



**Comportamento Espectral de Paricá (*Schizolobium parahyba*  
*var. amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) em Plantios com Diferentes Idades**  
**Spectral Behavior of Paricá (*Schizolobium parahyba*  
*var. amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) in Plantations of Different Ages**

Fábio de Jesus Batista<sup>1</sup>; Luciana Maria de Barros Francez<sup>1</sup>; Elisiane Alba<sup>1</sup>;  
Mateus Sabadi Schuh<sup>1</sup>; José Augusto Spiazzi Favarin<sup>1</sup>; Janderson de Oliveira Silva<sup>1</sup>;  
Noé dos Santos Hofiço<sup>1</sup>; Rudiney Soares Pereira<sup>2</sup> & Elódio Sebem<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, nº 1000, Campus UFSM,

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Prédio 44, sala 5255, Bairro Camobi, 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil

<sup>2</sup>Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, nº 1000, Campus UFSM, Centro de Ciências Rurais,

Laboratório de Sensoriamento Remoto, Prédio 44 J, Sala 214, Bairro Camobi, 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil

<sup>3</sup>Universidade Federal de Santa Maria,

Av. Roraima, nº 1000, Campus UFSM, Prédio 70, Bairro Camobi, 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil

E-mails: [fabiodejesusbatisa@gmail.com](mailto:fabiodejesusbatisa@gmail.com); [lucianafrancez@yahoo.com.br](mailto:lucianafrancez@yahoo.com.br); [elisianealba@gmail.com](mailto:elisianealba@gmail.com);

[mateuschuh@gmail.com](mailto:mateuschuh@gmail.com); [jasflorestal@yahoo.com.br](mailto:jasflorestal@yahoo.com.br); [janderson\\_o.silva@hotmail.com](mailto:janderson_o.silva@hotmail.com);

[n\\_hofico@yahoo.com.br](mailto:n_hofico@yahoo.com.br); [rudiney.s.pereira@gmail.com](mailto:rudiney.s.pereira@gmail.com); [elodiosebem@politecnico.ufsm.br](mailto:elodiosebem@politecnico.ufsm.br)

Recebido em: 30/08/2018 Aprovado em: 14/09/2018

DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2018\\_3\\_82\\_95](http://dx.doi.org/10.11137/2018_3_82_95)

## Resumo

Objetivou-se conhecer o comportamento espectral de plantios homogêneos de Paricá (*S. parahyba var. amazonicum*) em diferentes idades e identificar o melhor índice de vegetação para o estudo da espécie a partir de imagens do satélite SENTINEL-2A. O estudo foi realizado nas Fazendas Pingo de Ouro (PO), Capinzal 2 (CAP2) e Pingo de Ouro 2 (PO2), localizadas em Ulianópolis, Estado do Pará. Na CAP2 foi selecionada uma área de 36,54ha, cujo plantio apresentava 57 meses de idade. Na PO2, o talhão tinha 29,77ha de plantio de Paricá com 42 meses. E na PO o plantio possuía 44,48ha (78 meses). A imagem do SENTINEL-2A foi obtida por meio do site da USGS referente a cena T22MHA, de 26/07/2016. Foi utilizado o Qgis 2.14.20, considerando o DATUM SIRGAS2000 e a projeção UTM 23S. Com auxílio do *Semi-Automatic Classification plugin* foi realizada a correção atmosférica da imagem pelo método DOS. Posteriormente, a imagem foi base para o cálculo de 35 índices de vegetação. A coleta dos dados na imagem ocorreu de forma sistemática. Foram implementados 47 pontos, distribuídos da seguinte forma: 17 na CAP2, nove na PO2 e 21 na PO. De cada ponto foi extraído o valor de reflectância das bandas espectrais e índices de vegetação. Foram aplicados os testes de *Shapiro-Wilk* e *Levene*. A comparação do comportamento espectral entre os povoamentos foi realizada pela análise de variância seguida do teste *Tukey*. Quando a normalidade não foi satisfeita, as comparações foram feitas pelo teste *U de Mann-Whitney*. Foi definida a correlação entre os índices de vegetação. A identificação do índice que melhor representou os povoamentos foi realizada por meio da Análise de Componentes Principais, com base nos dados padronizados. Toda a análise estatística foi realizada com suporte do RStudio 3.4.3. Houveram diferenças nas taxas de reflectância da espécie, em relação a Banda 8, e este fato pode estar associado a diferença nas idades dos plantios. O índice de vegetação mais correlacionado com o Paricá, independentemente da idade, foi o Relação Log.

**Palavras-chave:** Guapuruvu; Índices de vegetação; Pará; Relação Log; SENTINEL-2A; Ulianópolis

## Abstract

The objective of this study was to establish the spectral behavior of homogenous Paricá plantations (*S. parahyba var. amazonicum*) at different ages and to identify the best vegetation index for the study of the species with SENTINEL-2A satellite images. The study was carried out at three Farms (sites): Capinzal 2 (CAP2), Pingo de Ouro (PO) and Pingo de Ouro 2 (PO2), located in Ulianópolis, state of Pará. At CAP2 Farm, an area of 36.54ha was selected, the forest presented 57 months. At PO2, the field had 29.77ha of Paricá, planting had 42 months and in PO site the planting had 44.48ha (78 months). The image of SENTINEL-2A was obtained through the USGS website for scene T22MHA, 07/26/2016. Qgis version 2.14.20 was used considering the SIRGAS2000 DATUM and the UTM 23S projection. With the aid of the *Semi-Automatic Classification plugin*, the atmospheric correction of the image was performed by the DOS method. Subsequently, the image was the basis for the calculation of 35 vegetation indices. The data collection in the image occurred systematically, 47 points were implemented, distributed as follows: 17 in CAP2, nine in PO2 and 21 in PO. From each point the reflectance value of the spectral bands and vegetation indices were extracted and Shapiro-Wilk and Levene tests were applied. The comparison of the spectral behavior between the stands done by the analysis of variance and followed by the Tukey's mean test. When normality was not satisfied, comparisons were made by the Mann-Whitney U test. The correlation between vegetation indexes was defined. The identification of the index that best represented the stands was performed through Principal Component Analysis, based on the standardized data. All the statistical analysis performed with RStudio 3.4.3 support. There were differences in reflectance rates of the species in relation to Band 8, and this fact may be associated with differences in age. The vegetation index most correlated with Paricá, regardless of age, was the Log Relationship.

**Keywords:** Guapuruvu; Indices of vegetation; Pará; Log Relationship; SENTINEL-2A; Ulianópolis

## 1 Introdução

Na Amazônia, um exemplo de espécie nativa plantada que vem se destacando nos últimos anos para atender a produção de madeira em escala comercial é o Paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) (Hoffmann *et al.*, 2011). A árvore de Paricá apresenta rápido desenvolvimento em altura e diâmetro, sendo indicada para plantações e sistemas agroflorestais, com potencial também na reabilitação de áreas degradadas por apresentar capacidade de produção e de dispersão de sementes, desempenhando papel importante na sucessão secundária da floresta tropical úmida (Terezo & Szücs, 2010).

Os estudos sobre a silvicultura do Paricá vêm desde a década de 50, todavia, somente a partir dos anos 90 a espécie passou a ter importância comercial na região amazônica (Marques *et al.*, 2006). Tourne *et al.* (2016), indicaram que 54% do Estado do Pará apresenta área de alto potencial para o plantio de Paricá, principalmente no leste do Estado, onde as florestas naturais foram mais desmatadas. Atualmente, grande parte do plantio desta espécie está concentrada na microrregião de Paragominas, que por sua vez concentra os municípios de Abel Figueiredo, Bom Jesus do Tocantins, Dom Eliseu, Goianésia do Pará, Paragominas, Rondon do Pará e Ulianópolis.

Nas últimas décadas, a atenção tem sido voltada para a melhoria das aplicações de sensoriamento remoto na silvicultura, sendo este fato evidenciado pelo aumento das publicações em revistas científicas (Tang & Shao, 2015). O emprego de técnicas de sensoriamento remoto no setor florestal brasileiro tem contribuído para dar maiores subsídios às possíveis ações ligadas à quantificação de recursos e ao monitoramento de áreas com potencialidades ao reflorestamento, auxiliando na tomada de decisões, com bases científicas confiáveis (Souza *et al.*, 2007).

As interações entre radiação eletromagnética e os objetos (ou alvos), quando aplicados à vegetação, segundo Ponzoni *et al.* (2012), podem ser estimadas por modelos de reflectância, pois eles procuram estabelecer uma conexão lógica entre os parâmetros biofísicos da vegetação e as suas propriedades espectrais. A obtenção do comportamento espectral da

vegetação, a partir de imagens provenientes de satélites equipados com sensores multiespectrais, tem sido uma prática muito comum nos trabalhos que visam estimar variáveis como: o índice de área foliar; dinâmica da paisagem florestal; área basal, volume de madeira e biomassa de espécies arbóreas; e índices de vegetação (IV's) (Reis *et al.*, 2018; Almeida *et al.*, 2015; Lissner & Guasselli, 2013; Berra *et al.*, 2012; Lobato *et al.*, 2010; Watzlawick *et al.*, 2009).

Os índices de vegetação (IV's), dependendo de sua formulação, baseiam-se no fato de que a energia refletida no vermelho e infravermelho próximo (NIR) está diretamente relacionada à atividade fotossintética da vegetação, bem como na suposição de que a utilização de duas ou mais bandas espectrais pode, consideravelmente, minimizar as principais fontes de ruídos que afetam a resposta da vegetação, tais como: (a) variações na irradiância solar; (b) efeitos atmosféricos; (c) contribuições da vegetação não-fotossinteticamente ativa; (d) contribuições do substrato (ex. solo); e (e) efeitos da composição e estrutura do dossel (Ferreira *et al.*, 2008). Adicionalmente, Liu (2006) afirma que os IV's não são mais restritos às reflectâncias das faixas do visível e NIR.

Existem várias maneiras pelas quais duas ou mais bandas espectrais podem ser combinadas para quantificar o contraste NIR-vermelho como medida de verde ou umidade do dossel. Isso resultou em uma infinidade de fórmulas de IV's e variantes que incluem taxas e diferenças de duas bandas, diferenças ponderadas e diferenças normalizadas, combinações de bandas espectrais lineares, IV's baseados em ângulo e combinações de banda espectral otimizadas (Huete *et al.*, 2014). Os mesmos autores relataram que todos os IV's relacionam-se positivamente com as propriedades biofísicas da copa da planta e, até certo ponto, alguns são funcionalmente equivalentes. Apesar disso, há diferenças importantes em como eles retratam a folhagem da vegetação e os IV's múltiplos oferecem uma caracterização mais completa das copas da vegetação. Para Liu (2006), um IV ideal deve ser sensível à vegetação, insensível ao fundo do solo e não sofrer interferências atmosféricas.

De acordo com Henrich *et al.* (2012), existem muitos índices diferentes para aplicações generaliza-

das. Os autores comentam também que em trabalhos com índices não é fácil obter uma visão geral sobre todos disponíveis no momento e também os recursos de literatura geralmente não são facilmente acessíveis. Por esse motivo, desde o final de 2009, Henrich *et al.* (2012), disponibilizaram a plataforma online *Index DataBase-IDB* (<https://www.indexdatabase.de/>), onde reuniram informações sobre índices, algoritmos, referências bibliográficas, sensores, etc. Esta base de dados foi uma ferramenta valiosa para o presente estudo.

Existe uma grande necessidade por soluções tecnológicas de baixo custo, que possibilitam acompanhar o estado atual, bem como dinâmica das áreas de plantios florestais. Nesse sentido, desde 2015, está em operação o projeto da missão SENTINEL-2 que foi pensado para realizar o monitoramento global do meio ambiente, a gestão de emergências e segurança (European Space Agency [ESA], 2015). O SENTINEL-2 é uma missão europeia em larga escala, com alta resolução e multiespectral (Drusch *et al.*, 2012), cujos dados são disponibilizados gratuitamente ao usuário. Este trabalho teve como objetivo conhecer o comportamento espectral de plantios homogêneos de *S. parahyba* var. *amazonicum* em diferentes idades e identificar o melhor IV para o estudo da espécie a partir de imagens do satélite SENTINEL-2A.

## 2 Material e Métodos

### 2.1 Município de Abrangência da Pesquisa

O município de Ulianópolis fica cerca de 390km de Belém com acesso a partir das rodovias BR-316 e BR-010 (SETUR, 2013). Possui uma população estimada, em 2016, de 55.739 habitantes (IBGE, 2016). A extensão territorial é de 5.008,46 km<sup>2</sup>, logo sua densidade demográfica fica em torno de 11,13 habitantes/km<sup>2</sup>. Está localizado na latitude 03°44'31"S e na longitude 47°29'41"W, a uma altitude de 130m acima do nível do mar, na microrregião de Paragominas, mesorregião Sudeste do Estado do Pará (SETUR, 2013).

Segundo a classificação de Köppen o município de Ulianópolis apresenta o clima do tipo Am, tropical úmido de monção, com precipitação anual

de 2.200 a 2.500mm (Alvares *et al.*, 2014), com período chuvoso entre os meses novembro e abril (100 a 125 dias) (SETUR, 2013). As temperaturas máxima, mínima e média variam entre 29-32°C, 20-23°C e 23-26°C, respectivamente (Alvares *et al.*, 2013).

### 2.2 Áreas de Estudo

O estudo foi realizado em três propriedades rurais (Fazendas Pingo de Ouro 2 – PO2, Capinzal 2 – CAP2 e Pingo de Ouro - PO) localizadas no município de Ulianópolis, Pará (Figura 1). Na Fazenda PO2 o reflorestamento foi dividido em 41 talhões, onde foram plantados Paricá e Teca. O talhão 62, destinado a esse trabalho, possui 29,77ha de plantio de Paricá arranjados no espaçamento de 3,00m x 3,00m, cujo plantio foi realizado em março de 2013. Adicionando o tempo de muda de dois meses, no momento da coleta de dados o plantio apresentava 42 meses de idade.

A Fazenda CAP2 apresenta uma área de reflorestamento subdividida em cinco quadras (1 a 5) e 17 talhões, plantados com Paricá e variedades de espécies do gênero *Eucalyptus*. Nesta propriedade o estudo foi realizado na Quadra 3, composta por dois talhões (talhão 2: 18,97ha e talhão 3: 17,57ha), perfazendo uma área de 36,54ha. Nestes talhões as mudas de Paricá foram plantadas em janeiro de 2012, no espaçamento de 2,30m x 3,00m, apresentando 57 meses.

Na Fazenda PO foi realizado o plantio de Paricá, Paricá + Eucalipto e Eucalipto + Teca (*Tectona grandis* L. f.), divididos em 78 talhões. Os talhões que fizeram parte do estudo foram o 18, 21 e 22, com 25,10ha, 11,97ha e 7,41ha, respectivamente, somando uma área total de 44,48ha. O plantio de Paricá nestes talhões foi realizado com espaçamento de 3,50m x 3,50m, em março de 2010, possuindo cerca de 78 meses.

### 2.3 Coleta e Análise de Dados

Primeiramente foi realizado *download* da imagem do sensor SENTINEL-2A no site do *United States Geological Survey - USGS* (<https://earthexplorer.usgs.gov/>)

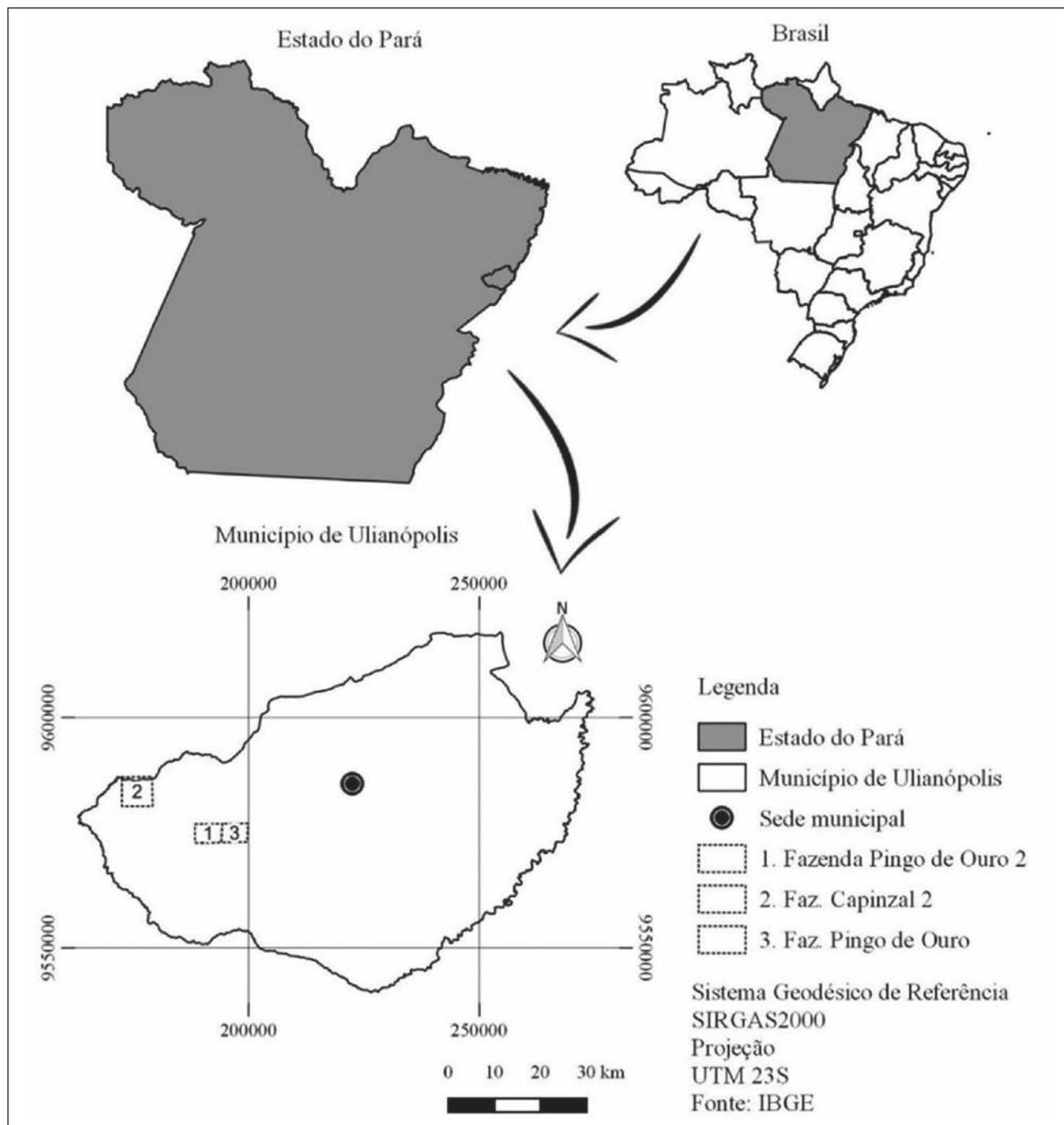


Figura 1 Mapa de localização das áreas de estudo (Fazendas) no Município de Ulianópolis-PA.

thexplorer.usgs.gov/). A cena objeto desta pesquisa foi T22MHA, de 26/07/2016. Uma visão detalhada do procedimento de aquisição da imagem pelo SENTINEL-2A e seu processamento até a sua disponibilização ao usuário final foi retratada por Drusch *et al.* (2012).

Foi adotado o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS2000) e a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM fuso 23S). O sistema de informação geográfica utilizado no pré-processamento e elaboração de mapas foi o Qgis 2.14.20 Essen.

Foi realizada a mudança do formato de todas as bandas da imagem de “.jp2” para “.geotiff”. No *Semi-Automatic Classification (SCP) plugin* foi realizada transformação do número digital para reflectância do topo da atmosfera. Ainda no *SCP plugin* foi efetuada a correção atmosférica da imagem pelo método *Dark Object Subtraction – DOS* (Chaves Junior, 1988). Assim, a imagem foi convertida do nível 1C (reflectância no topo da atmosfera e ortorretificada) para o nível 1A (reflectância na base da superfície). Ainda no *SCP plugin*, comando *Band set*, foi realizada a composição das bandas B2 (0,4575 a 0,5225 $\mu$ m), B3 (0,5425 a 0,5775 $\mu$ m), B4 (0,650 a 0,680 $\mu$ m) e B8 (0,7845 a 0,8995 $\mu$ m).

A coleta dos dados na imagem ocorreu de forma sistemática nos talhões estudados. Foram alocados pontos (x,y) amostrais em linhas, com distâncias regulares entre si, de tal forma que abrangesse toda a área dos talhões. Visando minimizar os efeitos de borda foram evitadas as proximidades de aceiros e estradas. A quantidade dos pontos variou por fazenda, em função do tamanho dos talhões utilizados. Foram implementados 47 pontos, distribuídos ao longo das fazendas da seguinte forma: 17 na Capinzal 2, nove na Pingo de Ouro 2 e 21 na Pingo de Ouro.

De cada ponto foi extraído o valor de reflectância. A reflectância foi definida pelo método bilinear, onde os valores retornados foram interpolados a partir dos valores das quatro células (pixels) mais próximas. O comportamento espectral por banda e talhão deu origem a MATRIZ 1 de dados (coluna=bandas x linhas=pontos amostrais), construída no Microsoft Office Excel.

Foi realizado o teste de normalidade dos dados, em cada banda/Fazenda, pelo método de *Shapiro-Wilk*. A homogeneidade de variâncias foi verificada, por banda, com auxílio do teste de Levene. Em seguida, para os dados normalmente distribuídos, foi aplicada uma análise de variância e caso constatado diferença entre pelo menos um par de médias de reflectância/banda, as comparações entre os pares foram feitas pelo teste *Tukey*. Quando o pressuposto da normalidade não foi satisfeito, as comparações entre os pares foram feitas pelo teste *U de Mann-Whitney*.

De posse dos dados de reflectância por banda em cada ponto amostral (MATRIZ 1), foi realizado para cada Fazenda o cálculo dos Índices de Vegeta-

ção (IV). No total foram empregados 35 índices (Tabela 1), extraídos de Henrich *et al.* (2012). A escolha dos índices atendeu a dois critérios: a recomendação de Henrich *et al.* (2012) que apontaram os índices adequados ao sensor SENTINEL-2A; e os índices que utilizam as mesmas bandas adotadas nesta pesquisa (B2, B3, B4 e B8).

O cálculo dos índices de vegetação foi realizado em todos os pontos amostrais, tendo como informação de entrada os valores da MATRIZ 1. Assim, após utilização dos algoritmos, foi gerada uma nova informação contendo os valores dos índices em cada ponto amostral por Fazenda, originando a MATRIZ 2.

Inicialmente, foi calculado a correlação entre os índices de vegetação, considerando o nível de significância de 95% de probabilidade, sendo os resultados expressos em correlogramas.

A definição do índice que melhor representou o comportamento biofísico (ou espectral) dos povoados foi realizada por meio da Análise de Componentes Principais (ACP) (Pearson, 1901). Esta análise foi empregada sobre a MATRIZ 2, sendo aplicada separadamente a cada população nas três Fazendas. Optou-se pelo uso da ACP de correlação, conforme recomendação de Vinici (2005), com base em dados que foram padronizados para ter média 0 (zero) e variância 1 (um).

A partir dos autovalores foi definida a proporção da variação retida em cada componente. E em seguida foi construído o mapa de fator entre as componentes principais – CP (geralmente a 1ª e 2ª) com os 35 índices. A carga de contribuição de cada índice/CP foi calculada por meio de uma correlação. Os índices de vegetação mais representativos nos primeiros eixos das CP's tiveram os maiores autovetores e conseqüentemente foram os mais importantes para as populações em estudo. Toda a análise estatística foi realizada em linguagem R, com suporte do RStudio 3.4.3 (R Core Team, 2017).

### 3 Resultados e Discussão

#### 3.1 Comportamento Espectral

A análise da reflectância em cada ponto amostral revelou um comportamento espectral típico de

**Comportamento Espectral de Paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) em Plantios com Diferentes Idades**

Fábio de Jesus Batista; Luciana Maria de Barros Francez; Elisiane Alba; Mateus Sabadi Schuh;

José Augusto Spiazzi Favarin; Janderson de Oliveira Silva; Noé dos Santos Hófiço; Rudiney Soares Pereira & Elódio Sebem

N	Nome	Abreviação	Comp. Onda (nm)	Notação Matemática
1	Índice de vegetação resistente à atmosfera 2	ARVI2	640:760,780:1400	$= -0.18 + 1.17 * \frac{(B8 - B4)}{(B8 + B4)}$
2	Índice de vegetação de alcance dinâmico em todo o azul	BWDRVI	420:480,780:1400	$= \frac{(0.1 * B8 - B2)}{(0.1 * B8 + B2)}$
3	Índice de clorofila verde	Cgreen	490:570,780:1400	$= \left(\frac{B8}{B3}\right) - 1$
4	Índice de vegetação de clorofila	CVI	490:570,640:760,780:1400	$= B8 * \left(\frac{B4}{B3^2}\right)$
5	Índice de coloração	CI	420:480,640:760	$= \frac{(B4 - B2)}{B4}$
6	Índice de vegetação transformada corrigida	CTVI	490:570,640:760	$= \frac{NDVI + 0.5}{ NDVI + 0.5 } * \sqrt{ NDVI + 0.5 }$
7	Diferença NIR/Índice de vegetação diferença verde verde	GDVI	490:570,780:1400	$= B8 - B3$
8	Índice de vegetação melhorada	EVI	420:480,640:760,780:1400	$= 2.5 * \left(\frac{B8 - B4}{(B8 + 6 * B4 - 7.5 * B2) + 1}\right)$
9	Índice de vegetação melhorada 2	EVI2	640:760,780:1400	$= 2.4 * \frac{B8 - B4}{B8 + B4 + 1}$
10	Índice de vegetação melhorada 2 - 2	EVI22	640:760,780:1400	$= 2.5 * \left(\frac{B8 - B4}{B8 + 2.4 * B4 + 1}\right)$
11	Índice de monitoramento do meio ambiente global	GEMI	640:760	$n = \frac{(2 * B8^2 - B4^2 + 1.5 * B8 + 0.5 * B4)}{B8 + B4 + 0.5}$
12	Índice de vegetação verde e atmosférico resistente	GARI	420:480,490:570,640:760,780:1400	$= \frac{n * (1 - 0.25 * n) - B4 - 0.125}{1 - B4}$
13	Índice folha verde	GLI	420:480,490:570,640:760	$= \frac{2 * B3 - B4 - B2}{2 * B3 + B4 + B2}$
14	NDVI verde-azul	GBNDVI	420:480,490:570,780:1400	$= \frac{B8 - (B3 + B2)}{B8 + (B3 + B2)}$
15	NDVI verde-vermelho	GRNDVI	490:570,640:760,780:1400	$= \frac{B8 - (B3 + B4)}{B8 + (B3 + B4)}$
16	Índice Matiz	H	420:480,490:570,640:760	$= \arctan\left(\frac{2 * B4 - B3 - B2}{30.5} * (B3 - B2)\right)$
17	Porcentagem de infravermelho indicador de vegetação	IPVI	490:570,640:760,780:1400	$= \frac{B8 / (B8 + B4)}{2} * (NDVI + 1)$
18	Índice de Intensidade	I	420:480,490:570,640:760	$= \frac{1}{30.5} * (B4 + B3 + B2)$
19	Índice Relação Log	LogR	640:760,780:1400	$= \log\left(\frac{B8}{B4}\right)$
20	Índice de razão simples modificada NIR/Red	MSRNir/Red	640:760,780:1400	$= \frac{\left(\frac{B8}{B4}\right) - 1}{\sqrt{\left(\frac{B8}{B4}\right) + 1}}$
21	Índice Norma G	Norm G	490:570,640:760,780:1400	$= \frac{B3}{B8 + B4 + B3}$
22	Índice Norma NIR	Norm NIR	490:570,640:760,780:1400	$= \frac{B8}{B8 + B4 + B3}$
23	Índice Norma R	Norm R	490:570,640:760,780:1400	$= \frac{B4}{B8 + B4 + B3}$
24	Índice de vegetação da diferença normalizada NIR/Blue	BNDVI	420:480,780:1400	$= \frac{B8 - B2}{B8 + B2}$
25	Índice de vegetação da diferença normalizada NIR/Green	GNDVI	490:570,780:1400	$= \frac{B8 - B3}{B8 + B3}$
26	Índice de vegetação da diferença normalizada NIR/Red, calibrado NDVI - CDVI	NDVI	670:50;30,800;10;10	$= \frac{B8 - B4}{B8 + B4}$
27	Índice de vegetação da diferença normalizada Red/Green Redness	RI	490:570,640:760	$= \frac{B4 - B3}{B4 + B3}$
28	Índice Pan NDVI	PNDVI	420:480,490:570,640:760,780:1400	$= \frac{B8 - (B3 + B4 + B2)}{B8 + (B3 + B4 + B2)}$
29	Índice Red-Blue NDVI	RBNDVI	420:480,640:760,780:1400	$= \frac{B8 - (B4 + B2)}{B8 + (B4 + B2)}$
30	Índice de formas	IF	420:480,490:570,640:760	$= \frac{2 * B4 - B3 - B2}{B3 - B2}$
31	Índice de vegetação de razão simples NIR/Green	GRVI	490:570,780:1400	$= \frac{B8}{B3}$
32	Índice de vegetação diferença de razão simples NIR/Red	DVI	640:760,780:1400	$= \frac{B8}{B4}$
33	Índice razão simples Red/Green	RGR	490:570,640:760	$= \frac{B4}{B3}$
34	Índice raiz quadrada IR/Red	SQRT(IR/R)	640:760	$= \sqrt{\frac{B8}{B4}}$
35	Índice de vegetação dinâmico de amplo alcance	WDRVI	640:760,780:1400	$= \frac{0.1 * B8 - B4}{0.1 * B8 + B4}$

Tabela 1 Descrição dos índices de vegetação aplicados na identificação de três povoamentos de Paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby), no Município de Ulianópolis, Pará. Fonte: Henrich *et al.* (2012).

# Comportamento Espectral de Paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) em Plantios com Diferentes Idades

Fábio de Jesus Batista; Luciana Maria de Barros Francez; Elisiane Alba; Mateus Sabadi Schuh; José Augusto Spiazzi Favarin; Janderson de Oliveira Silva; Noé dos Santos Hofiço; Rudiney Soares Pereira & Elódio Sebem

vegetação nos três povoamentos, isto é, baixos valores na região do visível: azul (B2), verde (B3) e vermelho (B4); e altos valores na região do infravermelho próximo (B8) (Figura 2). Segundo Ponzoni *et al.* (2012), na região do visível um dossel apresenta valores de reflectância relativamente baixos, por causa da ação dos pigmentos fotossintetizantes

que absorvem a radiação eletromagnética para realização da fotossíntese, e na região do infravermelho próximo, os valores mostram-se elevados, por causa do espalhamento interno e múltiplo sofrido pela radiação devido à morfologia e disposição das folhas nos caules/fuste, respectivamente.

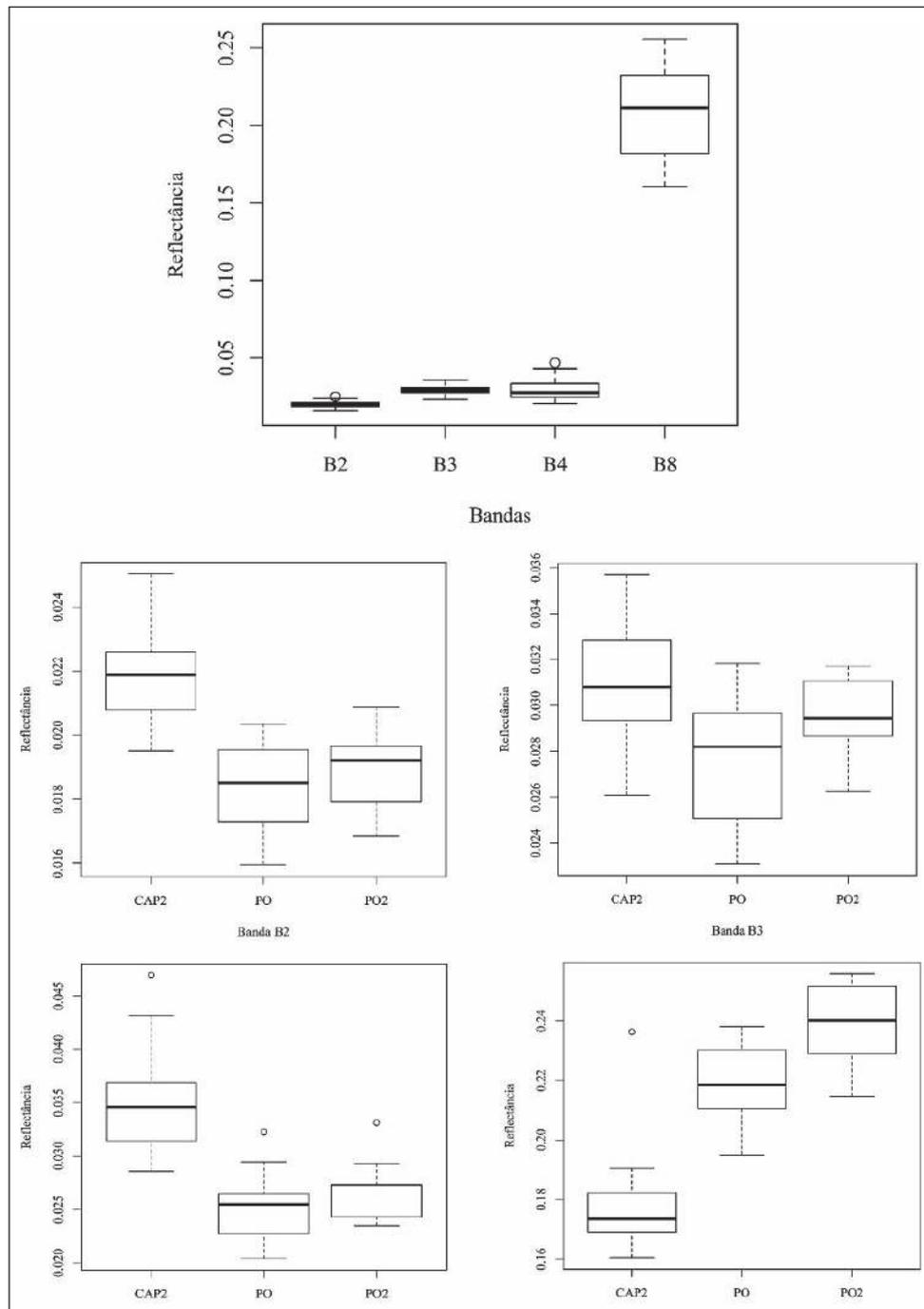


Figura 2 Comportamento espectral das bandas B2, B3, B4 e B8 do SENTINEL-2A, cena T22MHA, de 26/07/2016, de três povoamentos de Paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) no Município de Ulianópolis, Pará.

Foi possível observar que as bandas B2 e B3 apresentaram o comportamento espectral sem grandes variações entre os povoamentos, contudo, nas bandas B4 e B8 houveram diferenciações. Foram registradas a ocorrência de três *outliers* em B4 e um em B8. Optou-se por não extraí-los do estudo, pois uma análise prévia revelou não haver diferença entre os resultados com e sem os *outliers*.

Os dados, em geral, estavam normalmente distribuídos e apresentaram variâncias homogêneas (B2: F=0,0746 e p=0,9282; B3: F=2,3252 e p=0,1097; B4: F=2,3399 e p=0,1082; B8: F=0,0603 e p=0,9415), sustentando a escolha pelo método paramétrico de comparação das médias de reflectâncias. Todavia, o teste de *Shapiro-Wilk* indicou que os valores de reflectâncias em B8 para a CAP2 não seguiram a normalidade (Tabela 2). Neste caso, as comparações desses dados com todos os demais foram feitas pelo teste *U de Mann-Whitney*.

Talhões	Bandas Espectrais do Sensor SENTINEL-2A			
	B2	B3	B4	B8
PO2	W=0.9341 p=0.5211 <sup>ns</sup>	W= 0.9445 p=0.6294 <sup>ns</sup>	W=0.8826 p=0.1672 <sup>ns</sup>	W=0.9113 p=0.3235 <sup>ns</sup>
CAP2	W=0.9795 p=0.9527 <sup>ns</sup>	W=0.9822 p=0.9742 <sup>ns</sup>	W=0.9422 p=0.3454 <sup>ns</sup>	W=0.7385 p=0.0003 <sup>**</sup>
PO	W=0.94750 p=0.3055 <sup>ns</sup>	W=0.9421 p=0.2401 <sup>ns</sup>	W=0.9770 p=0.8768 <sup>ns</sup>	W=0.9361 p=0.1824 <sup>ns</sup>

Legenda: ns – não significativo; \* – significativo à 95% de probabilidade; \*\* – significativo à 99% de probabilidade.

Tabela 2 Resultado do teste de normalidade de *Shapiro-Wilk* aplicado aos valores de reflectância por banda, em plantios de Paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby), Ulianópolis-PA.

A análise de variância revelou que houve diferença entre pelo menos um par de médias de reflectância por banda (p<0,01), indicando comportamento espectral distinto. Vários pares de bandas apresentaram diferenças significativas, entretanto, algumas destas diferenças não estão necessariamente associadas ao comportamento biofísico ou idades dos povoamentos, mas sim as faixas de abrangência espectral das bandas (B2\_PO2 x B3\_CAP2, B2\_PO2 x B4\_CAP2, B2\_CAP2 x B4\_CAP2, B2\_PO x B3\_PO2; B2\_PO x B3\_CAP2; B2\_PO x B3\_PO; B2\_PO x B4\_CAP2; B4\_CAP2 x B4\_PO) (Tabela 3).

B2 x B3	B2_PO2	0.9990 <sup>ns</sup>	-	-	-	-
	B2_CAP2	1.0000 <sup>ns</sup>	0.9761 <sup>ns</sup>	-	-	-
	B3_PO2	0.1867 <sup>ns</sup>	0.4738 <sup>ns</sup>	0.0313*	-	-
	B3_CAP2	0.0188*	0.0552 <sup>ns</sup>	0.0002**	0.9999 <sup>ns</sup>	-
	B3_PO	0.2259 <sup>ns</sup>	0.5633 <sup>ns</sup>	0.0147*	0.9999 <sup>ns</sup>	0.9825 <sup>ns</sup>
B2 x B4	B2_PO2	0.9990 <sup>ns</sup>	-	-	-	-
	B2_CAP2	1.0000 <sup>ns</sup>	0.9761 <sup>ns</sup>	-	-	-
	B4_PO2	0.6455 <sup>ns</sup>	0.9475 <sup>ns</sup>	0.2908 <sup>ns</sup>	-	-
	B4_CAP2	0.0001**	0.0002**	0.0000**	0.3082 <sup>ns</sup>	-
	B4_PO	0.6926 <sup>ns</sup>	0.9773 <sup>ns</sup>	0.2013 <sup>ns</sup>	0.9999 <sup>ns</sup>	0.0109*
B2 x B8	B2_PO2	0.9990 <sup>ns</sup>	-	-	-	-
	B2_CAP2	1.0000 <sup>ns</sup>	0.9761 <sup>ns</sup>	-	-	-
	B8_PO2	0.0000**	0.0000**	0.0000**	-	-
	B8_CAP2 <sup>u</sup>	6.40e-7**	8.57e-10**	6.95e-11**	7.68e-6**	-
	B8_PO	0.0000**	0.0000**	0.0000**	0.0000**	1.45e-7**
B3 x B4	B3_PO2	0.9999 <sup>ns</sup>	-	-	-	-
	B3_CAP2	0.9999 <sup>ns</sup>	0.9825 <sup>ns</sup>	-	-	-
	B4_PO2	0.9998 <sup>ns</sup>	0.9827 <sup>ns</sup>	1.0000 <sup>ns</sup>	-	-
	B4_CAP2	0.8561 <sup>ns</sup>	0.9189 <sup>ns</sup>	0.1469 <sup>ns</sup>	0.3082 <sup>ns</sup>	-
	B4_PO	0.9755 <sup>ns</sup>	0.5947 <sup>ns</sup>	0.9987 <sup>ns</sup>	0.9999 <sup>ns</sup>	0.0109*
B3 x B8	B3_PO2	0.9999 <sup>ns</sup>	-	-	-	-
	B3_CAP2	0.9999 <sup>ns</sup>	0.9825 <sup>ns</sup>	-	-	-
	B8_PO2	0.0000**	0.0000**	0.0000**	-	-
	B8_CAP2 <sup>u</sup>	6.40e-7**	8.57e-10**	6.95e-11**	7.68e-6**	-
	B8_PO	0.0000**	0.0000**	0.0000**	0.0000**	1.45e-7**
B4 x B8	B4_PO2	0.3082 <sup>ns</sup>	-	-	-	-
	B4_CAP2	0.3082 <sup>ns</sup>	-	-	-	-
	B4_PO	0.9999 <sup>ns</sup>	0.0109*	-	-	-
	B8_PO2	0.0000**	0.0000**	0.0000**	-	-
	B8_CAP2 <sup>u</sup>	6.40e-7**	8.57e-10**	6.95e-11**	7.68e-6**	-
B8_PO	0.0000**	0.0000**	0.0000**	0.0000**	1.45e-7**	

Legenda: ns – não significativo; \* – significativo à 95% de probabilidade; \*\* – significativo à 99% de probabilidade; <sup>u</sup> – resultados obtidos pelo teste *U de Mann-Whitney*; PO2 – Faz. Pingo de Ouro 2, com plantio de Paricá com 42 meses de idade; CAP2 – Fazenda Capinzal 2, com plantio de Paricá com 57 meses; PO – Faz. Pingo de Ouro, com plantio de Paricá com 78 meses.

Tabela 3 Comparação das reflectâncias por bandas (B2, B3, B4 e B8), expressa em probabilidade, do sensor SENTINEL-2A em três povoamentos de Paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby), Ulianópolis-PA.

Todas as comparações relacionadas a banda B8, região do NIR, apresentaram diferenças, ou seja, as idades dos povoamentos provavelmente influenciaram na manifestação de um comportamento espectral distinto. As maiores reflectâncias no NIR foram observadas no talhão da PO2 (plantio com 48 meses de idade), seguido da PO (78 meses) e CAP2 (57 meses).

Liu (2006) descreveu que em vegetações esparsas, como é o caso dos plantios de Paricá em função das copas pouco densas, a reflectância do solo contribui com uma porção apreciável da reflectância. Outro fator que, provavelmente, esteja associando a maior ou menor influência do solo na reflectância das populações estudadas foi a taxa de sobrevivência das árvores. Geralmente, os plantios de Paricá mais jovens apresentam uma maior sobrevivência das árvores e vice-versa. Gomes *et al.* (2010), avaliando a taxa de sobrevivência de Paricá, 11 meses e 16 dias após o plantio, no enriquecimento de clareiras formadas pela exploração de florestas nativas na Fazenda Rio Capim em Paragominas-PA, constataram que a espécie apresentou 92% de sobrevivência. Isso pode explicar o fato do plantio pertencente à Faz. PO2 apresentar maiores valores de reflectâncias no infravermelho próximo.

O comportamento espectral da vegetação pode ser afetado pela arquitetura do dossel e pelo tipo de substrato (Novo, 2010). Outros fatores como um estresse qualquer, desencadeiam reações fisiológicas que também mudam o comportamento da planta em termos de aproveitamento da radiação solar (Moreira, 2011).

### 3.2 Índices de Vegetação

A maioria dos índices tiveram correlações positivas significativas (Figura 3).

Na Faz. PO2 os índices RI, IF, Norm R, CI, Norm G, I e H apresentaram correlações negativas com todos os demais. Um detalhe interessante foi registrado para o índice CVI que só teve correlação com os índices GRVI (+), CIgreen (+) e Norm G (-).

Em CAP2, os índices IF, RI, RGR, CI, Norm R, Norm G, H e I foram correlacionados negativa-

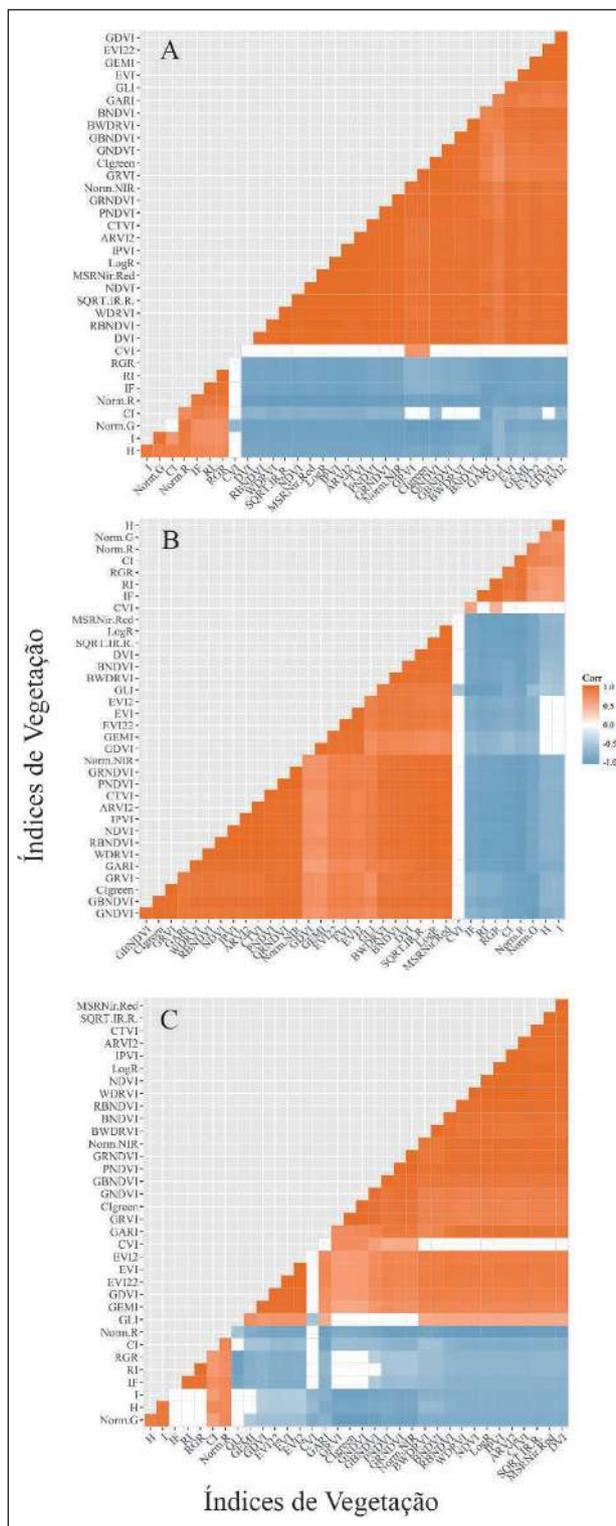


Figura 3 Correlograma de 35 índices de vegetação obtidos pela relação das bandas B2, B3, B4 e B8 do sensor SENTINEL-2A de povoamentos de Paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby), Ulianópolis-PA (A – PO2, B – CAP2 e C – PO).

mente com os demais índices. Similar ao registrado na Faz. PO2, o índice CVI teve correlação com três índices (GLI (-), IF (-) e RGR (-)).

Semelhante ao ocorrido nas Fazendas PO2 e CAP2, em PO os índices Norm R, CI, RGR, RI, IF, Norm G, H e I foram correlacionados negativamente com os demais índices. O índice CVI novamente demonstrou um padrão diferenciado dos demais, pois teve correlação positiva com sete índices (GRVI, CIgreen, GNDVI, GBNDVI, PNDVI, GRNDVI, e Norm NIR) e negativa com quatro (GLI, I, H e Norm G).

A alta correlação entre os índices resultou em um acúmulo da variância nas primeiras componentes principais (Tabela 4). Esse fato sugere que para avaliação do IV's basta a 1ª componente, pois a mesma contribui com 90,72%, 86,52% e 80,48% da variação dos dados em PO2, CAP2 e PO, respectivamente.

Componentes Principais	PO2	CAP2	PO
CP1	90.72	86.52	80.48
CP2	96.86	93.96	95.14
CP3	99.45	99.19	98.61
CP4	99.91	99.77	99.7
CP5	99.98	99.93	99.91
CP6	100.00	99.99	99.97
CP7	100.00	99.90	99.99
CP8	-	100.00	100.00
CP9	-	-	100.00

Tabela 4 Proporção da variação retida da análise de componentes principais aplicada em 35 índices de vegetação obtidos pela relação das bandas B2, B3, B4 e B8 do sensor SENTINEL-2 em povoamentos de Paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby), Ulianópolis-PA.

A análise gráfica da ACP corrobora com os resultados apresentados nos correlogramas da Figura 5. Com base na PC1 (eixo horizontal), a direita e a esquerda estão, respectivamente, os índices mais e menos representativos dos povoamentos (Figura 4).

A grande densidade de índices ao lado direito da PC1 dificulta a definição do(s) índice(s) mais representativo(s) dos povoamentos. Todavia, essa confirmação pode ser feita pela carga de cada índice em relação a 1ª componente principal (Tabela 5).

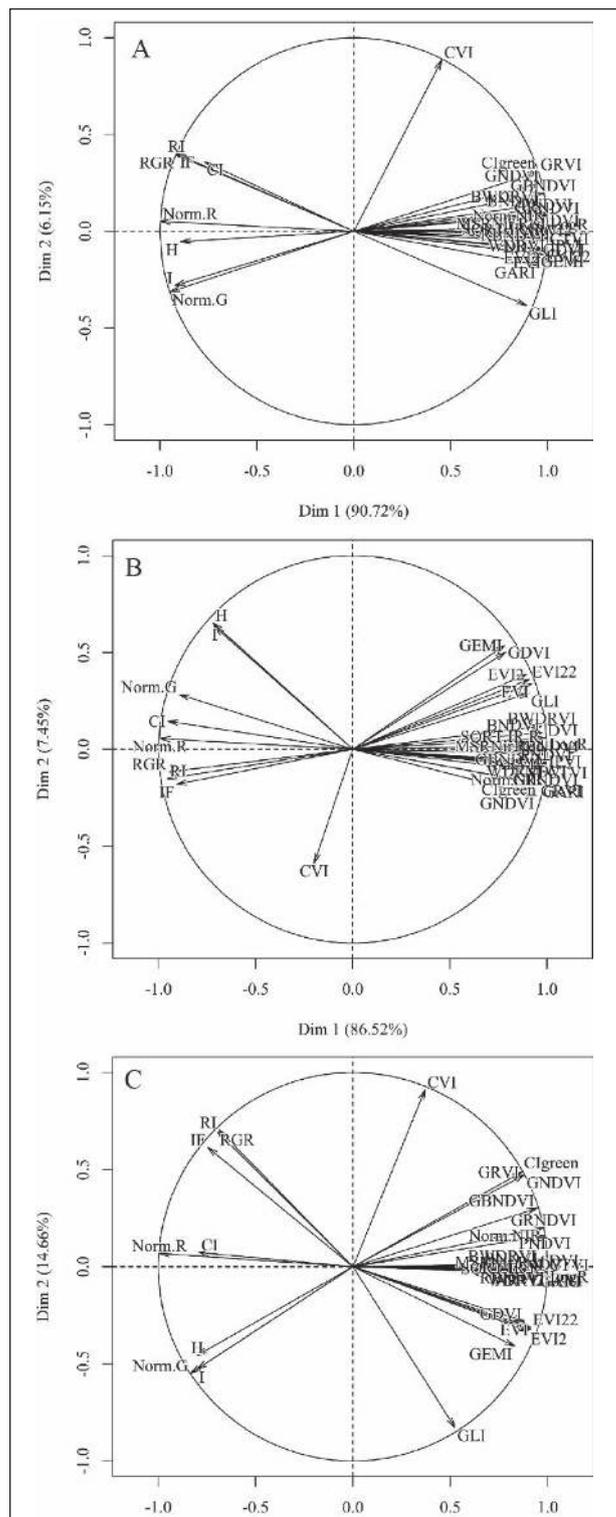


Figura 4 Mapa de fator de 35 índices de vegetação obtidos pela relação das bandas B2, B3, B4 e B8 do sensor SENTINEL-2A de povoamentos de Paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby), Ulianópolis-PA (A – PO2, B – CAP2 e C – PO).

**Comportamento Espectral de Paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) em Plantios com Diferentes Idades**

Fábio de Jesus Batista; Luciana Maria de Barros Francez; Elisiane Alba; Mateus Sabadi Schuh;  
José Augusto Spiazzi Favarin; Janderson de Oliveira Silva; Noé dos Santos Hófiço; Rudiney Soares Pereira & Elódio Sebem

N	IV	PO2		IV	CAP2		IV	PO	
		CP1	CP2		CP1	CP2		CP1	CP2
1	LogR	0,9997	-0,0121	LogR	0.9989	-0.0215	LogR	0.9980	-0.0200
2	MSRNir/Red	0,9990	0,0025	MSRNir/Red	0.9974	0.0179	IPVI	0.9973	-0.0272
3	SQRT(IR/R)	0,9990	0,0025	SQRT(IR/R)	0.9974	0.0179	ARVI2	0.9969	-0.0282
4	IPVI	0,9985	-0,0325	RBNNDVI	0.9974	-0.0238	NDVI	0.9969	-0.0282
5	ARVI2	0,9981	-0,0358	PNDVI	0.9962	-0.0689	WDRVI	0.9969	-0.0282
6	NDVI	0,9981	-0,0358	IPVI	0.9954	-0.0624	CTVI	0.9965	-0.0289
7	WDRVI	0,9981	-0,0358	ARVI2	0.9935	-0.0733	MSRNir/Red	0.9964	-0.0144
8	RBNNDVI	0,9980	0,0210	NDVI	0.9935	-0.0733	SQRT(IR/R)	0.9964	-0.0144
9	CTVI	0,9977	-0,0380	WDRVI	0.9935	-0.0733	RBNNDVI	0.9962	-0.0162
10	DVI	0,9971	0,0168	GRNDVI	0.9926	-0.1161	DVI	0.9930	-0.0085
11	GRNDVI	0,9958	0,0836	Norm NIR	0.9926	-0.1161	PNDVI	0.9852	0.1600
12	Norm NIR	0,9958	0,0836	CTVI	0.9919	-0.0809	GRNDVI	0.9793	0.2011
13	PNDVI	0,9947	0,0972	DVI	0.9912	0.0578	Norm NIR	0.9793	0.2011
14	EVI	0,9779	-0,1209	GBNDVI	0.9799	-0.0916	BNDVI	0.9608	0.0038
15	GBNDVI	0,9778	0,1972	BNDVI	0.9744	0.0856	BWDRVI	0.9544	0.0147
16	EVI22	0,9769	-0,0898	BWDRVI	0.9724	0.1196	GARI	0.9448	-0.0331
17	EVI2	0,9732	-0,0953	GARI	0.9675	-0.1786	GBNDVI	0.9444	0.3013
18	BNDVI	0,9726	0,1167	Clgreen	0.9547	-0.1747	EVI	0.9129	-0.3250
19	GNDVI	0,9676	0,2490	GRVI	0.9547	-0.1747	EVI22	0.9120	-0.3127
20	BWDRVI	0,9655	0,1401	GNDVI	0.9471	-0.2392	EVI2	0.8993	-0.3311
21	GDVI	0,9617	-0,0539	EVI	0.9209	0.3379	GDVI	0.8799	-0.2804
22	GEMI	0,9522	-0,1158	EVI22	0.9096	0.3613	GNDVI	0.8793	0.4734
23	Clgreen	0,9506	0,3075	GLI	0.9055	0.2894	Clgreen	0.8671	0.4877
24	GRVI	0,9506	0,3075	EVI2	0.8951	0.3874	GRVI	0.8671	0.4877
25	GARI	0,9492	-0,1735	GDVI	0.7859	0.5008	GEMI	0.8309	-0.4090
26	GLI	0,8899	-0,3835	GEMI	0.7821	0.5372	GLI	0.5242	-0.8290
27	CVI	0,4534	0,8854	CVI	-0.1989	-0.5878	CVI	0.3697	0.9106
28	CI	-0,7708	0,3598	I	-0.7108	0.6331	RI	-0.6876	0.7037
29	H	-0,8939	-0,0539	H	-0.7190	0.6522	RGR	-0.6965	0.6948
30	IF	-0,9111	0,3981	Norm G	-0.8934	0.2829	IF	-0.7450	0.6142
31	RI	-0,9146	0,4012	IF	-0.9067	-0.1812	CI	-0.7912	0.0734
32	RGR	-0,9166	0,3960	RGR	-0.9461	-0.1171	H	-0.7993	-0.4559
33	I	-0,9229	-0,2798	CI	-0.9514	0.1445	I	-0.8022	-0.5282
34	Norm G	-0,9487	-0,3132	RI	-0.9547	-0.1513	Norm G	-0.8335	-0.5478
35	Norm R	-0,9975	0,0519	Norm R	-0.9932	0.0549	Norm R	-0.9947	0.0687

Tabela 5 Correlação entre os 35 índices de vegetação e as componentes principais (CP) de variação em povoamentos de Paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby), Ulianópolis-PA.

Os três principais índices para os povoamentos das Fazendas PO2 e CAP2 foram LogR, MSRNir/Red e SQRT(IR/R). Os índices LogR, IPVI e ARVI2 foram os três principais índices explicativos do povoamento de Paricá aos 78 meses, Faz. PO. Os índices IPVI e ARVI2 ocuparam o 4º e 5º lugar na PO2 e o 6º e 7º lugar na CAP2. Os índices de ve-

getação MSRNir/Red e SQRT(IR/R), que nas Faz's PO2 e CAP2 ocuparam, em ambas, o 2º e 3º lugar, respectivamente, na Faz. PO ficaram na 8º (MSRNir/Red) e 9º (SQRT(IR/R)) colocação.

Todos os índices que apresentaram correlações positivas com a CP1 contêm a banda B8 em

suas formulações. Com exceção dos índices Norm G e Norm R, todos os demais que registraram correlações negativas com a CP1 não possuem a banda B8.

O único índice que simultaneamente teve a maior correlação com as três áreas de estudo foi o Relação Log (LogR). Este índice apresentou uma alta associação a espécie Paricá, pois não sofreu in-

terferência do sítio e nem do espaçamento utilizado nos plantios. Com relação à idade dos povoamentos, foi verificado que a correlação do índice LogR foi maior no plantio mais novo e menor no mais velho (PO2: 0,9997; CAP2: 0,9989; PO: 0,9980). Com algoritmo de simples aplicação ( $=\log(B8/B4)$ ), foi construído o mapa deste índice (Figura 5).

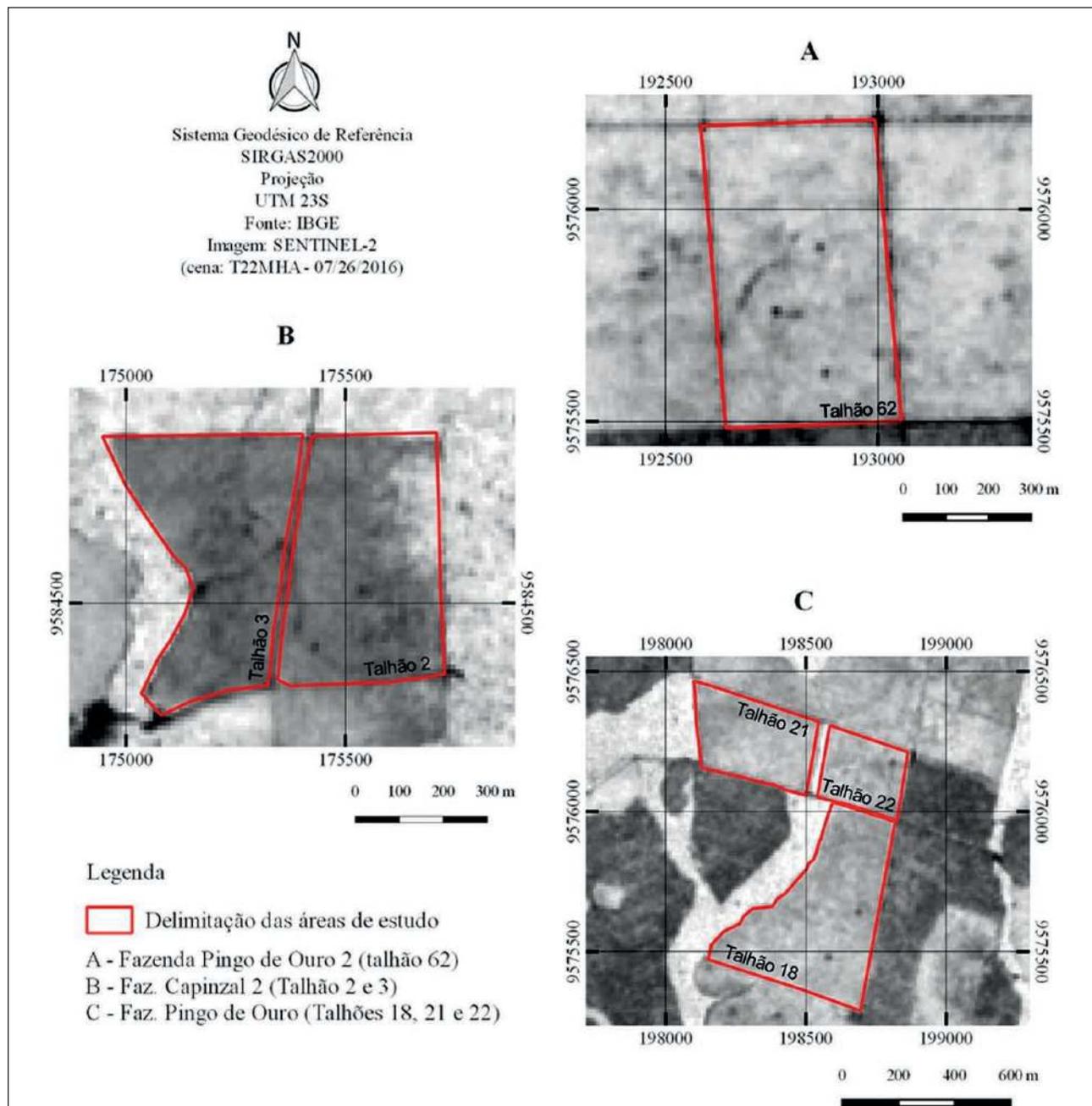


Figura 5 Mapa do índice de vegetação Relação Log (LogR) de três povoamentos de Paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby), com diferentes idades, no Município de Ulianópolis-PA.

## 4 Conclusão

Os povoamentos estudados apresentaram um comportamento espectral típico de vegetação, seguindo aos padrões citados na literatura;

Houveram diferenças, na região do infravermelho próximo, nas taxas de reflectância da espécie Paricá e este fato pode estar associado a diferença nas idades dos plantios. O plantio da Faz. Pingo de Ouro 2 (48 meses) teve as maiores reflectâncias, seguido da Faz. Pingo de Ouro (78 meses) e, por fim, da Faz. Capinzal 2 (57 meses);

O índice de vegetação que melhor se correlacionou com o Paricá, independentemente da idade, foi o Índice Relação Log (LogR);

Os índices IF, RI, RGR, CI, Norm R, Norm G, H, CVI e I não são recomendados ao estudo do Paricá.

## 5 Agradecimentos

À Fundação Amazônia Paraense de Amparo à Pesquisa (FAPESPA) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa.

## 6 Referências

Almeida, A.Q.; Ribeiro, A.; Delgado, R.C.; Rody, Y.P.; Oliveira, A.S. & Leite, F.P. 2015. Índice de área foliar de *Eucalyptus* estimado por índice de vegetação utilizando imagens TM-Landsat 5. *Floresta e Ambiente*, 22(3): 368-376.

Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Gonçalves, J.C.M. & Sparovek, G. 2012. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6): 711-728.

Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C. & Gonçalves, J. L.M. 2013. Modeling monthly mean air temperature for Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, 113(3-4): 407-427.

Berra, E.F.; Brandelero, C.; Pereira, R.S.; Sebem, E.; Goergen, L.C.G.; Benedetti, A.C.P. & Lippert, D.B. 2012. Estimativa do volume total de madeira em espécies de Eucalipto a partir de imagens de satélite Landsat. *Ciência Florestal*, 22(4): 853-864.

Chaves Junior, P. S. 1988. An improved Dark-Object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote sensing of environment*, 24: 459-479.

Drusch, M.; Del Bello, U.; Carlier, S.; Colin, O.; Fernandez, V.; Gascon, F.; Hoersch, B.; Isola, C.; Laberinti, P.; Martimort, P.; Meygret, A.; Spoto, F.; Sy, O.; Marchese, F. &

Bargellini, P. 2012. Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. *Remote Sensing of Environment*, 120: 25-36.

European Space Agency. 2015. Sentinel-2 user handbook. 1. ed. Paris: ESA. Disponível em: <[https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/document-library/-/asset\\_publisher/xslst4309D5h/content/sentinel-2-user-handbook](https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/document-library/-/asset_publisher/xslst4309D5h/content/sentinel-2-user-handbook)>. Acesso em: 15 de janeiro de 2018.

Ferreira, L.G.; Ferreira, N.C. & Ferreira, M.E. 2008. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução do estado-da-arte. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 30(4): 379-390.

Hoffmann, R.G.; Silva, G.F.; Chichorro, J.F.; Ferreira, R.L.C.; Vescovi, L.B. & Zaneti, L.Z. 2011. Caracterização dendrométrica de plantios de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) na região de Paragominas, PA. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 6(4): 675-684.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2016. Diretoria de pesquisas, Coordenação de população e indicadores sociais. Disponível em <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2016/estimativa\\_tcu.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2016/estimativa_tcu.shtm)>. Acesso em: 25 de janeiro de 2017.

Gomes, J.M.; Carvalho, J.O.P.; Silva, M.G.; Silva, M.G.; Nobre, D.N.V.; Taffarel, M.; Ferreira, J.E.R. & Santos, R.N.J. 2010. Sobrevivência de espécies arbóreas plantadas em clareiras causadas pela colheita de madeira em uma floresta de terra firme no município de Paragominas na Amazônia brasileira. *Acta Amazonica*, 40(1): 171-178.

Henrich, V.; Krauss, G.; Götze, C. & Sandow, C. 2012. Entwicklung einer Datenbank für Fernerkundungsindizes. Bochum: AK Fernerkundung. Disponível em: <<https://www.indexdatabase.de/>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2018.

Huete, A.; Miura, T.; Yoshioka, H.; Ratana, P. & Broich, M. 2014. Indices of vegetation activity. In: HANES, J. M. (ed.). *Biophysical applications of satellite remote sensing*. Springer, p. 1-41.

Lissner, J.B. & Guasselli, L.A. 2013. Variação do índice de vegetação por diferença normalizada na lagoa Itapeva, litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil, a partir de análise de séries temporais. *Sociedade & Natureza*, 25(2): 427-440.

Liu, W.T.H. 2006. *Aplicação de sensoriamento remoto*. Campo Grande, MS: UNIDERP.

Lobato, R.; Menezes, J.; Lima, L.A. & Sapienza, J.A. 2010. Índice de vegetação por diferença normalizada para análise da redução da Mata Atlântica na região costeira do distrito de Tamoios – Cabo Frio/RJ. *Caderno de Estudos Geambientais*, 1(1): 14-22.

Marques, L.C.T.; Yared, J.A.G. & Silviero, M. A. *A Evolução do Conhecimento sobre o Paricá para Reflorestamento no Estado do Pará*. Belém: EMBRAPA-CPATU. Junho, 2006. 5p. (EMBRAPA-CPATU. Comunicado Técnico, 158).

Moreira, M.A. 2011. *Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação*. 4 ed. Viçosa, MG: UFV. 422p.

Novo, E.M.L.M. 2010. *Sensoriamento remoto: princípios e aplicações*. 4 ed. São Paulo, SP: Blucher. 387p.

Pearson, K. 1901. On lines and planes of closest fit to systems of point in space. *Philosophical Magazine*, 2: 559-572.

Ponzoni, F.J., Shimabukuro, Y.E., & Kuplich, T.M. 2012. *Sensoriamento remoto da vegetação*. 2 ed. São Paulo, SP:

## Comportamento Espectral de Paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) em Plantios com Diferentes Idades

Fábio de Jesus Batista; Luciana Maria de Barros Francez; Elisiane Alba; Mateus Sabadi Schuh;

José Augusto Spiazzi Favarin; Janderson de Oliveira Silva; Noé dos Santos Hofiço; Rudiney Soares Pereira & Elódio Sebem

- Oficina de Textos. 160p.
- Reis, A.A.; Carvalho, M.C.; Mello, J.M.; Gomide, L.R.; Ferraz Filho, A. C. & Acerbi Junior, F.W. 2018. Spatial prediction of basal área and volume in *Eucalyptus* stands using Landsat TM data: na assessment of prediction methods. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 48(1): 01-17.
- R Core Team. 2017. R: *A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em 15 de dezembro de 2017.
- Secretaria de Estado de Turismo. 2013. *Inventário da oferta turística de Ulianópolis*. Belém: SETUR. 44p.
- Souza, C.C.; Moreira, A.A.; Schimith, R.S.; Brandão, P.C. & Silva, E. 2007 Técnicas de sensoriamento remoto como subsídio aos estudos de florestas implantadas no Brasil – Uma revisão bibliográfica. *Ciência Floresta*, Santa Maria, 17(4): 409-417.
- Tang, L. & Shao, G. 2015. Drone remote sensing for forestry research and practices. *Journal of Forestry Research*, 26(4): 791–797.
- Terezo, R.F. & Szücs, C.A. 2010. Análise de desempenho de vigas em madeira laminada colada de Paricá (*Schizolobium Amazonicum* Huber ex. Ducke). *Scientia Forestalis*, 38(87): 471-480.
- Tourne, D.C.M.; Martorano, L.; Brienza Junior, S.; Dias, C.T.S.; Lisboa, L.S.; Sartorio, S.D. & Verttorazzi, C.A. 2016. Potential topoclimatic zones as support for forest plantation in the Amazon: Advances and challenges to growing Paricá (*Schizolobium amazonicum*). *Environmental Development*, 18: 26-35.
- Vinici, L. 2005. *Análise multivariada da teoria à prática*. Monografia do autor (Especialização) – Universidade Federal de Santa Maria, 215p. Disponível em: <<http://w3.ufsm.br/adriano/livro/Caderno%20dedatico%20multivariada%20-%20LIVRO%20FINAL%201.pdf>>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2018.
- Watzlawick, F.L.; Kirchner, F.F. & Sanquetta, C.R. 2009. Estimativa de biomassa e carbono em floresta com Araucária utilizando imagens do satélite Ikonos II. *Ciência Florestal*, 19(2): 169-181.