the Sahel region, **Nature**, v.466, p.226–228, 2010.

MUNSON, S.M.J.; BELNAP, J.; OKIN, G.S. Responses of wind erosion to climate-induced vegetation changes on the Colorado Plateau, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, v.108, p.3854–3859, 2011.

NI, J.R.; WU, A.; LI, T.H.; YUE, Y.; BORTHWICK, A.G.L. Efficient soil loss assessment for large basins using smart coded polygons, **Journal of Environmental Informatics**, v.23, p.47–57, 2014.

OLIVEIRA, J.H.M.; CHAVES, J.M. Mapeamento e Caracterização Geomorfológica: Ecorregião Raso da Catarina e Entorno NE da Bahia. **Mercator**, v.9, p.217–238, 2010.

PONZONI, F.J. SHIMABUKURO, Y.E. Remote sensing in the study of vegetation. São José dos Campos – SP, 2010, 127p.

REYNOLDS, J.F.; SMITH, D.M.S.; LAMBIN, B.; TURNER, M.; MORTIMORE, S.P.; BATTERBURY, T.E.; DOWNING REYNOLDS, J.F.; SMITH, D.M.S.; LAMBIN, E.F.; TURNER, B.L.; MORTIMORE, M.; BATTERBURY, S.P.J.; DOWNING, T.E.; DOWLATABADI, H.; FERNÁNDEZ, R.J.; HERRICK, J.E.; SANNWALD, E.H.; JIANG, H.; LEEMANS, R.; LYNAM, T.; MAESTRE, F.T.; AYARZA, M.; WALKER, B. Global desertification: Building a science for dryland development, **Science**, v.316, p.847–851, 2007.

ROOY, V.M.P. Rainfall anomaly index independent of time and space. (*Circular Técnica*, 14), 1965, 48p.

VOROVENCII, I. Assessing and Monitoring the risk of Desertification in Dobrogea, Romania, using Landsat data and Decision Tree Classifier. **Journal of Environmental Monitoring and Assessment**, V.187, p.154–220, 2015.

XU, D.; KANG, X.; QIU, D.; ZHUANG, D.; PAN, J. Quantitative Assessment of Desertification Using Landsat Data on a Regional Scale: A Case Study in the Ordos Plateau, China. **Sensors**. V.9, p.1738–1753, 2009.

XUE, X.J.; LIAO, Y.T.; HSING, C.H.; HUANG, C.; LIU, F. Policies, land use, and water resource management in an arid oasis ecosystem, **Environ. Manag.**, v.55, p.1036–1051, 2015.

ZHAN, X.; DEFRIES, R.; TOWNSHEND, J.R.G.; DIMICELI, C.; HANSEN, M.; HUANG, C.; SOHLBERG, R. The 250 m global land cover change product from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer of NASA's Earth Observing System. **International Journal of remote sensing**, v.21, p.1433–1460, 2000.