

## **Avaliação de imagens Landsat para identificação e extração de estradas madeireiras**

Amintas de Oliveira Brandão Júnior  
Carlos Moreira de Souza Júnior

Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia – IMAZON  
Caixa Postal 5101, Ananindeua, Pará 67, 113-000 Brasil  
brandaojr@amazon.org.br  
souzajr@amazon.org.br

**Abstract.** In this study we propose a methodology to classify and map logging roads in the Amazon region. Visual interpretation followed by digitization of roads was compared with methods for automatic extraction of linear features (i.e., image slicing, thinning and gap filling). Digitization of roads produced more accurate results than the automatic methods. The extension of logging roads, mapped with visual interpretation, suppressed the extension of the main roads and of the access logging roads by three fold. In addition, the road pattern formed by the logging roads showed that it is possible to separate managed logged forests from unplanned logging. Even though the digitization is a time-consuming process, the proposed method to interpret and classify logging roads has the potential to be automated.

**Palavras-chave:** roads, Amazônia, Landsat, estradas, Amazon.

### **1. Introdução**

A construção de estradas tem acelerado a ocupação da Amazônia contribuindo para o aumento das taxas de desmatamento na região. Abertas inicialmente na década de 60 pelo governo brasileiro, através do Programa de Integração Nacional, as estradas conectaram a Região Norte com o resto do país (Sayago et al., 2004). Entre 1970 e 2000 mais de 80 mil quilômetros de estradas foram abertos pelo governo (GEIPOT, 2004), acelerando ainda mais a ocupação da região. Além disso, estradas endógenas - construídas por forças privadas locais sem incentivo governamental - estão avançando em terras públicas e áreas protegidas no Estado do Pará, o que tem levado à exploração madeireira predatória, ao desmatamento e a conflitos fundiários (Brandão Jr e Souza Jr., submetido).

O monitoramento de estradas com imagens de satélite tem sido proposto para identificar zonas de risco de ocupação na Amazônia (Brandão Jr e Souza Jr., submetido; Souza et al., 2004). As informações geradas pelo monitoramento de estradas podem fortalecer a fiscalização e a regularização fundiária nos locais com alta densidade de estradas, e ajudar na identificação de novas áreas protegidas evitando novas frentes de ocupação (Souza et al., 2004).

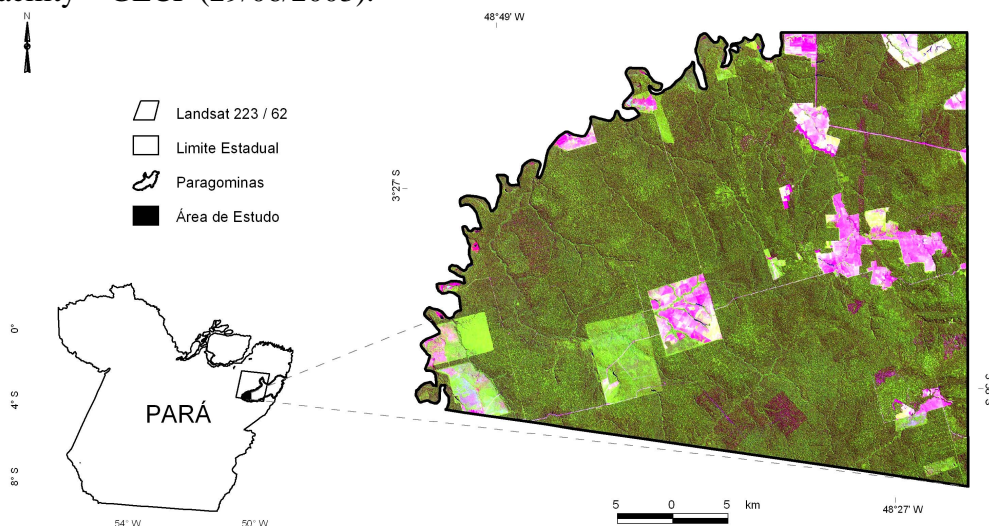
Atualmente, o mapeamento das estradas tem sido conduzido através da interpretação visual e digitalização de imagens Landsat TM/ETM (Brandão Jr. e Souza Jr., submetido). Contudo, estradas de exploração madeireira não estão incluídas no mapeamento. Em regiões de pólos madeireiros (Veríssimo et al., 2002), as estradas de exploração formam uma rede mais densa e complexa do que as estradas abertas em regiões não madeireiras na Amazônia. Neste estudo, propomos um sistema de classificação e avaliamos técnicas de interpretação visual e de extração automática para identificar e mapear estradas madeireiras.

### **2. Área de estudo e base de dados**

O estudo foi conduzido numa área de 1.823 km<sup>2</sup> localizada na porção Sul do município de Paragominas (**Figura 1**). A região possui clima tropical úmido e predominância de latossolo amarelo (IBGE, 1997). Além disso, apresenta vastas áreas de floresta ombrófila densa, formado por florestas de terra baixa, submontana e aluvial (IBGE, 1997). Pode-se encontrar

na área de estudo, exploração madeireira convencional e de impacto reduzido (Johns et al, 1996; Uhl e Vieira, 1989).

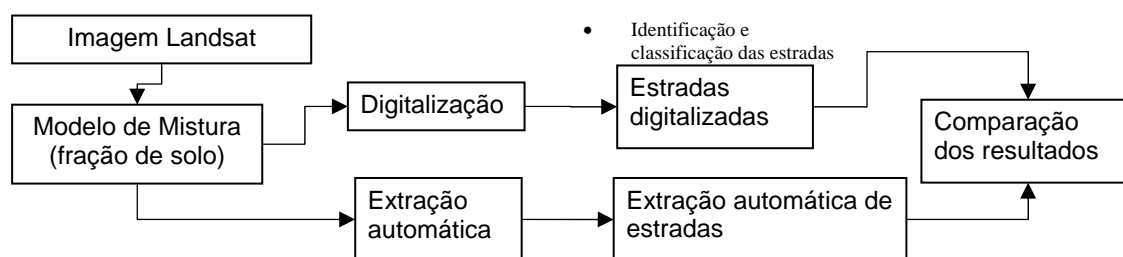
A região de estudo é coberta pela cena 223/62 do sensor Landsat (ETM+ – Enhance Thematic Mapper). A imagem Landsat utilizada neste estudo foi adquirida do Global Land Cover Facility – GLCF (29/06/2003).



**Figura 1** – Localização da área de estudo

### 3. Metodologia

A metodologia desenvolvida no estudo está resumida na **Figura 2**. Primeiro, georreferenciamos a imagem Landsat ETM+ com base na imagem obtida no servidor de imagem MrSid (NASA), no *software* ENVI 4.0. O georreferenciamento utilizou o algoritmo de vizinhança mais próxima com 40 pontos de controle (GCP) e erro (RMS) inferior a 1 pixel. Em seguida, digitalizamos as estradas nas imagens Landsat e comparamos o resultado com algoritmos de extração automática de estradas. Estes métodos são descritos em detalhe nas seções abaixo.



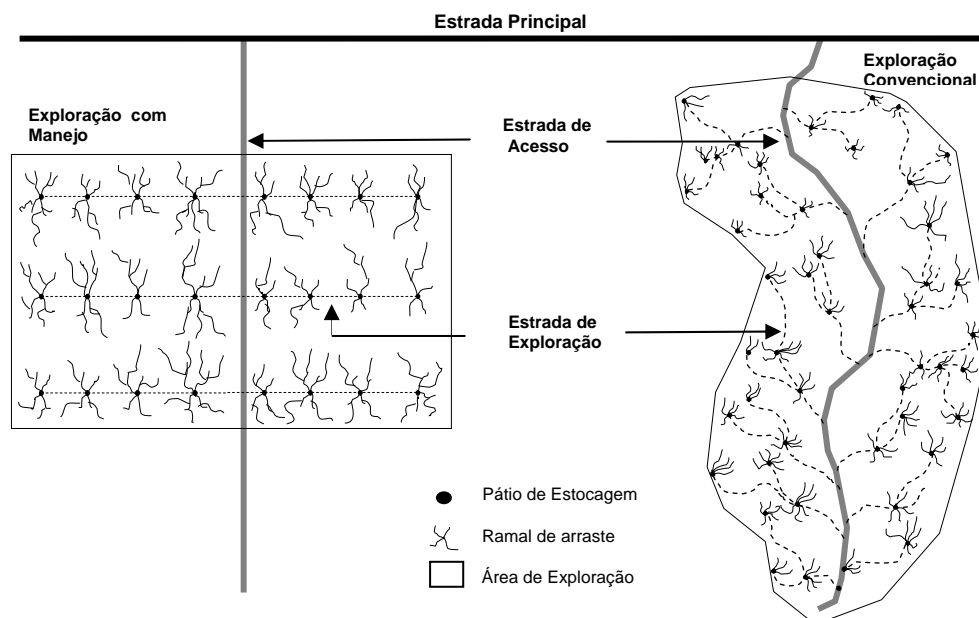
**Figura 2** – Etapas para o mapeamento de estradas com interpretação visual e extração automática.

#### 3.1 Classificação das estradas madeiras

Classificamos as estradas madeiras em quatro categorias quanto ao seu uso na exploração florestal (Johns et al., 1996; Uhl e Viera, 1989) (**Figura 3**):

- Estradas principais: são utilizadas para escoar a produção de madeira em tora de uma área explorada para os centros de processamento e consumo de madeira. Essas estradas estão geralmente conectadas à estradas oficiais;
- Estradas de acesso: conectam a estrada principal à área de exploração;

- Estradas de exploração: construídas para movimentação das máquinas utilizadas na exploração madeireira além de conectar dois ou mais pátios de estocagem;
- Ramal de arraste: conecta as toras de madeiras aos pátios de estocagem.



**Figura 3** – Esquematisação das estradas de exploração madeireira

### 3.2 Interpretação visual e digitalização

Utilizamos imagens de fração de solo para extrair as estradas. As imagens de fração de solo foram geradas no *software* ENVI 4.0, com o método linear de mistura espectral. Digitalizamos as estradas na escala de 1:50.000, através da interpretação visual da imagem de fração de solo, no *software* ArcView 3.2. As estradas principais e de acesso foram identificadas na imagem de fração de solo como feições lineares, cortando as áreas de floresta (**Figura 4**). Estas estradas estão geralmente associadas a altos valores de abundância de solos (>20%). As estradas de exploração foram inferidas a partir dos pátios de estocagem, os quais estão visíveis na imagem de fração de solo (>20%). Essas estradas foram digitalizadas seguindo os seguintes passos:

- conectar os pátios mais próximos às estradas de acesso;
- o pátio conectado à estrada de acesso é conectado aos pátios mais próximos, seguindo este critério até a conexão do último pátio.

### 3.3 Extração automática

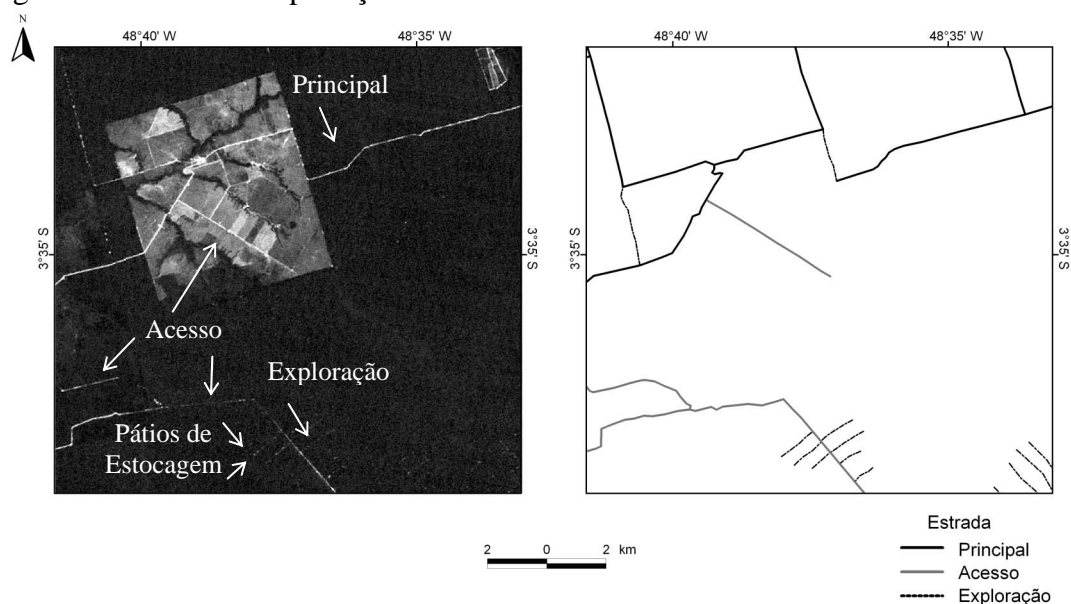
Aplicamos o filtro de textura de co-ocorrência nas imagens de fração de solo, para aumentar o realce das estradas. Em seguida, no *software* IDL 6.0.1, extraímos o esqueleto das estradas com a função *thin* e implementamos o método proposto por Karathanassi et al. (1999), para preencher os segmentos que não foram esqueletizados.

## 4. Resultados

### 4.1 Tipos de estradas identificadas nas imagens Landsat

Foi possível identificar três tipos de estradas madeireiras nas imagens Landsat: principal, acesso e exploração (**Figura 3**). As estradas principais aparecem com altos valores de fração de solo. As estradas de acesso cortam as áreas de floresta. As estradas de exploração

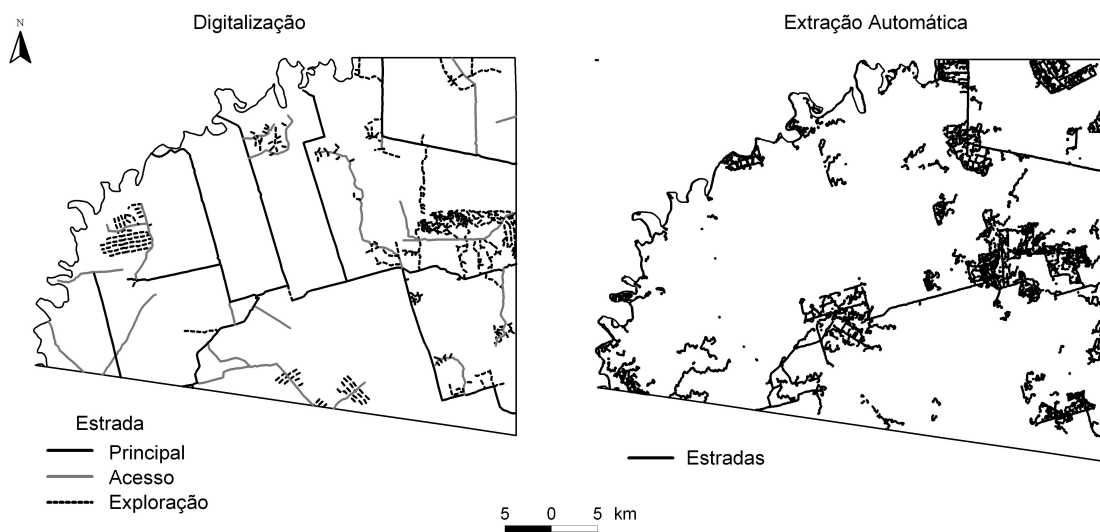
aparecem de forma indireta nas imagens e podem ser inferidas a partir dos pátios de estocagem. Os ramais de exploração não foram identificados.



**Figura 4** – Estradas identificadas nas imagens de fração de solo Landsat

#### 4.2 Interpretação visual e digitalização

Mapeamos um total de 654 km de estradas com a digitalização (**Figura 5**). Cerca de 165 km das estradas mapeadas são estradas principais, 197 km de estradas de acesso e 292 km de estradas de exploração (45% das estradas). Os ramais de arraste não puderam ser identificados na imagem de fração de solo e, por isso, não foram digitalizados (**Tabela 1**). Dois tipos de padrões de estradas, regular e irregular, foram identificados. O padrão regular consiste em estradas de exploração perpendiculares às estradas de acesso, e dispostas paralelamente com espaçamento regular. O padrão de estrada de exploração regular está associado com a exploração manejada. O padrão de estrada de exploração irregular não mostrou direção preferencial com as estradas de acesso, e é caracterizado por uma rede sinuosa de estradas (**Figura 6**).



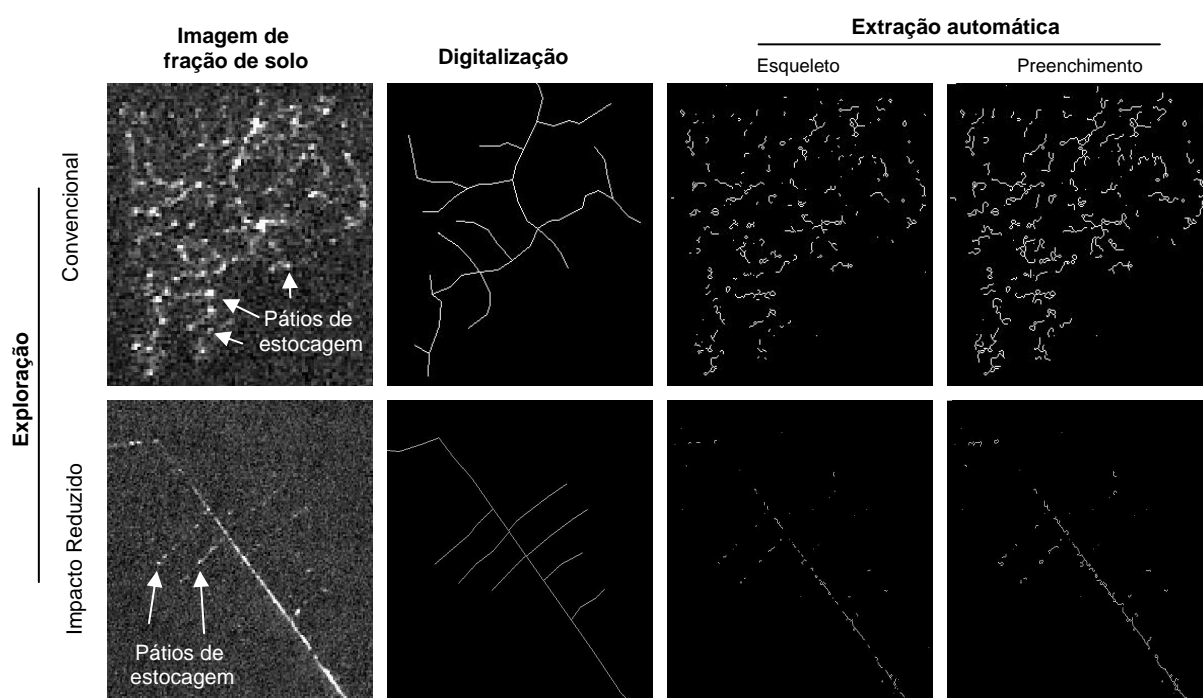
**Figura 5** – Comparação do mapa de estradas digitalizado com o mapa obtido com extração automática

### 4.3 Extração automática

Mapeamos 1.234 km de estradas com o método automático, ou seja, 580 km a mais do que foi digitalizado. Esta diferença está relacionada com ruídos gerados com a automatização nas áreas desmatadas (i.e., bordas de áreas desmatadas e pátios de estocagem). Nas áreas de floresta, entretanto, o algoritmo de extração automática teve ótima performance, gerando, pouco ou nenhum ruído (**Tabela 1**). Não foi possível extrair os ramais de arraste com o método de extração automática. Nas áreas de exploração madeireira, os algoritmos de esqueletização e preenchimento mapearam somente fragmentos de estradas de acesso e de estradas de exploração. Tanto nas áreas de floresta quanto nas áreas desmatadas o método de extração automática não apresentou resultados comparáveis à interpretação visual e digitalização para as estradas de exploração (**Figura 6**).

**Tabela 1** – Características das estradas no mapa digitalizado e no mapa extraído pelos algoritmos extração de estradas

Estrada	Digitalização	Extração automática
Principal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificada</li> <li>• Digitalizada em áreas de floresta e áreas desmatadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extraída nas áreas de floresta com altos índices de abundância de solo</li> </ul>
Acesso	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificada</li> <li>• Digitalizada em áreas de floresta e áreas desmatadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Parcialmente extraída nas áreas de floresta com altos índices de abundância de solo</li> </ul>
Exploração	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inferida a partir dos pátios</li> <li>• Digitalizadas em áreas de floresta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Parcialmente extraída, mas com baixa acurácia</li> </ul>
Ramal de arraste	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não identificada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não extraída</li> </ul>

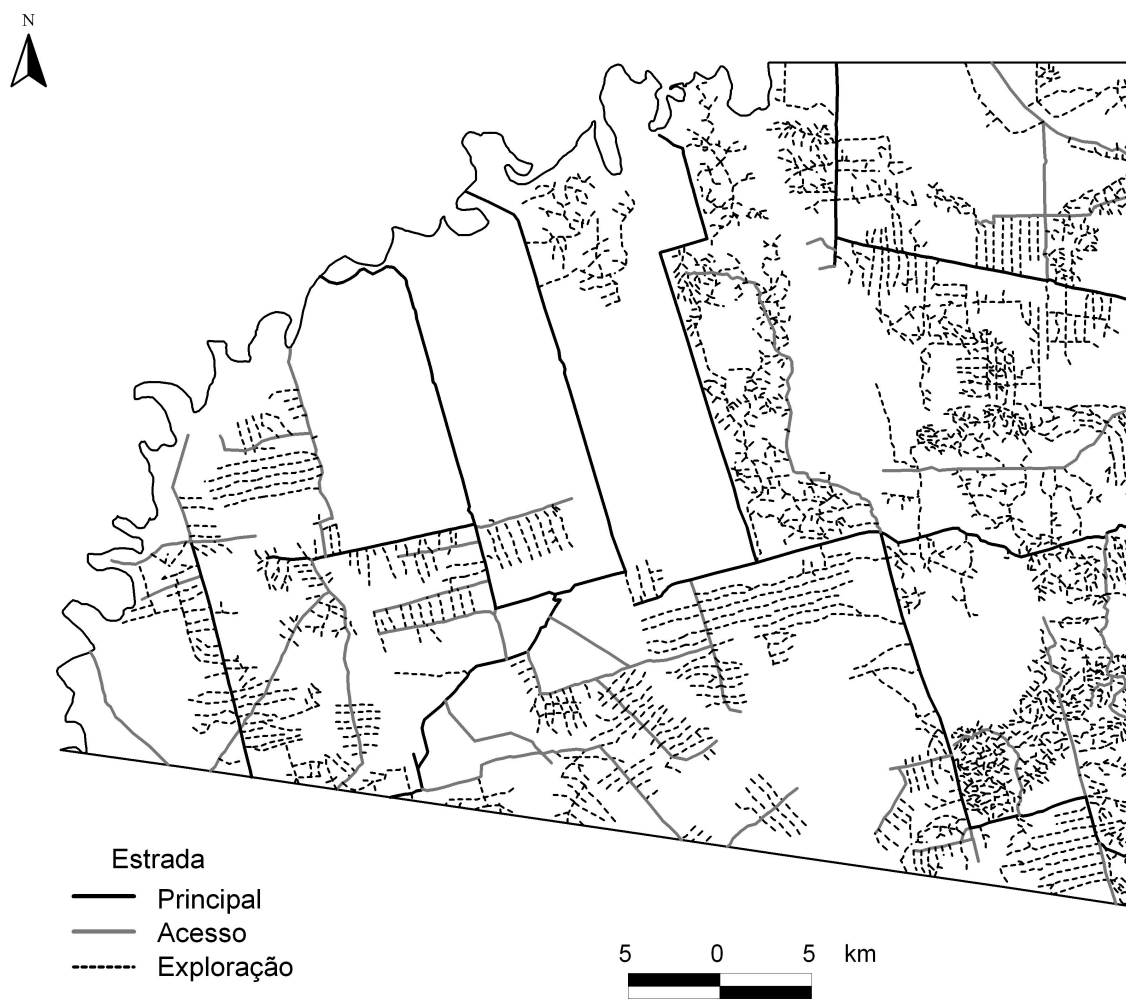


**Figura 6** – Digitalização e extração automática de estradas de exploração a partir de imagens de fração de solo

## 5. Considerações Finais

Os resultados mostraram que a digitalização é o método mais acurado para extrair estradas madeireiras. Incluímos a digitalização das estradas entre 1999 a 2003 na área de estudo (**Figura 7**). Mapeamos um total de 1.983 km de estradas madeireiras. Cerca de 200 km estradas mapeadas foram estradas principais, 265 km estradas de acesso e 1.518 km de estradas de exploração. Essa análise temporal mostra que cerca de 76% das estradas construídas na área de estudo são estradas de exploração, ou seja, o triplo da extensão das estradas principais e de acesso. O mapeamento das estradas de exploração através da interpretação visual é lento, mas a metodologia proposta neste estudo pode ser automatizada (conexão dos pátios à estradas de acesso).

Um outro resultado importante é que o padrão das estradas de exploração pode indicar se a florestas foi explorada seguindo técnicas de manejo ou não. O padrão de estradas de exploração irregular é indicador de exploração madeireira convencional, ou seja, sem manejo. Por outro lado, a presença do padrão de estradas de exploração regular não garante que a área está sendo manejada, havendo a necessidade de avaliação de outros indicadores de manejo (i.e, impacto no dossel).



**Figura 7** – Mapa de estradas madeireiras de 1999 a 2003 obtido com interpretação visual e digitalização.

## **Agradecimentos**

Agradecemos à Fundação Gordon & Betty Moore pelo apoio a esta pesquisa.

## **Referências**

Brandão Jr., A.O.; Souza Jr, C.M.S. Mapping Endogenous Roads with Landsat images: a new tool to improve the monitoring of the Brazilian Amazon rainforest. **Submetido ao jornal Internacional de Sensoriamento Remoto.**

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diagnóstico Ambiental da Amazônia Legal. IBGE/ DGC/ Derna – Degeo – Decar, 1997, Rio de Janeiro. RJ.

Johns, J.; Barreto, P.; Uhl, C. Logging damage in planned and unplanned logging operations and its implications for sustainable timber production in the eastern amazon. **Forest Ecology and Management**, 89, 59-77, 1996.

GEIPOT, Grupo Executivo para Integração da Política de Transportes. Disponível em: <<http://www.geipot.gov.br/dw/dw.asp>>. 2004. Acesso em: 23 agost. 2004.

Karathanassi, V.; Iossifidis, C.; Rokos, D. A thinning-based method for recognizing and extracting peri-urban road networks from SPOT panchromatic images. **International Journal Remote Sensing**, 20, 153-168, 1999.

Sayago, D.; Tourrand, J.-F.; Burzryn, M. **Amazônia: cenas e cenários**. Brasília: Universidade de Brasília. pg. 17-28. 2004.

Souza Jr., C.; Brandão Jr., A.; Anderson, A.; Veríssimo, A. Avanço das estradas endógenas na Amazônia. Disponível em: <[http://www.downloads.myw.com.br/pdf/amazonia\\_em\\_foco.pdf](http://www.downloads.myw.com.br/pdf/amazonia_em_foco.pdf)>. Acesso em: 2 novem. 2004

Uhl, C.; Vieira, I. C. G. Ecological Impacts of Selective Logging in the Brazilian Amazon: A Case Study from the Paragominas Region of the State of Pará. **Biotropica**, 21, 98-106, 1989.

Veríssimo, A.; Lima, E.; Lentini, M. **Pólos madeireiros do Estado do Pará**. Belém: Imazon, 74p.; 27cm, 2002.