



UFAM

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS DE ITACOATIARA - ICET



1

2

3

4

5

6

7 **Estimativa da taxa de desmatamento do município de Itacoatiara – Amazônia Legal,**

8 **utilizando séries temporais landsat-5/TM**

9

10

11 COSTA, Alan Lopes; ARRAES, Christiano Luna

12 Rua Nossa Senhora do Rosário, 3863, Tiradentes,

13 Campus Universitário de Itacoatiara. CEP: 69103-128

14 lopesalan.c@gmail.com

15

16

17

18

19 Itacoatiara-Amazonas

20

2015

21 **Estimativa da taxa de desmatamento do município de Itacoatiara – Amazônia Legal,**
22 **utilizando séries temporais landsat-5/TM**

23 **Resumo**

24 O objetivo desta pesquisa foi estimar as taxas de desmatamento anual e diária do
25 município de Itacoatiara- AM e comparar os resultados com a evasão das madeiras.
26 Para isso utilizou uma série temporal de 14 anos de imagens orbitais do satélite Landsat-
27 5/TM. Um mosaico composto por cenas do sensor OLI da plataforma Landsat-8, foi usado
28 como base para o registro das imagens Landsat-5/TM. Em buscando de uma melhor
29 distinção das classes de interesse, foi empregado o índice de vegetação NDVI, que tornou
30 possível gerar máscaras de solo exposto e vegetação mais fiéis aos eventos estudados. A
31 metodologia do PRODES (Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia
32 Legal por Satélite) foi utilizada para obtenção das taxas de desmatamento. Também foi
33 efetuada a conversão dos valores digitais (DN) da banda termal do sensor TM em valores
34 de Temperatura de Superfície Terrestre (TST), para posterior análise e comparações entre
35 as alterações no uso do solo e sua influência na TST. Os resultados mostraram que as
36 imagens NDVI, assim como as de TST corresponderão as expectativas, em ambas foram
37 identificadas relações significativas entre desmatamento e o aumento da temperatura
38 superficial. Dentro da mesma linha de pesquisa as taxas de desmatamento apresentaram
39 uma diminuição significativa, o que coincidiu com dados divulgados por órgãos oficiais,
40 isso permitiu concluirmos que esse resultado está diretamente ligado a atual situação do
41 setor madeireira na região.

42 **Palavras-chaves:** Desflorestamento, Madeiras, Geoprocessamento, NDVI, TST.

43

44

45

46 **Abstract**

47 The objective of this search it was to estimate the rates of the daily and annual
48 deforestation of the city Itacoatiara - AM (Brazil) and compare the results with the
49 evasion of the logging. For this used a times series of 14 years of orbital images of satellite
50 Landsat-5/tm. A mosaic compost for scenes of sensor oli of the plataform Landsat-8, was
51 used with base for the register of this images Lansat-5/ TM. In search of a better
52 distinction of class interest, it used the NDVI vegetation index, wich made it possible to
53 generate masks exposed soil and vegetation more faithful to the eventes studied. The
54 methodology of prodes (Project of Monitoring of Deforestation in the Amazon for
55 Satallite) was used for to obtain the deforestation rastes. It was made the conversion of
56 Digital Numbers (DN) of them band of tm sensor on Land Surface Temperature values
57 (LST) for further analysis and comparison between changes in land use its influence on
58 LST. The results showed that the NDVI images as well as LST correspond to expectations
59 in both significant relations were identified logging and increasing of the surface
60 temperature. Inside the same line of research deforestation rates showed a significant
61 decrease, which coincied with data published by official bodies, this has enable concluded
62 that this results is directly linked to the current situation of the timber industry in the
63 region.

64 **Keywords:** Deforestation, Timber, GIS, NDVI, LST.

65

66 **Introdução**

67 A floresta Amazônica abrange aproximadamente 7,9 milhões de quilômetros
68 quadrados distribuídos por nove países da América do Sul (Brasil, Bolívia, Peru,
69 Colômbia, Equador, Venezuela, Guiana, Suriname e Guiana Francesa). A Amazônia

70 Legal é a parte desse bioma que se encontra dentro do território Brasileiro, essa é uma
71 região administrativa composta por nove estados (Acre, Amapá, Amazonas, Mato
72 Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins, e parte do Maranhão) com
73 aproximadamente 5,02 milhões de quilômetros quadrados abrangendo 772 municípios
74 brasileiros o que corresponde cerca de 60% do território brasileiro (Kohlhepp, 2002).

75 O desmatamento expressivo na Amazônia Legal teve início na década de 70
76 (Tavares & Pereira, 2012) quando o Governo Federal passou a oferecer incentivos para
77 que brasileiros oriundos de outras regiões ocupassem as terras “vazias” da Amazônia
78 (Becker, 2001), o principal objetivo dessa ocupação era assegurar a soberania da região
79 vinculando com a economia (Valeriano et al., 2012). Nos últimos anos a Amazônia Legal
80 tem enfrentado um acelerado processo de desmatamento, as madeiras sobre tudo as
81 ilegais são um dos principais agentes responsáveis, uma vez que a extração da madeira é
82 o primeiro passo para o desmatamento, em muitos casos essa exploração é realizada de
83 forma intensiva e sem as práticas de manejo (Ferreira et al., 2015).

84 Diante dos fatos, tornou se indispensável que Governo Federal através de políticas
85 públicas, buscase desenvolver medidas que viabilizasse o controle e conseqüentemente
86 a desaceleração do desmatamento na Amazônia Legal (Fearnside, 2003). Para isso o
87 governo brasileiro solicitou ao INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) para
88 desenvolver e operar um sistema de monitoramento para calcular anualmente a taxa de
89 desmatamento para toda Amazônia Legal, através de imagens de satélite, surgindo assim
90 o projeto PRODES (Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por
91 Satélite) que passou a realizar e divulgar as estimativas da taxa de desmatamento
92 anualmente utilizando imagens do satélite LANDSAT (Camara et al., 2013; Brasil, 1977).

93 Rezende et al., (2013) utilizando imagens do sensor TM (Thematic Mapper) a bordo
94 da plataforma LANDSAT – 5, obteve a quantificação da área desmatada para o município
95 de Juiz de Fora, através da diferença entre as imagens NDVI, segundo autor o estudo
96 mostra que o uso do NDVI não permitem apenas mapear a vegetação, mas sim medir a
97 quantidade e a condição de uma determinada área. A importância de se usar a
98 geotecnologia como ferramenta para o desenvolvimento deste tipo de trabalho está
99 baseada nos resultados significativos obtidos na utilizando deste recurso para
100 identificação e mapeamento dos impactos da exploração madeireira (Costa & Franco,
101 2013).

102 Um dos problemas ao se trabalhar com essas técnicas é a dificuldade de se obter
103 imagens multitemporais sem cobertura de nuvens, principalmente para a Amazônia
104 (Latorre, 2007). Neste caso, o INPE recomenda selecionar imagens com a menor
105 cobertura de nuvens possível e dentro da estação seca. Por outro lado sua principal
106 vantagem está na precisão do georeferenciamento e na eficácia da classificação
107 supervisionada (Camara et al., 2013).

108 Desta forma o presente trabalho tem como objetivo estimar as taxas de
109 desmatamento do município de Itacoatiara-AM, utilizando séries temporais Landsat-
110 5/TM e comparar os resultados com a evasão das madeiras na série temporal entre os
111 anos de 1997 a 2011.

112

113 **Material e Métodos**

114 O estudo foi realizado no município de Itacoatiara, localizado a leste do Estado do
115 Amazonas. Segundo Köppen-Geiger a região enquadra se no clima equatorial húmido -
116 Af, caracterizado por apresentar elevada temperatura média do ar; entre 24° C e 27° C,

117 com média mensal sempre superior a 18° C e alta pluviosidade, superiores a 2000 mm de
118 precipitação total anual e precipitação média mensal superior a 60 mm para alguns meses
119 do ano. A vegetação do município é característica do bioma amazônico.

120 Para a realização da pesquisa foram adquiridas no site do INPE imagens orbitas do
121 satélite LANDSAT-5 sensor TM, cenas com orbitas e pontos 229/62 e 230/62 (Figura 1),
122 sendo utilizadas as bandas TM3 a qual varre a região de comprimento de onda do
123 vermelho (0,63 - 0,69 μm) e TM4 que varre a região do infravermelho próximo (0,76 -
124 0,90 μm), para os anos de 1997 a 2011. É importante ressaltar que para os anos de 1998,
125 2001, 2002, 2003 e 2010 não há imagens disponíveis ou sem cobertura de nuvens mínima
126 pré-definida.

127 A metodologia de interpretação de imagens consistiu das etapas:

128 1 - Seleção de cenas com o mínimo de cobertura de nuvens, e com data de aquisição a
129 mais próxima possível da estação seca, climatologicamente definida para a Amazônia,
130 que ocorre entre o dia Juliano 151 (31 de maio) e 242 (29 de agosto) (Arraes et al., 2010).

131 2 - Registros das imagens LANDSAT-5/TM, utilizando como base imagens Geocover
132 obtendo 0,5 de erro médio quadrático (RMS) (Rezende et al., 2013).

133 3 - Cálculo dos valores de NDVI proposto por Rouse et al. (1973). Para isso foi utilizado
134 a equação 1 proposta por Markham & Barker (1987) que converte número digital (ND)
135 em valores de radiância e na sequencia em valores de reflectância.

$$136 \quad L_{\lambda} = \left(\frac{L_{máx} - L_{mín}}{ND_{máx} - ND_{mín}} \right) \times (ND - ND_{mín}) + L_{mín} \quad (\text{Eq. 1})$$

137 Sendo:

138 L_{λ} = Radiância espectral monocromática em W/m².sr.μm;

139 ND = Número digital de cada pixel, no caso das imagens Landsat-5/TM podem variar de
 140 0 a 255, pois essas imagens apresentam resolução radimétrica de 8 bits e
 141 $L_{máx}$ e $L_{mín}$ = São constantes de calibração do sensor TM, os quais dependem do
 142 comprimento de onda, neste caso foram utilizadas as imagens que refletem no
 143 comprimento de onda do vermelho e infravermelho próximo.

144 Para o cálculo da reflectância monocromática foi utilizado a equação 2.

$$145 \quad \rho_{\lambda} = \left(\frac{\pi \times L_{\lambda}}{E_{\lambda} \times \cos(Z) \times d_r} \right) \quad (\text{Eq. 2})$$

146 Sendo:

147 ρ_{λ} = Reflectância monocromática;

148 d_r = inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol em unidades astronômicas, essa
 149 variável é dependente da data de aquisição da imagem;

150 E_{λ} = Irradiância solar média no topo da atmosfera em $\text{m.W/cm}^2 \cdot \Omega \cdot \mu\text{m}$;

151 L_{λ} = Radiância espectral monocromática em $\text{W/m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$, já calculada pela equação 1 e

152 Z = Ângulo solar zenital em graus, calculado a partir da equação 3.

$$153 \quad \text{sen}Z = \text{sen}\delta \times \text{sen}\phi + \cos\delta \times \cos\phi \times \cos\omega \quad (\text{Eq. 3})$$

154 Sendo:

155 ϕ = Latitude do centro da imagem.

$$156 \quad \delta = 23,45^{\circ} \times \text{sen}\left[360 \times (DJ - 80) / 360\right];$$

$$157 \quad \omega = \left[(12 - HSL) \times 15^{\circ}\right]$$

158 Em que:

159 HSL = Hora Solar Local e

160 DJ = Dia Juliano.

161 A Tabela 1 apresenta os parâmetros utilizados para calcular os valores da
162 reflectância monocromática, como por exemplo, data de aquisição das imagens,
163 constantes de calibração do sensor TM, inverso do quadrado da distância relativa Terra-
164 Sol, irradiância solar média no topo da atmosfera e hora solar local.

165 Após a determinação dos valores físicos das imagens Landsat-5/TM para as bandas
166 do comprimento de onda do vermelho e infravermelho próximo calculou os valores de
167 NDVI para toda a série histórica, esses valores são contidos em uma escala que varia entre
168 -1 e 1. Para isso utilizou-se a equação 4, proposta por Rouse et al. (1973).

$$169 \quad NDVI = \left(\frac{\rho_{IVP} - \rho_V}{\rho_{IVP} + \rho_V} \right) \quad (\text{Eq. 4})$$

170 Sendo:

171 ρ_V = Valor da reflectância na faixa do vermelho (Banda 3 do sensor TM) e

172 ρ_{IVP} = Valor da reflectância na faixa do infravermelho próximo (Banda 4 do sensor TM).

173 4 - Classificação das imagens NDVI utilizando para isso perfis temporais. As imagens
174 foram ordenadas cronologicamente o que permitiu traçar o comportamento dos valores
175 de NDVI para o uso do solo com vegetação densa, pois quanto mais densa a vegetação
176 maior será a reflectância no comprimento de onda do infravermelho próximo, o que eleva
177 os valores de NDVI próximos a um, permitindo assim gerar as máscaras de solo exposto
178 e vegetação. Sendo comprovado com o histórico da área e visitas a campo.

179 Para efetuar o cálculo da taxa anual de desmatamento (TA), de um ano para o ano
180 subsequente, foi efetuado a diferença entre as máscaras de desmatamento calculadas para
181 cada ano, utilizando a equação 5 (Camara & Medeiros, 2003).

$$182 \quad TA = \sum_A Def - \sum_{A-1} Def \quad (\text{Eq.5})$$

183 Sendo:

184 TA = Taxa Anual

185 Def = Desmatamento

186 A = Ano

187 Para o cálculo da taxa diária (TD), dividiu-se a taxa anual de desmatamento (TA)
188 pelo número de dias da estação seca (Camara & Medeiros, 2003) equação 6.

$$189 \quad TD = \frac{TA}{\sum \text{Dias secos}} \quad (\text{Eq.6})$$

190 A quantidade de dias correspondentes à estação seca para a Amazônia é de 91 dias;
191 começando no dia Juliano 151 (31/maio) estendendo se até o dia Juliano 242 (29/agosto).

192 As imagens referentes à banda do infravermelho termal (10,4 – 12,5 μm) com
193 resolução espacial de 120m também foram convertidas para valores de Temperatura de
194 Superfície Terrestre (TST), permitindo comparar com os valores de NDVI calculados
195 para os mesmos usos do solo (área desmatada e áreas vegetadas). A obtenção da TST
196 consiste na conversão dos valores digitais da banda termal em valores de temperatura
197 superficial.

198 Para isso utilizou se o software IDRISI Andes 15.0, o qual emprega o método da
199 lei de Plank invertida (Nascimento & Oliveira, 2012), e que é validada para corpos negros.
200 Como cada pixel da imagem não se comporta como um corpo negro há a necessidade de
201 calcular a emissividade de cada pixel da área imageada pelo canal termal. No entanto, há
202 de ser considerada a emissividade no domínio da banda larga (ϵ_0) (5-100 μm) e a
203 emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda imageada pelo canal termal
204 (ϵ_{NB}). Segundo Allen et al. (2002) as emissividades ϵ_{NB} e ϵ_0 podem ser obtidas, para
205 $NDVI > 0$ e $IAF < 3$, utilizando as equações 7 e 8.

$$206 \quad \epsilon_{NB} = 0,97 + 0,00331 \times IAF \quad (\text{Eq.7})$$

207 $\varepsilon_0 = 0,95 + 0,01 \times IAF$ (Eq.8)

208 Sendo:

209 IAF = Índice de área Foliar;

210 Segundo Rodrigues et al. (2009) e Zanchi et al. (2009) o Índice de Área Foliar (IAF)
211 é definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada
212 por essa vegetação, o que indica a biomassa presente em cada pixel da imagem, podendo
213 ser calculado pela equação 9.

214
$$IAF = -\frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91}$$
 (Eq.9)

215 Sendo:

216 SAVI = Índice de Vegetação Ajustado.

217 Segundo Silva & Galvêncio (2012) o Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos
218 do Solo (Soil Adjusted Vegetation Index – SAVI) tem a função de amenizar os efeitos de
219 contraste do solo sobre a vegetação, e pode ser calculado pela equação 10.

220
$$SAVI = \frac{1,25 \times (\rho_{IVP} - \rho_V)}{0,25 + \rho_{IVP} + \rho_V}$$
 (Eq.10)

221 Sendo:

222 ρ_V = Valor da reflectância na faixa do vermelho e

223 ρ_{IVP} = Valor da reflectância na faixa do infravermelho próximo. Ambos os valores de
224 reflectância já foram calculados anteriormente conforme equação 2.

225 Vale ressaltar que para obtermos os valores de TST através da função (Módulo
226 THERMAL) existente no IDRISI Andes 15.0, foi necessário realizar a reamostragem dos
227 pixels das imagens da banda termal do sensor TM, de 120m para 30m, também e

228 indispensável utilizar a imagem bruta (em valores de DN) e a emissividade ϵ_{NB}
229 previamente calculada (Nascimento & Oliveira, 2012).

230

231 **Resultados e Discussão**

232 A metodologia aplicada no cálculo da taxa de desmatamento baseia em alguns pré-
233 requisitos. O primeiro é que, as imagens utilizadas sejam de satélites da categoria recursos
234 naturais, vale ressaltar que não necessariamente precisa ser da classe Landsat. Outro, é
235 que o desmatamento ocorre apenas dentro da estação seca, assim, cada imagem da área
236 de estudo deve estar com a data a mais próxima possível de uma data de referência já pré-
237 definida.

238 Nas imagens a serem analisadas, pode haver áreas não observadas, devido ao
239 problema de cobertura de nuvens. Em casos de imagens com alta cobertura de nuvem,
240 pode se utilizar imagens de datas diferentes porém o mais próximo possível da data de
241 referência (Brasil, 2013). No presente trabalho houve dificuldades em obter imagens com
242 cobertura mínima de nuvens, isso se tornou um grande obstáculo devido à falta de
243 visibilidade em áreas com grande concentração de nuvens, o que dificulta a seleção das
244 amostras de treinamento para caracterização das classes solo exposto e vegetação.

245 Inicialmente seria utilizado o método de classificação Máxima Verossimilhança
246 (Maxver), pelo fato desta ser o método mais aplicado na classificação de imagens orbitais
247 (Sulsoft, 2015). Porém em imagens com acentuada presença de nuvens os valores dos
248 pixels próximos as “bordas” das nuvens são classificados como solo expostos. Tal fato
249 interferiu significativamente nos valores das taxas de desmatamento.

250 Buscando uma alternativa que permitisse obter uma classificação mais aceitável,
251 partiu para a utilização do índice vegetativo NDVI, que segundo Matter, 1987 com o uso

252 NDVI as imagens sofrem uma menor influência das variações e condições atmosféricas,
253 isso é de grande valia, principalmente quando se trabalha com cenas de orbitas diferentes
254 e comparando dados de épocas distintas, como é o caso do presente trabalho.

255 Esse fato pode ser verificado na qualidade da classificação (Figura 2), onde
256 observamos que na Figura 2C classificada pelo método Maxver, a borda das nuvens estão
257 associado à classe solo exposto caracterizado pela cor vermelha, o que não é possível,
258 pois as nuvens estão sobre o rio Amazonas e nesta região não existem bancos de areia no
259 leito do rio, o que poderia ser uma justificativa. A Figura 2B representa a imagem NDVI,
260 em que o classificador conseguiu distinguir a classe solo exposto das nuvens, isso foi
261 possível através da diferença dos valores de NDVI, previamente calculados, e que é
262 característico de cada fenômeno interpretado na imagem.

263 A Figura 3 representa os mapas classificados com base no valores de NDVI,
264 previamente calculados para todos os anos da série histórica. Observasse que nos anos de
265 1997, 2005 e 2007 a classe solo exposto é significativamente influenciada pela elevada
266 presença de nuvens confirmado pela Tabela 2.

267 É importante destacar que para calcularmos das taxas de desmatamento para os anos
268 1999, 2004 e 2011, adaptamos a formula da taxa de desmatamento anual para

269 $TA = \sum_A Def - \sum_{A-n} Def$, onde (n) é a variável correspondente ao número de anos

270 subsequentes ao ano utilizado, isso foi necessário devido a não disponibilidade de
271 imagens para os anos de 1998, 2001, 2002, 2003 e 2010. Com base nos valores das taxas
272 de desmatamento da Tabela 3, observa-se uma oscilação entre taxas negativas e positivas
273 de desmatamento, quando temos uma taxa com valor negativo, significa dizer, que
274 possivelmente ouve regeneração da vegetação na área analisada (Souza et al., 2002),

275 porém essa regeneração da área desmatada não é imaginável em um curto intervalo de
276 tempo (Chazdon, 2012) o que torna as taxas de 2006, 2008 questionáveis.

277 Dos valores positivos, ou seja, das taxas onde realmente houve desmatamento
278 podemos visualizar que os anos de 2009 e 2011, apresentam taxas de desmatamento
279 relativamente baixas, se comparar com as taxas dos anos anteriores, essa tendência de
280 diminuição no processo de desmatamento é corroborada não apenas pelas baixas taxas de
281 desmatamento do presente estudo mais também com os dados divulgados pelo PRODES,
282 que estimou as taxas anuais e diárias de 2004 a 2014, os resultados mostraram que os
283 anos de 2009 e 2010 são respectivamente o primeiro e terceiro ano com as taxas mais
284 baixadas dos últimos 11 anos (Brasil, 2014).

285 Diante disso, buscou obter uma melhor visualização da evolução do desmatamento
286 na área de estudo. Para tal, calculamos a taxa de desmatamento utilizando duas cenas que
287 possuem 0% de cobertura de nuvens, para os anos de 2004 e 2008, como resultado para
288 esse intervalo de 4 anos, obteve-se uma taxa de $-12,89 \text{ Km}^2$ para cada ano e uma taxa
289 diária de $-0,04 \text{ Km}^2$, também selecionamos três áreas onde ocorreram desmatamentos e
290 três onde houve regeneração da vegetação (Figura 4), gerando assim a evolução temporal
291 do desmatamento em contraste com o reflorestamento (Figura 5), o que mostra a
292 interferência das nuvens nos resultados, principalmente nos anos com maior incidência
293 de nuvens, verificando uma certa oscilação nas curvas.

294 Apesar desta interferência os resultados representam corretamente os fenômenos
295 analisados, de acordo com a Figura 4 que representa a área 2 do desmatamento, a
296 transformação na cobertura do solo nessa área ocorreu entre os anos de 2009 a 2011, o
297 que está correto, pois nesta área o desmatado ocorreu em 2010 para construção de um
298 conjunto habitacional. Os gráficos também mostram uma queda mais acentuada dos

299 valores de NDVI nas áreas desmatadas, já quando comparado as área de reflorestamento
300 esses valores crescem lentamente o que segundo Anderson et al., (2005) é característicos
301 desses fenômenos.

302 Para efeito de comparação com os resultados da evolução do desmatamento (Figura
303 5), geramos os valores de TST adquiridos através do processamento digital da banda
304 termal do sensor TM, para correlacionar o desmatamento com o aumento da temperatura
305 de superfície, nos mesmo locais de estudo (Figura 6). Observa-se assim uma correlação
306 direta concordando com os resultados encontrados por Pires & Ferreira (2014) os quais
307 monitoraram as alterações climáticas por meio de dados de sensores termais que captam
308 a temperatura na superfície terrestre, obtendo resultados que mostram uma correlação
309 entre a presença de cobertura vegetal e a variação da TST.

310 De acordo com os esses resultados as alterações no uso e ocupação do solo
311 ocasionam modificações no clima, ou seja, quanto maior a presença da vegetação menor
312 tendem a ser as temperaturas superficiais. É importante destacar que as nuvens novamente
313 tem influência nas oscilações das curvas, os valores extremamente baixos de temperatura
314 no ano 2000 estão relacionados a grande presença de nuvens nas áreas de estudo.

315 Após análise das imagens classificadas, verificou se que as taxas de desmatamento
316 para o período estudado sofreram uma diminuição, isso se deve a descaracterização do
317 município como principal polo madeireiro do estado, em Itacoatiara atuam três grandes
318 segmentos da indústria madeireira, que são: a indústria de serraria, de laminados e de
319 compensados. Porem nos últimos anos as atividades madeireira vem perdendo força,
320 segundo Campos (2013) o declínio do setor madeireiro no município teve início na década
321 de 90, com o fechamento de quatro das cinco madeireiras de grande porte que atuavam
322 no município, já a indústria de móveis hoje trabalha apenas sob encomenda. Esse

323 enfraquecimento no setor madeireiro é apontado como possível fator de diminuição das
324 taxas de desmatamento do município de Itacoatiara.

325

326 **Conclusão**

327 As imagens NDVI em comparação com as imagens “brutas” apresentaram maior
328 potencial na classificação das áreas, solo exposto e vegetação, por não classificar grande
329 quantidade de nuvens. As imagens de TST confirmarão que as áreas desmatadas
330 apresentam maiores temperaturas, quando comparada com as áreas vegetadas. Ajudando
331 assim na classificação do desmatamento.

332 A metodologia desenvolvida pelo INPE para o cálculo da taxa diária e anual do
333 desmatamento mostrou ser uma ferramenta eficiente e de uso simples, características que
334 foram fundamentais para obtenção das taxas de desmatamento anual e diária do
335 município, na série temporal de 1997 a 2011.

336 O desmatamento ocorrido no ano de 2007 foi o maior da série histórica seguidos
337 pelos anos de 2005, 2000, 2011 e 2009, no entanto esse valor foi influenciado pela
338 cobertura de nuvens. A falta de imagem livre de nuvens tem sido o principal empecilho
339 da classificação do desmatamento, principalmente na Amazônia Legal.

340 O problema do desmatamento na Amazônia é bastante complexo e por isso não
341 pode ser atribuído a um único agente, na realidade, ele é a soma de um conjunto de agentes
342 e fatores que como consequência resulta neste fenômeno. Porém, são inegáveis que a
343 exploração madeireira juntamente com agropecuária são os principais agentes do
344 desmatamento nos municípios da Amazônia legal.

345

346 **Agradecimentos:**

347 Gostaria de oferecer meus sinceros votos de agradecimento a todos àqueles que
348 direto ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, em especial
349 agradeço ao Prof. Dr. Christiano Luna Arraes, pelo apoio, incentivo, compreensão e
350 principalmente pela confiança em mim depositada.

351 Meus sinceros agradecimentos à FAPEAM pelo suporte financeiro durante a
352 realização deste trabalho.

353

354 **Bibliografia**

355 ALLEN, R. G., TASUMI, M. AND TREZZA, R. SEBAL. 2002. (Surface Energy Balance
356 Algorithms for Land) **Advanced Training and Users Manual** – Idaho Implementation.1: 97
357 (http://www.usask.ca/watershed/pdf/Aberdeen_lab_readings_2015/sebal_Manual_2000.pdf).
358 Acesso em 22/06/2015.

359 ANDERSON et al. 2005 Detecção de cicatrizes de áreas queimadas baseada no modelo linear de
360 mistura espectral e imagens índice de vegetação utilizando dados multitemporais do sensor
361 MODIS/TERRA no estado do Mato Grosso, Amazônia brasileira. *ACTA AMAZONICA*, 35 (4):
362 445-456

363 ARRAES et al. 2010. Estimativa da taxa de desmatamento de desmatamento do município de
364 Bannach, Para Amazônia Legal, utilizando imagens landsat T5/TM. *Revista de ciências agrárias*.
365 5 (3):231-243

366 BECKER, K. Bertha. 2001. Revisão das políticas de ocupação da Amazônia: é possível identificar
367 modelos para projetar cenários. *Parcerias Estratégicas*. (12):135-159

368 BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Panamazônia: O domínio da floresta
369 amazônica na américa do sul. São José dos Campos: INPE, 2002. ([http://mtc-
370 m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.12.42/doc/CAP3A_PRMartini.pdf](http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.12.42/doc/CAP3A_PRMartini.pdf)). Acesso
371 em 15/01/ 2015.

372 BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. PRODES 2014: Divulgação da taxa
373 *estimada* de desmatamento da Amazônia Legal para período 2013 – 2014, INPE, 2013.
374 (http://www.obt.inpe.br/prodes/Prodes_Taxa2014_estimativa.pdf). Acesso em 15/07 /2015.

375 BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Taxas anuais do desmatamento - 1988**
376 **até 2014**. [S.l]: INPE, 2014. (http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2014.htm). Acesso em
377 20/07/ 2015.

378 BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Uso de Dados do Landsat no**
379 **estudo do Impacto da Implantação de Projetos Agropecuários da Amazônia.** [S.l]: IBGE,
380 1977. Disponível em (<http://www.obt.inpe.br/prodes/Tardin%20et%20al%201977.pdf>). Acesso
381 em 16/07/ 2015.

382 CÂMARA et al. 2006. Metodologia para o cálculo da taxa anual de desmatamento na Amazônia
383 Legal. São José dos Campos, INPE (online). (<http://www.obt.inpe.br/prodes/metodologia.pdf>).
384 Acesso em 17/01/ 2014.

385 CAMARA G. et al. 2013. Metodologia para o cálculo da taxa anual de desmatamento na
386 Amazônia Legal. INPE, São Jose dos Campos, [s.n].

387 CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. DE S. 2003. Princípios Básicos em Geoprocessamento. In: Assad,
388 E.D., Sano, E E. Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura. 2ª. ed. Brasília,
389 Embrapa–SPI; Embrapa–CPAC:3-11.

390 CAMPOS, F. D. **Percepções ambientais sobre a madeira: usos e significados no polo**
391 **madeireiro de Itacoatiara-AM.** 2013. 127 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente e
392 Sustentabilidade na Amazônia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2013.

393 CHAZDON, Robin. 2012 Regeneração de florestas tropicais. *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi.*
394 *Cienc. Nat.* 7 (3)195-218.

395 COSTA, S. Anderson; FRANCO, M. Irving. 2013. Potencial das Imagens Rapid Eyes Para
396 Estudos Ambientais. *Revista de Ciências da Amazônia.* 1 (2): 9-17
397

398 FEARNSIDE, P.M. 2003. Desenvolvimento sustentável e serviços ambientais na Amazônia. 27º
399 Encontro Anual da ANPOCS 2003. Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em
400 Ciências Sociais (ANPOCS), São Paulo-SP. CD-ROM.

401 FERREIRA et al. 2015. Imagens Orbitais na Análise da Degradação Florestal e Qualidade do
402 Manejo em Área de Exploração no Município de Paragominas-PA. *ENCICLOPÉDIA*
403 *BIOSFERA, Centro Científico Conhecer.* 11 (21): 3151-3165

404 KOHLHEPP, Gerd. 2002. Conflitos de interesse no ordenamento territorial da Amazônia
405 brasileira. *Estudos Avançados,* 16 (45): 37-61

406 LATORRE et al. 2007. Integração de Dados de Sensoriamento Remoto Multi Resoluções Para a
407 Representação da Cobertura da Terra Utilizando Campos Contínuos de Vegetação e Classificação
408 por Árvores de Decisão. *Revista Brasileira de Geofísica.* 1 (25): 63-74

409 MARKHAM, B.L.; BARKER, J.L. 1978. Radiometric Properties of U.S. processes Landsat MSS
410 data. *Remote Sensing of Environment.* 17: 39-71

411 NASCIMENTO, T. F. Diego; OLIVEIRA, J. Ivanilton. 2012. Fundamentos Teóricos e Roteiro
412 Metodológico Para a Obtenção de Dados Orbitais de Temperatura de Superfície Aplicáveis no
413 Estudo de Ilhas de Calor. *REVISTA GEONORTE.* 2 (5): 1339 – 1351

414 PIRES, E.; FERREIRA, M. Monitoramento da temperatura de superfície em áreas urbanas
415 utilizando geotecnologias. In: Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto
416 - GEONORDESTE, 2014, Aracaju . **Anais...** Brasil, 2014.

417 REZENDE et al. Identificação do desmatamento através da análise comparativa do Normalized
418 Difference. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2013, Foz do Iguaçu
419 - PR. **Anais...** Foz do Iguaçu – PR: INPE, 2013.

420 REZENDE et al. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO, 16., Foz do Iguaçu-PR.
421 **Identificação do desmatamento através da análise comparativa do Normalized Difference**
422 **Vegetation Index (NDVI) e Ratio Vegetation Index (RVI) no município de Juiz de Fora-**
423 **MG.** Foz do Iguaçu-PR, 2013.

424 RODRIGUES et al. 2009. Sazonalidade de Variáveis Biofísicas em Regiões Semiáridas Pelo
425 Emprego do Sensoriamento Remoto. *Eng. Agrícola*.29 (3): 452-465

426 ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. 1973. Monitoring vegetation
427 systems in the great plains with ERTS. In: *EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1*
428 *SYMPOSIUM*, 3., 1973, Washington. **Proceedings...** Washington, D. C.: NASA, Goddard Space
429 Flight Center. 1: 309- 317.

430 SILVA, L. G.; GALVINCIO, J. D. Josiclêda. 2012. Análise Comparativa da Variação nos Índices
431 NDVI e SAVI no Sítio PELD – 22, em Petrolina – PE, na Primeira Década do Século XXI. *Revista*
432 *Brasileira de Geografia Física*. 06 :1446-1456

433 SOUZA et al. 2002 Dinâmica da regeneração natural em uma floresta ombrófila densa
434 secundária, após corte de cipós, Reserva natural da companhia Vale do Rio Doce S.A. *Revista*
435 *Árvore*. 26 (4): 411-419

436 MATTER et al., 1987 **Guia do ENVI em Português.**
437 (<http://www.envi.com.br/index.php/downloads>). Acesso em 25/ 07/ 2015.

438 SULSOFT. **Guia do ENVI em Português.** (<http://www.envi.com.br/index.php/downloads>).
439 Acesso em 23/ 01/ 2015.

440 TAVARES, A.; PEREIRA, J. ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, 6, 2012, Belém. **Análise**
441 **do Desflorestamento ao Longo da Rodovia Cuiabá- Santarém (BR-163).** Belém-PA, 2012.

442 VALERIANO et al. 2012. Dimensões do Desmatamento na Amazônia Brasileira. [s.n.]: 223-238

443 ZANCHI et al. 2009. Estimativa do Índice de Área Foliar (IAF) e Biomassa em pastagem no
444 estado de Rondônia, Brasil. *ACTA AMAZONICA*. 39 (2): 335-348

445

446

447

448

449 **Tabelas**

450 Tabela 1. Parâmetros utilizados para calcular os valores da reflectância monocromática
 451 para as bandas 3 e 4 do sensor TM nos anos avaliadas.

Parâmetros	01/08/1997		13/10/1997		08/09/1999		15/07/1999	
	B3	B4	B3	B4	B3	B4	B3	B4
Cos(z)	0,862	0,862	0,485	0,485	0,477	0,477	0,430	0,430
dr	1,015	1,015	0,998	0,998	1,007	1,007	1,017	1,017
α	59,60	59,60	29,04	29,04	28,49	28,49	25,46	25,46
δ	17,65	17,65	-9,22	-9,22	4,61	4,61	21,35	21,35
J	213	213	286	286	251	251	196	196
Parâmetros	25/08/2000		18/08/2000		20/08/2004		12/07/2004	
	B3	B4	B3	B4	B3	B4	B3	B4
Cos(z)	0,467	0,467	0,461	0,461	0,463	0,463	0,429	0,429
dr	1,011	1,011	1,012	1,012	1,012	1,012	1,017	1,017
α	27,847	27,847	27,437	27,437	27,557	27,557	25,382	25,382
δ	9,59	9,59	12,1	12,1	11,4	11,4	21,67	21,67
J	238	238	231	231	233	233	194	194
Parâmetros	07/08/2005		01/09/2005		10/08/2006		03/08/2006	
	B3	B4	B3	B4	B3	B4	B3	B4
Cos(z)	0,449	0,449	0,475	0,475	0,452	0,452	0,446	0,446
dr	1,014	1,014	1,009	1,009	1,014	1,014	1,015	1,015
α	26,700	26,700	28,362	28,362	26,885	26,885	26,458	26,458
δ	15,96	15,96	-18,67		15,05	15,05	17,1	17,1
J	219	219	244	244	222	222	215	215
Parâmetros	03/09/2007		23/09/2007		14/07/2008		14/07/2008	
	B3	B4	B3	B4	B3	B4	B3	B4
Cos(z)	0,992	0,992	0,010	0,010	0,430	0,430	0,430	0,430
dr	1,009	1,009	1,003	1,003	1,017	1,017	1,017	1,017
α	82,845	82,845	0,560	0,560	25,462	25,462	25,462	25,462
δ	6,57	6,57	-1,41	-1,41	21,35	21,35	21,35	21,35
J	246	246	266	266	196	196	196	196
Parâmetros	02/08/2009		28/09/2009		08/08/2011		17/08/2011	
	B3	B4	B3	B4	B3	B4	B3	B4
Cos(z)	0,445	0,445	0,485	0,485	0,450	0,450	0,459	0,459
dr	1,015	1,015	1,002	1,002	1,014	1,014	1,012	1,012
α	26,397	26,397	29,036	29,036	26,762	26,762	27,317	27,317
δ	17,38	17,38	-3,41	-3,41	15,66	15,66	12,78	12,78
J	214	214	271	271	220	220	229	229

452 Cos(z) – Cosseno do ângulo Zenital; dr – Distancia Terra Sol; α – Ângulo de elevação
 453 solar; δ – Declinação solar em graus; J – Dia Juliano.

454

455 Tabela 2. Concentração de nuvens para as orbitas ponto 229/62 e orbita ponto 230/62
 456 por quadrante da imagem.

ANO	CENA	Q1	Q2	Q3	Q4
1997	229/62	10%	10%	10%	10%
	230/62	SI	SI	SI	SI
1999	229/62	10%	20%	20%	20%
	230/62	10%	10%	10%	10%
2000	229/62	10%	20%	0%	0%
	230/62	10%	30%	10%	20%
2004	229/62	10%	10%	10%	10%
	230/62	0%	0%	0%	0%
2005	229/62	0%	0%	0%	0%
	230/62	0%	10%	20%	10%
2006	229/62	10%	30%	0%	0%
	230/62	0%	10%	10%	0%
2007	229/62	10%	10%	10%	10%
	230/62	30%	30%	30%	50%
2008	229/62	10%	20%	10%	10%
	230/62	0%	0%	0%	0%
2009	229/62	40%	30%	50%	60%
	230/62	0%	10%	10%	10%
2011	229/62	10%	10%	10%	10%
	230/62	10%	10%	10%	10%

457

SI – Sem imagem

458

459 Tabela 3. Desmatamento, solo exposto, área não classificada e estimativa das taxas anuais
 460 e diárias do desflorestamento do Município de Itacoatiara, anos de 1997 a 2011.

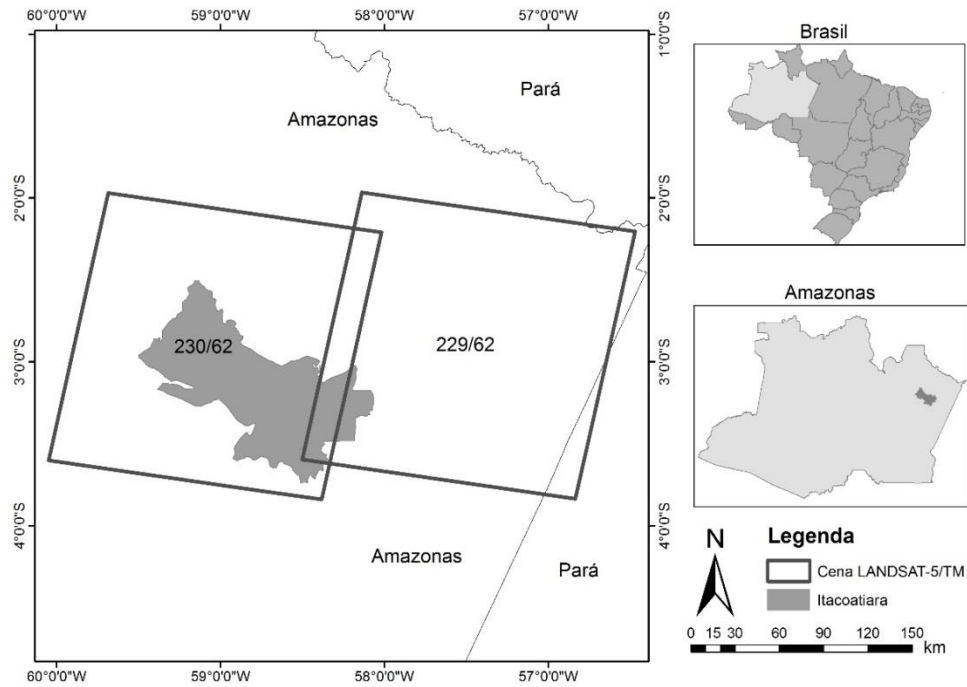
ANOS	Floresta Km ²	Floresta %	Solo Exposto Km ²	Solo Exposto %	Não Classificada Km ²	Taxa Anual Km ² /ano	Taxa diaria Km ² /dia
1997	6080,14	68,38	1102,74	12,40	1709,168	**	**
1999	6774,54	76,19	657,35	7,39	1460,141	-445,38	-1,63
2000	6103,03	68,63	996,43	11,21	1792,575	339,08	1,24
2004	6576,58	73,96	725,94	8,16	1589,513	-270,49	-0,99
2005	6093,91	68,53	1102,64	12,40	1695,487	376,70	1,37
2006	6725,22	75,63	715,93	8,05	1450,889	-386,71	-1,41
2007	5018,39	56,44	2154,71	24,23	1718,933	1438,78	5,25
2008	6648,58	74,77	713,05	8,02	1530,415	-1441,67	-5,26
2009	6322,44	71,10	873,65	9,83	1695,951	160,60	0,59
2011	6093,91	68,53	1102,64	12,40	1695,487	229,00	0,84

461

** Não calculado falta de imagem do ano anterior a 1997.

462

463 **Figuras**

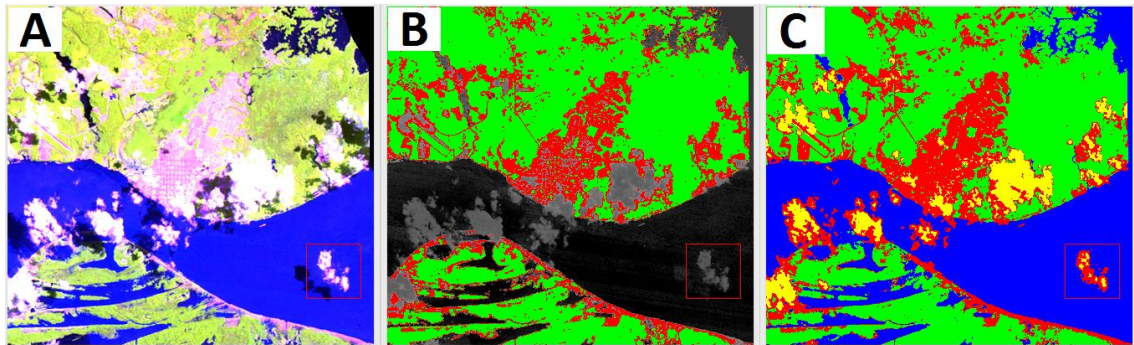


464

465 Figura 1. Área de estudo com as cenas e órbitas do satélite Landsat-5/TM.

466

467

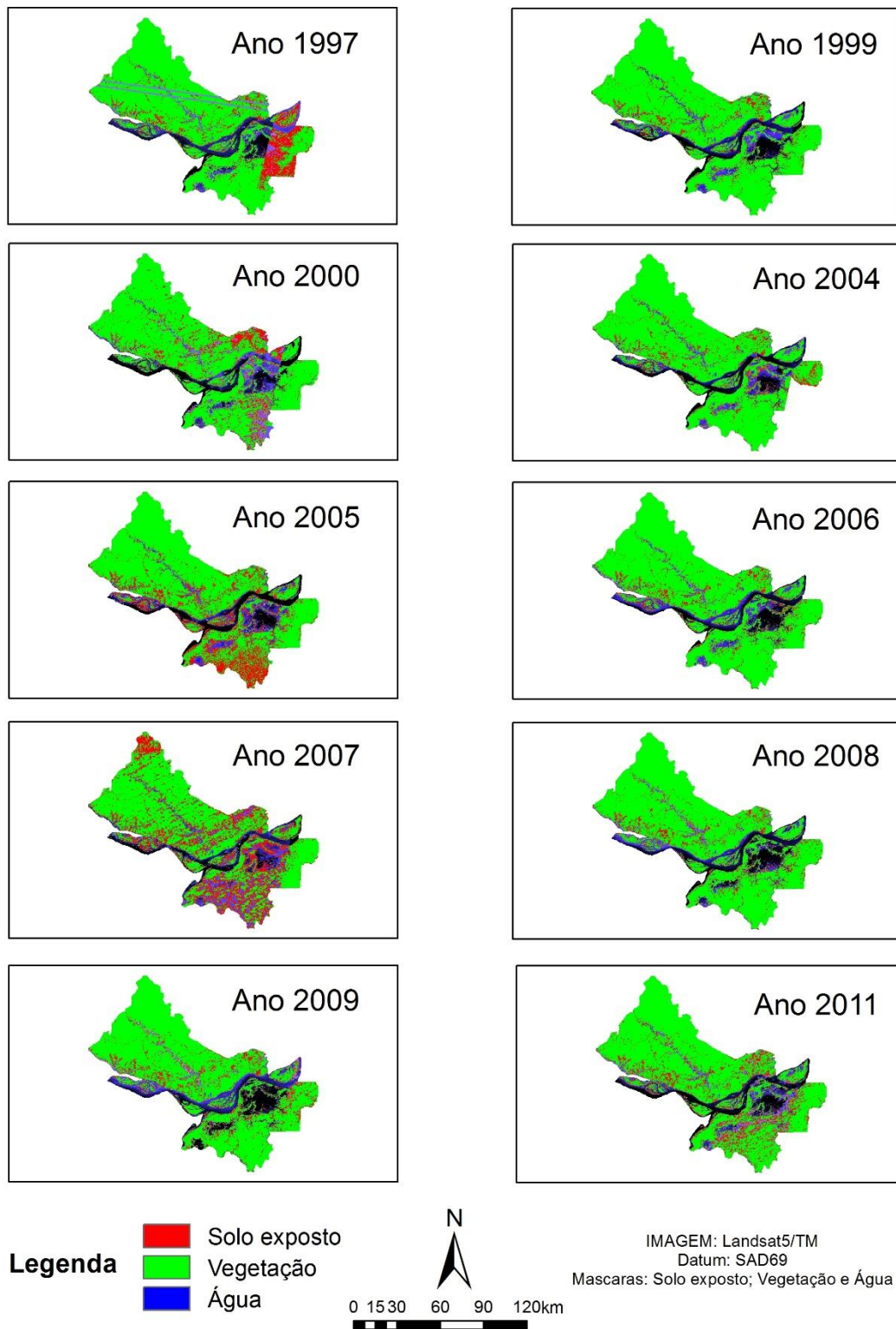


468

469

470

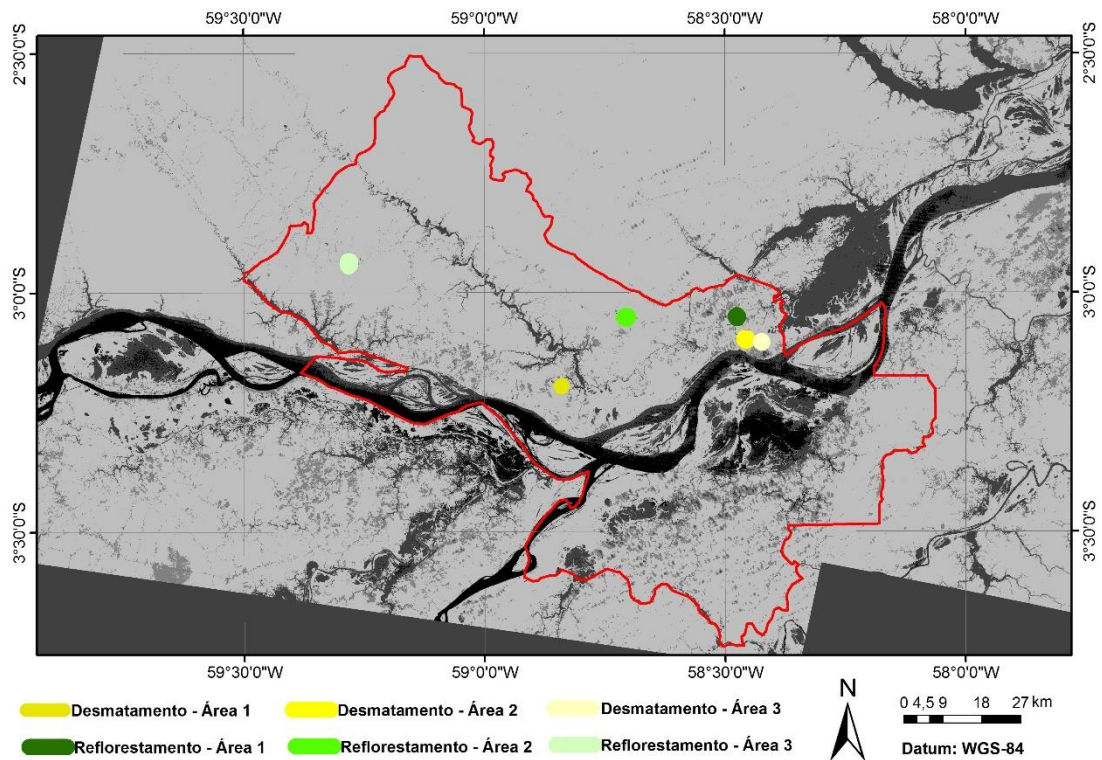
Figure 2. A) Imagem R4G5B3; B) imagem classificada com os valores de NDVI; C) Imagem classificada com os valores “brutos” (Numero Digital).



471

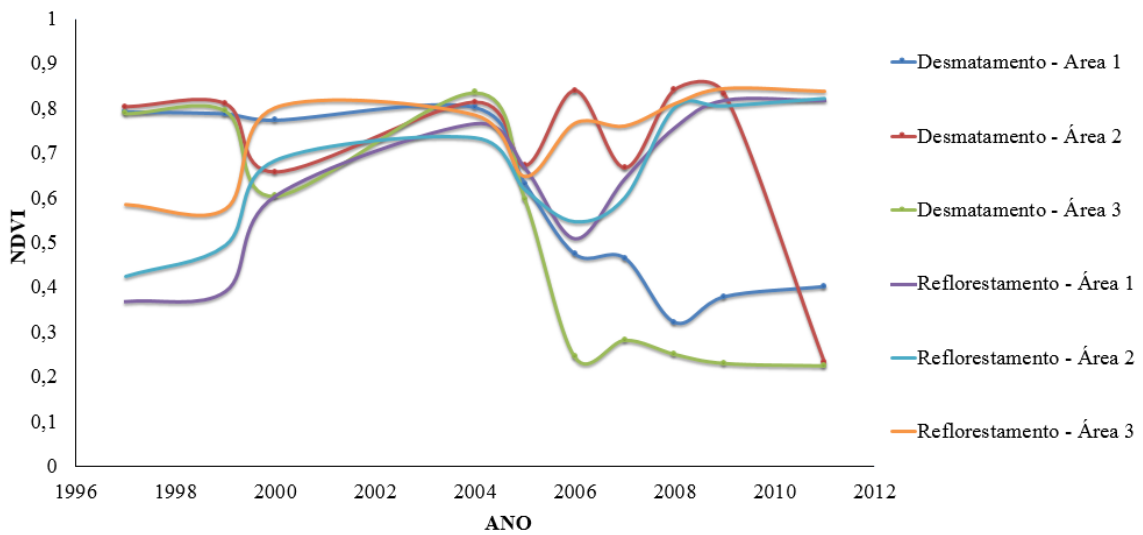
472 Figura 3. Evolução temporal do desmatamento no município de Itacoatiara-AM.

473



474

475 Figura 4. Áreas selecionadas onde ocorreram desmatamentos e regeneração da
 476 vegetação.

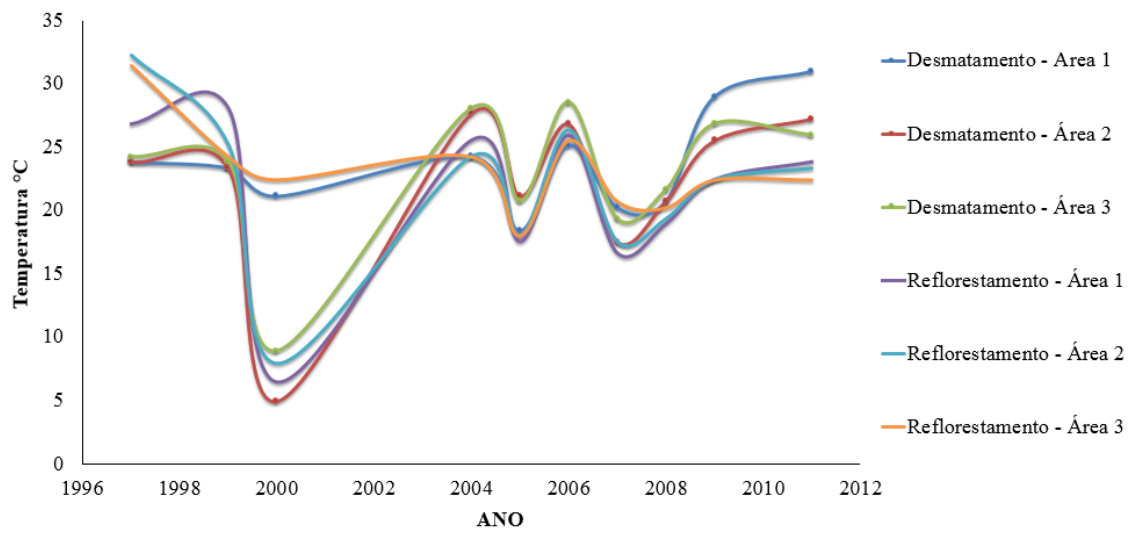


477

478

479

Figura 5. Comportamento dos valores do NDVI, que caracterizam a evolução temporal do desmatamento e reflorestamento.



480
481

Figura 6. Alterações na temperatura da superfície terrestre ao longo da série temporal.