



## **Mapeamento da degradação por sensoriamento remoto em mata de bambu**

### **Mapping of degradation by remote sensing in bambu mata**

Douglas Alberto da Silva OLIVEIRA<sup>1\*</sup>; Jhon Lennon Bezerra da SILVA<sup>2</sup>; Iug Lopes<sup>3</sup>; Antonio Gebson Pinheiro<sup>2</sup>; Cícero Gomes dos SANTOS<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Mestrado em Engenharia Agrícola - Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE, R. Manuel de Medeiros, s/n - Dois Irmãos, Recife - PE, 52171-900, e-mail: [douglasalbertosilva@hotmail.com](mailto:douglasalbertosilva@hotmail.com);

<sup>2</sup> Doutorando em Engenharia Agrícola - Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE, R. Manuel de Medeiros, s/n - Dois Irmãos, Recife - PE, 52171-900.

<sup>3</sup> Professor EBTT do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Brasil.

<sup>4</sup> Professor da Universidade Federal de Alagoas, Avenida Manoel Severino Barbosa - Bom Sucesso, Arapiraca - AL, 57309-005.

\* Autor para correspondência: [douglasalbertosilva@hotmail.com](mailto:douglasalbertosilva@hotmail.com).

**Resumo** - Em regiões como o Norte, o crescimento e a produtividade de matas como bambuzais estão diretamente ligados à quantidade de água disponível no solo a partir da precipitação. O efeito conjunto de parâmetros biofísicos nos bambuzais pode interferir na degradação da superfície e na umidade superficial do solo (IUS) estimada por satélite, mais expressivamente do que tratados individualmente. Este trabalho teve como objetivos associar os possíveis núcleos de degradação ao uso e ocupação do solo e, analisar os efeitos dos parâmetros biofísicos no IUS obtido do sensor OLI em mata de bambuzal no estado do Acre. A técnica de classificação por árvore de decisão baseadas em regras predefinidas no NDVI, albedo e MDSI foi aplicada para espacializar a degradação da superfície utilizando-se dados das normais climatológicas de precipitação de 1987 a 2017. Observaram-se tendências de formações de núcleos de degradação formando uma margem de leste a oeste da área estudada associados à presença de solos expostos. Concluiu-se que o IUS relacionou-se muito bem com o índice de vegetação, albedo e a degradação obtidos do sensor OLI. Verificou-se processos de degradação intensa no bambuzal, resultando no aumento de áreas em processos de desertificação.

**Palavras-chave:** Bambuzal. Desmatamento. Desertificação.

**Abstract** - In regions like the North, the growth and productivity of forests such as bamboo are directly linked to the amount of water available in the soil from the precipitation. The combined effect of biophysical parameters on bamboo can interfere with surface degradation and surface soil moisture (IUS) estimated by satellite, more significantly than when treated individually. The objective of this work was to associate the possible degradation nuclei with the use and occupation of the soil and to analyze the effects of the biophysical parameters in the IUS obtained from the OLI sensor in bamboo forest in the state of Acre. The decision tree classification technique based on predefined rules in the NDVI, albedo and MDSI was applied to spatialize the surface degradation using data from the normal climatological precipitation from 1987 to 2017. It was observed trends of degradation nuclei formation forming a margin from east to west of the studied area associated



with the presence of exposed soils. It was concluded that the IUS correlated very well with the vegetation index, albedo and degradation obtained from the OLI sensor. There were intense degradation processes in the bamboo, resulting in the increase of areas in desertification processes.

**Keywords:** Bamboo. Deforestation. Desertification.

## **Introdução**

Os bambus são plantas herbáceas e lenhosas, pertencentes à família das *Poaceae*, que possuem mais de 1.250 espécies distribuídas em aproximadamente 90 gêneros distintos. Tem preferência por regiões com clima tropical e subtropical com temperatura moderada, adaptado a altitudes tanto ao nível do mar quanto próximas de 4000 metros (LÓPEZ 1974).

Por conta das políticas renováveis, cada vez mais está se falando em materiais renováveis, no qual se insere o bambu. Embora que o Brasil possui uma das maiores reservas de bambu, o manejo e técnica que utiliza essa espécie vegetal ainda é escasso.

A obtenção de imagens provenientes de sensores orbitais que captam a radiação eletromagnética refletida ou emitida da vegetação, solo e corpos hídricos é uma solução para o problema amostral (LOPES et al. 2013). A cobertura vegetal pode ser observada através de índices espectrais, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) pode fornecer informações úteis para a detecção quantitativa da distribuição espacial e temporal do IUS (LOPES et al. 2011).

É oportuno o uso dos produtos NDVI e albedo do sensor OLI (Operational Land Imager) a bordo dos satélites Landsat-TM como indicadores biofísicos da vegetação natural para monitorar IUS bem como a degradação em diferentes biomas brasileiros e complementar os bancos de dados existentes. Além disso, as imagens do Landsat-TM permitem avaliar o uso e ocupação da terra e estabelecer relações entre NDVI e albedo com a umidade do solo. Com tudo, o conhecimento dos principais parâmetros meteorológicos de controle do IUS e degradação em diferentes tipos de superfície é importante, especialmente por conta das mudanças no uso e ocupação da terra oriundas da ação antrópica (CARVALHO et al. 2018) para posteriormente ser estimado o tamanho de áreas degradadas.

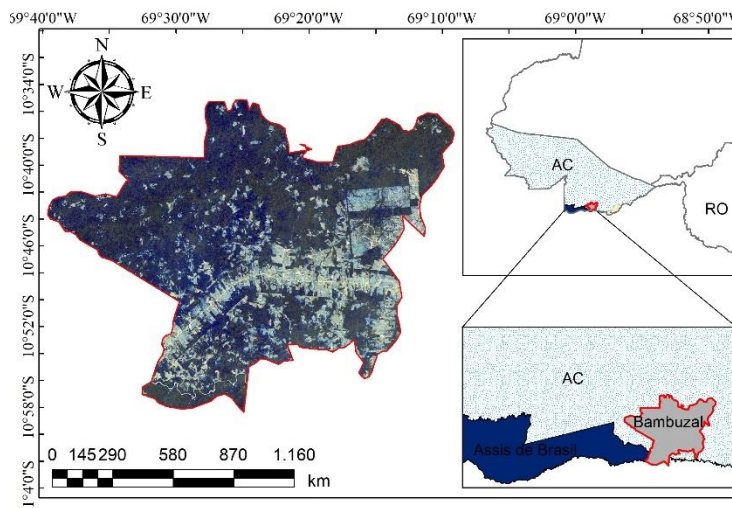
Portanto, o trabalho teve como objetivo identificar os possíveis núcleos de degradação. Além disso, buscou-se estimar e analisar os efeitos dos parâmetros biofísicos e o IUS em área de mata do tipo bambuzal.

## **Material e Métodos**

A área de estudo abrange a floresta nativa de bambu localizada no Acre ( 10° 49' 44.2" S a 10° 50' 09.6" S; 69° 31' 11.7" W a 69° 04' 13.8" W; altitude média de 330 m) (Figura 1), situada na região do Alto Acre, entre as cidades de Assis Brasil e Brasiléia.



**Figura 1.** Mapa espacial de localização da mata de bambu, imagem em composição colorida R4G3B5.



De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, a floresta está inserida em uma região que apresenta o clima do tipo Am – equatorial quente e úmido. Apresenta uma precipitação pluviométrica média de 1935 mm/ano e temperatura média anual de 26 °C (ALVARES et al. 2013).

Os dados climáticos foram obtidos das Estações Meteorológicas Automática (EMA) do município Rio Branco - AC com código INMET OMM: 82915, localizada nas coordenadas geográficas: 9° 57' 36'' S e 67° 48' 00'' W. O período utilizado compreendeu a série histórica de 1987 a 2017, total de 30 anos, logo, atendeu a recomendação da Organização Mundial de Meteorologia (OMM) de 30 anos ou mais de dados (WMO 1989). Os totais anuais de precipitação foram utilizados para selecionar os anos extremos de precipitação utilizando o IAC proposto por Van Rooy (1965) 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:

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 mata foi classificado de acordo com a metodologia do IAC apresentada na Tabela 1. Foi utilizada a classificação elaborada por Van 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.

Índice de Anomalia de Chuva (IAC)	Classificação Pluviométrica
> 4	Extremamente chuvoso (EC)
2 > e < 4	Muito chuvoso (MC)
0 > e < 2	Chuvoso (C)
0	Nem Chuvoso Nem Seco
0 > e < -2	Seco (S)
-2 < e > -4	Muito Seco (MS)
< -4	Extremamente Seco (ES)

Os modelos de regressão múltipla foram utilizados para relacionar os valores estimados do albedo e IUS (variáveis independentes) com o NDVI condicionadas a significância do modelo (coeficiente de determinação e correlação) de probabilidade menor que 5% e o erro padrão de estimativa baixo. Os valores de PAC estimados por um modelo de regressão linear múltipla baseado em dados espectrais e meteorológicos é dado pela Equação 3:

$$Y_i' = \alpha + X_1 \cdot \beta_1 + X_2 \cdot \beta_2 + \varepsilon \quad (3)$$

Em que:

$Y_i'$  = NDVI (dependente);  $X_1$  = Albedo;  $X_2$  = IUS;  $\varepsilon$  = erro padrão,  $\alpha$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ , = parâmetros a serem estimados.

Para verificar o grau de ajustamento, foram calculados os respectivos coeficientes de determinação e o grau da correlação foi verificado através da Tabela 2, proposta por Devore (2006), que indica o grau de ajuste pelos coeficientes de correlação de Pearson (r). Foi utilizado o programa Statistica.

**Tabela 2.** Coeficiente de correlação de Pearson (r)

R <sup>2</sup>	Definição
0,00 a 0,19	Correlação Bem Fraca (CBF)
0,20 a 0,39	Correlação Fraca (Cf)
0,40 a 0,69	Correlação Moderada (CM)
0,70 a 0,89	Correlação Forte (CF)
0,90 a 1,00	Correlação Muito Forte (CMF)

Para o desenvolvimento da pesquisa, utilizou-se uma cena do satélite Landsat 8, sensor OLI (*Operational Land Imager*) foi adquirida no site americano da USGS/NASA: <https://earthexplorer.usgs.gov/>, possui resolução espacial de 30 m.

Antes de realizar a correção atmosférica foi necessário converter a imagem de níveis digitais (ND) para radiância (PONZONI & SHIMABUKURO, 2009). Esta conversão foi realizada 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  $\mu\text{m}$ . 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. As variáveis meteorológicas da EMA utilizadas no processamento da imagem estão descritas na tabela 3.

**Tabela 3.** Variáveis meteorológicas da área de estudo no dia juliano (DJ) e hora da passagem do Landsat-8, ângulo de elevação solar (E), temperatura do ar (T, °C), umidade relativa (UR, %), Pressão atmosférica (Po, hPa), profundidade óptica ( $\tau$ ) e visibilidade (VIS, km).

Datas	DJ	E (°)	T (°C)	UR (%)	Po (hPa)	$\tau$	VIS (km)
17/07/2017	198	47,1	27,4	66	982,1	0,086	17,13

Após a correção atmosférica, foi realizada a fusão das bandas multiespectrais (bandas espectrais de 3 a 7), com resolução espacial de 30 m, o redimensionamento dos pixels foi realizado por meio da banda pancromática (banda 8) com resolução espacial de 15 m. Para isso, usou o método “*Ehlers Fusion*” da plataforma Erdas 9.1. Como produto final, obteve-se bandas multiespectrais com resolução espacial de 15 m.

O albedo da superfície ( $\alpha$ ) representa a capacidade da superfície de refletir a energia solar, calculado conforme a Equação 4.

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

Em que:

$\rho_3$ ,  $\rho_4$ ,  $\rho_5$ ,  $\rho_6$  e  $\rho_7$  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 5.

$$NDVI = \frac{\rho_5 - \rho_4}{\rho_5 + \rho_4} \quad (5)$$

O índice de umidade do solo (IUS) foi derivado do índice de vegetação (NDVI) adaptado da equação proposta por Zhan et al. (2004). A equação do IUS derivado do índice de vegetação (NDVI) foi modelada por meio da Equação 6.

$$IUS_{NDVI} = 1 - \left( \frac{NDVI_{MAX} - NDVI}{NDVI_{MAX} - NDVI_{MIN}} \right) \quad (6)$$

A constante 1 refere-se à inversão dos valores pois, quanto maior o valor do NDVI maior também o índice de umidade da superfície (Wang et al. 2010). O  $NDVI_{MAX}$  e o  $NDVI_{MIN}$  são aos valores máximo e mínimo de NDVI retirados na região de estudo. O NDVI é o valor calculado em cada pixel.

O MSDI corresponde ao desvio padrão calculado por meio de um filtro de  $3 \times 3$  aplicado na banda 3 do Landsat-8, conforme Equação 7.



$$MSDI = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (DN_i - \overline{DN_i})^2}{N}} \quad (7)$$

Em que:

N = número de pixels do filtro 3x3, ou seja, N = 9; DN<sub>i</sub> = valor do pixel;  $\overline{DN_i}$  = valor do número digital médio de cada janela de nove pixels.

A degradação foi estimada a partir do método de classificação por Árvore de Decisão (AD). Foram utilizadas regras que determinaram cada classe de degradação, estas regras foram adaptadas com base no método proposto por Xu et al. (2009) (Tabela 4). 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 alta degradação.

**Tabela 4.** Regra para avaliação da degradação, utilizando imagens do Landsat-5 e Landsat-8.

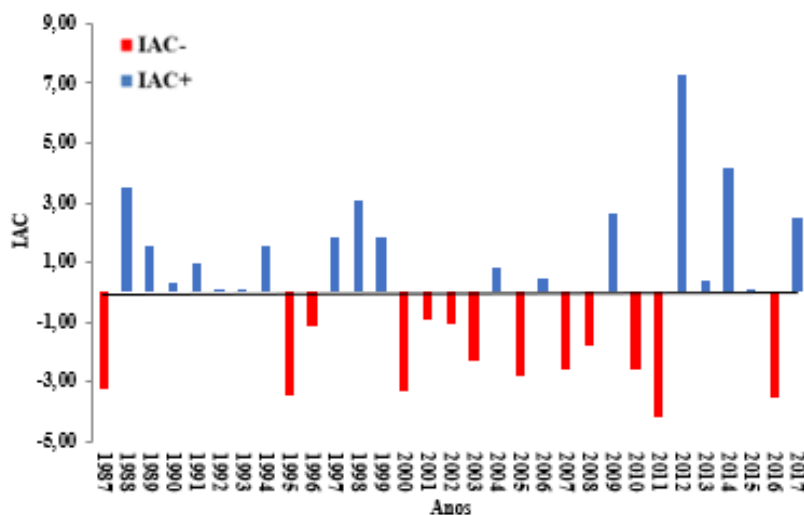
Classes de Degradação	Índices		
	NDVI	MSDI	Albedo
Inexistente	< 0,25	---	< 0
	< 0,50	---	---
	< 0	---	---
Baixo	< 0,25	---	> 0
Médio	0,32 < e < 0,40	> 3	0,175 < e < 0,19
	0,32 < e < 0,40	< 3	0,175 < e < 0,19
Alto	0,25 < e < 0,32	> 3	0,175 < e < 0,19
	0,25 < e < 0,32	< 3	0,175 < e < 0,19

## Resultados e Discussão

Os valores de IAC anuais oscilaram entre -4 a +7, apresentando um período de quatro anos consecutivos de seca entre 2000-2003. Além disso, os anos de 2010 e 2011 foram classificados como “seco” e “extremamente seco”, com P anual de 1766,4 mm e 1619,4 mm para a região de mata do tipo bambuzal, respectivamente. Na Figura 2 observa-se uma tendência decrescente do IAC anual para a região estudada entre 1987 a 2017.



**Figura 2.** Índice de Anomalia de Chuva (IAC) para região em estudo.



Na Tabela 5 é apresentado o modelo de regressão linear múltipla para as estimativas dos índices estudados. O modelo foi significativo no nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ) com intervalo de confiança de 95% para os valores estimados, apresentando bom coeficiente de determinação ( $R^2$ ), em torno de 88%. Koster & Suarez (2001) por meio de um modelo estatístico constataram que a variabilidade da umidade do solo é controlada pelas condições atmosféricas (precipitação e radiação), bem como por processos terrestres superficiais (evaporação e escoamento). Lei et al. (2011) reforçam que a variação espaço-temporal da umidade do solo é causada por um efeito abrangente de vegetação, fenômenos meteorológicos (principalmente chuvas), terreno (declividade, orientação de vertentes, altitude e diferenciação geográfica) e atividades agrícolas em diferentes escalas.

As correlações máximas foram encontradas para a variável IUS com valor de  $r = +0,70$  classificada como correlação forte, significantes ao nível de 95% de confiança. Enquanto que a menor correlação é observada para a variável NDVI com valor de  $r = +0,36$  classificada como correlação fraca. Esta correlação mais elevada do IUS neste caso já era esperada, uma vez que é mais natural que este tipo de correlação aconteça.

**Tabela 5.** Coeficientes do modelo das variáveis estudadas com as respectivas probabilidades de erro (p), correlações lineares (r) e Erro Padrão de estimativa para área de bambuzal.

Variáveis independentes	B	R
Albedo	-0,9	-0,53 <sup>CM</sup>
NDVI	0,65	+0,36 <sup>Cf</sup>
IUS	0,11	+0,70 <sup>CF</sup>
$\alpha = 31,77; r = 0,91^{CMF}; R^2 = 0,88 \quad p < 0,0006$		
Erro padrão de estimativa: +8,97		



A matriz de correlação é utilizada para verificar as relações entre variáveis independentes com variáveis dependentes. A importância das variáveis na correlação é determinada pelos intervalos dos coeficientes (-1, 1). O coeficiente positivo sugere que as variáveis variam no mesmo sentido, enquanto o coeficiente negativo indica que elas variam em sentido contrário.

Adotando significância de 5%, com base na tabela 6 existe correlação significativa positiva e negativa entre os parâmetros albedo, NDVI e IUS. Observa-se correlação positiva para a variável dependente NDVI e a variável independente IUS indicativo de que com o aumento do NDVI o IUS também aumentará, enquanto que a correlação entre o NDVI e o albedo é negativa.

**Tabela 6.** Matriz de correlação para as diferentes variáveis estudadas.

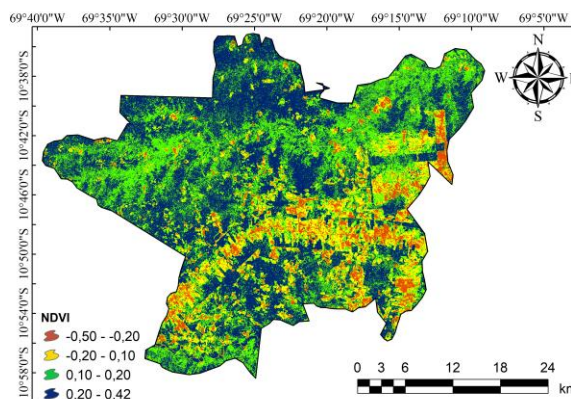
Variáveis	Albedo	IUS	NDVI
Albedo	1	-0,6104	-0,0991
IUS	-0,6104	1	0,1453
NDVI	-0,0991	0,1453	1

A Figura 3 mostra a espacialização do NDVI da área de mata com predominância de espécies de bambu. Os menores valores de NDVI (- 0,5 a -0,2) estão situados em uma faixa de manchas de leste a oeste, e em algumas áreas a nordeste (Figuras 3), representadas pela presença de solo exposto ou mesmo áreas cobertas por vegetações (vegetação nativa) com considerável umidade sobre suas folhas (Figura 6).

Os maiores valores de NDVI (0,2 a 0,42) foram detectados pela ocorrência de eventos chuvosos (Figuras 3) com magnitudes que possibilitaram condições favoráveis à resiliência e ao desenvolvimento de biomassa do bambu (vegetação nativa). Estes valores são observados na região Noroeste e Sudoeste do mapa.

Pode-se observa-se, na mesma Figura 3, que os maiores valores detectados são justificados pelo fato de ser a precipitação a principal causa dessas modificações em razão da umidade presente no solo, além da ocorrência de eventos recentes de chuva próximo ao período de obtenção da cena estudada. Tais averiguações são compatíveis com as realizadas por Bezerra et al. (2014) ao estudar regiões de climas semiáridos.

**Figura 3.** Carta temática do NDVI da área em estudo.





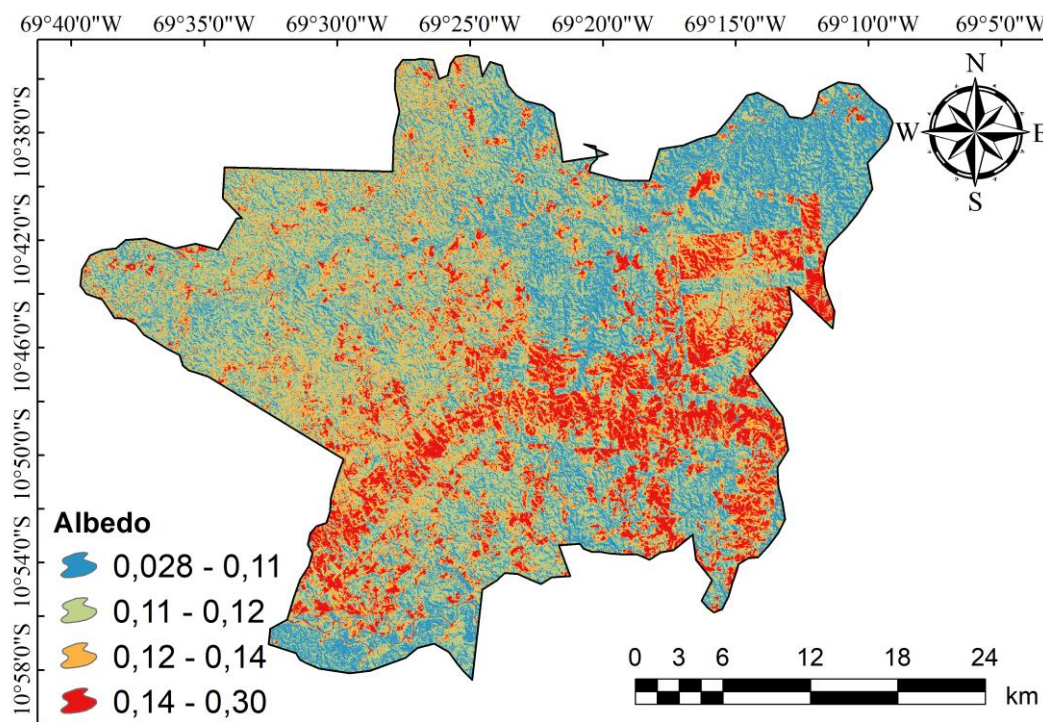


Observa-se, na Figura 3 e na Figura 4, respectivamente, grande semelhança de comportamento entre os valores e padrões de variabilidade espacial, apresentados para os parâmetros biofísicos NDVI e albedo da superfície, fato decorrente de ambas as imagens, apresentarem configuração espectral da superfície referente aos alvos estudados, principalmente a áreas de solo exposto, áreas degradadas e área vegetada.

Em geral, as áreas com cobertura vegetal de bambu apresentaram albedo no intervalo de 0,028 a 0,11 (Figura 4), enquanto nas áreas degradadas e de solo exposto ocorreram valores no intervalo de 0,14 a 0,30. Os maiores valores estão situados na parte central do mapa em uma faixa de manchas de leste a oeste (Figura 4), representadas pela presença de solo exposto e áreas degradadas.

Bezerra et al. (2014) ao avaliar 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.

**Figura 4.** Carta temática do albedo da superfície da área em estudo.



Relacionando as Figuras 3, 4 e 5, respectivamente, observa-se grande semelhança de comportamento entre os menores valores de NDVI, maiores valores de albedo e a ocorrência das classes alta e severa do mapa de degradação. Este fato ocorre pela relação inversamente proporcional entre o NDVI e a degradação e relação diretamente proporcional entre o albedo e a degradação, ou seja, quanto maior o NDVI menores serão as classes de degradação, conseqüentemente, quanto maior o albedo da superfície maiores as classes de degradação.

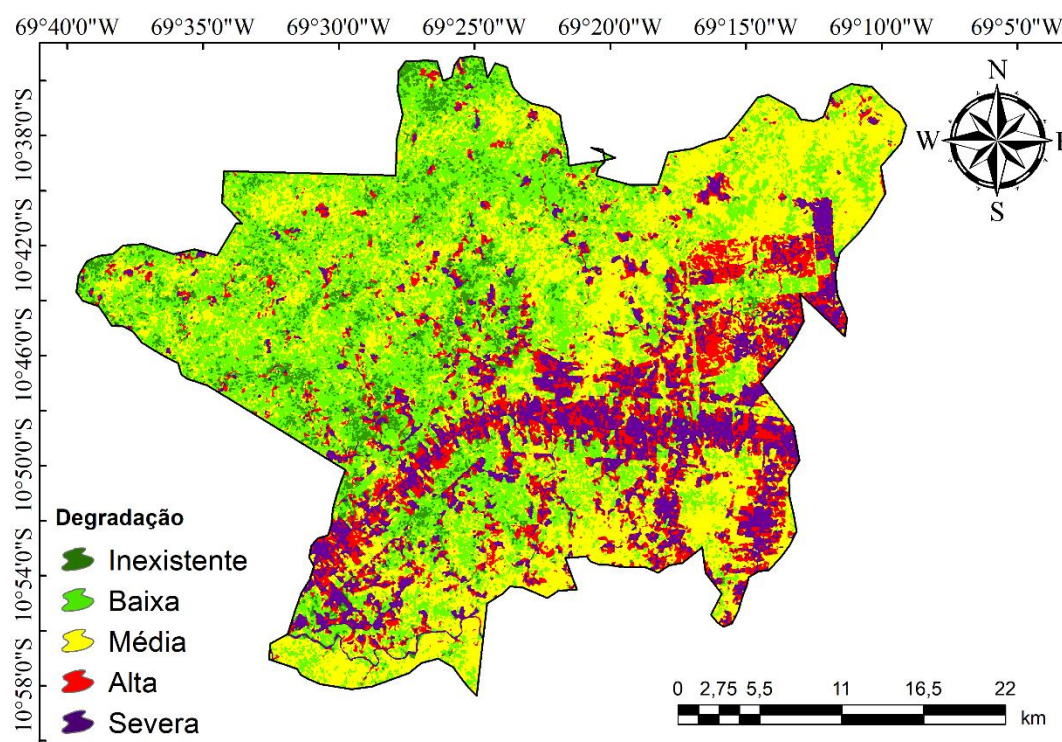


Os resultados da avaliação da degradação são apresentados na Figura 5. As classes de degradação inexistente e baixa degradação estão situadas em uma faixa de manchas na região noroeste, representadas pela presença de áreas cobertas por vegetações (vegetação nativa).

Enquanto que as classes de degradação alta e severa são detectadas na parte central do mapa em uma faixa de manchas de leste a oeste (Figuras 5), representadas pela presença de manchas de solo exposto e áreas degradadas em processos de degradação ou desertificação, resultantes principalmente pela pressão antrópica exercida na área por meio do desmatamento.

Os resultados evidenciam que o município de Assis de Brasil é o mais atingido pela degradação uma vez que parte do município se encontra comprometida pela degradação e em processo de desertificação, tal como o município de Brasília.

**Figura 5.** Carta temática da degradação da área em estudo.



Na Figura 6 se tem o mapa do IUS médio do solo. Percebe-se que no perímetro que delimita a região de leste a oeste existe áreas nas quais domina o IUS menor que 0,09. Nesta região a degradação da mata de bambu é intensa, com existência de diversas formas de degradação e erosão. Em geral, o IUS variou de 0 para as áreas degradadas, até 0,49 para áreas com vegetação densa. Lopes et al. (2011) mapearam valores de umidade do solo variando de 0 a 0,57 em uma área com a maior parte da cobertura vegetativa.

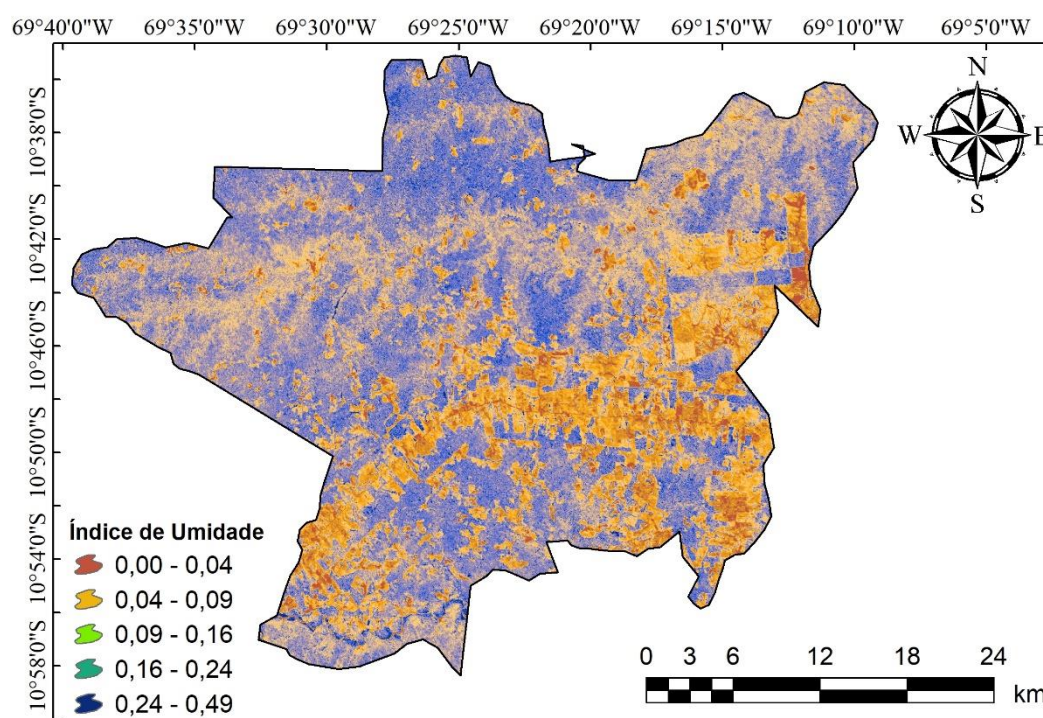
Com base na análise da Figura 6, observa-se a espacialização da umidade do solo. Os maiores valores de IUS estão localizados com tonalidade azul na região sudoeste do mapa. Estes valores são ocasionados pela presença de umidade na superfície foliar na mata de bambu.



Obteve-se, para um pixel correspondente à vegetação nativa do tipo bambu e conforme visto na Figura 6, o valor do IUS de 0,37 localizado na região sudoeste da imagem. Valor este, que revela a influência da vegetação nas condições de umidade do solo e em sua relação direta com o IUS.

Os resultados sugerem que é fundamental estudar a evolução da degradação na região estudada, uma vez que o bambu possui grande relevância socioeconômica para a região.

**Figura 6.** Carta temática do Índice de Umidade do Solo da área em estudo.



## Conclusão

Verificou-se processos de degradação intensa, resultando no aumento de áreas em processos de desertificação.

A identificação de possíveis núcleos de degradação está associada a mudanças no uso e ocupação da terra no que diz respeito ao seu padrão de proteção dada pela cobertura vegetal (bambuzal), indicando perda de vegetação na região que vai de leste a oeste.

O efeito da cobertura vegetal relacionada com o NDVI indicou uma relação direta com o índice de umidade da superfície do solo, enquanto que o albedo da superfície apresentou um efeito inverso.



## **Conflito de Interesse**

Os autores não declararam conflito de interesse para esse manuscrito.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem aos revisores da Revista Ambientale pelas correções e sugestões; A CAPES pela concessão de bolsa de mestrado e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da UFRPE pela oportunidade na realização do mestrado.

## **Referências**

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

Bezerra, J. M. et al. Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n. 1, p. 73-84, 2014.

CARVALHO, et al. Controlling factors of 'Caatinga' and sugarcane evapotranspiration in the Sub-middle São Francisco Valley. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, p. 225-230, 2018.

DEVORE, J. L. **Probabilidade e estatística para engenharia e ciências**. Thomson Pioneira, São Paulo, SP, Brasil. 2006, 706p.

KOSTER, R. D.; SUAREZ, M. J. Soil moisture memory in climate models, **Journal of Hydrometeorol**, v. 2, n. 1, p. 558-570, 2001.

LEI, Y. et al. Spatiotemporal dynamics of soil moisture in silvopastoral system in the Loess Plateau of west Shanxi province. **Procedia Environmental Sciences**, v. 8, n. 1, p. 153-160, 2011.

LOPEZ, O. H. **Bambú: su cultivo y aplicaciones en: fabricación de papel, construcción, Arquitectura, Ingeniería, Artesanía**. Colômbia: Estudios Tecnicos Colombianos Ltda., 1974. 318p.

LOPES, H. L. et al. Espacialização da umidade do solo por meio a temperatura da superfície e índice de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 9, p. 973-980, 2011.

LOPES, P. M. O. et al. Simulação do saldo de radiação na Serra da Mantiqueira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 7, p. 780-789, 2013.



PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos, SP: Editora Parêntese, 2010. 127 p.

VAN ROOY, M. P. A rainfall anomaly index independent of time and space. **Notes**, v. 14, n. 43, p. 43-48, 1965.

WANG, H. et al. Monitoring the effects of land use and cover type changes on soil moisture using remote-sensing data: A case study in China's Yongding River basin. **Catena**, v.82, p.135-145, 2010.

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

XU, D. et al. Quantitative Assessment of Desertification Using Landsat Data on a Regional Scale: A Case Study in the Ordos Plateau, China. **Sensors**, v. 9, n. 3, p. 1738-1753, 2009.

ZHAN, Z. et al. The application of LST/NDVI index for monitoring land surface moisture in semiarid area. **IEEE Transactions on geosciences and Remote Sensing**, v. 3, p.1551-1554, 2004.