

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**

**Leonardo Corradi Coelho**

**SIMULAÇÃO DA EXPANSÃO DA REDE VIÁRIA VICINAL  
NO LESTE DO PARÁ**

**Minas Gerais – Brasil**

**Setembro de 2006**

**Leonardo Corradi Coelho**

**SIMULAÇÃO DA EXPANSÃO DA REDE VIÁRIA VICINAL  
NO LESTE DO PARÁ**

**Dissertação apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação do  
Departamento de Geografia da  
Universidade Federal de Minas  
Gerais, como requisito parcial à  
obtenção do título de Mestre em  
Geografia**

**Área de Concentração: Análise Ambiental**

**Orientador: Prof. Britaldo Silveira Soares Filho**

**Belo Horizonte**

**Departamento de Geografia da UFMG**

**2006**

C672s  
2006

Coelho, Leonardo Corradi.

Simulação da expansão da rede viária vicinal no leste do Pará  
[manuscrito] / Leonardo Corradi Coelho. – 2006.

105 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientador: Britaldo Silveira Soares Filho.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais,  
Departamento de Geografia, 2006.

Área de concentração: Análise Ambiental.

Bibliografia: f. 99-104.

1. Desmatamento – Amazônia – Teses. 2. Estradas vicinais – Teses. 3.  
Transportes – Amazônia – Teses. I. Soares Filho, Britaldo Silveira. II.  
Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Geografia. III.  
Título.

CDU: 385(811.5)

Dissertação defendida e aprovada, em 19 de setembro de 2006, pela Banca Examinadora constituída pelos professores:



---

Prof. Dr. Britaldo Silveira Soares Filho



---

Profª. Dra. Magda Luzimar de Abreu



---

Profª. Dra. Ana Clara Mourão Moura

## **AGRADECIMENTOS:**

Agradeço a Hermann de Oliveira, programador do software DINAMICA EGO pelo apoio e boa vontade em solucionar problemas e sanar dúvidas surgidas durante o trabalho.

Também agradeço ao meu irmão Gustavo Corradi Coelho, cuja ajuda na execução de algumas tarefas repetitivas em computador foi imprescindível na conclusão deste trabalho.

## **RESUMO:**

A proximidade às vias terrestres é um dos principais determinantes do desmatamento amazônico, e a construção de estradas não oficiais se intensificou nos últimos anos. Muitos esforços já foram feitos na tentativa de projetar o ritmo do desmatamento e suas conseqüências, mas devido à importância das vias de acesso à mata, a comunidade científica começou a interessar-se em projetar também a expansão da malha viária. Este trabalho objetivou contribuir com estes esforços, através da simulação do processo de abertura de estradas numa porção do estado do Pará, próxima a São Félix do Xingu. A simulação foi realizada com base na evolução histórica dos traçados das estradas em três períodos distintos. Procurou-se quantificar a influência de uma série de possíveis determinantes das escolhas de caminhos e destinos pelos principais agentes construtores de estradas locais, reproduzindo tendências das escolhas de locais de destino das estradas, para cada período, através de probabilidades obtidas por via do método de pesos de evidência. Utilizou-se um modelo de impedância para simular as dificuldades de acesso oferecidas pelo terreno, numa tentativa de adequar os traçados das vias simuladas aos traçados históricos observados na paisagem, para oferecer uma melhor base de comparação dos resultados. As ferramentas do Software DINAMICA foram utilizadas para conduzir a simulação. Concluiu-se que a expansão da malha viária pode sim ser simulada, mas com ressalvas: Mostrou-se que é necessário conhecer melhor a percepção das pessoas envolvidas na construção das estradas, acerca das oportunidades de ganhos financeiros, dos custos de locomoção e das formas de orientação espacial que elas utilizam. Também é necessário vencer limitações metodológicas, como a incapacidade das superfícies de custo em produzir padrões de malha, e desenvolver métodos de validação da estrutura viária mais adequados à comparação dos resultados da simulação.

Palavras chave: Simulação de abertura de estradas; Estradas não oficiais; Desmatamento; Amazônia; Acessibilidade; Caminhos de menor custo.

## **ABSTRACT:**

The causality relationships among amazon deforestation and roads construction are one of the international scientific society's concerns. Recently the roads construction rates have risen and the scientific society focus was extended not only to the deforestation processes and its causes, but to the unofficial road network expansion as well. This way, the road network expansion had become a new study subject by itself. Trying to add new proposals and to contribute to the knowledge about the roads expansion process in the Amazon frontier, this study compared a set of simulated road networks against the correspondent empirical data collected from three time periods in recent past. The study was conducted using sampled data from a region in the east portion of *Pará*, an Amazon Brazilian province. In order to conduct the study, it was necessary to measure the degree of relationship between some aspects of the landscape and environmental canvas to the network construction process. What aspects can drive the deforestation agents on their decisions on where and when to open new roads? It was through a stochastic approach based on the weights of evidence method that the main drivers of unofficial road construction were investigated. But not only causes, time and location of the road construction were addressed. A friction model was implemented in order to account for terrain accessibility issues during modelling. The simulations were conducted on the DINAMICA modelling software. After comparing the simulated road networks to the historical road network canvas on the study area, it was concluded that the simulation of road network expansion patterns in Amazonia is possible, but there are still some problems to solve in order to achieve success. First problem: It is necessary to better understand the individual road construction agents perceptions. What are their economic gain opportunities? How they addresses travel costs? What are their spatial orientation methods? Second problem: Friction matrixes were used to achieve accessibility during road construction simulations and there were some methodological limitations on producing web patterns on road networks. Third problem: The actual available network pattern metrics are not fully suited to the validation of the simulated road patterns.

Keywords: Simulation Models; Unofficial roads; Deforestation; Brazilian Amazon; Accessibility; Least Cost paths.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Modelo conceitual para construção de estradas não oficiais. ....	16
Figura 2: Mapas de variáveis.....	32
Figura 3: Variabilidade dos resultados de simulação .....	40
Figura 4: Diferentes estruturas produzidas por diferentes origens .....	41
Figura 5: Variação do número de passos e estradas por passo.....	42
Figura 6: Simulação em fases.....	43
Figura 7: Efeitos da distância mínima entre destinos .....	45
Figura 8: Efeitos indesejáveis da segmentação da paisagem .....	46
Figura 9 Dificuldades dos métodos de validação pixel a pixel .....	49
Figura 10: Representações de redes na teoria dos grafos .....	50
Figura 11: Problemas com medidas de comparação das simulações .....	52
Figura 12: Topologias de rede .....	54
Figura 13: Cobertura das Cenas Landsat TM utilizadas pelo Instituto Imazon. ....	57
Figura 14: Localização da Área de estudo.....	59
Figura 15: Evolução da Rede viária a Leste e Oeste do Rio Xingu .....	60
Figura 16: Localização da Terra do Meio .....	61
Figura 17: Estradas x Desmatamento .....	62
Figura 18: Referências de localização no terreno.....	69
Figura 19: Mapa de atratividade .....	74
Figura 20: Caminhos usados na validação das impedância.....	77
Figura 21: Gráfico que expressa as três funções de impedância utilizadas nos testes .....	79
Figura 22: Ajustes das diferentes funções de impedância para a declividade. A declividade com quebras apresentou os melhores ajustes. ....	79
Figura 23: Mapa hidrográfico modelado por acumulação.....	81
Figura 24: Efeitos dos três valores de impedância experimentados para as bordas do relevo. ....	82
Figura 25: Melhor resultado de impedância. Função, adotada nas simulações finais.....	84
Figura 26: Estradas reais nos três períodos estudados.....	89
Figura 27: Estradas simuladas com parâmetros empíricos.....	90
Figura 28: Estradas simuladas considerando a acessibilidade à mata pelos agentes que vem do Leste. Testes de simulação 2, 3 e 4 .....	93
Figura 29: Diferenças de densidades para três ajustes da acessibilidade .....	95



## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1: Causas proximais do desmatamento e seus efeitos observados nos 140 trabalhos analisados. ....	19
Quadro 2: Forças subjacentes do desmatamento e seus efeitos observados nos 140 trabalhos analisados. ....	20
Quadro 3: Parâmetros de simulação do Construtor de Estradas do Software DINAMICA.	39

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Custos de transporte de madeira em toras, 1998. ....	25
Tabela 2 Diferenças no número de destinos escolhidos em relação aos esperados quando aplicada segmentação da paisagem .....	47
Tabela 3: Problemas com medidas de comparação das simulações .....	53
Tabela 4: Ritmo de expansão da malha viária. (Valores arredondados) .....	63
Tabela 5: Interdependência dos mapas de distâncias a vilas, cidades, assentamentos.....	67
Tabela 6: Pesos de Evidências – Contrastes de mapa de distâncias a assentamentos. ....	68
Tabela 7: Pesos de Evidências - Contrastes de Solos e vegetação .....	70
Tabela 8: Pesos de Evidências - Contrastes da distância às aldeias indígenas.....	71
Tabela 9: Pesos de Evidências - Contrastes das Unidades de Conservação.....	71
Tabela 10: Pesos de Evidências - Contrastes da distância à hidrografia .....	73
Tabela 11: Classes de declividade .....	76
Tabela 12: Progressões das impedância nas três funções experimentadas.....	78
Tabela 13: Valores de impedância adotados nas simulações finais .....	84
Tabela 14: Medidas de rede para as estradas reais .....	87
Tabela 15: Parâmetros usados no primeiro teste de simulação .....	88
Tabela 16: Medidas de rede aplicadas às estradas simuladas no teste T1.....	89
Tabela 17: Pesos testados para a variável de acessibilidade .....	92
Tabela 18: Diferenças regionais das densidades – testes T1, T2, T3 e T4 no período de 1997 a 2002. ....	94

## SUMÁRIO

CAP. 1: INTRODUÇÃO.....	11
1.1 - Justificativa .....	12
1.2 - Objetivo Geral:.....	13
1.3 - Objetivos Específicos: .....	14
1.4 - Estrutura do trabalho:.....	14
CAP. 2: DETERMINANTES ESPACIAIS DA ABERTURA DE ESTRADAS....	15
2.1 - Classificações das causas do desmatamento.....	18
2.2 - As variáveis candidatas levantadas em bibliografia .....	21
2.2.1 - exemplo da colonização anterior .....	21
2.2.2 - Acessibilidade: condição para exploração de um recurso. ....	22
2.2.3 - A ocorrência de recursos atrativos.....	25
2.2.4 - A valorização do espaço Amazônico / Áreas protegidas.....	26
2.2.5 - A Consolidação da Fronteira .....	27
2.2.6 - Demais causas .....	28
2.3 - O conjunto de variáveis pré selecionadas .....	29
CAP. 3: DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO .....	31
3.1 - Um modelo de representação da rede viária e das determinantes de sua estrutura .....	31
3.2 - Determinação das origens e destinos de estradas – Modelo de atratividade. .....	32
3.3 - Indicando caminhos que possam ser trilhados pelos agentes construtores de estradas – Modelo de custo.....	35
3.3.1 - Cálculo do caminhos de menor custo .....	35
3.4 - Inferindo o ritmo de abertura de novas estradas .....	37
3.5 - Software de Simulação – Plataforma do DINAMICA .....	38
3.6 - Características do construtor de estradas do software DINAMICA.....	39
3.6.1 - Parâmetros de simulação disponíveis no Construtor de estradas.....	39
3.6.2 - Conhecimento das origens e destinos das estradas .....	39
3.6.3 - O Tempo Discreto na simulação.....	41
3.6.4 - Controlando a extensão das estradas.....	42
3.6.5 - Controlando o número de destinos sorteados .....	43
3.7 - Descrição dos padrões viários reais – Validação do modelo.....	47

3.7.1 - Alguns descritores da estrutura viária disponíveis na bibliografia consultada. ....	51
3.7.2 - Classificação de redes por sua estrutura .....	54
CAP. 4: CARACTERIZAÇÃO DA REDE VIÁRIA PARAENSE.....	56
4.1 - A malha viária adotada como referência .....	56
4.2 - A escolha da região de interesse da simulação .....	58
4.3 - Características da malha viária adotada.....	59
4.4 - Obtendo as quantidade e extensões de estradas.....	62
CAP. 5: SIMULANDO O CRESCIMENTO DA MALHA VIÁRIA DO LESTE PARAENSE .....	65
5.1 - Como se definiu a resolução de trabalho .....	65
5.2 - Criação dos mapas de atratividade.....	66
5.2.1 - Preparação das variáveis da atratividade. ....	66
5.2.2 - Identificação dos destinos escolhidos pelos agentes construtores de estradas .....	73
5.2.3 - O mapa de atratividade criado .....	73
5.3 - Modelagem de custo .....	74
5.3.1 - O mapa de origens .....	75
5.3.2 - O mapa de impedância.....	75
5.3.3 - A superfície de custo adotada: .....	83
CAP. 6: RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES .....	86
6.1 - Medições realizadas na rede viária real: .....	86
6.2 - A primeira simulação:.....	88
6.3 - A segunda simulação .....	91
CAP. 7: CONCLUSÃO .....	97
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:.....	99

## CAP. 1: INTRODUÇÃO

O Governo Federal brasileiro, por volta dos anos 70 iniciou oficialmente um programa de ocupação das áreas pouco habitadas do Centro Oeste brasileiro e da Amazônia. Este programa espalhou cidades e rodovias pelas áreas consideradas estratégicas do território nacional (Becker, 2001).

Os planos de ocupação e as infra-estruturas decorrentes foram consideradas a causa maior dos desmatamentos na Amazônia Legal, no período de 1970 a meados dos anos 80. Mas a discussão sobre as causas do desmatamento apenas começava.

Percebeu-se com o tempo que a causalidade entre o desmatamento e as suas possíveis determinantes era em geral bastante complexa, abrangendo causas de cunho geofísico, econômico, tecnológico, populacional, político e cultural. (Geist & Lanbin, 2001). Assim, a complexidade das interações entre os processos de desmatamento, e entre os múltiplos agentes envolvidos foi se tornando mais perceptível, e abordagens científicas mais adequadas para lidar com a complexidade passaram a ser buscadas pela comunidade científica. Uma das abordagens adotadas foi a aplicação da teoria dos sistemas, e em seguida a modelagem de sistemas ambientais.

Neste escopo, foi criado o projeto “Cenários para a Amazônia”. Ele buscou desenvolver um modelo de simulação da dinâmica de mudança dos usos do solo amazônicos, seus impactos e as interações com clima, ecossistemas e ciclos hidrológicos, para servir de instrumento para avaliação de políticas públicas para a conservação da Amazônia. (Soares-Filho *et al*, 2005, p.138). O modelo de simulação desenvolvido, batizado de SimAmazonia (Soares-Filho *et al*, 2006) é utilizado como base para o desenvolvimento do atual trabalho.

No modelo SimAmazonia, a infra-estrutura de acesso e transportes é um dos itens considerados na modelagem da mudança do uso dos solos. Para simular a construção de infra-estrutura viária, foi implementado um modelo construtor de estradas, que permite a incorporação do efeito da abertura de estradas não oficiais na difusão do desmatamento. Mas como o foco principal do modelo SimAmazonia é o desmatamento em si e não a construção de estradas, ficou aberto um espaço pouco explorado, suscetível a maiores investigações.

Este trabalho busca contribuir na pesquisa do desmatamento amazônico, contemplada pelo projeto “Cenários para a Amazônia”, explorando as possibilidades da

modelagem dos padrões espaciais<sup>1</sup> da malha viária não oficial (Souza Jr *et al*, 2004) do leste do Pará, por meio de um modelo de simulação, implementado em ambiente computacional.

### **1.1 - Justificativa**

O desmatamento na Amazônia Brasileira está associado a uma série de fatores naturais e antrópicos citados pela literatura. Entre eles, recebe algum destaque a proximidade ou presença de estradas que deem acesso às áreas desmatadas. Angelsen & Kaimowitz (1999) e Gueist e Lanbim (2001) apontam a alta correlação espacial entre as vias de acesso e o desmatamento, tendo sido bastante frequente o uso desta relação dentre uma série de trabalhos sobre desmatamento amazônico que eles catalogaram e revisaram.

Recentemente, alguns trabalhos como Souza-Jr *et al* (2004), Souza Jr. e Brandão (2005), Margulis (2003) e Greenpeace (2004) denunciaram o aumento nas taxas de crescimento da rede viária vicinal na Amazônia. Estas novas estradas<sup>2</sup> que têm sido construídas em ritmo acelerado são em grande parte de origem não oficial, geralmente abertas e mantidas pela iniciativa privada local e não pelo Estado. Seus principais agentes construtores são madeireiros e pecuaristas. Elas dão acesso a áreas ainda virgens de mata, facilitando a penetração de colonizadores na floresta e ajudando na difusão do desmatamento.

Entender melhor a construção destas estradas é justificável frente ao aumento observado no ritmo de sua construção, pois alguns trabalhos já publicados atribuem grande importância à associação entre estradas e desmatamento. Becker (1990) e Sant'Anna (1998) sugerem que a abertura de vias terrestres seja talvez o meio mais importante de ocupação das terras firmes da Amazônia. Constitui-se no principal meio de transporte de cargas e acesso a estas áreas que antes das estradas eram pouco acessíveis. Além disso, a facilidade de acesso da mata e dos recursos florestais para os agentes desmatadores amazônicos se dá a partir de uma rede viária terrestre pré-existente, como se verifica em Matgullis (2003) e Greenpeace (2004). Neste contexto, a localização de empreendimentos é relacionada à infra-estrutura de transporte, pois é ela que suporta os movimentos de cargas, passageiros e informações entre lugares. As ligações e os fluxos de bens e serviços se dão pela rede viária, o que é coerente com o ponto de vista de Aguiar *et al* (2003), para

---

<sup>1</sup> Padrões espaciais são localização relativa a outros elementos da paisagem, conectividade, forma, densidade, entre outros descritores da estrutura e extensão da malha viária, como aqueles descritos por Rodrigue *et al* (2005).

<sup>2</sup> Por estradas entende-se aqui qualquer tipo de caminho de acesso de via terrestre, cuja localização seja detectável com certa precisão pelos meios disponíveis, sejam mapeamentos prévios ou imageamento orbital.

quem relações espaciais são dependentes das conexões topológicas (ligações) e fluxos entre redes físicas ou virtuais na paisagem.

Se as estradas são assim tão importantes para o estabelecimento das frentes de desmatamento, então compreender os processos de abertura de novas estradas na Amazônia é importante para compreender o próprio desmatamento. E se a construção destas estradas sofreu um aumento considerável recentemente, sua compreensão histórica será necessária para entender as possíveis conseqüências desta aceleração.

Um estudo de simulação da evolução histórica da estrutura viária torna-se então justificável. Uma abordagem simulatória pode ajudar a adquirir conhecimento sobre os determinantes e processos envolvidos na construção da paisagem. Christofolletti (1999) destaca que a modelagem simulatória é um método hipotético-dedutivo relacionado com “conhecer a evolução dos sistemas, e planejar o gerenciamento das organizações espaciais e o uso dos recursos naturais” em diferentes escalas. Soares-Filho *et al* (2003) os considera dispositivos heurísticos úteis para o teste de hipóteses, aprendido sobre a dinâmica dos sistemas e projeção dos padrões espaciais de mudança destes sistemas. Soares-Filho (1998) propõe a modelagem simulatória através da observação histórica da evolução da paisagem. Inicialmente é realizada a modelagem segundo o tempo passado, afim de calibrar o modelo com dados empíricos, e finalmente a projeção de cenários futuros.

Simular a expansão histórica da malha viária não oficial da Amazônia, considerando os padrões espaciais desta mudança é abraçar a visão de que os modelos simulatórios podem contribuir na compreensão dos fatores que influirão nas tomadas de decisões pelos agentes locais, no futuro. Assim, o presente trabalho contribui nos esforços enredados pela comunidade científica internacional na compreensão do processo de desmatamento amazônico.

### ***1.2 - Objetivo Geral:***

O objetivo do trabalho é realizar a simulação computacional da construção de vias terrestres numa porção do leste do Pará. A simulação se dará em tempo passado, e buscará reproduzir a localização, os padrões de estrutura da rede viária e a quantidade de vias construídas ao longo do tempo, na área de estudo.

### ***1.3 - Objetivos Específicos:***

A simulação da construção de estradas não foi ainda extensivamente explorada<sup>3</sup> no escopo do projeto “Cenários para a Amazônia”, embora um modelo construtor de estradas já tenha sido implementado.

Assim este trabalho objetiva:

- Buscar soluções práticas para a modelagem simulatória dos padrões espaciais da rede viária vicinal amazônica.
- Classificar e escolher possíveis causas da abertura de novas estradas, os determinantes de sua distribuição regional e da estrutura da rede viária.
- Verificar alguns pressupostos adotados no modelo de expansão viária pré-existente no modelo SimAmazonia.

### ***1.4 - Estrutura do trabalho:***

O trabalho dividiu-se nas seguintes etapas:

Levantamento bibliográfico para a determinação de um modelo conceitual do crescimento da malha viária não oficial em regiões de fronteira.

Seleção das variáveis que apresentam relevância na escolha de destinos destas estradas, dos caminhos percorridos, e da quantidade de estradas construídas.

Elaboração de um banco de dados espaciais em SIG (Sistema de Informações Geográficas), utilizando-se as variáveis disponíveis dentre aquelas selecionadas como relevantes e compatíveis entre si.

Modelagem dos parâmetros de entrada do modelo construtor de estradas, notadamente os comprimentos e número de estradas, o mapa de atratividade e a superfície de custo.

Rotina de calibração, execução e validação do modelo construtor de estradas no Software DINAMICA.

Análise dos resultados obtidos com a simulação, e dos métodos de validação e calibração utilizados.

---

<sup>3</sup> Esta é a primeira vez em que a construção de estradas em si é abordada como tema principal de um modelo de simulação dentro do projeto “cenários para a Amazônia”.

## **CAP. 2: DETERMINANTES ESPACIAIS DA ABERTURA DE ESTRADAS**

A fim de subsidiar a simulação dos padrões espaciais da rede viária do leste paraense, foi realizado um levantamento bibliográfico para a determinação de um modelo conceitual para a expansão da rede viária amazônica. Foram ainda pesquisados trabalhos anteriores de modelagem de construção de rede viária que se aproximassem do escopo do estudo deste trabalho.

Na maioria dos trabalhos pesquisados, as estradas vêm sendo utilizadas como variável empírica na determinação do desmatamento. Pouca atenção foi dada ao entendimento dos motivos de sua construção por agentes locais.

Nota-se especialmente que trabalhos árduos de revisão bibliográfica foram realizados por alguns autores para levantar as causas do desmatamento (Notadamente Angelsen & Kaimowitz (1999) e os trabalhos de Gueist e Lanbin (2001, 2002 e 2003)), mas não são citados exemplos de modelagem viária, nem é feita distinção entre as causas da implantação de vias e as causas do desmatamento.

A localização de estradas não oficiais já era anteriormente conhecida, mas com pouca precisão (Souza-Jr e Brandão Jr, 2005). Como exemplo, destaca-se que nos estudos realizados por Sant'Anna (1998), Becker (1990, 1994 e 2001), Valverde *et al* (1979 e 1989) utiliza-se a noção de corredores viários ao longo do eixo das principais vias construídas pelo Estado. Tais corredores constituem áreas ao redor das rodovias, geralmente dentro da chamada zona de influência das estradas principais. Sant'Anna (1998) chegou a estimar a quantidade de estradas vicinais, não pavimentadas e de leito natural na Amazônia, mas este dado não está devidamente localizado. Estas são apenas noções imprecisas da localização de tais vias.

Mas dois dos trabalhos localizados tratam do tema das estradas com interesse mais específico em sua modelagem.

De forma mais simples, Reis (2001) modela o ritmo de expansão da malha viária no polo siderúrgico de Carajás. Ele se interessa pela taxa de crescimento empiricamente observada na rede viária planejada. Condições ecológicas, populacionais e econômicas determinam a quantidade de estradas que serão pavimentadas. Mas deve se destacar que tal modelo considera apenas estradas planejadas, e que a extensão da malha viária é agregada por município, não havendo, portanto, qualquer preocupação com a localização e estrutura topológica da rede viária.



Com uma modelagem um pouco mais complexa e sofisticada, Soares-Filho *et al* (2004) apresentam um modelo construtor de estradas em que o grau de atratividade de uma região e as dificuldades de transposição do terreno influenciam a localização e traçado de novas estradas. O modelo emprega ainda uma superfície de custo acumulado para determinar os caminhos mais fáceis de transpor, que se pressupõe sejam próximos às escolhas dos agentes construtores de estradas locais. Mas deve-se destacar que em tal modelo diversas variáveis têm que ser fornecidas pelo pesquisador, como a densidade da malha viária e o comprimento médio das estradas que serão construídas. Os métodos de estimativa destes parâmetros ainda não foram bem desenvolvidos.

O modelo proposto por Soares-Filho *et al* (2004) é então, dentro do levantamento bibliográfico realizado, o único a entender a malha viária não oficial da Amazônia com base em condicionantes espaciais, como a atratividade e o custo de construção e acesso. Assim ele serviu de base para o desenvolvimento do trabalho e será, portanto, apresentado:

Delineia-se um modelo conceitual em que os fatores que dificultam o tráfego no terreno determinam os caminhos trilhados pelos agentes construtores de estradas. Como pode ser visto na Figura 1, a facilidade de acesso, as condicionantes da atratividade, a localização de unidades de conservação e os cenários propostos (Soares-Filho *et al*, 2006) determinam os possíveis destinos de estradas. As setas indicam a dependência entre os componentes do modelo. O resultado da modelagem é um mapa de distribuição viária.

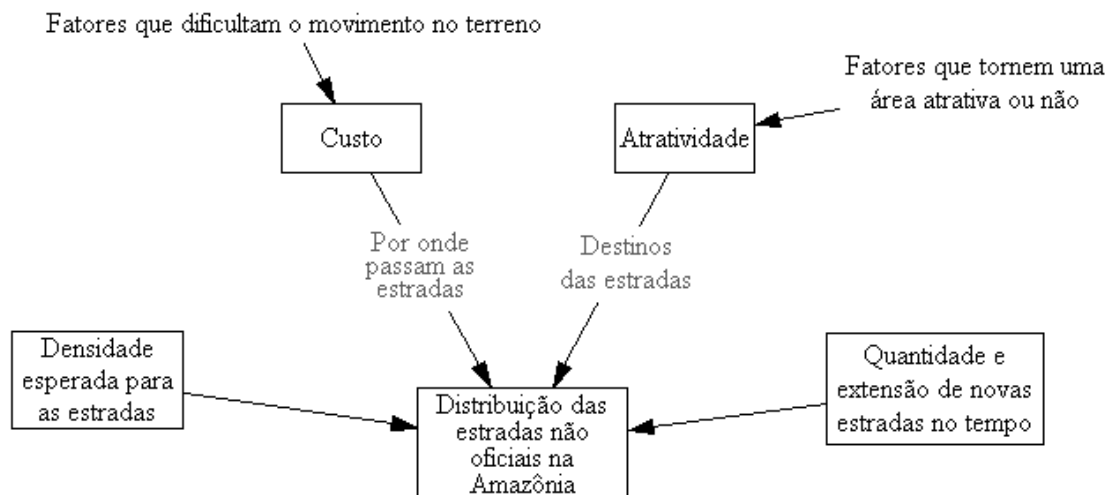


Figura 1: Modelo conceitual para construção de estradas não oficiais.

A densidade esperada para as estradas, e a quantidade e extensão das vias podem ser retiradas de observações empíricas. Não representam, portanto, um problema enquanto a simulação procura reproduzir o passado. Mas no caso do custo e da atratividade que são

dados secundários, fruto de uma abstração da paisagem, é necessário ter noção de quais fatores ou quais variáveis influirão sobre seu cálculo.

A partir deste ponto, a revisão bibliográfica focou os métodos e variáveis que supostamente determinarão o custo e a atratividade.

Superfícies de custo e a determinação de caminhos menos custosos são bastante difundidos na Geografia dos Transportes (Husdal, 2000 e Rodrigue *et al*, 2005). Esta foi a base teórica utilizada para o cálculo dos custos.

Não foi localizada, entretanto, uma definição formal para o termo atratividade, como utilizada no contexto do modelo SimAmazonia.

A atratividade é representada em Soares-Filho *et al* (2004) através de um mapa de probabilidades de novo desmatamento. A probabilidade pode ser estimada de várias formas, mas a mais recente é através da análise bayesiana de uma série de variáveis cuja correlação com o desmatamento é aparente. Esta análise estima, pela evidência dos desmatamentos passados, qual seria o peso que cada variável teve sobre o desmatamento naquele período de observação. E para cada porção da paisagem em análise de desmatamento futuro, as variáveis presentes naquele ponto são avaliadas juntamente com seus pesos, para determinar o quão provável será daquela área sofrer novo desmatamento. Os fatores envolvidos no cálculo destas probabilidades estão relacionados em grande parte com as pressões socioeconômicas, oportunidades e possibilidades de investimentos e ganhos dos agentes desmatadores. Mas esta é uma atratividade para o desmatamento, e dentre as variáveis empregadas, encontra-se justamente a distância às estradas. Serão os mesmos fatores que levam ao desmatamento estudado pelo SimAmazonia, os fatores que levam à construção de estradas? Levantou-se, então a hipótese de que haja alguma coincidência entre as variáveis que regem a abertura espontânea de estradas por agentes locais e as causas do desmatamento em terra firme. Afinal, o transporte de insumos e da produção é essencial a qualquer atividade produtiva. Mas a coincidência entre as variáveis não deve ser perfeita, pois nem todo empreendimento justificaria a construção de estradas por questões de custo, como o pequeno garimpo, ou extração de madeira de baixo valor. Segundo Veríssimo, Lima e Lentini (2002), estas atividades tornam-se inviáveis a certas distâncias, quando não há infra-estrutura prévia. Os ganhos não justificariam grandes investimentos. Mas este já é um ponto de referência válido para o início deste estudo.

Partiu-se então à enumeração das variáveis tipicamente relacionadas ao desmatamento em trabalhos anteriores, e à busca de trabalhos que realizem considerações

importantes sobre a abertura de novas estradas, de forma a pré-selecionar um conjunto de variáveis candidatas que serão reavaliadas posteriormente, de forma mais criteriosa.

Para determinar quais variáveis seriam candidatas à inclusão na modelagem dos custos e da atratividade, foram úteis as classificações montadas por Angelsen e Kaimowitz (1999) e por Geist e Lanbin (2001, 2002 e 2003) para as “causas e forças motrizes do desmatamento”, que resumem bastante a tarefa de pesquisa.

As causas<sup>4</sup> do desmatamento levantadas, então, foram classificadas segundo um critério semelhante ao de Geist e Lanbin (2001), considerando sua significância ou validade como força motriz da construção de estradas, e sua disponibilidade como dado.

A escolha deste referencial de classificação deveu-se à maior flexibilidade da combinação das variáveis em escalas locais que esta classificação permite.

Sempre que possível foram apontadas as diferenças entre os dois fenômenos (de abertura de estradas e desmatamento)

Foram aproveitadas as causas citadas tanto por Gueist e Lambin (2001, 2002 e 2002), quanto por Angelsen e Kaimowitz (1999), como por outros autores pesquisados.

Por causa, entenda-se qualquer fator cuja intensidade e/ou distribuição no espaço seja reconhecidamente capaz de influir na forma, localização e quantidade de vias terrestres abertas num local e num dado período de tempo.

A princípio, no item 2.2 - são apresentadas as classificações tanto de Gueist e Lambin (2001, 2002 e 2002), quanto de Angelsen e Kaimowitz (1999), como forma de permitir uma melhor compreensão do esquema classificatório e dos motivos da eliminação de algumas variáveis. Em seguida, são discutidas as variáveis levantadas em bibliografia, seguindo critérios semelhantes. Por fim, são exibidas as variáveis candidatas pré-selecionadas.

## ***2.1 - Classificações das causas do desmatamento***

Angelsen & Kaimowitz (1999) compilaram as variáveis descritas em 140 trabalhos de modelagem do desmatamento no mundo<sup>5</sup>. Estes autores utilizam uma tipologia<sup>6</sup> para causas semelhante à utilizada por Geist e Lanbin (2001).

---

<sup>4</sup> O termo “causas” sugere uma relação direta e suficiente de causa e consequência. Mas tal relação nem sempre é verdadeira para variáveis isoladas, já que certas variáveis só farão sentido se analisadas num contexto de sinergias e correntes de causalidade. Adotar-se-á, entretanto, este termo para manter correspondência com os esquemas de classificação pré-existentes.

<sup>5</sup> Os trabalhos compilados por Angelsen & Kaimowitz (1999) referem-se a desmatamento de uma forma geral, ao redor do mundo e não apenas do caso específico amazônico. É preciso cuidado quanto à aplicabilidade e confiabilidade das variáveis analisadas, pois seu emprego no caso específico da Amazônia Brasileira pode manter relação muito mais bem definida com o aumento do desmatamento, do que quando analisada como causa mundial, ou mesmo podem não estar relacionadas com a Amazônia Brasileira.

- Fontes ou os atores que participam no desmatamento e tomam suas decisões baseado nas variáveis de escolha
- Causas proximais ou imediatas ou conjunto de fatores capazes de interferir diretamente nas decisões dos agentes do desmatamento
- Causas subjacentes ou condições macroeconômicas que influem no desmatamento, mas cujas relações são mais difíceis de definir.

As causas imediatas ou proximais citadas encontram-se no Quadro 1:

*Quadro 1: Causas proximais do desmatamento e seus efeitos observados nos 140 trabalhos analisados.*

Causas Proximais Citadas	Efeito Normalmente Relatado
Preço de produtos agrícolas Facilidade de acesso por estradas	Aumento favorece o desmatamento.
Preço de insumos agrícolas Disponibilidade de crédito Progresso tecnológico Situação de títulos de propriedade Preços da madeira	Aumento ou redução destes fatores ou dos benefícios por eles apresentados têm efeito indeterminado ou duvidoso no conjunto dos trabalhos analisados.
Condição (salário) do emprego fora do campo	Aumento reduziria o desmatamento.

Fonte: Adaptado de Angelsen e Kaimowitz (1999).

Destas causas, aquelas cujo efeito foi classificado como indeterminado ou duvidoso não têm interesse neste trabalho, pois faltam evidências notáveis na bibliografia que lhes dêem respaldo, ou há dúvidas em sua aplicabilidade. Ao mesmo tempo não foram encontrados indícios que pudessem estabelecer a relação entre valor de salários fora do campo e a evolução da estrutura viária, já que as fontes ou agentes envolvidos na construção de estradas são geralmente empreendedores que irão investir em infra-estrutura, e não alguma população flutuando entre suas tentativas de colonização e subsistência, e seu emprego nos núcleos urbanos. Assim, destas variáveis proximais citadas, apenas os preços de produtos agrícolas e a facilidade de acesso por estradas poderiam ser considerados, lembrando-se, é claro, da limitação de que tais preços variam em escala regional.

---

<sup>6</sup> Angelsen & Kaimowitz (1999, p.73) apresentam uma abordagem lógica simples para analisar o desmatamento em três níveis diferentes que englobam suas fontes, suas causas imediatas e suas causas subjacentes. A forma como os diversos trabalhos por ele analisados utilizam essas nomenclaturas é, entretanto, bastante inconsistente, segundo estes autores.

As forças subjacentes citadas encontram-se no Quadro 2:

*Quadro 2: Forças subjacentes do desmatamento e seus efeitos observados nos 140 trabalhos analisados.*

Forças Subjacentes Citadas	Efeito Normalmente Relatado
Densidade Populacional	Aumento intensifica desmatamento
Renda Crescimento econômico	Efeito simultâneo sobre a atratividade da exploração de recursos naturais e sobre a atratividade do trabalho fora do campo. Tais efeitos podem se anular.
Progresso tecnológico (efeitos de equilíbrio geral) Dívida Externa Liberalização do comércio	Efeitos indeterminados ou duvidosos <sup>7</sup>

Fonte: Adaptado de Angelsen e Kaimowitz (1999).

Destas causas, somente a densidade populacional não apresenta efeito inconsistente ou duvidoso. Mas não foi encontrado na bibliografia consultada qualquer relato de sua influência sobre a abertura de novas estradas ou sobre o padrão da malha viária. Infelizmente, os dados obtidos por este trabalho estavam agregados por município, sendo, portanto, incompatíveis com a análise local, como exposto por Angelsen e Kaimowitz (1999). Logo, nenhuma causa subjacente seria candidata de uso pelo modelo.

Já Geist e Lanbin (2001) diferenciam-se por dizerem que as forças subjacentes são processos sociais fundamentais, “que influenciam as causas próximas e mesmo operam no nível local” (Geist e Lanbin, 2001: p.1), e não apenas macroeconômico.

Angelsen e Kaimowitz (1999) atribuem a causalidade de cada um destes grupos de fatores (próximos ou subjacentes) a uma dada escala de análise, negando a combinação de diferentes escalas por causar ambigüidade nas relações de mútua influência. Já Geist e Lanbin (2001) contrariam esta idéia e admitem que forças subjacentes poderiam ser consideradas num estudo de escala local, guardadas as aplicações de cada uma nesta escala<sup>8</sup>.

Para Geist e Lanbin (2001), o desflorestamento tropical é dirigido por “padrões de causalidade sinérgica” entre as forças subjacentes, que dirigem as causas proximais.

Foram identificados 4 grupos de causas proximais e 5 de forças subjacentes. Nas causas proximais, os grupos são:

- Expansão agrícola.

---

<sup>7</sup> Efeitos indeterminados ou duvidosos significa que os próprios trabalhos consultados não foram capazes de definir o efeito das variáveis com precisão, ou o efeito citado não foi devidamente comprovado, dependendo muitas vezes de suposições ou dados pouco confiáveis.

<sup>8</sup> Considerando um exemplo, temos que no contexto econômico internacional os preços da madeira não farão sentido na diferenciação local da indústria madeireira, mas estes mesmos preços variam regionalmente e podem influir na viabilidade econômica de se explorar madeira em um local específico, como sugerido por Veríssimo, Lima e Lentini (2002), apresentando assim relevância numa análise local.

- Extração madeireira.
- Extensão da infra-estrutura.
- Outros fatores vários que não puderam ser agrupados de outra forma

Estas variáveis têm influência principalmente na localização dos desmatamentos.

Para as forças subjacentes, agruparam-se:

- Fatores demográficos.
- Fatores econômicos.
- Fatores tecnológicos.
- Políticas e fatores institucionais.
- Fatores culturais.

A maioria dos fatores demográficos, econômicos, tecnológicos, políticos e culturais são difíceis de considerar devido a correntes de causalidade muito complexas e aplicação em contexto global ou nacional, muitos sem expressão local. Estão também relacionados muito mais ao momento político e econômico do país, sendo relatadas geralmente ocorrências históricas específicas como guerras, epidemias e outros fatores vários que os disparariam. Eles têm ainda muito mais relação com variações nas taxas de desmatamento e mesmo da construção de estradas no tempo.

Para capturar seus efeitos sobre as taxas de abertura de novas estradas, lançou-se mão de uma abordagem empírica, que procurou quantificar o crescimento da malha viária, sem a intenção de entender as variáveis que causaram tais mudanças através do tempo. Assim, crescimento vegetativo, qualidade de vida, crescimento econômico, nível tecnológico, a maioria das alterações políticas e comportamentos individuais não foram quantificados ou não serão considerados na modelagem, de forma a manter o escopo do trabalho mais restrito.

## ***2.2 - As variáveis candidatas levantadas em bibliografia***

### *2.2.1 - exemplo da colonização anterior*

Notícias ou propaganda de histórias de colonização bem sucedidas acabaram atraindo gente motivada a seguir os mesmos passos de colonos anteriores na Amazônia. Exemplos de tal fenômeno são descritos por Nepstad (2000) e IPAM (2000) para o caso da BR-163, quando a simples notícia de asfaltamento já incentivou a ocupação de novas terras. Greenpeace (2001) afirmam que esta mesma notícia levou à abertura de novas estradas na região. Becker (1990) demonstra o caso da Transamazônica e Rondônia, onde

as experiências inicialmente positivas dos primeiros colonos atraíram novos colonos para estas áreas. Esta seria uma força subjacente em nível local, para Geist e Lanbin (2001).

Curiosamente, não só o ritmo de desmatamento foi influenciado pelo exemplo da colonização anterior, mas também a estrutura viária. Pode-se inferir da leitura de Becker (1990) que mesmo os ramais da Transamazônica que foram estendidos sem planejamento, num segundo momento de colonização, apresentaram a estrutura do plano de ocupação inicial do Governo Federal: Em linha reta, ignorando o relevo e hidrografia. Os novos colonos simplesmente continuaram utilizando a estrutura de “espinha de peixe” pré existente.

Observado este fato, é preciso verificar se historicamente houve imitação das estruturas viárias previamente existentes na paisagem, antes de tentar aplicar superfícies de custo. Esta variável delimitará regiões e locais com diferentes tendências de escolhas pessoais dos agentes construtores de estradas.

#### *2.2.2 - Acessibilidade: condição para exploração de um recurso.*

As terras firmes da Amazônia praticamente não foram ocupadas antes das políticas de integração nacional do Governo Federal, por volta da década de 70. A causa seria a inacessibilidade destas áreas devido a restrições de navegação em rios de planalto e impenetrabilidade da mata. Becker (1990), Valverde et al (1979 e 1989), Ferreira da Silva (1982), Sant’Anna (1998) e SUDAM (1976) apresentam indicações nesse sentido. Mas a acessibilidade depende de diversos fatores para ser definida (Rodrigue et al, 2005), entre eles: o número de interconexões de uma rede viária, as condições de tráfego de pessoas e veículos, a distância a ser percorrida e outros vários fatores relacionados ao custo e viabilidade de deslocamento<sup>9</sup>.

As distâncias a elementos-chave presentes na paisagem são fatores de acessibilidade. Estas distâncias podem ser consideradas causas proximais na classificação de Geist e Lanbin (2001), manifestando-se em escala local e mesmo regional. São elas:

**Distância às estradas principais ou rodovias** – por analogia à sua influência nos desmatamentos (Angelsen e Kaimowitz, 1999; Geist e Lanbin, 2001) esta distância está relacionada também à abertura de estradas. O motivo é que a grande maioria dos desmatamentos e, portanto, terras ocupadas, encontra-se a até 50km de cada lado das

---

<sup>9</sup> Nunca se deve perder a referência de que se utilizou apenas variáveis cuja causalidade foi notável na abertura de estradas, conforme a literatura citada sobre a Amazônia.

Rodovias Federais. É a chamada “Zona de Influência das Rodovias Federais”, e onde tenderiam a ser construídas mais estradas, seguindo-se a analogia proposta.

**Distância da malha viária prévia** – quanto mais distante um destino escolhido for de alguma via de acesso previamente existente, maior será o custo para alcançá-lo, abrindo uma nova estrada, o que influi sobre quão longe tende a ir uma estrada.

**Distância dos polos madeireiros** – segundo Greenpeace (2001) a exploração madeireira (especificamente do mogno) ocorre a até 500km da serraria mais próxima. Esta geralmente se encontra em uma cidade. Souza Jr. *et al* (1997) também consideram tal distância relevante em seu modelo de máximo alcance da atividade madeireira, porém as distâncias viáveis dependem do preço e disponibilidade regionais de madeiras de diferentes valores, e das condições das vias pré-existentes.

**Distância do mercado consumidor local** – este mercado consumidor representa toda aglomeração populacional, especialmente os centros urbanos de variados tamanhos. Margulis (2003) inclui esta variável em seu modelo de viabilidade da pecuária, atividade segundo ele, capaz de promover abertura de estradas.

**Distância do Centro-Sul** – Valverde *et al* (1989) justifica a menor expressão dos projetos de colonização do Acre frente aos de Rondônia, por sua maior distância ao Centro Sul. Rondônia está no meio do caminho, desencorajando os migrantes a continuarem sua jornada em direção a regiões mais distantes, quando havia boas terras durante o trajeto. Pequenas variações nesta distância não devem ser sensíveis, já que a escala considerada é nacional.

**Distância dos projetos de colonização oficiais** – Becker (1990) apresenta a colonização espontânea no município de Cacoal, em Rondônia. Também apresenta o caso da Transamazônica, onde vicinais foram alongadas ou construídas por agentes locais. Em ambos a ocupação espontânea buscou ocupar terras próximas ao projeto de colonização original, na aparente esperança de que os lotes apossados fossem regularizados junto com os dos colonos oficiais.

**Distância à hidrografia navegável** – o Greenpeace (2001) denuncia o escoamento de toras de mogno por rios paraenses. A madeira seria transportada dos pátios de armazenamento até as balsas, através de estradas construídas exclusivamente para este fim, sem a necessidade de serem ligadas à rede viária terrestre. Souza Jr. *et al* (1997) atribuem menor impedância (resistência ou dificuldade de traslado) no transporte de toras de madeira por via fluvial, do que por via terrestre. Infelizmente, a descrição mais completa



obtida da navegabilidade foi a de Sant'Anna (1999), que usa referências como kilometragens de rios a partir de pontos de referência, cuja localização nem sempre pode ser determinada mediante os dados disponíveis, gerando um dado incompleto. Finalmente, o desbravamento da Amazônia, anterior ao Plano de Integração Nacional poderia apresentar algum efeito negativo na acessibilidade. Becker (2001) e Valverde *et al* (1989) apontam uma colonização antiga ao longo da rede hidroviária, até o limite da navegabilidade. Estas são áreas onde se estabeleceram preferencialmente os seringueiros, castanheiros e outras comunidades tradicionais, que podem oferecer resistência à ocupação de seus espaços

**Interconexão da rede viária** – para Rodrigue *et al*, 2005, mais interconexões numa rede viária favorecem a acessibilidade. Mas esta variável pode ainda ter outros usos, e caracterizar outros aspectos da paisagem. Se mensurada com sucesso, talvez possa fornecer uma indicação da **consolidação da fronteira**, já que Margulis (2003) associa o adensamento da rede viária principalmente ao estabelecimento da pecuária não especulativa, que necessitaria de melhores condições de escoamento da produção, com melhores estradas e mais opções de caminhos. Numa caracterização simples das fronteiras pioneira e consolidada por este aspecto, temos que Verísimo, Lima e Lentini (2002) e Greenpeace (2001) atribuem a abertura de estradas à busca por recursos na floresta pela atividade madeireira. Esta demanda é típica das fronteiras pioneiras, momento em que as estradas construídas geralmente acessam diretamente os recursos desejados. Já Margulis (2003) sugere que nas áreas de pecuária consolidada a qualidade das vias e a existência de caminhos alternativos são necessidades do escoamento da produção.

Suspeita-se ainda que esta variável poderia representar uma medida da “saturação viária”. Na Geografia dos Transportes, a demanda é um fator importante a ser considerado no planejamento viário, quando o foco é a produção e consumo de mercadorias que necessitam ser transportadas, segundo Rodrigue *et al* (2005). Neste sentido, há a demanda por transporte menos custoso, requerendo melhorias na infra-estrutura viária, e há a demanda por acesso a novos recursos, requerendo a criação de infra-estrutura básica. A saturação viária representa a satisfação dessas demandas, ou seja: a partir do momento em que satisfizeram-se as demandas básicas de transporte na região e cada fazenda, cada empreendimento, pátio ou infra-estrutura produtiva estão ligados à rede viária, novas vias de acesso não precisariam ser construídas. A partir deste momento, as demandas passariam a ser por melhorias na rede, como caminhos alternativos, vias pavimentadas, vias

retificadas, ou caminhos mais curtos., até que esta demanda também fosse satisfeita, e a construção de novas estradas cessasse. Uma possível medida da interconexão seria a classificação e contagem dos nós viários por tipo de conexão, e sua comparação entre as fronteiras chamadas de pioneira e consolidada. A classificação poder-se-ia dar por acesso único e alternativa de acesso, considerando as características topológicas das ligações viárias.

**Condições de tráfego** – o tipo de pavimento (asfalto ou estrada pioneira em leito natural) e o modo de transporte foram consideradas por Sant’Anna (1998) fatores importantes na consolidação da ocupação de determinadas áreas como os arredores da BR-364, em Rondônia. Já Veríssimo, Lima e Lentini (2002, p.40 e 46) e Arima e Veríssimo (2002) estimam os preços de transporte da madeira, demonstrando sensíveis diferenças no alcance viável da atividade madeireira conforme o tipo de piso disponível para transporte entre a mata e a serraria. Estes custos são descritos na Tabela 1.

*Tabela 1: Custos de transporte de madeira em toras, 1998.*

Tipo de Acesso	Custo de Transporte US\$/m <sup>3</sup> tora por km percorrido
Fluvial	De 0,05 a 0,1
Rodovias asfaltadas	De 0,1 a 0,12
Estradas de terra piçarradas, regulares e leito natural	De 0,18 a 0,60

Adaptado de: Veríssimo, Lima e Lentini (2002) e Lentini, Veríssimo e Sobral (2003).

### 2.2.3 - A ocorrência de recursos atrativos

Recursos atrativos como metais nobres, pedras preciosas e madeiras de alto valor são capazes de atrair investimentos de maior vulto em sua exploração. Justifica-se nesse caso a abertura de vias para o transporte da produção.

Como exemplo, o mogno é citado em Greenpeace (2001), em Grogan, Barreto e Veríssimo (2002) e em Veríssimo, Lima & Lentini (2002) como uma madeira cuja exploração é viável a grandes distâncias do local de processamento, levando à construção de estradas para seu transporte<sup>10</sup>. Já a exploração de outras madeiras dependeria da distância à infra-estrutura prévia, sendo menor o raio da exploração madeireira viável.

Na classificação de Geist e Lanbin (2001) as ocorrências de recursos seriam causas próximas devido ao seu caráter local.

<sup>10</sup> Para a exploração do Mogno Greenpeace (2001) e Veríssimo, Lima & Lentini (2002) apresentam uma forma de prospecção realizada pelos madeireiros que localizam o mogno através de informações de mateiros e sobrevôos da selva. Mas esta prospecção não ocorre de forma sistemática e não produz resultados publicados.

#### 2.2.4 - A valorização do espaço Amazônico / Áreas protegidas

A valorização do espaço amazônico foi citada por Becker (1990) tanto como motivo para o fortalecimento de resistências, como atrativo para a grilagem e compra de terras para especulação. Sua determinação dependeria da pesquisa local dos mercados de terras, ou da utilização de critérios subjetivos de valor (importância histórica ou religiosa de um lugar para a população, como cemitérios indígenas, pontos turísticos, locais de aparições santas, ou o histórico de uso econômico de uma mata por seringueiros e locais de pesca, por exemplo), o que dificulta seu uso em escala local. Dentre os fatores que têm relação com a valorização do espaço destacam-se:

**A grilagem** - Foi identificada por Becker (1990), Nepstad (2000) e Valverde *et al* (1989) como uma das formas de expansão da pecuária e dos latifúndios, capaz de promover a movimentação de colonos. Mas não se tem dados precisos sobre a localização e intensidade desta prática, pois é ilegal e realizada às escondidas. Será então desconsiderada.

**A resistência à ocupação** pode ser traduzida em termos de locais propícios à resistência, como reservas indígenas, áreas de conservação ou áreas de projetos de pesquisa e desenvolvimento social. Encarada desta forma, ela age como filtro, tendo influência direta sobre onde é mais ou menos provável que se abram novas estradas. É, portanto, uma causa proximal que desestimula a abertura de estradas.

**A incapacidade de fiscalização do Estado** é outra força subjacente da expansão da malha viária. Tal incapacidade é apontada por Nepstad (2000) e admitida pelo próprio Estado, como pode ser observado em (GTI, 2004, p.8). Quando a presença do Estado é fraca e não se fazem cumprir as leis, a exploração ilegal e predatória de recursos naturais como madeiras de alto valor ou terras griladas e de titulação irregular tornar-se-ão mais intensas. (Rodrigues, 2004). Analogamente espera-se que a abertura de novas estradas torne-se mais intensa com a facilitação da ocupação de áreas protegidas por lei.

**O local de desmatamento prévio à infra-estrutura** - Becker (1990) e Valverde *et al* (1979) descrevem situações em que a ocupação se antecede à infra-estrutura, devido à esperança, notícia ou crença de que esta será estabelecida posteriormente pelo Estado. Já a pecuária tende a se apropriar de terras especulativas e de grilagem já previamente desmatadas e tituladas<sup>11</sup>, onde houver maiores chances de recuperação dos investimentos

---

<sup>11</sup> Margulis (2003) descreve o processo de apropriação de terras para a pecuária através da compra de áreas previamente desmatadas (incluindo terras de especulação) e à grilagem, mas também apresenta a alternativa de titulação irregular de áreas de mata

(Margulis, 2003). Isto significa valorização do espaço, e em ambos os casos pode influenciar a abertura de estradas. Para este caso, o desmatamento prévio pode ser obtido por mensuração empírica como por exemplo dados do PRODES Digital ou MODIS (OBT-INPE, 2005). Mas esta alternativa é problemática, na medida em que a malha viária reconhecida por satélite pelo IMAZON corresponde a imagens do período entre 1985 a 2001, enquanto que os dados de desmatamento do PRODES datam de 1997 em diante, e sequer cobrem toda a área de estudo em uma série temporal completa. Os dados obtidos do MODIS não acrescentam muito, pois referem-se também a períodos recentes como 2004 e 2005.

**As políticas de incentivo governamentais**, como oferta de financiamentos, construção de estradas e infra-estrutura ou assentamentos assistidos de diversas formas é uma força subjacente, pois influiria nas decisões pessoais de colonos e agricultores de se estabelecerem na fronteira, como é sugerido por Becker (1990) e Margulis (2003). Mas há uma redução drástica nos incentivos governamentais durante a década de 90 (Margulis, 2003) que não fora acompanhada pela esperada redução no desmatamento.<sup>12</sup> Rodrigues (2004) também questiona o papel desta redução de incentivos, mas de forma divergente, pois juntamente com a redução dos incentivos oficiais haveria redução da fiscalização e aumento da ilegalidade, o que pode anular ou até sobrepujar qualquer suposta redução dos efeitos dos incentivos governamentais, conforme este autor. Ainda segundo Souza Jr *et al* (2004) o crescimento das estradas não oficiais intensificou-se durante a década de 90, especialmente após 1995. As estimativas de desmatamento do PRODES, OBT-INPE (2005) demonstram a re-aceleração dos desmatamentos a partir de 1994, após um curto período menos intenso do final dos anos 80 e início dos 90. Então o papel da redução de incentivos não está claro. Considerar-se-ão somente as taxas de crescimento da malha viária e as taxas de desmatamento no período, evitando-se os ruídos decorrentes de uma tentativa de análise da função e efeitos desta variável.

### 2.2.5 - A Consolidação da Fronteira

A expansão da produção pecuária visando ganhos de capital é uma proposição de Margulis (2003), refletindo as tendências dos pecuaristas da “fronteira consolidada”. Na

---

desocupada, que ele diferencia da grilagem. Nos casos anteriores, infere-se que há um período de tempo entre o desmate e ocupação inicial e a compra da terra. No segundo caso, o pecuarista pode estar comprando diretamente a terra florestal, abrindo suas estradas já diretamente no momento do desmatamento inicial.

<sup>12</sup> Margulis (2003) atribui a manutenção das taxas de desmatamento ao estabelecimento de uma dinâmica endógena de ocupação (ou seja, não dependente de fatores externos e relacionada a capitais e interesses próprios da região)

fronteira pioneira a posse especulativa de terras seria mais comum, situação na qual não compensariam investimentos em infra-estrutura devido à expectativa de deixar a região em busca de novas terras.

Esta variável é causa subjacente.

Margulis questionou em seu trabalho os dados disponíveis de desmatamentos e estrutura fundiária, tanto do INPE (Prodes, cuja resolução não permite diferenciar desmatamentos menores que 60ha), quanto do IBAMA ou do IBGE (dados obtidos mediante declaração de proprietários de terras). O problema com os dados fundiários declarados reside na possibilidade de falsa declaração, como redução do tamanho da propriedade, por exemplo. Outros dados populacionais, de produção e de concentração fundiária dependem de cadastros muitas vezes inexistentes e inventários agrupados por município. Adicionalmente, não foram obtidos dados interpretados e capazes de descrever as intenções dos pecuaristas com suas terras.

Este trabalho não obteve outros dados que descrevam o comportamento dos agentes construtores de estradas na região de estudo. Assim, buscaram-se indicações indiretas (proxy). Margulis (2003) e Sant'Anna (1998) dão indicativos das áreas de fronteira mais consolidadas no sul e sudeste do arco de desmatamento. Assim encarada, esta variável serviria para uma classificação regional da Amazônia em diferentes fronteiras. Já Margulis (2003) diferencia o padrão viário das áreas consolidadas como uma rede viária mais desenvolvida (mais densa e interconectada) em contraposição a um padrão mais disperso na fronteira pioneira. Assim, medidas de conectividade e de densidade viária poderiam ser úteis para a classificação de áreas pela consolidação da fronteira.

#### *2.2.6 - Demais causas*

Diferenças no meio e nas formas de colonização entre **regiões de Várzea e Terra Firme** são apontadas por Becker (1990, 1994 e 2001). Estas são suficientes para a definição de modelos de ocupação distintos nas duas áreas. Também Veríssimo, Lima e Lentini (2002) e Veríssimo *et al* (1999) apontam diferenças marcantes na exploração madeireira de várzea, em relação à de terra firme no Pará e Amapá. Nas várzeas, por uma série de motivos como baixo valor das madeiras e menor ocorrência de mogno, mais a preponderância das atividades extrativistas comuns da Amazônia ocidental, pressupõe-se que haverá uma menor abertura espontânea de estradas madeireiras. Isto seria efeito da

menor capacidade financeira da indústria madeireira, e maior resistência da população local ribeirinha. É um fator cuja influência se dá em escala regional.

**O garimpo** não foi citado na revisão bibliográfica como de importância na abertura de estradas. Mas num caso extremo exposto por Reis (1996) e pelo Greenpeace (2001) sobre garimpo, foi construída uma grande estrada não oficial. Esta é a estrada ilegal de maior extensão já registrada na Terra do Meio.

Finalmente, uma última variável. **O tipo de vegetação** é citado por Souza Jr, Veríssimo, Stone e Uhl (1997) como indicador de áreas de “florestas madeiráveis”<sup>13</sup>, identificando áreas propensas ao estabelecimento de atividade madeireira e conseqüentemente de abertura de estradas.

### **2.3 - O conjunto de variáveis pré selecionadas**

Como exposto anteriormente, o levantamento bibliográfico apenas pré-selecionou um conjunto de variáveis candidatas à utilização na modelagem.

Estas variáveis servirão a diversos fins ao longo do estudo. Uma servirão de parâmetro de modelagem, enquanto outras ajudarão a definir a área de estudo, ou auxiliarão na compreensão de diferentes cenários aplicados.

Primeiramente, temos um conjunto de variáveis cujas descrições indicaram dúvida em seus possíveis efeitos sobre a construção de estradas, ou dados indisponíveis, e estas foram descartadas. São elas:

- Condições de tráfego nas estradas
- Grilagem
- Políticas de incentivo governamentais
- Dados fundiários declarados

Também as variáveis cujo efeito descrito esteja relacionado com as taxas de construção de novas estradas no tempo foram descartadas, pois assumiu-se uma abordagem puramente empírica deste aspecto, para simplificação.

- Densidade populacional

Finalmente, foram pré-selecionadas as seguintes variáveis:

- exemplo da colonização anterior (utilizada na escolha da área de estudo)
- A diferenciação entre várzea e terra firme (utilizada na escolha da área de estudo)

---

<sup>13</sup> Termo utilizado pelo autor.

- Distância às estradas principais
- Distância da malha viária prévia
- Distância dos Polos Madeireiros
- Distância do mercado consumidor local
- Distância do Centro Sul
- Distância dos Projetos de Colonização
- Distância à hidrografia navegável
- Consolidação da Fronteira
- Ocorrência de recursos atrativos
- Resistência à ocupação
- local de desmatamento prévio à infra-estrutura
- Garimpo
- Tipo de Vegetação

A aplicação destas variáveis será discutida nos capítulos 4 e 5, mediante critérios de compatibilidade com a metodologia empregada e com a área de estudo escolhida.

### **CAP. 3: DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO**

No capítulo anterior foram expostas as experiências anteriores de modelagem da construção de estradas, selecionado um modelo como base de partida para a modelagem e realizada uma pré-seleção das variáveis candidatas a determinantes da expansão e estrutura da malha viária.

A análise mais profunda das variáveis selecionadas será feita mais adiante, a partir do capítulo 4. Assim, este capítulo discutirá alguns dos pressupostos do modelo adotado como base e apresentará a base conceitual envolvida nos métodos de simulação empregados.

Seguindo o modelo conceitual do construtor de estradas do modelo SimAmazonia, será necessário fornecer suas variáveis de entrada e parâmetros de simulação para alimentar o modelo. Isto pode ser feito seguindo-se alguns passos:

- Representar os dados de entrada e saída do modelo.
- Determinar as origens e destinos das estradas.
- Indicar caminhos que possam ser trilhados pelos agentes construtores de estradas.
- Inferir o ritmo de abertura de novas vias.
- Descrever os padrões viários reais, de uma forma que permita sua comparação com os simulados.

A seguir, estes passos serão discutidos:

#### ***3.1 - Um modelo de representação da rede viária e das determinantes de sua estrutura***

O modelo proposto por Soares-Filho *et al* (2006) utiliza representação da rede viária em raster.

Husdal (2000) discute a aplicabilidade de SIGs raster na análise de redes. Através do uso de um software SIG (MFWorks<sup>14</sup>) capaz de interpretar e analisar uma série de características de redes completamente codificadas em raster, incluindo-se aí suas topologias.

Segundo Tomlin (1990), a maior diferença entre os modelos de representação raster e vetorial estão em dois tipos de imprecisão: a resolução do grid cartográfico e a representação discreta das localizações no espaço. A resolução é importante ao definir

---

<sup>14</sup> Tal software foi desenvolvido sobre as operações de álgebra cartográfica propostas por Tomlin.



tamanhos de bases de dados e número de posições ou objetos plausíveis de interpretação. Mas de maior interesse tanto sobre a resolução (agora tratada como escala) e para a definição de localização é o fato de que em raster a informação é orientada ao posicionamento, enquanto que em vetores é orientada a temas. É o mesmo que dizer que a representação vetorial pressupõe a interpretação do que está sendo representado, para depois dizer onde está, enquanto que em raster a localização é mais diretamente acessada.

Desta forma, a estrutura raster é bastante adequada para a modelagem de custo e atratividade, que serão discutidas a seguir, uma vez que permite fácil associação entre diferentes características ou variáveis da paisagem através de sua localização.

Tendo um conjunto de mapas sobrepostos, cada qual contendo um único fator variável no espaço, é possível criar uma coleção de valores das variáveis para aquela posição, conforme ilustrado pela Figura 2. Cada um destes valores pode ser usado no modelo.

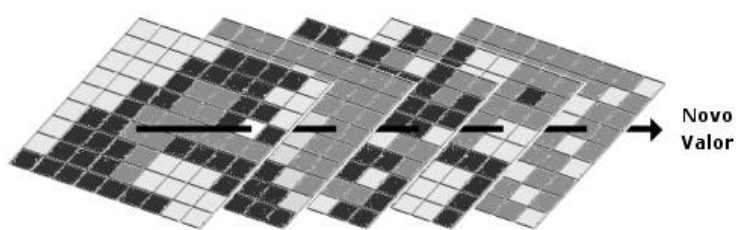


Figura 2: Mapas de variáveis.

Mas a utilização de cada modelo, raster ou vetorial, estará também relacionada com a disponibilidade de ferramentas de trabalho durante o esforço de simulação.

### ***3.2 - Determinação das origens e destinos de estradas – Modelo de atratividade.***

Seguindo os passos propostos, é hora de determinar como modelar a escolha de origens e destinos das estradas.

Já foi dito anteriormente que a abertura de estradas é fundamental à ocupação do espaço amazônico em terra firme.

Seguindo as proposições anteriormente expostas por Angelsen e Kaimowitz (1999) e Geist e Lambin (2001), infere-se que a exemplo do desmatamento, as estradas são abertas com base nas escolhas dos agentes locais. Estes podem ser madeireiros, pecuariastas, garimpeiros, colonos ou qualquer outro grupo, desde que capaz de construir estradas. Estas escolhas são norteadas por uma série de causas proximais e forças subjacentes, mas estas variáveis não determinarão, e sim sugerirão a possibilidade de que a malha viária evolua de

uma dada forma. As escolhas de agentes individuais são incertas, pois suas percepções individuais podem fazer com que eles prefiram ocupar uma porção do espaço no lugar de outra, de características iguais. O agente usa as informações que lhe foram acessíveis, o que é diferente dos fatores perceptíveis e mensuráveis a que se tem acesso em meio acadêmico. A escolha pessoal pode basear-se em critérios subjetivos, erro de avaliação ou simplesmente fatores não considerados no modelo, tornando-a aparentemente aleatória. Schäfer (2004) já apontava estas possibilidades ao descrever as dificuldades de síntese em sistemas ambientais complexos. Há incerteza e grande complexidade no problema<sup>15</sup>, já que as variáveis disponíveis ao modelo não necessariamente são todas conhecidas, ou as mesmas percebidas pela multiplicidade de agentes.

Tem-se então uma série de variáveis candidatas para a determinação de onde, quantas e como serão abertas novas estradas, mas necessita-se de uma abordagem não determinista, ou seja, inexata para lidar com o relacionamento e função destas variáveis na abertura de novas estradas.

De acordo com Wayne (1995), modelos determinísticos são todos aqueles dos quais podemos obter uma relação constante de causa e efeito, ou seja, para qualquer situação o modelo se aplicará, oferecendo resultados que devem ser precisamente correspondentes àquilo que se observa. Modelos estocásticos são todos aqueles que necessitam ser descritos estatisticamente (com base na teoria de probabilidades), pois as distribuições que eles representam, possuem fatores que os tornam em parte aleatórios. Christofolletti (1999) diz que tais modelos podem ainda ser usados em casos em que variações em fatores determinantes ao modelo não podem ser medidas com detalhe, mas seja necessária uma estimativa melhor do que a média para caracterizar tal fator.

Assim os modelos estocásticos empregados no modelo SimAmazonia (Soares-Filho *et al*, 2006) são saídas viáveis para a modelagem das origens e destinos das estradas abertas pelos agentes locais. Contudo, havendo muitas variáveis cuja influência é perceptível, como definir a importância de cada uma para a escolha dos agentes locais?

Se for questionada qual a probabilidade de um local ser escolhido como destino, caso sua distância ao polo madeireiro mais próximo tiver uma dada grandeza, e qual a probabilidade do mesmo ocorrer a uma certa distância das aldeias indígenas, notar-se-á que

---

<sup>15</sup> Forman e Godron (1986), Walsh, Evans e Turner (2004), Angelsen e Kaimowitz (1999) entre vários outros autores discutem a modelagem de sistemas complexos em cenários repletos de incertezas. Em todos os casos fica explícita a busca de novos e melhores métodos para lidar com estas duas realidades.

inferir tais probabilidades individualmente é uma questão de observação direta. Mas quando ambos os fatores são considerados em conjunto, é necessário atribuir-lhes pesos.

Os pesos podem ser definidos de várias formas, tais como: Regressão logística, estatísticas bayesianas, análise de fatores espaciais, modelos canônicos de favorabilidade, modelos de indicação de favorabilidade, pesos de evidências, modelo de pesos de evidências estendido, lógica fuzzy e modelos de redes neurais artificiais. Cada uma destas formas apresenta algumas vantagens e limitações próprias, embora tenham sido já empregadas com sucesso na determinação de probabilidades de ocorrência mineral. Chen (2004) cita tais métodos e compara um conjunto destes, incluindo os pesos de evidência.

Pesos de evidências é um método bayesiano usado para calcular as probabilidades de ocorrências minerais, baseado nos relacionamentos espaciais dos critérios de localização de jazidas e mineralizações, e nas evidências empíricas de ocorrências minerais. (Asadi e Hale, 1999).

Este método é útil para lidar com situações incertas, quando diversos fatores concorrentes, mas independentes uns dos outros tornam difícil determinar as probabilidades de ocorrência de um evento por eles condicionado.

Usam-se probabilidades a priori e probabilidades condicionais para calcular as probabilidades posteriores (já refinadas pelo método), conforme proposto no Teorema de Bayes<sup>16</sup>. As probabilidades a priori são aquelas já conhecidas ou estimadas para um dado evento. As probabilidades condicionais são dadas pela evidência empírica de que o evento ocorreu, dado que os fatores  $n_0, n_1 \dots n_x$  ocorreram na mesma posição da paisagem. Do conjunto das situações únicas de ocorrência do evento e os respectivos fatores associados, tira-se o peso que cada um destes fatores exerceu sobre a ocorrência do evento.

Segundo Bonham-Carter (1994) uma das vantagens deste método é que ele é objetivo, evitando-se fatores subjetivos na escolha dos pesos. Mapas de entrada com cobertura incompleta podem ser acomodados no modelo, e as incertezas devido a variações de pesos ao longo do mapa, ou à falta de dados, pode ser modelada para demonstrar seus efeitos na probabilidade posterior. Já Soares-Filho (2005) e Soares-Filho *et al* (2005) afirmam que “este método não está preso aos clássicos pressupostos dos métodos paramétricos, o que os dados espaciais freqüentemente violam. O efeito de cada variável

---

<sup>16</sup> O teorema de Bayes baseia-se na premissa de que sendo possível comprovar que um dado evento ocorreu na presença de um fator, a crença na possibilidade de que aquele evento ocorra em tal situação aumenta. Caso contrário, a crença diminui. Ou seja, as probabilidades posteriores são obtidas a partir do conhecimento prévio adquirido sobre a ocorrência do evento. (Pires et al., 2002; Soares, 2005; Yamane, sem data).

pode ser calculado independentemente de uma solução combinada”. Assim é possível selecionar as variáveis de maior importância para a análise de mudanças na paisagem.

A única limitação imposta aos dados de entrada pelo método é que os mapas de fatores têm de ser espacialmente independentes.

Este é o método empregado pelo modelo SimAmazonia para modelar a influência das múltiplas determinantes do desmatamento, nas probabilidades de mudança na paisagem.

Extrapolando tal método para o caso das estradas não oficiais, a maior probabilidade de escolha de uma área no lugar de outra, como destino de uma estrada, traduz-se no quão atrativas são estas áreas para os agentes construtores.

### ***3.3 - Indicando caminhos que possam ser trilhados pelos agentes construtores de estradas – Modelo de custo.***

A determinação do traçado das estradas também é necessária. O modelo proposto no modelo SimAmazonia utiliza uma superfície de custo para traçar caminhos otimizados. Isto parece lógico, pois mesmo que de forma não planejada, os agentes locais provavelmente buscam as alternativas mais viáveis de investimento, para alcançar maiores ganhos.

Como pode ser visto em Husdal (2000), Stahl (2005), Clark Labs (2000), ESRI (2004) o emprego de caminhos de menor custo acumulado é uma técnica bastante difundida no planejamento viário. É usada para a implementação de infra-estrutura ou para o traslado de veículos terrestres. Também para o cálculo dos custos de transporte de uma dada mercadoria, como utilizado por Souza Jr, Veríssimo, Stone e Uhl (1997) no cálculo do máximo alcance da atividade madeireira. Estes autores utilizaram metodologia semelhante.

#### ***3.3.1 - Cálculo do caminhos de menor custo***

O custo é uma forma de considerar as dificuldades que se impõem ao movimento de alguma carga que esteja sendo transportada. Ele é uma função de fatores dificultantes deste movimento (atrito ou impedância), e pode ser representado por diversas unidades como preço, energia, tempo ou qualquer outra que seja determinante nos investimentos necessários para realizar o transporte (ESRI, 2004; Stahl, 2005).

Determinadas porções do terreno são mais custosas de serem atravessadas que outras devido à variação nos fatores de atrito. Os exemplos mais simples de se entender são

a distância entre a origem e o destino do transporte, e a presença ou não de barreiras ou dificuldades físicas do terreno.

Quanto maior for a distância percorrida, mais energia ou combustível tende a ser necessário para o transporte.

Há ainda o efeito do relevo, com aclives ou declives e fatores horizontais<sup>17</sup> como a direção do vento que podem favorecer ou desfavorecer certos movimentos; ou ainda a distância superficial, pois uma rampa com qualquer que seja sua declividade já é mais extensa que sua projeção no plano (ESRI, 2004; Stahl, 2005).

O custo de transporte é então acessado por uma relação matemática como a seguinte, adaptada de (ESRI, 2004 e comunicação pessoal com Hermann de Oliveira):

$$\text{Custo} = A * D$$

Onde A é o atrito e D é a distância acumulada. A é a soma dos fatores de atrito multiplicados pelos seus respectivos pesos. Diferentes implementações estão disponíveis em softwares SIG como ARC-GIS ou IDRISI, causando variações na fórmula proposta e mesmo aumentando a complexidade do modelo.

Conforme os conceitos, procedimentos e idéias apresentados por estes autores o processamento do custo se dá da seguinte forma:

Calcula-se a distância acumulada para o pixel de posição ij. Esta não corresponde simplesmente à distância percorrida para ultrapassar o pixel em questão, mas sim à soma de todas as extensões de pixels atravessados desde a origem do movimento até a posição ij. Para cada pixel da imagem é calculado um novo valor de distância, somando os valores calculados dos pixels anteriormente percorridos, até que se encontre um máximo local. Assim a distância se acumula pixel a pixel, quanto mais se distancia da origem do movimento planejado.

O atrito na posição ij é multiplicado pela distância acumulada pelo pixel, e ponderado pelos valores vizinhos. Num exemplo de algoritmos disponíveis, o: “cost push broom” age de forma semelhante ao varrer de uma vassoura, que vai empurrando os custos de um ponto inicial em direção a um dos cantos da superfície, acumulando os custos dos pixels encontrados pelo caminho. Husdal (2000) apresenta uma série de variações existentes para cálculos de custo e “*least cost pathways*”. Segundo Soares-Filho *et al* (2004) esta é a metodologia empregada no cálculo de custo pelo módulo construtor de

---

<sup>17</sup> Fatores horizontais do custo são fatores que influenciam o custo de acordo com o ângulo de sua incidência, quando este ângulo é medido paralelamente à superfície considerada. Ex: vento. Situação diferente do que ocorre com o ângulo de declividade que é fator vertical, cuja natureza é bem conhecida.

estradas do software DINAMICA. Cria-se então uma matriz de pixels (dimensões x e y), cada qual contendo o custo (dimensão z) de seu traslado desde o ponto de partida mais próximo, até o pixel a ser valorado. É uma superfície tridimensional.

Esta superfície é então encarada de forma similar a um modelo digital de terreno GRID Raster. Os pontos de maior custo são como os divisores de águas. Os custos mais baixos formam caminhos similares a talvegues onde o fluxo pluvial se concentraria. Então a solução de menor custo é “seguir o comportamento da água morro abaixo”, ou seja, seguir estes caminhos formados pelos pixels de menores custos<sup>18</sup>.

Alguns autores não concordam com a solução de “seguir o caminho das águas”, como se verifica em Husdal (2000), propondo algoritmos capazes de margear elevações do terreno, zigzagueando encostas de forma semelhante ao que as estradas fazem na realidade. Descer uma vertente de declividade alta passa a ser muito custoso neste exemplo citado, o que força ao zigzague. Mas a lei continua sendo da escolha dos caminhos de menores custos.

Seguir sempre do custo mais alto ao mais baixo trará, entretanto, uma consequência para a simulação: A rede viária produzida apresentará um tipo estrutural sempre semelhante a uma rede hidrográfica dendrítica. Não há como “subir morros” na superfície de custo. Logo, não há como ligar dois pontos de custo igual, como duas origens de movimentos.

### ***3.4 - Inferindo o ritmo de abertura de novas estradas***

Como o modelo proposto permite ao pesquisador escolher a forma de determinar o ritmo de construção de estradas, exigindo apenas o fornecimento de parâmetros da quantidade, extensão e proximidade das vias a serem construídas, este passo pode ser realizado por via de uma estimativa com base empírica. Esta estimativa é útil, uma vez que simplifica um pouco o trabalho, evitando ter-se que compreender os motivos pelos quais se construíram mais ou menos estradas em um dado período. Isto aumentaria muito a complexidade do trabalho.

Mas mesmo buscando-se uma metodologia simplificada, não interessa saber apenas o somatório das extensões das estradas ao final do período de simulação, para se determinar o crescimento da malha viária, como foi feito em Reis (2001). Também o

---

<sup>18</sup> Lembre-se de que a superfície de custo aqui interpretada como relevo não corresponde ao relevo real. Nesta lógica, os talvegues que representam baixos custos na superfície modelada não têm o mesmo comportamento que os talvegues do terreno, que podem representar até mesmo barreiras absolutas, dependendo do tipo de movimento considerado no cálculo.

número de estradas abertas por ano é importante, devido às implicações estruturais que diferentes extensões individuais de estradas podem trazer.

Lembrando que estão sendo analisadas apenas as estradas associadas ao desmatamento sensível pelo PRODES, a diferença entre a extensão em km de estradas do período posterior (t+1) e do período anterior (t) dividida pelo número de anos passados entre as duas observações forneceu os dados necessários ao estabelecimento de taxas de crescimento da malha viária em cada período destacado de 6 anos: p0 (1985 a 1990), p1 (1991 a 1996) e p2 (1997 a 2002). As taxas foram calculadas como segue:

$$\text{Incremento médio anual} = (E_{t+1} - E_t) / n \text{ anos.}$$

$E_{t+1}$  é a extensão da rede viária no final do período considerado.

$E_t$  é a extensão da rede no início do período.

Daí tem-se que:

$$\text{Taxa de crescimento anual} = \text{Incremento médio anual} \times 100 / E_t$$

O mesmo pode ser feito para o número de estradas, e não apenas a extensão da rede.

### **3.5 - Software de Simulação – Plataforma do DINAMICA**

Os métodos discutidos nos três passos anteriores estão disponíveis em diversos softwares comerciais e/ou acadêmicos como ArcGis (ESRI, 2004) e Idrisi Kilimanjaro (Clark Labs, 2000). Podem, portanto, ser implementados de formas variadas em softwares distintos, sem, no entanto, distanciarem-se dos pressupostos, estratégias e exigências metodológicas já apresentadas.

Mas O modelo SimAmazonia é implementado em um software de uso gratuito, que congrega funções capazes de modelar o custo e os pesos de evidências de forma facilmente integrável, e com a automatização ou condução de certas tarefas em passos metodológicos bem definidos: o DINAMICA.

Este tópico discutirá alguns pressupostos e exigências da modelagem no DINAMICA, já que este será o ambiente de simulação utilizado neste trabalho.

Soares-Filho *et al* (2005) define o software DINAMICA como “um sistema de informações geográficas (SIG) de caráter dinâmico, que utiliza mapas [...] para localizar as áreas mais prováveis a serem desmatadas e assim reproduzir os padrões de progressão do desmatamento”.

O DINAMICA é um ambiente de simulação baseado em autômatos celulares, capaz de inferir as probabilidades de mudanças na paisagem com base em evidências empíricas dadas por conjuntos complexos de dados. (Soares-Filho, 1998). O Software tem, portanto,

características desejáveis para executar modelos estocásticos, baseados em conjuntos de dados raster, onde influências de vizinhança e complexidade de interações na paisagem sejam fatores determinantes.

O software apresenta ainda um módulo construtor de estradas capaz de simular a expansão da rede de estradas secundárias e não oficiais, incorporando seu efeito na evolução dos padrões espaciais do desmatamento. (Soares-Filho *et al*, 2006).

### 3.6 - Características do construtor de estradas do software DINAMICA

Para implementar o modelo no software DINAMICA é preciso discutir algumas características deste software, que influem sobre como devem ser tratados os dados de entrada, e como serão os resultados da simulação.

#### 3.6.1 - Parâmetros de simulação disponíveis no Construtor de estradas

Segundo Soares-Filho *et al* (2005), o módulo construtor de estradas leva em consideração: o grau de atratividade de uma região; uma superfície de atrito ou impedância da qual é derivada a superfície de custo e os melhores caminhos; a densidade de estradas; e o comprimento médio das estradas por passo.

Para controlar a densidade e o comprimento médio das estradas por passo o software disponibiliza uma série de parâmetros, que são listados no Quadro 3:

Quadro 3: Parâmetros de simulação do Construtor de Estradas do Software DINAMICA.

Parâmetro	Função
Número de passos temporais	Determinar ritmo de construção de estradas e fases de ocupação da fronteira
Distância mínima das origens	Determinar comprimento médio das estradas
Distância máxima das origens	Determinar comprimento médio das estradas
Segmentação da paisagem	Controlar dispersão das alterações na paisagem e densidade viária
Número de destinos sorteados por segmento	Controlar ritmo de construção de estradas e densidade viária
Distância mínima entre destinos	Evitar a produção de erros topológicos como destinos extremamente próximos produzidos simultaneamente

Fonte: Soares-Filho *et al* (2005) e Comunicação pessoal com Herman de Oliveira, programador do software DINAMICA.

O uso destes parâmetros será discutido nos tópicos seguintes:

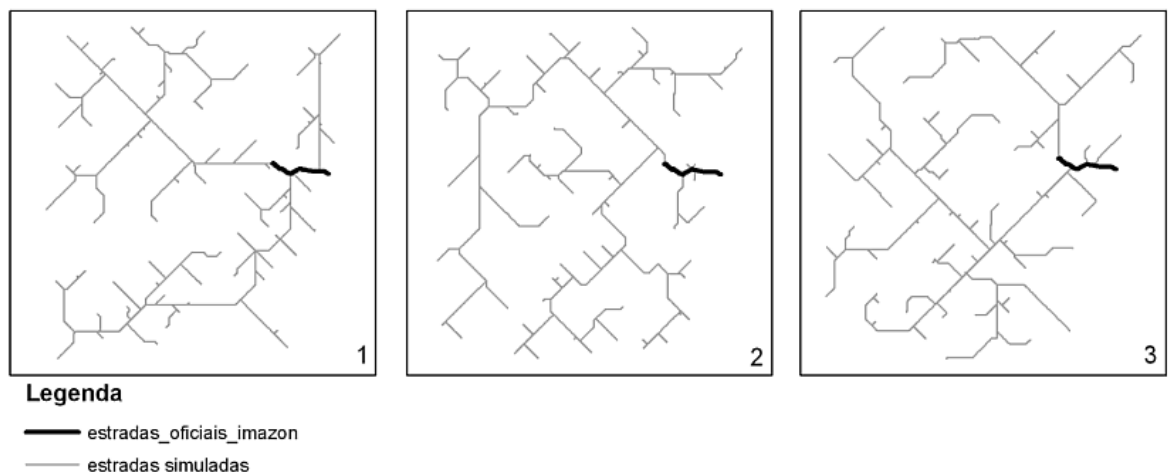
#### 3.6.2 - Conhecimento das origens e destinos das estradas

Enquanto os modelos de caminhos de menor custo tradicionais procuram apontar o melhor caminho para a construção de uma infra-estrutura de transporte entre dois pontos já definidos, o construtor de estradas do software DINAMICA tenta simular a escolha dos



possíveis pontos de destino das estradas. Só depois encontrará o caminho menos custoso a trilhar na superfície de custo, para que se alcance a possível origem mais próxima<sup>19</sup>. Assim os dados necessários para o cálculo não se limitam às distâncias superficiais e aos fatores de impedância do terreno, mas também a fatores que ajudem a determinar os locais mais prováveis para a construção de estradas. A escolha de destinos depende então da atratividade, e as origens dependem da localização dos destinos. Há incerteza na localização das estradas, uma vez que o critério de seleção de destinos é probabilístico ou caso a atratividade seja muito homogênea, até mesmo completamente aleatório.

A Figura 3 demonstra três resultados de uma mesma simulação (usando os mesmos parâmetros de modelagem e dados de entrada. O mapa de atratividade é homogêneo<sup>20</sup>). Nas três figuras a estrutura da rede obtida é a mesma, pois o número de vias por passo, seus comprimentos e densidade pretendidas são as mesmas, variando-se apenas as origens e destinos das vias. As diferenças observadas são oriundas somente da aleatoriedade da escolha de destinos pelo software.



*Figura 3: Variabilidade dos resultados de simulação*

Na Figura 3 são executados múltiplos passos de simulação. Originalmente as origens de novas estradas estarão conectadas à estrada oficial em negrito. A partir do segundo passo, as estradas de um passo serviram de origem para as estradas do passo seguinte. As novas estradas, por sua vez, seguiram o melhor caminho que foi encontrado até o ponto de origem mais próximo. A variabilidade das opções de destinos prováveis

<sup>19</sup> A proximidade aqui é relativa ao custo. Não necessariamente a distância euclidiana entre a origem e o destino escolhidos será a menor possível. O caminho de menor custo é a menor distância a percorrer do ponto de vista da facilidade de traslado.

<sup>20</sup> Num mapa de atratividade homogêneo todas as partes do mapa têm a mesma chance de ser sorteadas como destino da construção de estradas.

sorteados pelo construtor de estradas foi responsável pela diferença nos traçados e localização das vias.

É importante notar que os parâmetros disponíveis para controle do comprimento médio das estradas são as distâncias mínima e máxima das origens. Trata-se da definição de um *buffer* dentro do qual a atratividade é válida. Assim, estabelecer origens pontuais com um mapa de atratividade homogêneo tende a produzir redes na forma de estrelas, enquanto utilizar estradas prévias como origens favorece a formação de espinhas de peixe, como ilustrado na Figura 4:

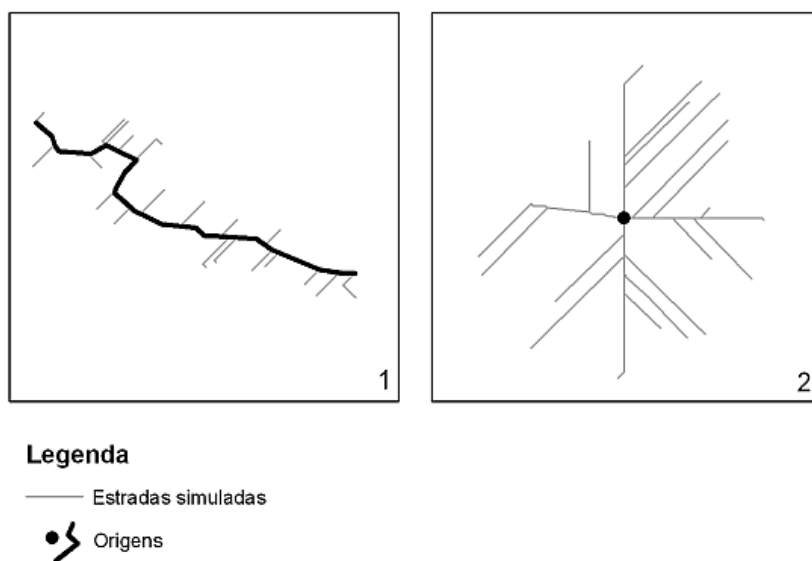


Figura 4: Diferentes estruturas produzidas por diferentes origens

### 3.6.3 - O Tempo Discreto na simulação

É preciso citar que o DINAMICA considera o tempo em momentos discretos ou passos temporais. Não existe uma unidade de tempo definida, podendo ser anos, dias, décadas ou outros períodos.

No caso da malha viária paraense, obtida para os períodos p0 entre 1985 e 1990, p1 entre 1991 e 1996 e p2 entre 1997 e 2002, não se conhece a condição da paisagem em momentos intermediários. Mas pode-se projetar taxas anuais de quantidade e extensão de estradas afim de subdividir os períodos em outros menores, possibilitando a simulação de uma maior variedade de estruturas viárias.

A Figura 5 demonstra duas situações hipotéticas em que um mesmo número de segmentos de estradas deveriam ser produzidos numa simulação. Na figura da esquerda, foi construída uma estrada por passo temporal. Na figura da direita, todas as novas estradas foram construídas em um único momento do tempo.

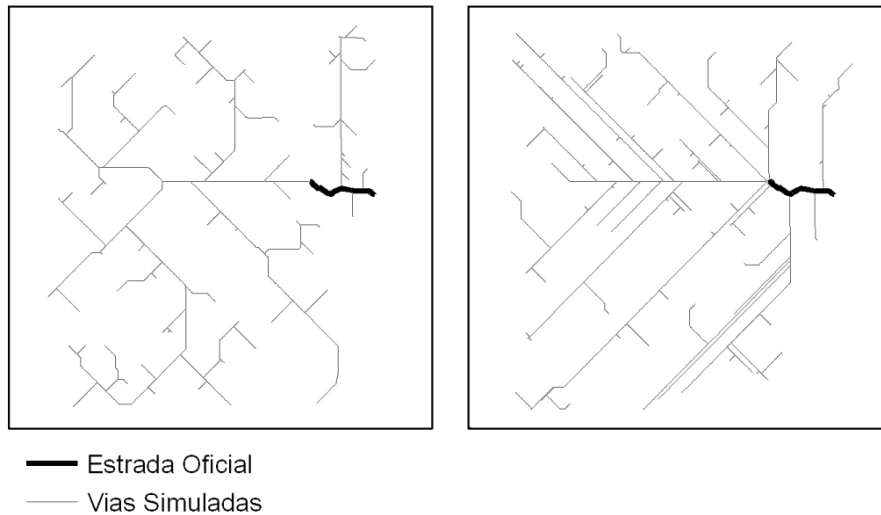


Figura 5: Variação do número de passos e estradas por passo.

Estas simulações foram conduzidas num espaço tão extenso quanto o da área de estudo real. A estrada oficial, em negrito, é de fato a rodovia PA-279 próxima a São Félix do Xingu, embora a simulação não guarde mais coincidências com a realidade. Perceba que a simulação em um único passo de tempo acabou gerando uma grande quantidade de ramais muito longos, paralelos uns aos outros, de maneira bastante artificial. Cada extremidade solta de estradas (destino) representa uma estrada distinta que foi traçada diretamente do destino sorteado até a estrada original em destaque. A aparente formação de espinhas de peixe é enganosa, resultando da sobreposição de vias que encontraram o mesmo caminho de menor custo na paisagem, seguindo como linhas coincidentes a partir de um dado ponto. Logo, as pequenas ramificações dos ramais maiores tratam-se de longas estradas, que devido ao armazenamento da informação em um único layer raster, acabaram fundindo-se, no que se tornou um tronco na rede viária. Por outro lado, na simulação da esquerda cada ramificação representa uma nova estrada que seguiu de sua extremidade livre até a estrada mais próxima, sem sobreposições.

Outro controle relativo ao tempo discreto de simulação é o uso de fases, que segundo Soares-Filho *et al* (2006) são séries de passos temporais em que os parâmetros da simulação são definidos de uma forma específica. Através de fases, é possível alterar o comportamento da simulação ao longo do tempo.

#### 3.6.4 - Controlando a extensão das estradas

Para Soares-Filho *et al* (2006), o mais comumente observado na Amazônia é a abertura de longas estradas de acesso num período de colonização inicial, seguida pela

abertura de ramais mais curtos e numerosos dentro da zona de influência das estradas principais. Existem então duas fases distintas na abertura de estradas, com extensões características em cada fase.

A Figura 6 mostra a construção de estradas a partir de uma origem pontual (por exemplo uma cidade) até porções não ocupadas da paisagem. São realizados dois passos de construção, com 12 estradas abertas em cada. À esquerda tem-se apenas uma fase de construção (2 passos sem variação de parâmetros), enquanto que à direita há duas fases, cada qual com 1 passo. Na primeira fase foram construídas estradas longas, e na segunda foram abertos ramais mais curtos. As origens das novas estradas são as vias pré-existentes. O controle da extensão das estradas foi realizado variando-se as distâncias mínimas e máximas das origens.

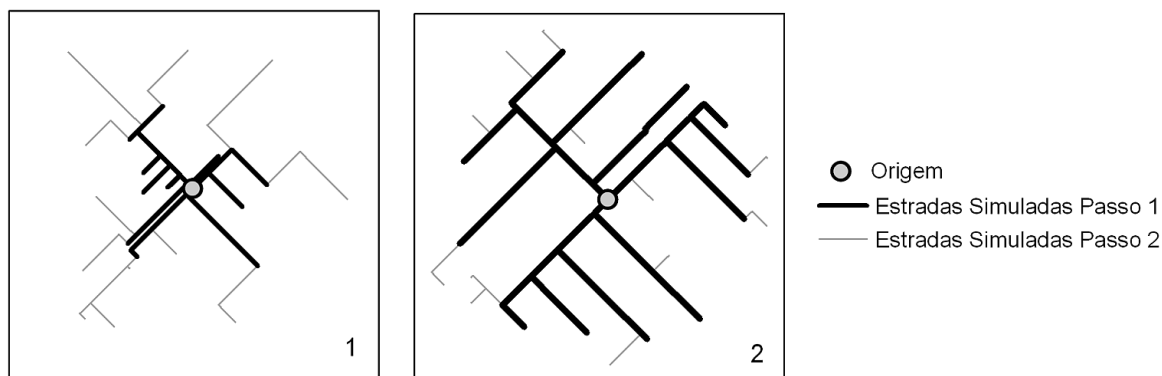


Figura 6: Simulação em fases

### 3.6.5 - Controlando o número de destinos sorteados

O DINAMICA possui um parâmetro de número de estradas produzidas por passo, em cada segmento da paisagem, possibilitando equalizar a criação de novos caminhos e a extensão ou entroncamentos dos caminhos pré-existentes.

Numa simulação de um único passo, as direções de construção de estradas serão tantas quantas forem as estradas construídas<sup>21</sup>. Se houver um segundo passo, estradas podem ser estendidas ou ramificadas a partir daquelas produzidas no passo anterior, formando troncos viários e nós de ordens variadas. Pressupõe-se que mais de um empreendimento ou destino de estrada possa ser escolhido em um mesmo passo temporal, ao mesmo tempo em que se permite que estradas sejam estendidas ao longo de múltiplos passos. Um controle preciso do número de segmentos de estradas é possível apenas a cada

<sup>21</sup> Não se pode esquecer que o software permite a sobreposição de caminhos de menor custo, permitindo algum efeito de ramificação mesmo neste caso.

passo de simulação, e não se deve esperar contar um número correto de segmentos de estradas ao final de múltiplos passos de simulação.

Possibilitar o sorteio de mais de um destino por passo possui, porém, um efeito adverso. Destinos muito próximos podem ser sorteados, forçando ao traçado de longas vias paralelas umas às outras, separadas por distâncias insignificantes, semelhantes a estradas duplicadas. Isto representa redundância inútil. Por isso, o DINAMICA possui um parâmetro para o controle topológico do sorteio de destinos. A distância mínima permitida entre destinos.

Também é possível que ocorra forte concentração espacial da construção de estradas, em função das escolhas de destinos serem mais prováveis em áreas de maior atratividade, motivo pelo qual pode ser necessário dispersar um pouco as alterações. Para isso existe um parâmetro de segmentação da paisagem em blocos regulares, que distribuirão o sorteio de destinos, realizando controle sobre a densidade dos sorteios.

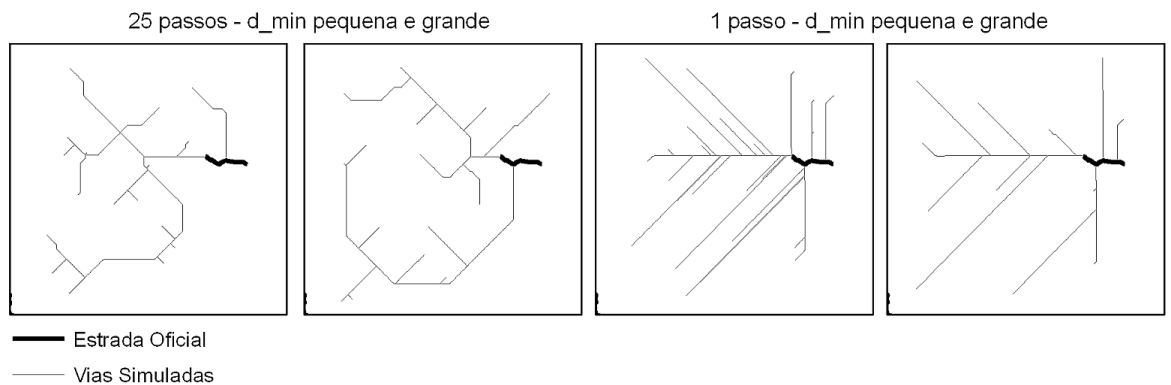
Estes controles de densidade e topologia afetam, entretanto, o controle sobre o número de vias produzidas de várias formas. Deve-se analisá-los, então, com certo cuidado.

#### 3.6.5.1 - Interferências possíveis no número de destinos sorteados

A distância mínima entre destinos é um parâmetro que auxilia na manutenção da topologia da rede viária. Mas ela só será efetiva se mais de um destino for sorteado por passo, já que o software não memoriza os destinos sorteados no passo de simulação anterior. Mesmo assim, as chances de gerar estradas duplicadas e coincidentes são reduzidas, uma vez que as condições de sorteio mudam a cada passo, devido à mudança na configuração das origens.

Este parâmetro terá, entretanto, um controle acidental sobre a densidade da malha viária e conseqüentemente sobre o número de estradas produzidas. O efeito é exemplificado na Na Figura 7. Os dois quadros da esquerda apresentam simulações em múltiplos passos. O quadro mais à esquerda apresenta uma pequena distância mínima entre destinos. O segundo quadro à esquerda uma grande distância mínima entre destinos. A localização dos destinos sorteados mudou entre simulações, mas o número e extensão de vias são semelhantes. A sucessão de passos dilui o efeito de controle da densidade viária, promovendo densidade semelhante nos dois quadros avaliados, cada qual com cerca de 15 extremidades soltas de vias. Tal padrão é constituído de 25 segmentos traçados, um a cada passo de simulação. Desta forma o efeito topológico funcionou corretamente, sem efeitos indesejáveis. Já nos quadros da direita, o número de vias é claramente diferente, em função

do efeito de controle de densidade. No terceiro quadro da esquerda para a direita há 25 linhas desenhadas (contando com sobreposições de linhas), enquanto que no quadro mais à direita há apenas 12 linhas. O número de linhas foi limitado pelo efeito de controle de densidade, mesmo que em todas as simulações a ordem dada ao software tenha sido de construir 25 estradas. Mesmo assim evitou-se a sobreposição de linhas no quadro da direita.



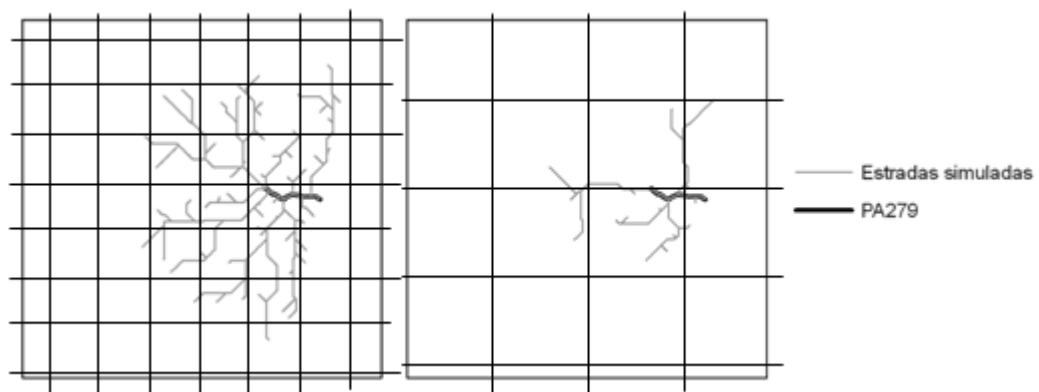
*Figura 7: Efeitos da distância mínima entre destinos*

Embora não tenha sido notado efeito sobre a densidade nas simulações de múltiplos passos, é importante esclarecer que as distâncias mínimas às origens foram configuradas de forma permissiva no exemplo da Figura 7. Foi possível sortear destinos muito próximos a estradas pré-existentes. Em uma simulação com distâncias mínimas menos permissivas, quanto mais densa a malha viária, menos oportunidades de construção de estradas estarão disponíveis. É um efeito de saturação do espaço disponível para sorteio de destinos entre estradas pré-existentes. Assim, parecerá que a densidade da rede viária pode ser controlada por meio da distância mínima entre destinos, mas o efeito advém na realidade da distância mínima entre origens. É importante notar que este outro parâmetro tão pouco serve para controlar a densidade, mas sim a extensão das vias. O efeito será falso, e isto pode causar descontrole da simulação.

Já no caso da segmentação da paisagem, que é um controle de densidade interessante para evitar concentrações indesejadas de estradas em áreas restritas da paisagem, o DINAMICA sorteia o número especificado de destinos para cada segmento disponível, desde que haja condições de vizinhança condizentes com a regra estabelecida nas distâncias mínimas e máximas às origens. Isto faz com que se perca o controle sobre o número de estradas produzidas, num efeito sutilmente diferente daquele explicado para o parâmetro de distância mínima entre destinos. A diferença neste caso é que alguns segmentos da área simulada podem estar inaptos à construção, seja pelo esgotamento do

espaço disponível para sorteio de destinos, ou também pela restrição de distância máxima à origem. Imagine que numa paisagem dividida em 9 segmentos, queira-se construir 9 estradas. Mas alguns desses 9 segmentos compreendem exclusivamente áreas mais distantes das estradas pré-existentes ou origens, do que é permitido pelos parâmetros de simulação. Se em um ou mais segmentos não for possível construir estradas devido à distância exagerada à origem, um número menor de estradas do que aquele planejado será produzido.

A porção esquerda da Figura 8 demonstra como a definição de mais segmentos força uma distribuição mais homogênea dos destinos pela paisagem, já que em cada segmento tentar-se-á construir estradas.



*Figura 8: Efeitos indesejáveis da segmentação da paisagem*

Um efeito indesejado da segmentação é aqui exibido. Muita segmentação pode levar o software a subjugar os efeitos do mapa de atratividade no sorteio de destinos, em prol da escolha de destinos em todos os segmentos aptos pelas condições de distância mínima e máxima da origem. Em grandes segmentos, o DINAMICA terá de sortear os destinos considerando as áreas mais prováveis para escolha pelos agentes locais, tendendo a ignorar áreas pouco atrativas. Haverá liberdade para a atratividade agir dentro do segmento. Mas se os segmentos forem suficientemente pequenos para que não haja liberdade de escolha, ou seja, todo um segmento seja pouco atrativo, o software terá de escolher destinos neste segmento mesmo assim. Desta forma torna-se possível que destinos sejam escolhidos em áreas pouco atrativas com a mesma frequência que em áreas muito atrativas. Inclusive áreas vizinhas. Este efeito anularia a atratividade.

Nota-se ainda pela avaliação da Figura 8, o problema de perda de controle sobre o número de estradas. Nesta figura são demonstradas duas simulações hipotéticas em que se tentou dividir por 4 o número de estradas produzidas. Diminuindo o número de segmentos

da imagem da esquerda de 64 para 16 na imagem da direita, produzir-se-ia uma razão de 4:1. Nota-se entretanto que a redução não foi a desejada, e o número de estradas pretendido não foi atingido em nenhuma das simulações, como demonstrado na Tabela 2, que quantifica os segmentos gerados em ambos os casos.

*Tabela 2 Diferenças no número de destinos escolhidos em relação aos esperados quando aplicada segmentação da paisagem*

	Figura da esquerda	Figura da direita	Razão esq/dir
	64 segmentos permitem um total de 256 destinos potenciais na simulação de 4 passos	16 segmentos permitem um total de 64 destinos potenciais na simulação de 4 passos	
	Num. de Destinos Obtido (esq)	Num. de Destinos Obtido (dir)	
Passo1	10	4	2,5
Passo2	19	5	3,8
Passo3	26	8	3,25
Passo4	39	10	3,9
Geral	94	27	3,48

Nota-se que em cada passo de simulação a razão deveria ser de 4 destinos na imagem da esquerda para cada destino na imagem da direita. A simulação foi realizada em 4 passos e os totais de sorteio de cada passo, sem acumulação com o passo anterior, foram registrados até que as figuras exibidas foram concluídas. A ordem foi de produzir 1 estrada para cada segmento da paisagem, durante cada passo, respeitando-se uma distância máxima para construção. Deveriam ser construídas 64 estradas no primeiro passo da figura da esquerda e 16 na figura da direita, para a proporção ser mantida. Porém o parâmetro de distância máxima não permitiu tal construção, e houve variação no número de segmentos aptos à construção que se avizinhavam das estrada enquanto a disposição das origens mudava. Assim perdeu-se controle sobre o número de sorteios, causando a variação não progressiva das razões entre esquerda e direita.

Percebe que os controles de densidade da malha viária, e manutenção de topologia, assim como os controles de extensão das vias apresentaram interferências entre si, alterando os resultados esperados pelo controle do número de sorteios de destinos a serem realizados.

### ***3.7 - Descrição dos padrões viários reais – Validação do modelo***

O tópico anterior demonstrou que embora haja uma diversidade de parâmetros para o controle da estrutura da malha viária no DINAMICA, estes controles não são totalmente independentes, e seus ajustes podem levar a resultados diferentes daqueles inicialmente esperados. A técnica de simulação é sujeita a estas falhas, e é justamente através da



heurística envolvida no processo de tentar reproduzir padrões espaciais reais por meio dos ajustes de parâmetros e da funcionalidades do modelo, que se espera alcançar conhecimento sobre os processos que ocorrem na paisagem.

Os resultados de simulação devem ser constantemente validados, assim como verificados os pressupostos do modelo e calibrados os parâmetros. A validação deve ocorrer contra um estado conhecido da paisagem, e as diferenças e similitudes avaliadas frente à teoria envolvida na escolha das variáveis e na descrição dos processos que formaram a paisagem.

Para a validação dos resultados da simulação de rede viária, é preciso decidir qual a pergunta certa a se fazer. Interessará a localização precisa das estradas, o que é melhor acessado pela coincidência ou acerto de localização pixel a pixel, ou interessa a localização relativa, forma e quantidade, ou conseqüentemente a função desta via e a acessibilidade resultantes? Ao considerar a incerteza intrínseca aos métodos probabilísticos empregados, e o problema de decisão humana (atratividade) estudado, é possível dizer que não interessa a localização precisa das vias.

O DINAMICA não apresenta uma ferramenta desenvolvida especificamente para a validação da estrutura viária. Foi implementado um método de similaridade fuzzy (*fuzziness of location*), adaptado para a validação apenas das alterações da paisagem.

Em autômatos celulares que distribuem alterações do uso do solo seguindo regras de vizinhança locais, o acerto significa ter na área simulada e coberta por janelas de convolução de tamanhos variados, pixels coincidentes entre o simulado e o observado na paisagem real. Quanto mais coincidências, melhor o acerto. No caso da similaridade fuzzy, Soares-Filho (2005) remete ao conceito de que o acerto depende da célula observada em si, e numa menor proporção das células vizinhas. Ou seja, quanto mais próxima uma célula estiver de onde deveria estar, melhor o acerto.

Mas dois polígonos semelhantes e levemente deslocados guardam ainda muita coincidência de área, enquanto duas linhas levemente deslocadas serão coincidentes em nenhum, ou poucos pontos. Veja a Figura 9:

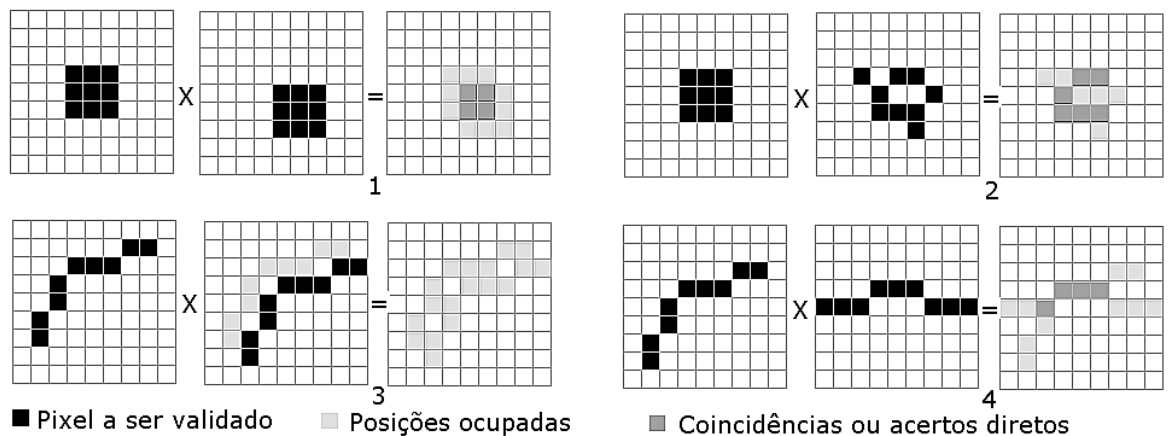


Figura 9 Dificuldades dos métodos de validação pixel a pixel

Qualquer desvio é muito mais representativo para as linhas (caso 3) do que para uma população muito maior de pixels de uma mancha que se queira verificar (caso 1).

Devido a esta particularidade, mesmo havendo desinteresse na localização precisa das vias, foi preciso estabelecer um método de validação que não sofresse com desalinhos em uma grade raster. Assim, este trabalho modelou os caminhos de menor custo e a atratividade através de técnicas raster, mas a validação da estrutura foi conduzida sob a referência vetorial de segmentos de linhas. Mas como?

Segundo Rodrigue *et al* (2005) existem diversas medidas e índices que podem ser usados para expressar diferenças na estrutura de redes durante comparações entre redes distintas ou para acompanhar sua evolução no tempo.

Estas medidas são baseadas na contagem do número de nós e ligações da rede, quando esta está representada em um gráfico. Na teoria dos grafos, uma rede pode ser representada por um gráfico, composto por segmentos (ligações ou comunicações entre lugares, pessoas, computadores...) e por nós (toda extremidade de segmento, ou lugar, pessoa ou computador, entre outros, passível de ligação ou comunicação).

Num gráfico planar, ou seja, quando no gráfico não se admite que uma representação de ligação entre dois nós se sobreponha a outra, cada interseção representará um nó, e os pontos nodais do gráfico sempre representarão locais, pessoas, entre outros elementos de importância para a o problema analisado. Nota-se na Figura 10, que a

representação de uma rede viária em um gráfico não será igual à sua forma real.

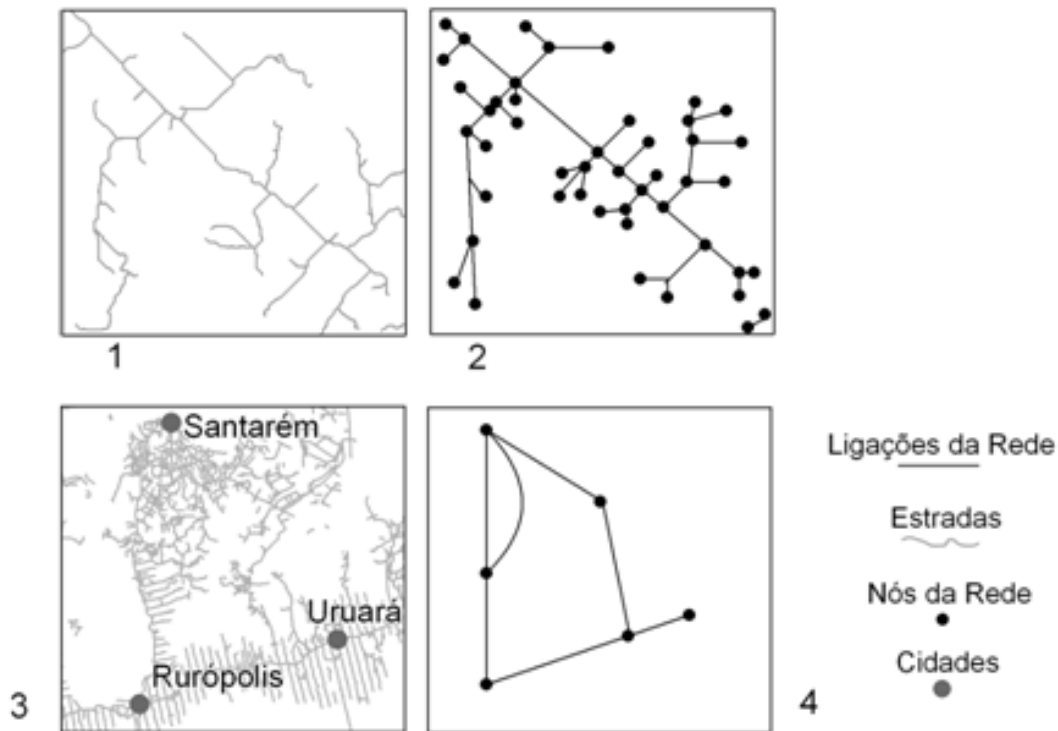


Figura 10: Representações de redes na teoria dos grafos

Observam-se: (1) trecho de malha viária real em região de fronteira; (2) representação do trecho 1 em um gráfico planar, considerando todas as ligações existentes na rede; (3) Ligações viárias entre as cidades de Santarém, Uruará e Rurópolis, importantes polos madeireiros do Pará; (4) Representação das ligações entre os três polos madeireiros visto em (3), mas considerando apenas os polos madeireiros e entroncamentos que ofereçam opções de caminhos entre eles, como pontos nodais.

Isto posto, parece claro que descrever ou validar a estrutura viária com base nas medidas propostas por Rodrigue exigiria em alguns casos a conversão prévia da malha viária em gráficos, cujas ligações representariam as estradas e os nós seriam cidades, áreas de desmatamento, fazendas e outros lugares ou origens e destinos destas estradas.

Se considerarmos cada interseção e extremidade da malha viária real como um nó, e as estradas como as ligações ou comunicações entre eles, a malha viária real estará automaticamente convertida em um gráfico planar, tornando-se possível a aplicação direta de algumas destas medidas.

A seguir são mostradas algumas das medidas possíveis de serem usadas para a descrição da estrutura da rede, e as diferentes classificações de redes utilizadas na

Geografia dos Transportes. Uma discussão sobre a aplicabilidade destas medidas sobre os dados de saída do modelo será realizada no capítulo 6.

### 3.7.1 - Alguns descritores da estrutura viária disponíveis na bibliografia consultada.

Entre as medidas diretas, Rodrigue *et al* (2005) cita:

- Diâmetro da rede – o comprimento do menor caminho possível entre os dois nós mais distantes no gráfico (contado em número de segmentos entre nós da rede e não em unidades do terreno). É uma medida do desenvolvimento da rede no tempo, já que quanto menor o diâmetro, mais ligações alternativas tendem a existir.
- Número de ciclos independentes – Ciclos e circuitos são ligações que partem de um nó, e terminam nele mesmo, direta ou indiretamente. Formam polígonos no gráfico. É uma medida de desenvolvimento e complexidade de uma rede. Redes em forma de árvore e redes simples não possuem ciclos e são pouco desenvolvidas.
- Ordem ou grau de um nó – Representa o número de ligações que partem de um mesmo nó, e é uma medida da importância daquele nó na rede.

Os principais índices citados por Rodrigue foram:

- Detour Index – Medida da eficiência da rede de transporte. É a relação entre a distância em linha reta entre dois nós, e a distâncias através da estrada com suas curvas. É considerado um bom indicativo da complexidade do terreno.
- Densidade da rede – É uma medida de desenvolvimento da rede que considera tanto mais complexa, quanto maior a densidade. É medida através da razão entre a soma dos comprimentos de todas as ligações da rede, a a área total coberta pela mesma.
- Índice Pi – É um indicador da forma e desenvolvimento de uma rede. É uma relação expressa pela razão entre a soma dos comprimentos de todas as ligações da rede e a distância ao longo do diâmetro da rede (entre os dois nós mais distantes).
- Índice Eta – É o comprimento médio das ligações.
- Índice Beta – Representa a conectividade da rede e é medido pela razão entre o número de segmentos e de nós da rede. Redes simples e em forma de árvores possuem valores de beta menores que 1.

- Índice Alpha – Também representa conectividade. Varia de 0 a 1, enquanto beta alcança valores maiores que 1. É a relação entre o número de ciclos e o máximo número de ciclos possíveis na rede.
- Índice gama – Outra medida de conectividade que avalia o número de conexões existentes, contra o número de conexões possíveis.  $\gamma = \text{número de ligações} / 3 \times (\text{número de nós} - 2)$ . É considerada uma medida eficiente para acompanhamento da evolução de uma rede no tempo.

Algumas destas medidas e índices são redundantes, já que indicam a mesma relação, como número de ciclos, densidade da rede e índice Pi, todos indicando o desenvolvimento da rede. Também a aplicação de alguns destes índices requereria a contagem manual de certas estruturas de rede como no caso do número de ciclos independentes. Não se obteve, e nem se pretende produzir método capaz de automatizar tal tarefa.

Assim, nem todas estas medidas serão necessárias num procedimento de validação da rede viária, mas mesmo se por alguma dificuldade técnica estes índices e medidas não puderem ser aplicados, alguma aproximação do desenvolvimento, forma, e conectividade da rede, assim como da ordem e quantidade de nós e do comprimento médio das ligações seria desejável para a descrição e comparação de estruturas viárias.

Foi, porém detectado um problema para a aplicação destas medidas nas redes viárias simuladas. Este problema será apresentado através da análise da **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, que exhibe duas redes hipotéticas. Durante a exemplificação, será demonstrado o funcionamento de algumas medidas.

Para efeito das medidas, considerou-se que cada ligação da rede mede 2m.

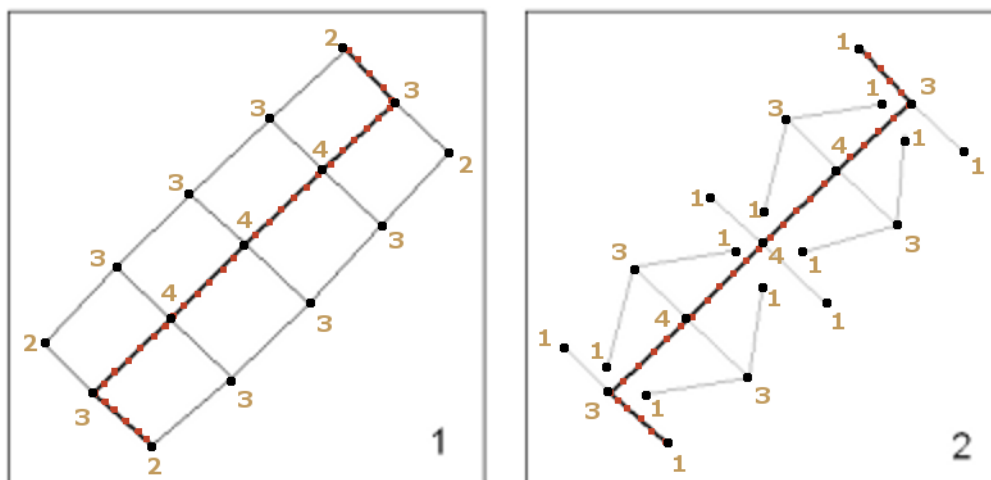


Figura 11: Problemas com medidas de comparação das simulações

Na figura, os números em marrom são os graus de cada nó. Há 15 nós na rede 1 e 23 nós na rede 2. Ambas as redes possuem 22 ligações entre nós. O pontilhado vermelho representa o diâmetro.

Como pode-se observar, 1 é uma rede em malha, enquanto 2 é uma rede dendrítica. Ambas vieram do mesmo dataset original, tendo sido algumas das ligações de 2 desfeitas, de forma a alterar sua estrutura. Propositalmente as duas redes cobrem áreas iguais. As vias alteradas de 2 sofreram rotações, sem alteração de comprimento. Assim ambas as redes terão densidades, Eta e Pi muito semelhantes. O diâmetro não variou entre elas.

Esta condição de quebra de ligações sem mudança de medidas isola as medidas de conectividade. Repare na Tabela 3 que enquanto todas as outras medidas permanecem iguais, gama, o grau médio dos nós e beta variaram substancialmente. E é do aspecto acessado por estas medidas que vem toda a diferença estrutural facilmente perceptível entre as duas redes. A conectividade.

*Tabela 3: Problemas com medidas de comparação das simulações*

Medida ou índice	Rede 1	Rede 2
Eta ou comprimento médio dos segmentos	2	2
Gama ou segmentos / máximo de nós possíveis	0,5641	0,349
Densidade	1,375	1,375
Grado médio dos nós	2,933	1,913
Grado máximo dos nós	4	4
Diâmetro ou menor distancia topológica entre pontos mais distantes	6	6
Pi ou Comprimento total / diâmetro	7,333	7,333
Beta ou número de segmentos / número de nós	1,466	0,956

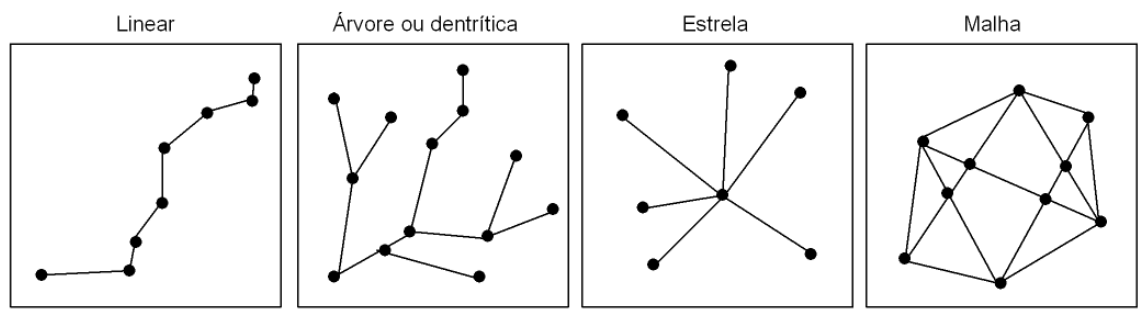
Infelizmente a solução de caminho de menor custo obtida sobre as superfícies de custo acumulado é sempre dendrítica, como pode-se observar em todos os testes de simulação executados nos tópicos 3.6.2 - a 3.6.5 - , mas a rede viária real possui uma mistura de padrões que vão desde malhas, a formas lineares. Assim, não faz sentido comparar as redes reais com as simuladas por aspectos de conectividade, se a conectividade não pode ser alcançada durante a simulação. Não haverão ciclos, nem caminhos alternativos entre as vias simuladas. Isto é uma grande perda, ao pensar na tarefa de compreender a acessibilidade e o grau de consolidação de uma rede. Seria necessário desenvolver um método de simulação viária que fosse capaz de estabelecer ligações conectivas entre vias existentes, permitindo a criação de ciclos e alternativas, para corrigir este problema. Basta lembrar que para Rodrigue *et al* (2005), quanto maior o número de ligações de um nó, mais acessível de um ponto de vista topológico ele será.

### 3.7.2 - Classificação de redes por sua estrutura

Além da descrição da rede viária por via de índices, têm-se em Rodrigue *et al* (2005) uma classificação mais qualitativa das redes que é importante citar. As redes podem ser do tipo:

- Linear – Este é o tipo de rede mais simples, em que os nós vão se ligando um ao outro, sem no entanto haver qualquer alternativa de caminho. Apenas um caminho é formado.
- Árvore ou dendrítica – Esta é uma rede em que a hierarquia das ligações torna-se bem clara. Existe uma raiz ou tronco, de onde “brotam galhos” ou ramificações que não se ligam uns com os outros.
- Estrela ou “centro e raios” – Esta é uma rede em que há um centro concentrador, do qual emergem diversas ligações com outros nós periféricos.
- Malha – Esta é uma rede em que não há grandes diferenças entre a importância dos nós, já que existem múltiplas ligações e ciclos proporcionando caminhos alternativos.

A Figura 12 exemplifica estas tipologias que servem de referência. Em paisagens reais é mais provável que encontremos combinações destas tipologias, e até mesmo padrões sutilmente diferentes, como é o caso das espinhas de peixe<sup>22</sup> da Transamazônica.



- Nós viários, ou entroncamentos, cidades, postos de combustíveis, fazendas, pátios madeireiros...
- Ligações viárias ou estradas, neste caso em que não se considera transporte multimodal.

Figura 12: Topologias de rede

Assim a validação das simulações necessita da avaliação de índices, e também da análise visual para a identificação das estruturas, e comparação com a rede viária

<sup>22</sup> As espinhas de peixe podem ser entendidas como uma seqüência de estrelas encadeadas ao longo de uma via principal. Nete padrão geralmente apenas quatro ligações existem no nós concentradores ou centros das estrelas, e seus raios são geralmente ortogonais.

modelada. Este trabalho não determinou índices ou medidas capazes de detectar as tipologias de redes nas paisagens reais e simuladas, exigindo, portanto, a análise visual.

O método de validação empregado foi um conjunto daqueles índices e medidas propostos por Rodrigue *et al* (2005), apoiados pela comparação visual dos padrões obtidos, conforme será discutido em detalhes no capítulo 6.

A medida direta selecionada foi o Diâmetro, que indica o desenvolvimento da rede.

Os índices selecionados foram Eta, que compara o comprimento médio das ligações, Pi que descreve mudanças de forma da rede e a densidade. Todos os índices e medidas que dependem de conectividade e da identificação de ciclos tiveram que ser desconsiderados.



## **CAP. 4: CARACTERIZAÇÃO DA REDE VIÁRIA PARAENSE**

Agora que as condicionantes da construção de estradas foram pré-selecionadas e uma base teórica sobre modelos de simulação, estrutura de redes, atratividade e custo foram definidas, é hora de começar a estruturar a base de dados do projeto.

Como primeiro passo, optou-se por localizar a rede viária mais completa disponível. Isto inclui as estradas oficiais e as não oficiais.

Como as taxas de crescimento da malha viária serão modeladas a partir de uma abordagem empírica, sem procurar compreender os condicionantes do ritmo de expansão da rede, será feita neste capítulo a caracterização da malha viária, para alimentar o modelo com seus componentes de densidade da rede e de número e características topológicas das vias. Adicionalmente é explicado aqui como e porque se restringiu a área de estudo a apenas uma porção do universo de dados disponíveis da rede viária.

### ***4.1 - A malha viária adotada como referência***

Os dados do Mapeamento Sistemático Brasileiro da Diretoria do Serviço Cartográfico do Exército (DSG) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) por exemplo, não recobrem toda a região amazônica, sequer todo o estado do Pará. Nesta região os dados datam, em sua grande maioria, das décadas de 70 ou 80. A maior parte das cartas não sofreu qualquer atualização desde então (Correia *et al*, 2005) e não são dados passíveis de análise multitemporal, mesmo com a ajuda de dados auxiliares como aqueles de consolidação da fronteira e situação da rede de transportes amazônica fornecidos por Sant'Anna (1998). Com estes dados auxiliares não é possível traçar um panorama da evolução da malha viária não oficial e/ou das vicinais existentes na região, já que sua extensão e condições foram meramente estimadas.

O Centro de Sensoriamento Remoto de Minas Gerais (CSR-MG) produziu recentemente uma base de dados vetorial com as estradas reconhecidas por sensoriamento remoto em toda a Amazônia. Foram usadas imagens LandSat TM e dados fornecidos por diversos pesquisadores e entidades ligadas ao projeto "Cenários para a Amazônia". Esta base representa não só as estradas oficiais e sua condição de pavimentação atualizada, como apresenta também a malha viária não oficial em escala bastante detalhada, mas esta não possui uma dimensão temporal para análise multi-temporal.

Felizmente, Souza Jr. *et al* (2004) e Souza Jr. e Brandão Jr (2005) descreveram os esforços do Instituto Imazon para o monitoramento da rede viária paraense, compreendendo uma área de cobertura de 20 cenas Landsat-TM, conforme a Figura 13:

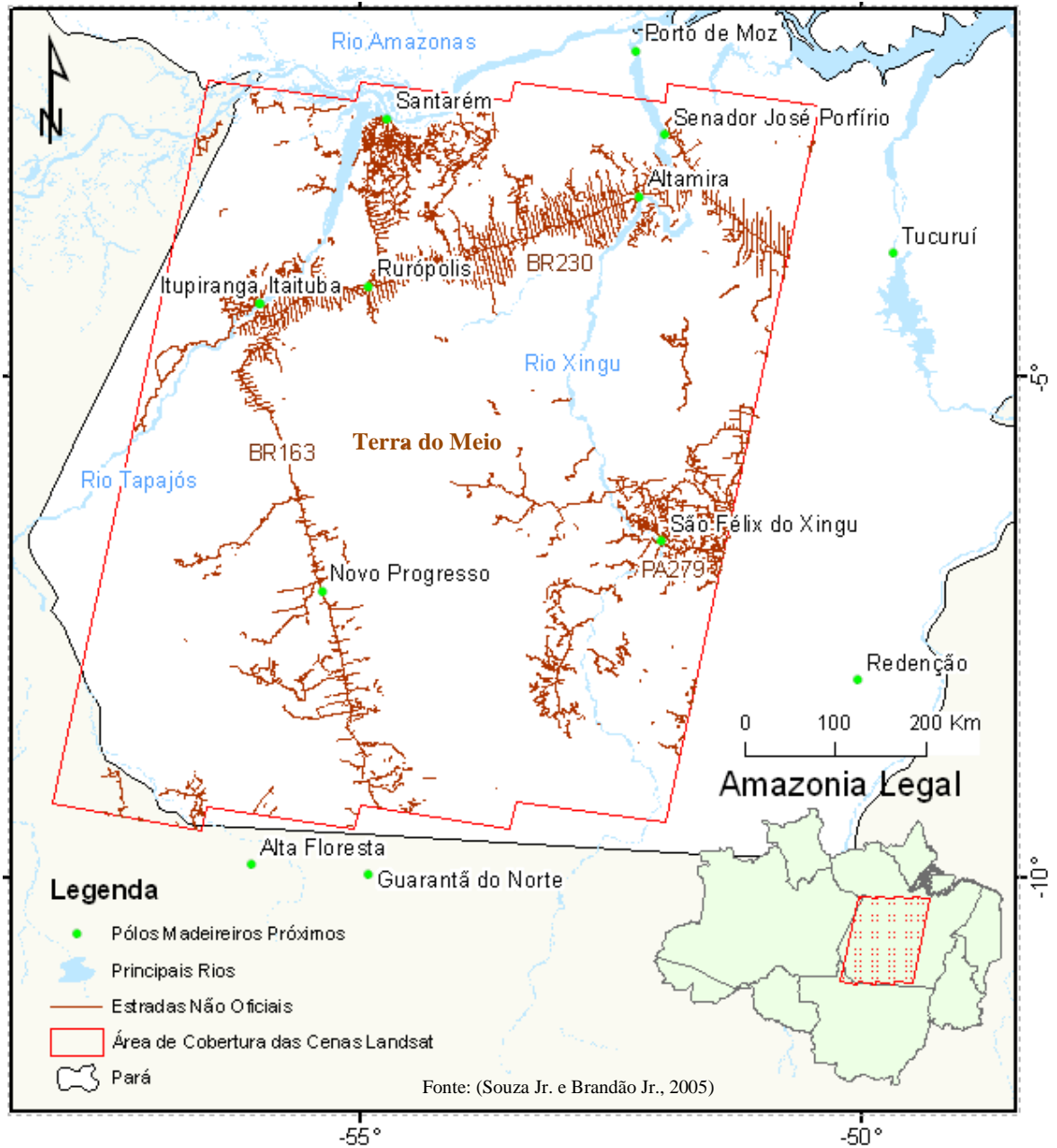


Figura 13: Cobertura das Cenas Landsat TM utilizadas pelo Instituto Imazon.

Os dados podem ser agrupados em três períodos distintos, cada qual de 6 anos desde 1985 a 2002. Em cada período, toda a área de cobertura foi contemplada, constituindo-se três mosaicos *Landsat* distintos. Um de 1985 a 1990, outro de 1991 a 1996 e por fim um de 1997 a 2002. Cada mosaico, entretanto, congrega imagens de datas

distintas, desde seu ano inicial até seu ano final, não correspondendo a um momento único no tempo.

Obviamente, a variação de datas em cada mosaico prejudica a definição de taxas de crescimento da rede viária, mas este dado representa um grande avanço na descrição da evolução da rede, frente ao que estava disponível nas bases públicas do IBGE, pois inclui a localização e extensão das estradas não oficiais, e alguma referência do ritmo de expansão desta malha, mesmo que a detecção de novas vias não seja contínua no tempo.

#### **4.2 - A escolha da região de interesse da simulação**

A área de estudo deste trabalho não engloba toda a extensão coberta pelas 20 cenas Landsat TM utilizadas pelo instituto Imazon. Observe na Figura 13 que existem à primeira vista três padrões viários bastante distintos dentro da área observada:

1) As espinhas de peixe da Transamazônica, de padrão aproximado ao dendrítico, com seus ramais ortogonalmente distribuídos de ambos os lados da rodovia principal (BR-230).

2) O padrão intermediário entre a estrutura em malha de São Félix do Xingu e as espinhas de peixe da Transamazônica, que ocorre ao longo da BR-163, próximo a Novo Progresso.

3) O padrão em malha próximo a São Félix do Xingu (sudeste da área de cobertura) ou próximo a Santarém, a norte.

A área no entorno da BR-163 é de ocupação bastante recente, e organiza-se de forma inicialmente semelhante à vista na Transamazônica, com ramais estendendo-se inicialmente em direções ortogonais em relação à rodovia principal. Mas não somente ocorrem estradas de extensões muito variadas, algumas bastante longas, como também o distanciar das estradas em relação à BR-163 começa a exibir um padrão aparentemente de malha. Resta dúvida nesta área sobre qual a tendência realmente seguida, uma vez que a área é de ocupação muito recente, e encontra-se em um estágio de colonização pioneiro, longe da consolidação<sup>23</sup> daquela fronteira.

A área no entorno da Transamazônica claramente é alvo do que se caracterizou no capítulo anterior como exemplo da colonização anterior. Mesmo que os ramais da

---

<sup>23</sup> Várias fronteiras podem ser definidas na Amazônia, apresentando dinâmicas sócio-econômicas e processos de produção e ocupação distintos, como caracterizado por Sant'Anna (1998), e apontado por Becker (1990) ou Margulis (2003).

transamazônica tenham ainda se estendido, a geometria original foi mantida, como destacado por Becker (1990).

Finalmente é importante lembrar que a norte da Transamazônica existem regiões de várzea, e como já exposto no capítulo anterior, estas são regiões de dinâmica sócio-econômica, cultura e acessibilidade diferentes das áreas de terras firmes.

Congregar toda a área de cobertura das 20 cenas Landsat significaria, portanto, a obrigação de produzir um modelo capaz de lidar com diferentes dinâmicas de ocupação. Por simplificação, elegeu-se a área próxima a São Félix do Xingu, região ainda considerada fronteira especulativa, que ocupa praticamente só terras firmes e claramente não sofre influência da arquitetura de colonização do INCRA. A localização é exibida na Figura 14. Esta região é ainda a porta de entrada para a “Terra do Meio”, região que ganhou visibilidade nos últimos anos pelas denúncias sobre a exploração irregular de mogno, desmatamento desenfreado e violência, como pode ser conferido em Weis (2005) e Souza e Velásques (2006).



Figura 14: Localização da Área de estudo

#### **4.3 - Características da malha viária adotada**

Cabe agora caracterizar a malha viária adotada como referência, de forma a subsidiar a definição dos métodos de simulação adotados.

A área de estudo compreende 171189,06km<sup>2</sup>.

Segundo Souza-Jr, Veríssimo e Amaral (2002) e Sant’Anna (1998) a maior parte das estradas vicinais da Amazônia são de leito natural. As estradas não oficiais não são exceção à regra. Sendo estradas abertas com objetivos passageiros, as estradas madeireiras comuns da fronteira pioneira e especulativa não têm como característica o investimento em infra-estruturas permanentes, esperando-se ser pouco comum a construção de pontes ou

instalação de balsas. Assim podemos considerar que os rios navegáveis sejam uma barreira de peso muito superior à passagem de estradas que os rios de menor vulto.

Ainda pensando no relacionamento da rede viária com a hidrografia, é importante citar a aparente influência do rio Xingu sobre a ocupação da área de estudo.

O rio Xingu corta a área de estudo quase em metades iguais, uma a leste e outra a oeste. A Figura 15 demonstra que a abertura de estradas foi muito mais intensa a leste, em todos os três períodos de observação (1985 – 1990; 1991 – 1996; 1997 – 2002). Apenas no primeiro período, quando é aberta uma longa estrada a oeste do Xingu, estendendo-se por mais de 165km para dentro da Terra do Meio, é que tal observação pode ser posta em dúvida. Mas esta estrada é aberta isoladamente, e não há continuidade no ritmo acelerado de abertura de estradas a oeste, que ela inicialmente sugere. Esta é, segundo Gabeira (2004) uma estrada garimpeira antiga, que vem sendo usada recentemente como via de acesso para madeireiros e pecuarias.

Fica clara, então, a existência de duas dinâmicas distintas na área de estudo. A referência principal para a percepção destas dinâmicas é a divisão da paisagem pelo rio Xingu. A principal rota de acesso à área encontra-se a leste do rio. É a rodovia estadual PA-279 que liga Xinguana (a leste) a São Félix do Xingu.

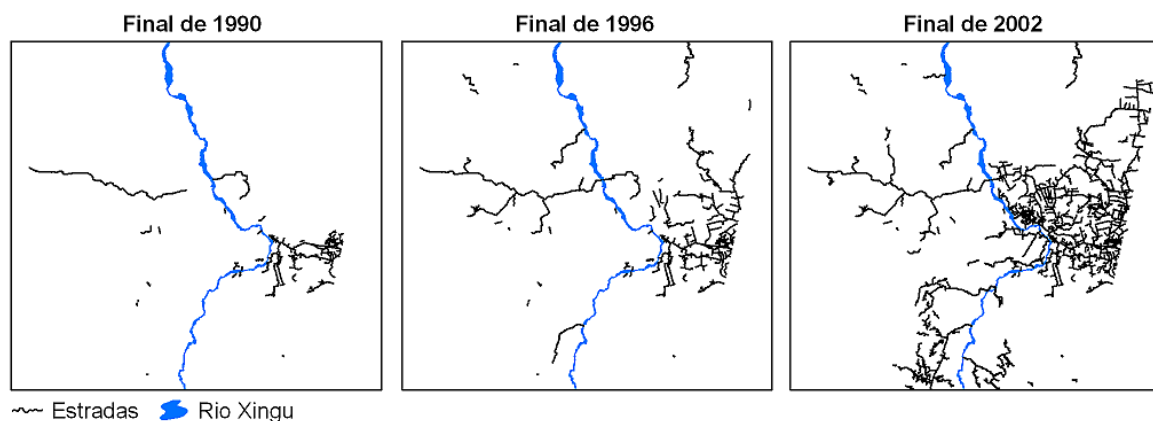


Figura 15: Evolução da Rede viária a Leste e Oeste do Rio Xingu

Além desta divisão leste / oeste percebida, discutiu-se no capítulo 2 a capacidade de certas populações oferecerem resistência à ocupação. Era discutida a valorização do espaço, proposta por Becker (1990). Por exemplo, a Terra do meio é uma área até 2002 ainda bem preservada, com grande diversidade biótica e áreas de alta prioridade para conservação. Está situada entre reservas indígenas, áreas militares e áreas de conservação

(Gabeira, 2004), e estende-se entre os Rios Xingu e Tapajós. A Figura 16 ilustra a localização.

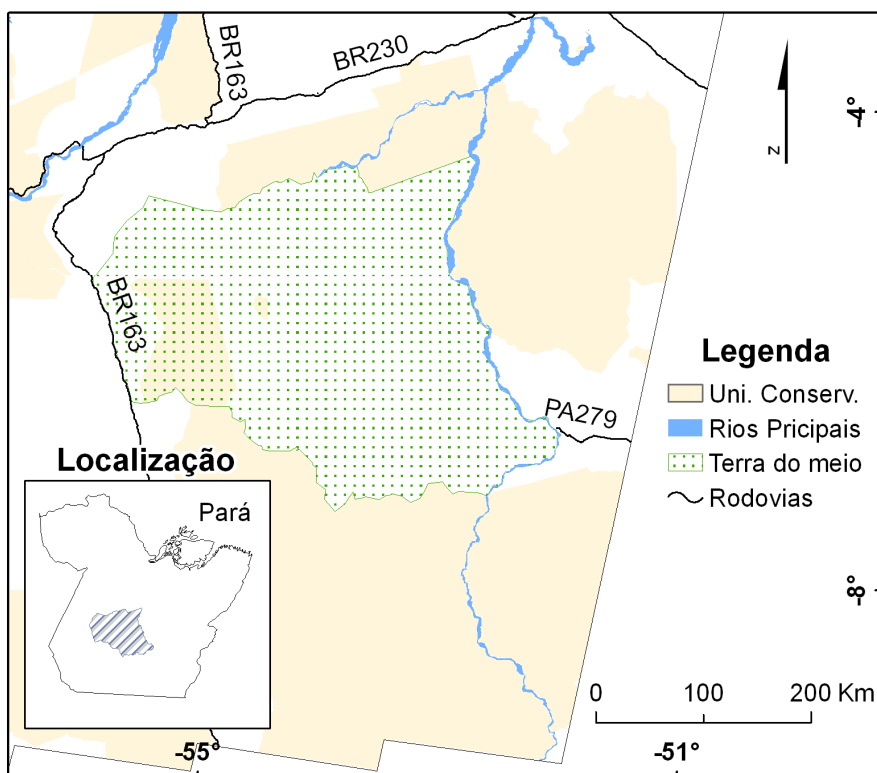


Figura 16: Localização da Terra do Meio

Gabeira (2004) e Souza Jr. *et al* (2004) associam a ocupação da área de estudo a duas grandes forças principais: Madeireiros e pecuaristas, que por vezes invadem as áreas de reservas. Estas conseguiram frear o ritmo de exploração, mas não impedir a entrada de tais agentes.

Sobrepondo as áreas de conservação à malha viária e ao desmatamento, torna-se claro o papel das reservas indígenas na expansão da malha viária. Mas há ainda invasões. A Figura 17 mostra duas áreas de invasões de terras indígenas distintas, uma na porção norte e outra na porção sul da área de estudo. Ambas com estradas reconhecidas entre 1991 e 1996. É importante reparar que o desmatamento mapeado pelo PRODES (OBT-INPE, 2005) para o ano de 2003 não acompanha todas as estradas invasoras. Mesmo vários anos após a detecção das primeiras estradas, a área de invasão sul não apresenta desmatamentos sensíveis. Isto indica que ou a ocupação desta área é muito lenta, ou a mata só sofreu corte seletivo. Segundo OBT-INPE (2005) a metodologia do PRODES não seria capaz de reconhecer clareiras menores que 100ha como desmatamentos, não reconhecendo, portanto, colonos isolados ou corte seletivo de espécies. Mas baseado nas informações

obtidas de Greenpeace (2004) e Gabeira (2004), acredita-se que estas sejam estradas madeireiras de ligação entre áreas de corte, pátios medeiros e rios (Figura 17). Percebe-se no mapa a clara ligação destas vias com o Rio Xingu, e sua aparente desconexão com o restante da malha viária. Portanto, este estudo não simulou tais vias.

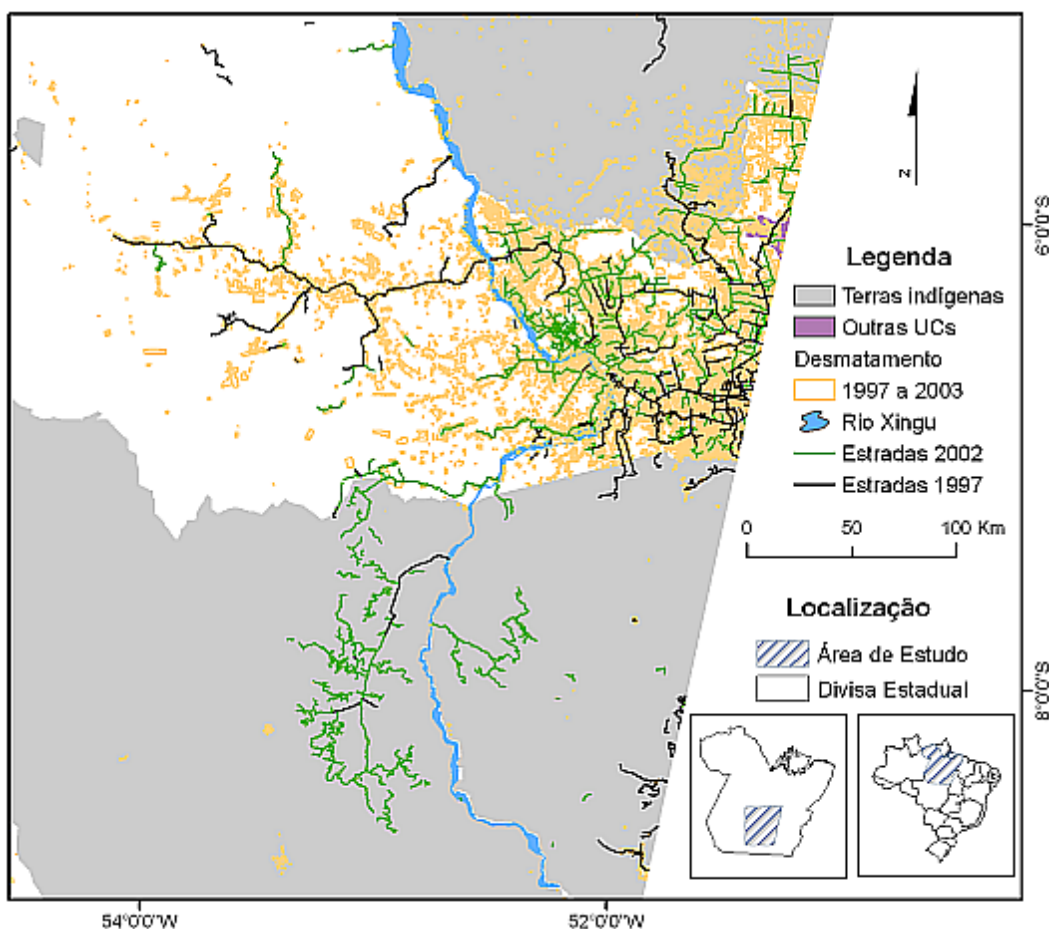


Figura 17: Estradas x Desmatamento

Fonte: Souza Jr. e Brandão Jr (2005) e OBT-INPE (2005)

#### 4.4 - Obtendo as quantidade e extensões de estradas

A malha viária da área de estudo foi medida por uma série de descritores que permitiram sua caracterização e a extração de parâmetros de modelagem.

Para realizar as medições, a malha viária foi dividida pelos períodos em que cada nova linha foi detectada. Tendo sido a malha vetorizada a partir de imagens *Landsat TM*, cada nova linha contém um ano de detecção. Através da filtragem dos anos no ArcGIS, foi possível separar um arquivo de vias para cada período de 6 anos destacado. A divisão a cada 6 anos procurou descrever intervalos regulares.

Foram geradas então medidas descritoras da estrutura viária como o somatório das extensões de todas as vias para cada período, o número de linhas presente na malha em cada período, o número de nós da malha, o grau máximo e médio dos nós e a extensão média das linhas.

Alguns destes valores foram processados para a composição de índices e para a extração de valores de parâmetros de modelagem. No caso dos parâmetros, destaca-se o cálculo do incremento anual do número de estradas, obtido pela subtração do número total de linhas contado ao final de cada período, menos o número total do período anterior. Esta diferença é dividida por 6 (duração em anos do período). Este valor alimenta o parâmetro de número de destinos por segmento da paisagem, que determina quantos destinos serão sorteados por passo de simulação. A extensão média das novas estradas é outro dado que alimentou parâmetros. As distâncias máxima e mínima às origens no DINAMICA determinam a extensão das estradas, e a média entre a máxima e mínima deverá, em tese, aproximar-se da extensão média verificada para as vias.

Embora nem todos os parâmetros sejam exibidos na Tabela 4, através dela pode-se obter algumas informações de interesse para uma breve análise de contexto da malha viária.

*Tabela 4: Ritmo de expansão da malha viária. (Valores arredondados)*

Período base 6 anos	Km estradas final do período (medido)	Incremento médio anual km	Taxa de crescimento anual rede	Número segmentos observados (medido)	Incremento número segmentos	Incremento número segmentos ano	Km médio novas estradas (medido)
Estradas Oficiais	84km	-	-	1	1	-	-
1985 a 1990	999km	152km	181,81%	178	177	30	5,15km
1991 a 1996	1999km	166km	16,66%	303	126	21	7,9km
1997 a 2002	4622km	437km	21,87%	1011	707	118	3,7km

Não foram obtidos dados viários de 1974, data em que segundo ISA (2003)<sup>24</sup> iniciava a ocupação da área. Sabe-se apenas que as estradas oficiais representam 84km. Assim, todo o crescimento da malha viária no período entre 1974 e 1984 foi embutido no primeiro período de 1985 a 1990, refletindo na alta taxa de crescimento anual exibida na tabela. Na realidade, para o período de 17 anos desde 1974 a 1990, as estradas foram incrementadas a uma taxa de crescimento bem menor: 54,17% ao ano. Mesmo assim, o ritmo é muito superior ao do período 1991 a 1996, quando a taxa situou-se em 16,66%.

<sup>24</sup> Dado adquirido recentemente. Não foi, então, considerado.



Porém, neste período as estradas foram em média mais longas que em qualquer um dos outros períodos: 7,9km em média, contra 3,7km e 5,15km dos demais períodos. Esta diferença chama a atenção para uma possível mudança de contexto sócio-econômico, político ou cultural. É a existência de fases distintas na ocupação do espaço naquela região às portas da Terra do Meio, a exemplo do que é relatado por Becker (2000), OBT-INPE (2005), Margulis (2003), Rodrigues (2004) e Souza Jr *et al* (2004), que apontaram tal diferença na Amazônia, de forma geral. Mas não se tentará modelar os motivos das diferenças de ritmo. A concentração na reprodução dos padrões viários e na escolha dos locais suscetíveis a abertura de novas vias já é tarefa suficientemente árdua, para que alguns aspectos possam ser tratados por abordagem empírica. Por isso as variáveis de contexto econômico, político, social e demográfico, assim como qualquer outra que possa ter influência sobre o ritmo geral de construção de estradas não serão consideradas.

Para simplificar a tarefa de modelagem e validação de resultados, enquanto a modelagem viária está ainda começando a ser investigada, optou-se por não modelar continuamente o período de observação integral entre 1985 e 2002. Este esforço exigiria modelar toda a estrutura a partir da rodovia PA-279 e implantar fases de simulação, o que aumentaria a complexidade da avaliação de diferenças na estrutura da malha viária num momento em que muitas incertezas sobre a eficácia do modelo ainda estão presentes. Ter como referência apenas a rodovia oficial original acumularia as diferenças de simulação geradas ao longo de cada período. Comparar a dinâmica de cada período separadamente, partindo da malha viária real do final do período anterior torna mais fácil controlar as alterações de estrutura e analisar mais detalhadamente o rumo da simulação para cada período. Assim, produziram-se três modelos distintos, um para cada período de tempo. Havendo sucesso na simulação de cada período e compreensão do comportamento das variáveis, as fases poderão ser implantadas.

## **CAP. 5: SIMULANDO O CRESCIMENTO DA MALHA VIÁRIA DO LESTE PARAENSE**

Os capítulos anteriores discutiram o arcabouço teórico sobre a construção de estradas não oficiais, descreveram a área de estudo, discutiram os métodos a serem utilizados na modelagem, e suas possíveis limitações. Finalmente, chega a hora de aplicar o modelo ao caso das estradas do leste paraense.

O modelo descrito foi aplicado da seguinte forma:

### **5.1 - Como se definiu a resolução de trabalho**

Foi adotada uma resolução com pixels de 250m de extensão. Testou-se pixels de 1000m, 250m e 90m, embora tenham sido consideradas ainda outras resoluções. A resolução de 1000m mostrou-se grosseira para a escala de trabalho desejada, pois parte da estrutura viária se aglutinava em manchas contínuas de pixels da cor de primeiro plano (vias) na imagem gerada. Uma resolução que evitasse este efeito de formação de manchas deveria ser escolhida, mas não faria sentido escolher uma resolução muito alta, pois o dado de saída do modelo deve ser avaliado por sua adequação a padrões e densidades viárias regionais e não pela localização precisa das vias. Além disso, a densidade de informação da maioria dos dados disponíveis é condizente com escalas quase regionais. E um compromisso entre o volume de dados gerados durante a simulação e a precisão dos mesmos poderia ser assumido. O compromisso de não comprometer a viabilidade de execução do modelo ao estender demasiadamente o tempo de execução ou ultrapassar os limites de memória disponíveis nos equipamentos de informática, enquanto busca-se uma precisão pouco significativa quando se consideram as incertezas do processo de modelagem estocástica e as limitações dos dados de entrada disponíveis.

A resolução mais alta disponível nos dados de entrada é a da imagem *Landsat TM* de 30m, utilizada na restituição das vias terrestres pelo Imazon e na classificação de mata/desmatamento. O detalhamento destes dados é local, mas a precisão de sua georreferência não estava documentada. Os outros dados adotados como a altitude retirada do *SRTM* ou “*Shuttle Radar Topography Mission*” (NASA, 2005), e a declividade e hidrografia desta derivadas apresentam resolução espacial de 90m, mas estes dados trazem consigo incertezas planimétricas de pelo menos mais 90m e incertezas altimétricas de 6 a 20m segundo documentação da NASA. Isto sem considerar os erros oriundos da modelagem dos rios extraídos do *MDT SRTM*. Logo, apesar das resoluções de 30m e de

90m serem opções, elas não representariam uma garantia de ajuste planimétrico satisfatório. Como o valor de 90m comprometeu o desempenho da simulação na área de estudo que ocupa mais que um oitavo do estado do Pará, já que sobre os dados são realizadas uma série de operações, como cálculos de distâncias e custo, reclassificações e outras que se repetem pixel a pixel, a resolução de 250m foi escolhida. Nesta resolução a área de estudo congrega 1655 linhas por 1655 colunas, num total de 2.739.025 pixels. Considerou-se que os ganhos de qualidade com resoluções maiores que esta não compensariam o tempo extra requerido, na tentativa de ganho de precisão.

## ***5.2 - Criação dos mapas de atratividade***

Foi utilizada a ferramenta de pesos de evidências disponível no software DINAMICA para a definição do mapa de atratividade. Este procedimento se dividiu em quatro etapas principais:

- 1) Preparação de uma base de dados das variáveis que possivelmente influem na escolha dos destinos de estradas.
- 2) Identificação empírica dos destinos escolhidos pelos agentes construtores locais ao longo do período de estudo.
- 3) Verificação da existência de variáveis interdependentes na base de dados e modelagem dos pesos de evidência.
- 4) Criação do mapa de probabilidades.

### ***5.2.1 - Preparação das variáveis da atratividade.***

Nem todas as variáveis candidatas citadas no capítulo 2 foram obtidas, ou possuíam qualidade e nível de detalhamento adequados para a modelagem na escala proposta. Os seguintes mapas ou dados mapeáveis estavam disponíveis para compor a base de dados utilizada na modelagem da atratividade:

- Unidades de conservação (Atualizado pelo Centro de Sensoriamento Remoto de Minas Gerais, com base em dados do Ministério do Meio Ambiente e Secretarias Estaduais de Meio Ambiente) - componente da valorização do espaço por resistência à ocupação.
- Aglomerados urbanos (vilas, distritos e outras localidades - IBGE)
- Polos madeireiros (Compilação de tabelas disponíveis em Veríssimo, Lima e Lentini (2002) e mapa de cidades, vilas e outras localidades – IBGE) .
- Vegetação (RADAM) - componente da ocorrência de recursos atrativos.

- Solos (RADAM) - componente da ocorrência de recursos atrativos.
- Altimetria (SRTM) - componente dos mapas de custo e utilizada para geração da declividade.
- Hidrografia (IBGE).
- Minas (Brasil ao Milionésimo - IBGE) - componente da ocorrência de recursos atrativos.
- Cidades (Brasil ao Milionésimo - IBGE).
- Aldeias Indígenas (Brasil ao Milionésimo – IBGE).
- Assentamentos do INCRA (Fonte desconhecida).

#### A) Mapas de distâncias

Os mapas de Minas, cidades, polos madeireiros, aglomerados urbanos, assentamentos do INCRA e aldeias indígenas deveriam ser usados para a produção de mapas de distâncias, como previsto no levantamento de variáveis.

Porém, poucos destes dados estavam adequadamente representados no tempo. Faltavam, por exemplo, as datas de fundação de aglomerados urbanos e assentamentos do Incra. Sabendo que muitos provavelmente datam de momentos posteriores a 1985, seria arriscado utilizá-los sob pena de considerar seus efeitos ainda antes de sua fundação. Isto seria como "trapacear" na previsão das escolhas dos agentes locais.

Além disto, ao observar a Tabela 5 nota-se outro problema com estas variáveis: Elas correlação moderada a forte umas com as outras, e também com algumas outras variáveis consideradas.

*Tabela 5: Interdependência dos mapas de distâncias a vilas, cidades, assentamentos...*

Map_A	Map_B	Contingency(C)
referencias do relevo	dist assentamentos INCRA	0.0491438
combinação de solos, vegetação e declividade	dist assentamentos INCRA	0.461363
declividade	dist assentamentos INCRA	0.160901
Unidades de Conservação	dist assentamentos INCRA	0.427682
dist aldeias em UCs	dist assentamentos INCRA	0.550005
referencias do relevo	dist cidades	0.0331317
combinação de solos, vegetação e declividade	dist cidades	0.49394
declividade	dist cidades	0.110889
Unidades de Conservação	dist cidades	0.263475
dist aldeias em UCs	dist cidades	0.275827
dist assentamentos INCRA	dist cidades	0.671709
referencias do relevo	dist polos madeireiros	0.0461393
combinação de solos, vegetação e declividade	dist polos madeireiros	0.485439
declividade	dist polos madeireiros	0.139948
Unidades de Conservação	dist polos madeireiros	0.281631

Tabela 5 (cont.): Interdependência dos mapas de distâncias a vilas, cidades, assentamentos...

Map_A	Map_B	Contingency(C)
dist aldeias em UCs	dist polos madeireiros	0.481443
dist assentamentos INCRA	dist polos madeireiros	0.607019
dist cidades	dist polos madeireiros	0.636363
referencias do relevo	dist minas	0.0717867
combinação de solos, vegetação e declividade	dist minas	0.445574
declividade	dist minas	0.130031
Unidades de Conservação	dist minas	0.417246
dist aldeias em UCs	dist minas	0.32568
dist assentamentos INCRA	dist minas	0.627278
dist cidades	dist minas	0.532416
dist polos madeireiros	dist minas	0.410981

A tabela é apenas um fragmento da informação completa sobre as correlações ou interdependência das determinantes da atratividade. Tomando a referência de que o índice de contingência varia de 0 (sem correlação) a 1 (correlação perfeita), (Boham-Carter, 1994), valores acima de 0,33 indicam correlações que começam a infringir a exigência de independência espacial do método de pesos de evidências. É certo que estas variáveis de distância apresentaram contrastes consideráveis dos pesos em algumas classes de valores, significando associação destas com a abertura de estradas como sugerido pela Tabela 6, mas optou-se por ignorá-las mesmo assim, devido à inadequação temporal.

Tabela 6: Pesos de Evidências – Contrastes de mapa de distâncias a assentamentos.

Distância aos assentamentos do INCRA				
Sep	D	Weight	C	Signif
1000	0	2,05425	2,10577	true
3000	1	1,60928	1,88396	true
4000	2	0,992749	1,06196	true
5000	3	1,55661	1,73698	true
6000	4	0,979951	1,06345	true
7000	5	-0,15851	-0,16469	true
8000	6	-1,17669	-1,20615	true
9000	7	-0,81967	-0,84435	true
10000	8	-1,21119	-1,24434	true
14000	9	-1,55181	-1,74903	true
20000	10	-2,03135	-2,38117	true
21000	11	0,182322	0,189799	true
22000	12	-0,48124	-0,49445	true
23000	13	-2,17898	-2,19787	true
24000	14	zero	-0,0059	false
25000	15	zero	-0,00097	false

Sep representa os valores de separação dos intervalos de classe definidos. O contraste (C) é uma medida da associação espacial entre a variável dependente e a classe

da variável de entrada analisada. Segundo Bonham-Carter (1994) o ideal é que os contrastes estejam acima do valor absoluto 1,5, para que o peso de evidência definido seja útil. Classes com valores menores que isto deveriam ser descartadas.

## B) Altimetria

A altimetria também merece destaque, mas as altitudes em si não apresentam efeito sobre a escolha de destinos, uma vez que na região não existem altitudes impeditivas, capazes por exemplo de rarefazer o ar e reduzir o desempenho de veículos motorizados.

A declividade, entretanto, é a primeira interpretação da altimetria que pode ser considerada útil. Ao sobrepor o mapa de declividades ao de estradas, estabelecendo limiares de classificação preto e branco para a declividade, foi possível observar que próximo de 11% de declividade havia uma redução brusca no número de estradas construídas. Nas proximidades destas declividades mais altas, especialmente onde a sucessão de vales e morros é freqüente, praticamente apenas aquelas estradas que poupariam desvios de grandes extensões estavam presentes. Estas áreas podem ser classificadas como áreas relativamente elevadas, dissecadas por uma hidrografia mais encaixada, formando um compartimento de relevo distinto das áreas mais planas.

Além disto, as estradas das áreas mais planas tenderam em diversos pontos a ajustar-se ou acompanhar as bordas dos compartimentos elevados, mesmo que houvessem caminhos mais curtos, menos íngremes e mesmo retilíneos a trilhar no meio da planície.

Ficou clara na Figura 18, uma diferença na percepção do relevo por parte dos agentes construtores de estradas. O limiar de 11% de declividade aparenta ser referência de localização espacial.

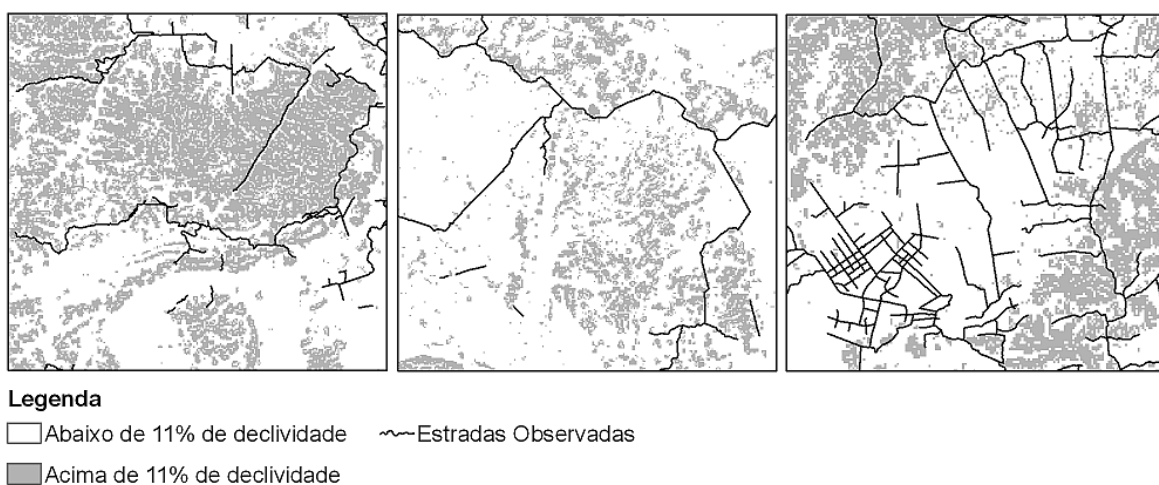


Figura 18: Referências de localização no terreno

Foram criados dois mapas derivados da declividade. Um mapa de unidades de relevo, que constitui a delimitação deste compartimento mais íngreme e de relevo movimentado que aparenta ser menos atrativo. O outro corresponde à detecção das bordas exteriores que delimitam tais áreas, na expectativa de checar se tais áreas são mais atrativas para destinos de estradas.

### C) Vegetação e solos

Esperava-se que ambos vegetação e solos tivessem contribuição relevante na escolha dos destinos de estradas, uma vez que apresentaram contrastes relevantes para algumas de suas classes, mas estas variáveis não são independentes, apresentando índice de contingência de 0.75, ou uma forte correlação.

Como dava-se crédito a tais variáveis como determinantes das escolhas dos agentes locais, optou-se por sua combinação, possibilidade sugerida tanto por Bonham-Carter (1994) quanto por Soares-Filho (2005).

O resultado da modelagem de pesos de evidências incluindo-se tal variável combinada (combo) é apresentado na Tabela 7:

*Tabela 7: Pesos de Evidências - Contrastes de Solos e vegetação*

Combo_(solos_+_vegetação)							
Sep	Weight	C	Signif	Sep	Weight	C	Signif
1	zero	0	false	18	1,45851	1,72561	true
2	zero	-0,00448632	false	19	0,539113	0,554247	true
3	-1,22498	-1,35762	true	20	zero	-1,41E-05	false
4	zero	-0,000631581	false	21	0,36859	0,394174	true
5	0,154898	0,16098	true	22	zero	0,000505941	false
6	-0,540665	-0,544366	true	23	0,653427	-0,658892	true
7	-0,906701	-0,908073	true	24	zero	-0,00544255	false
8	-1,2142	-1,25841	true	25	0,975431	0,981136	true
9	zero	-0,000212252	false	26	zero	0,000335202	false
10	zero	-0,000130883	false	27	zero	0,000357316	false
11	zero	-0,00541232	false	28	zero	-1,41E-05	false
12	-4,05808	-4,0606	true	29	-1,09767	-1,11609	true
13	zero	-0,00136052	false	30	-1,66751	-1,67056	true
14	zero	-0,00896385	false	31	zero	-0,00100373	false
15	zero	-0,0134965	false	32	0,768559	0,769556	true
16	0,0402405	-0,0725304	true	33	-0,68	-0,681078	true
17	-0,455972	-0,47022	true	34	-1,0223	-1,02261	true

Como pode-se notar, apenas três classes provenientes da combinação apresentaram contrastes acima de 1,5, como recomendado por Bonham-Carter (1994). O uso de classes com contraste mais baixo acaba aumentando a incerteza sobre a validade dos pesos.

#### D) Unidades de conservação e aldeias indígenas

Há invasões de reservas indígenas e áreas de proteção ambiental na área de estudo, especialmente a nordeste. Por que elas não ocorreram em outros pontos das reservas indígenas, mas sim nestes pontos específicos? As aldeias indígenas parecem a resposta, pois de uma forma geral as áreas invadidas estão distantes das aldeias. A proximidade às aldeias indígenas somente foi considerada até as bordas das reservas, e assumiu-se que a partir de uma certa distância a influência das aldeias fôsse irrelevante. As aldeias indígenas tornam-se assim focos de resistência, o que concorda com as observações de Becker(2001) e SUDAM (1976) sobre a resistência indígena e de outras populações tradicionais em sua área de influência.

Observando a Tabela 8, observa-se que os contrastes (C) foram baixos.

*Tabela 8: Pesos de Evidências - Contrastes da distância às aldeias indígenas*

Distância às aldeias indígenas dentro de UCs			
Sep	Weight	C	Signif
6000	-0,627359	-1,04268	true
12000	0,432925	1,07596	true
2147483647	zero	-0,00832734	false

Bonham-Carter (1994) sugere que o ideal é que os contrastes alcancem pelo menos  $\pm 1,5$ . Mas sabendo da importância que teoricamente possui esta variável, preferiu-se mantê-la para verificação, mesmo sabendo que esta atitude pode reduzir a confiabilidade dos resultados. A continuidade do processo de calibração poderá dizer se a atitude foi correta.

Já as unidades de conservação apresentaram contrastes satisfatórios, como se observa na Tabela 9.

*Tabela 9: Pesos de Evidências - Contrastes das Unidades de Conservação*

Unidades de Conservação			
Sep	Weight	C	Signif
1	0,677891	2,17327	true
4	-1,53942	-2,22031	true
5	1,29937	1,30353	true



A classe 4 representa as reservas indígenas. A 5 representa uma unidade de conservação quase completamente invadida. 1 são as áreas ordinárias.

#### E) Hidrografia

Não se dispunha de um mapa hidrográfico em escala adequada para a análise proposta. Assim, optou-se por modelar a rede hidrográfica com base na acumulação de fluxo superficial (ESRI, 2004). Resumindo o que é dito no aplicativo de "Ajuda" do software, a direção de fluxo e os divisores de águas são identificados no modelo digital de terreno, delimitando-se bacias. São, então, contados quantos pixels estão à montante de cada pixel na bacia. Os talwegues são os pontos de maior valor de acumulação local. Basta então determinar limiares para a acumulação, acima dos quais você classificará um pixel como rio. Os talwegues serão delineados durante esta reclassificação.

Dependendo dos limiares escolhidos, obtém-se a hidrografia com diferentes generalizações, o que permite estabelecer classes de importância ou hierarquia dos rios por acumulação.

Este modelo não foi explorado em profundidade, mas apresentou excelente ajuste visual com um mapa disponibilizado pela agência Nacional de Águas (ANA), que não pôde ser vetorizado. A maior vantagem do uso deste método é que o relevo e a hidrografia usados na modelagem tiveram a mesma origem (SRTM), possibilitando melhor ajuste espacial destas variáveis.

Na modelagem dos pesos de evidências foram verificados dois aspectos deste mapa hidrográfico. As distâncias aos rios principais (todos aqueles pixels que acumularam mais de 100.000 pixels foram classificados como principais)<sup>25</sup> e a distância à hidrografia ordinária (os demais pixels classificados como rios).

A hidrografia ordinária apresentou contrastes muito baixos e foi descartada. A distância à hidrografia principal demonstrou relacionamento satisfatório com a presença de estradas, e foi utilizada na modelagem. A Tabela 10 exhibe os contrastes obtidos para as classes de distância adotadas:

---

<sup>25</sup> 100.000 pixels acumulados foi um limiar coincidente com os rios que representavam claras barreiras à passagem de estradas.

Tabela 10: Pesos de Evidências - Contrastes da distância à hidrografia

Distância aos rios principais			
Sep	Weight	C	Signif
4000	-0,00667915	-1,61723	true
8000	1,61056	1,61723	true
2,15E+09	zero	0	false

Os valores de distâncias estão expressos em decâmetros, logo as classes (Sep) representam 40km e 80km de distância dos rios principais.

Os mapas provenientes do tratamento de cada dado de entrada disponível foram agrupados em uma pilha de variáveis estáticas, que foi usada como entrada para a modelagem de pesos de evidências.

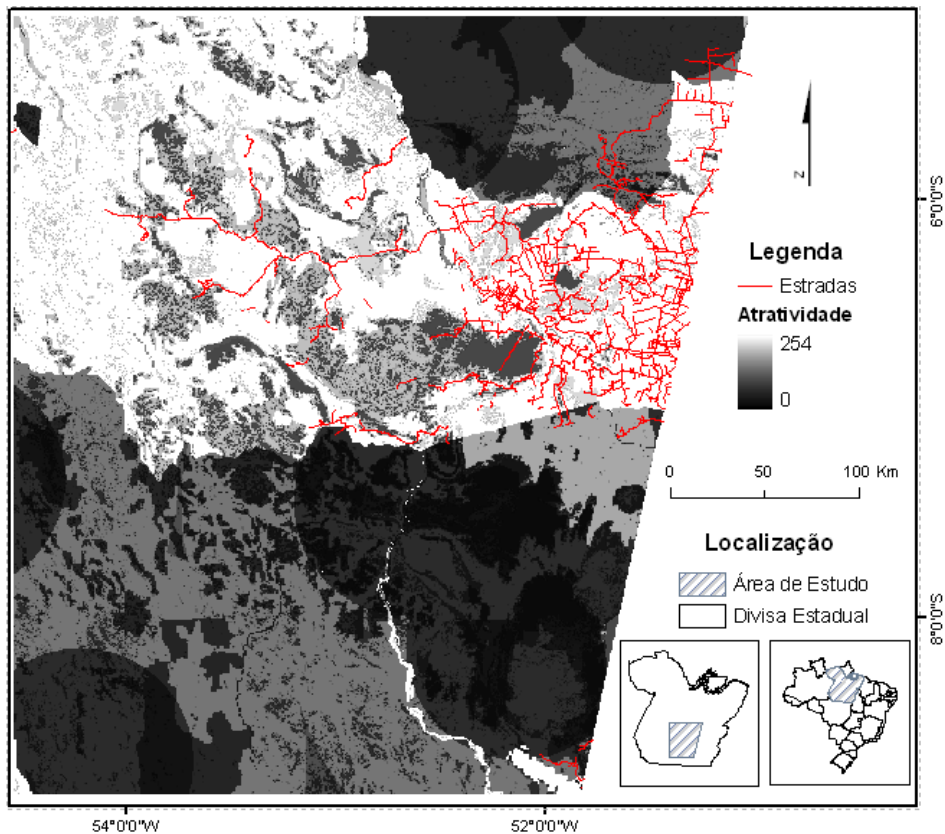
### 5.2.2 - Identificação dos destinos escolhidos pelos agentes construtores de estradas

A modelagem de pesos de evidências exige a identificação dos destinos das estradas abertas pelos agentes construtores.

As estradas não têm necessariamente como destinos os seus nós em interseções e extremidades dos vetores, como sugerido no final do tópico 4.8. Pontos intermediários podem ser destinos dignos de atratividade. Aguiar *et al* (2003) classifica redes viárias como abertas (em que qualquer parte da rede pode ter entradas e saídas de fluxos ex: estradas e rios) ou fechadas (em que apenas pontos nodais possuem entradas e saídas, como linhas aéreas e ferrovias). Assim modelaram-se os pesos de evidências com base na localização das linhas, e não de extremidades de estradas.

### 5.2.3 - O mapa de atratividade criado

Criou-se então um mapa de atratividade, como o exibido na Figura 19:



*Figura 19: Mapa de atratividade*

A atratividade foi criada para o período completo entre 1985 e 2002.

As variáveis que concorreram na definição das áreas mais favoráveis à abertura de estradas foram a combinação de solo e vegetação, as unidades de relevo, as unidades de conservação, a distância às aldeias e a hidrografia.

As estradas foram sobrepostas à atratividade para validação, demonstrando como as estradas foram preferencialmente construídas em áreas mais favoráveis segundo os critérios estabelecidos pela metodologia de pesos de evidências. Se muitas estradas tivessem sido construídas em áreas escuras, ou alguma variável importante teria sido ignorada, ou os pesos estariam desequilibrados.

### **5.3 - Modelagem de custo**

A função de custo do software DINAMICA requer como entrada um mapa de origens e outro de impedância.

Primeiro a construção dos mapas de origem e impedância serão discutidas, e em seguida o cálculo do custo, utilizando-se estes mapas.

### *5.3.1 - O mapa de origens*

Na modelagem de caminhos de menor custo, o mapa de origens representa uma série de pontos ou localizações de onde um movimento deve se iniciar para atingir o destino desejado, através de um caminho ótimo ou de menor impedância possível. A superfície de custo utilizada na modelagem é tratada como uma superfície de relevo, e o menor custo se assemelhará ao caminho da água "morro abaixo" neste relevo.

Como origens foram escolhidas as estradas da etapa anterior, pois as novas estradas serão construídas como continuação da malha viária pré-existente e, geralmente, a partir delas. Poderia ter sido definido um mapa de origens a partir de um mapa de cidades ou outros pontos nodais da rede como mercados consumidores de madeira, de gado, etc, que demandariam os transportes de cargas e a extração de produtos na floresta, mas não se obteve uma caracterização adequada e multi-temporal de tais variáveis. O uso das estradas como origem dos fluxos de transporte é uma simplificação que faz parecer que as cargas são entregues ou distribuídas na beira de uma estrada pré-existente, o que não é verdade. As cargas continuarão circulando pelas vias pré-existentes até os centros de demanda. A abordagem correta para que isso aconteça sobre a superfície de custo é que as estradas pré-existentes sejam consideradas como trajetos de baixa impedância em relação ao terreno comum. Mas aqui não está sendo simulado o custo de transporte, mas o custo de abertura de novas estradas. Nesta situação, o efeito de baixa impedância das vias pré-existentes e o transporte até o ponto de demanda tornam-se desnecessários, pois estas estradas já existem e não precisam ser re-abertas.

### *5.3.2 - O mapa de impedância*

Foram empregados os seguintes fatores no mapa de impedância:

- Rios
- Declividade.
- Unidades de relevo.

Algumas considerações devem ser feitas sobre cada ítem:

### A) Declividades:

As declividades da área de estudo foram obtidas a partir do modelo digital de terreno do SRTM<sup>26</sup>.

Stahl (2005) sugere que para conhecer os efeitos da declividade sobre o custo é necessário conhecer bem as características do veículo utilizado. Mas não foi possível caracterizar os custos de construção de estradas e de sua utilização por múltiplos agentes, devido à indisponibilidade de dados. Veríssimo, Lima e Lentini (2002, pág.21) realizaram tal tipo de análise para o transporte de toras de madeira, por madeireiras no Pará. Mas isto exigiu levantamento de dados específicos em campo, com realização de entrevistas e muito tempo de dedicação. Esta seria uma alternativa inviável. Definir os custos das declividades tornou-se então um problema.

Mas sabendo do limiar previamente detectado de 11% de declividade, que separou a paisagem em dois compartimentos morfológicos, conclui-se que a função que descreve a impedância da declividade não é linear. As declividades não devem ser somadas diretamente à impedância.

Cruzou-se então o mapa de estradas com o de declividades. Esta foi a base da determinação das declividades impeditivas. As freqüências dos valores de declividades neste mapa foram classificadas pelo critério de quebras naturais, resultando nos intervalos da Tabela 11:

*Tabela 11: Classes de declividade*

5 quebras			
Intervalo	impedância estimada na participação da classe	Total em pixels	total % das estradas
0 a 4%	X 1	63627	51,86%
5 a 9%	X 1,7827	35691	29,09%
10 a 17%	X 3,8018	16736	13,64%
18 a 28%	X 12,0593	5278	04,30%
29 a 68%	1000	1369	01,12%
0 a 68%	(0 a 1000)	122701	100%

Classes de declividade definidas por quebras naturais da freqüência dos pixels de estradas coincidentes – Total de pixels coincidentes por classe e porcentagem dos pixels de estrada .

Os valores sugerem que acima de 68% de declividade, os agentes locais consideram impeditivo o custo de construção e tráfego, não tendo sido construídas estradas nessas

<sup>26</sup> O mapa de declividade foi calculado no módulo Analista Espacial do software ArcGis. Este mapa foi gerado com pixels de 250m, a partir de uma imagem SRTM de 90m de resolução espacial.

declividades. (As declividades vão até 89% na área). Cerca de 1,12% das estradas estão entre 29 e 68%. Estas declividades seriam extremamente restritivas. Apenas abaixo de 18% é que quantidades expressivas de pixels (perto de 95% de toda a distribuição) podem ser verificados, mas é entre 0 e 4% de declividade que encontra-se a maioria dos pixels coincidentes. Assim tomou-se qualquer declividade acima de 28% como impeditiva. Ex: Se a declividade de 0 a 4% tem peso 4, acima de 28% receberá peso 1000 (valores absolutos).

Mas considerou-se interessante verificar qual a melhor forma de expressar estas quebras, ou se elas realmente são capazes de melhorar o ajuste da superfície de custo.

Para isso foi definida uma metodologia de validação que forçasse o simulador a produzir estradas passando pelos mesmos lugares em que as estradas reais haviam sido previamente construídas.

Foi definido, então, um mapa de destinos e origens não aleatórios. Para garantir que a simulação traçasse um número razoável de vias na paisagem simulada e que não houvesse mistura dos caminhos e traçado de rotas alternativas. Para isso foi aplicado um critério topológico de distância entre os pontos de destino e origens. Foram definidos três caminhos que se desejava seguir imitando a malha viária real.

Para que cada caminho fosse independente e não recebesse vias dos outros caminhos, seus destinos deveriam estar mais próximos de suas origens do que qualquer destino dos demais caminhos. Veja a Figura 20:

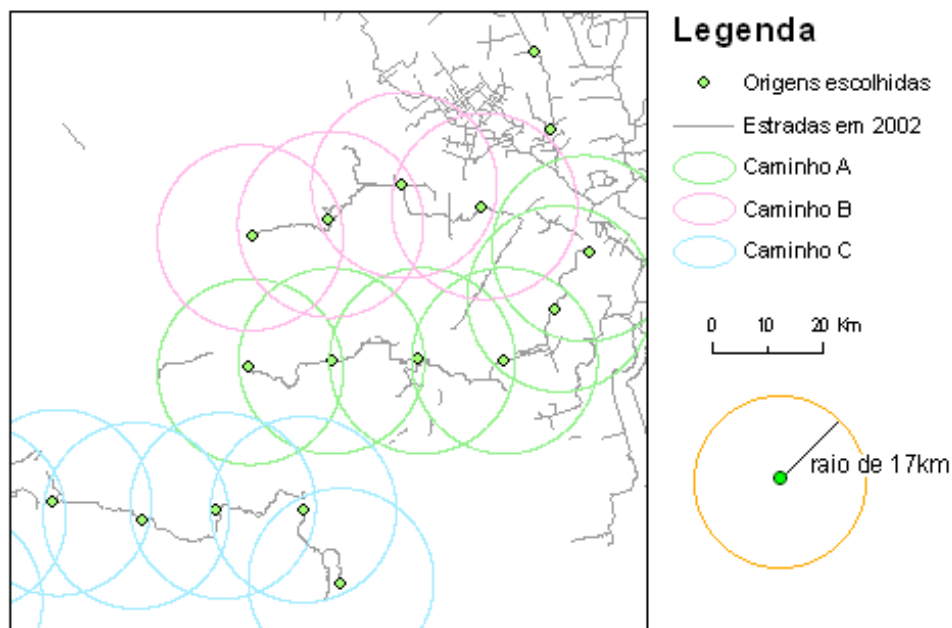


Figura 20: Caminhos usados na validação das impedância

Este procedimento foi necessário devido à incerteza inerente ao processo de sorteio de destinos. Um ponto em uma das extremidades destes caminhos foi marcado como origem. Os demais foram considerados destinos. Ao DINAMICA foi fornecida uma distância máxima às origens, em que um destino pudesse estar situado para ser escolhido. O valor desta distância máxima foi definido geometricamente de forma a garantir que os pontos de destino pudessem estar distanciados o máximo possível uns dos outros, dando maior margem a erros verificáveis na validação, sem que os caminhos pudessem se fundir. Tomando-se três grandes vias quase paralelas na área de estudo, verificou-se que cerca de 17km eram necessários para garantir o requisito topológico. Usando estas origens e destinos geometricamente separados e coincidentes com vias que realmente foram construídas, e variando as funções de custo, pôde-se comparar o quanto cada função de custo se assemelhou às estradas verdadeiras.

Foram executados tantos passos de simulação quanto necessários para atingir todos os destinos de todos os caminhos disponíveis na paisagem. A cada novo passo, os destinos já “sorteados” foram adicionados ao mapa de origens, garantindo a seqüência de construção planejada.

Esta validação ainda garantiu que diferentes morfologias de relevo e situações hidrográficas fossem contempladas.

Foram testadas então três hipóteses:

- 1) Aplicação direta dos valores de declividade como impedância.
- 2) Separação das declividades em intervalos de classe, adotando pesos para os intervalos proporcionais às participações destas declividades no total de estradas observadas.
- 3) Adoção de quebras nas impedância da declividade, que continuam variando entre os intervalos de classe, mas sofrem elevações bruscas em certos momentos.

Assim obtiveram-se as funções de custo para declividade, descritas na Tabela 12.

*Tabela 12: Progressões das impedância nas três funções experimentadas*

Impedância atribuídas aos Intervalos de declividade					
Declividade SRTM	1% – 4%	5% - 8%	9% - 16%	17% - 28%	>28%
Impedância pela declividade direta	1 - 4	5 - 8	9 - 16	17 - 28	1000
Impedância total pixels / total intervalo	1	1,7827	3,8018	12,0593	1000
Impedância com quebras bruscas	1 - 4	8,91 – 14,26	34,22 – 60,83	205-337,66	1000

A Figura 21 corresponde à representação gráfica das funções.

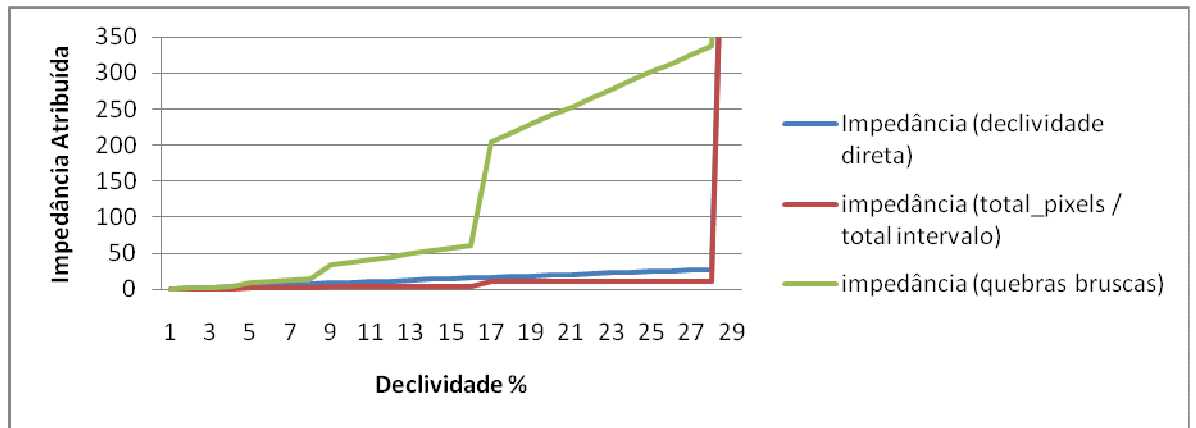


Figura 21: Gráfico que expressa as três funções de impedância utilizadas nos testes

Veja na Figura 22 os ajustes destas diferentes funções, usando a metodologia de validação proposta:

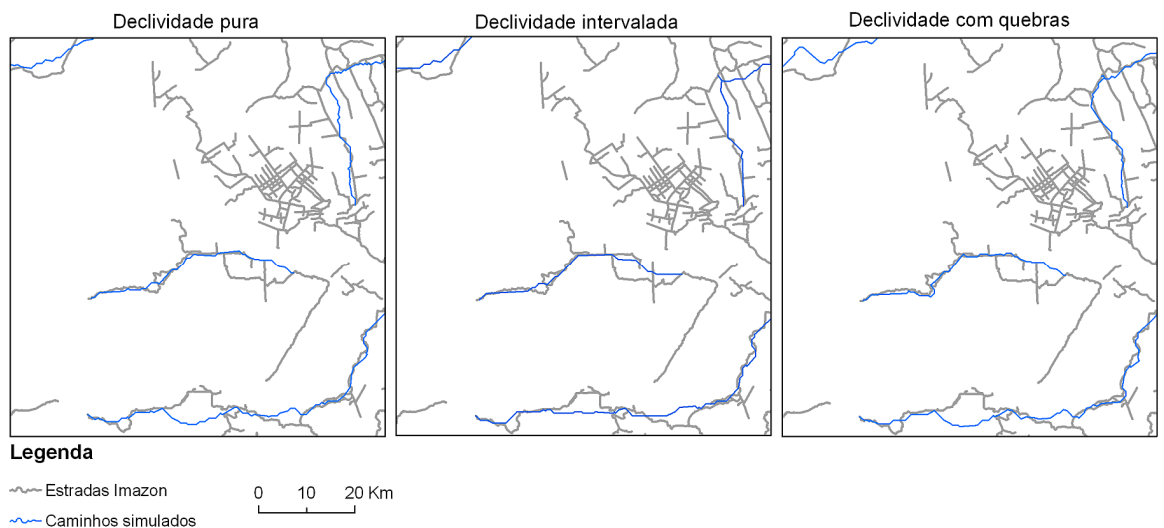


Figura 22: Ajustes das diferentes funções de impedância para a declividade. A declividade com quebras apresentou os melhores ajustes.

Nota-se que a aplicação direta dos valores de declividade como impedâncias resultou em traçados próximos aos reais, mas na porção superior direita da figura os ajustes de declividades com quebras foram melhores. Já no caso da impedância em intervalos houve uma tendência à produção de linhas retas em diversos pontos. A utilização de quebras na impedância da declividade produziu um efeito de maior separação entre as classes de impedância, em cada quebra utilizada. Isto fez com que a dificuldade de se transpor pixels de declividades mais altas se tornasse muito maior que nas outras duas funções. Esta abordagem se mostrou mais adequada. Não foram, no entanto, exploradas outras possibilidades de definição de quebras.



Esta utilização de uma abordagem empírica para a determinação das declividades mais e menos restritivas foi importante na medida em que as vias aqui estudadas são de construção supostamente clandestina e possivelmente não atendem à quaisquer parâmetros legais de planejamento viário como normas para traçados e limitações de rampas. Além disso, a declividade obtida por via do MDT SRTM sofre com a amostragem das altitudes do terreno e com o erro padrão de até 20m nas altitudes, esperado para o produto segundo documentação da NASA.

#### B) Rios:

Adotaram-se quatro classes de rios, conforme sua dificuldade de travessia. A dificuldade foi determinada pela sobreposição das estradas não oficiais à base hidrográfica definida e classificada pela acumulação de fluxo.

Foi percebido que num limiar de acumulação de fluxo inferior a 100.000 pixels à montante observaram-se numerosas travessias de rios por estradas. Estes cursos de água foram considerados de baixa a média dificuldade de travessia (classes 1 e 2). Acima do limiar de 100.000 pixels acumulados, as travessias foram consideradas difíceis (classe 3), pois apenas vias de importância para ligação regional, como a longa estrada que atravessa o Xingu, e vias oficiais foram capazes de atravessá-los. Rios muito largos não foram delineados pelo método de acumulação superficial, quando a base teve que ser completada com os rios de margem dupla do mapeamento sistemático do Brasil, escala 1:1000.000. Estes rios foram considerados barreiras quase intransponíveis, recebendo a classes 5<sup>27</sup>. Todos estes valores de pixels são referentes à resolução original de 90m por pixel do modelo digital de terreno SRTM.

A hidrografia modelada é apresentada na Figura 23:

---

<sup>27</sup> Foi ainda definida uma classe 4, que aparentemente representa áreas inundáveis no leito do Xingu, mas esta foi ignorada devido à presença de estradas em seu interior.

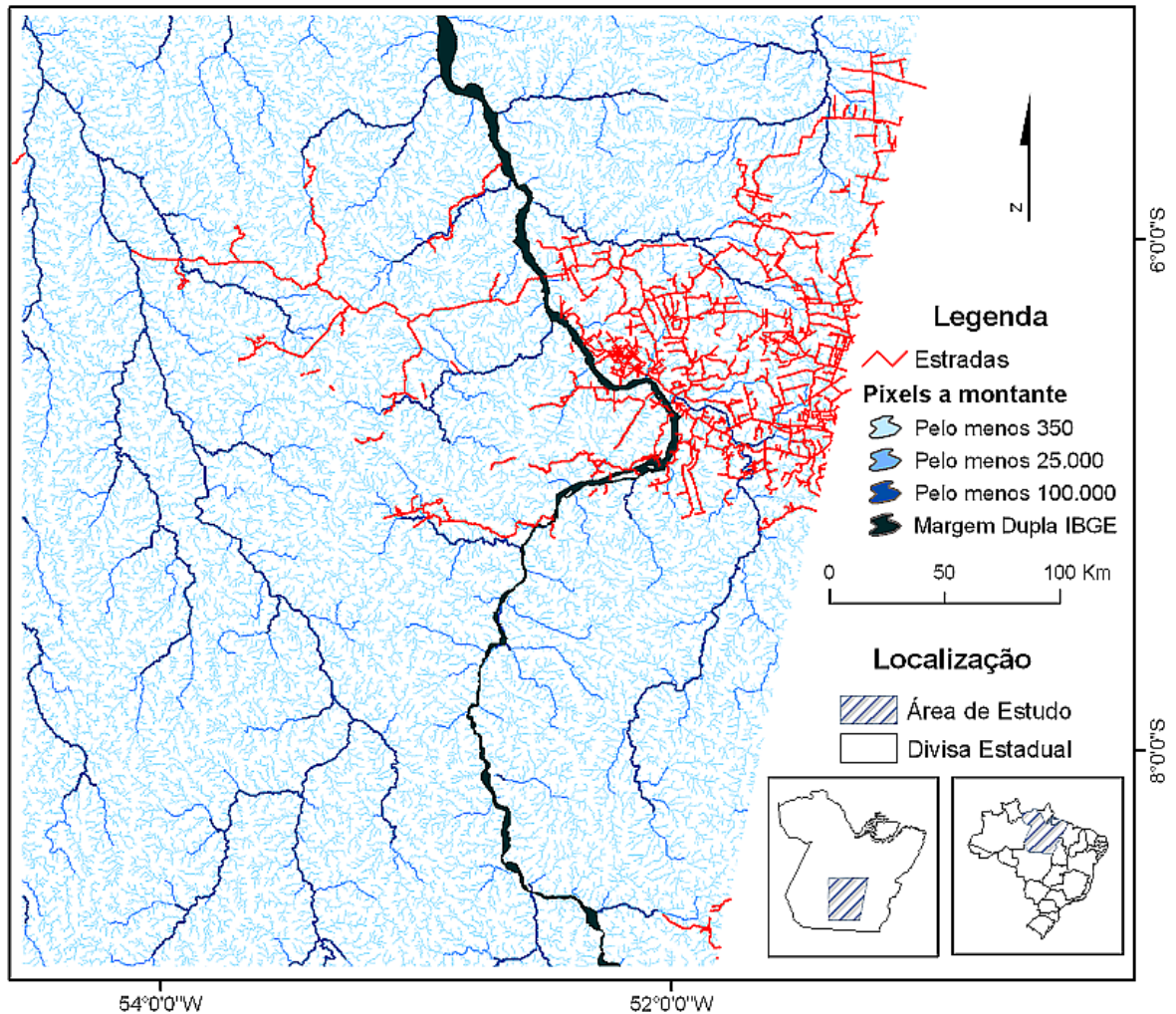


Figura 23: Mapa hidrográfico modelado por acumulação

No modelo de custo do DINAMICA não existem de fato barreiras intransponíveis, mas a dificuldade de travessia de uma barreira, se mal dimensionada, pode tornar muito difícil a passagem de qualquer estrada por ela. O Rio Xingu, curso d'água de maior extensão e largura da área de estudo nunca foi uma fronteira final leste-oeste, embora tenha dividido a paisagem em duas regiões distintas. Foram então adotados valores de impedância que tornassem o Xingu, nos trechos de maior largura, tão difícil de atravessar quanto as declividades mais restritivas. Com um peso absoluto igual a 10, multiplicado pela classe 5 do rio Xingu, produzir-se-á um custo igual a 50 por pixel (não foram definidas unidades). Para os trechos mais largos do rio com cerca de 20 pixels de largura, o custo de atravessar o Xingu equivalerá a 1000. Este é o mesmo valor dado às declividades acima de 28% (ver Tabela 11).

C) As unidades de relevo:

Foi empregado no cálculo da impedância o mapa de bordas das unidades de relevo, já discutido anteriormente no cálculo da atratividade. Empregar tal mapa não significa que nas bordas dos compartimentos morfológicos detectados o custo seja de fato diferente. Este é apenas um artifício usado para promover a aderência das vias simuladas a estas unidades, mesmo quando houver caminhos mais retos e menos custosos entre origem e destino no meio das planícies. Isto pode ser alcançado pela multiplicação da impedância por um valor fracionário. Isto deixa os pixels das bordas com custos menores que aqueles das planícies. Sempre que uma borda for encontrada, haverá preferência por segui-la.

O peso desta variável na impedância deve ser calibrado, de forma a obter um ajuste razoável às bordas. Não se poderia permitir, por exemplo, que as bordas fossem o único caminho viável. Foram, então, testados diferentes valores de redução da impedância nas bordas dos compartimentos elevados, partindo-se da referência inicial de 0.5 x impedância. Variou-se os valores para cima e para baixo, procurando por um melhor ajuste visual. Veja Figura 24:

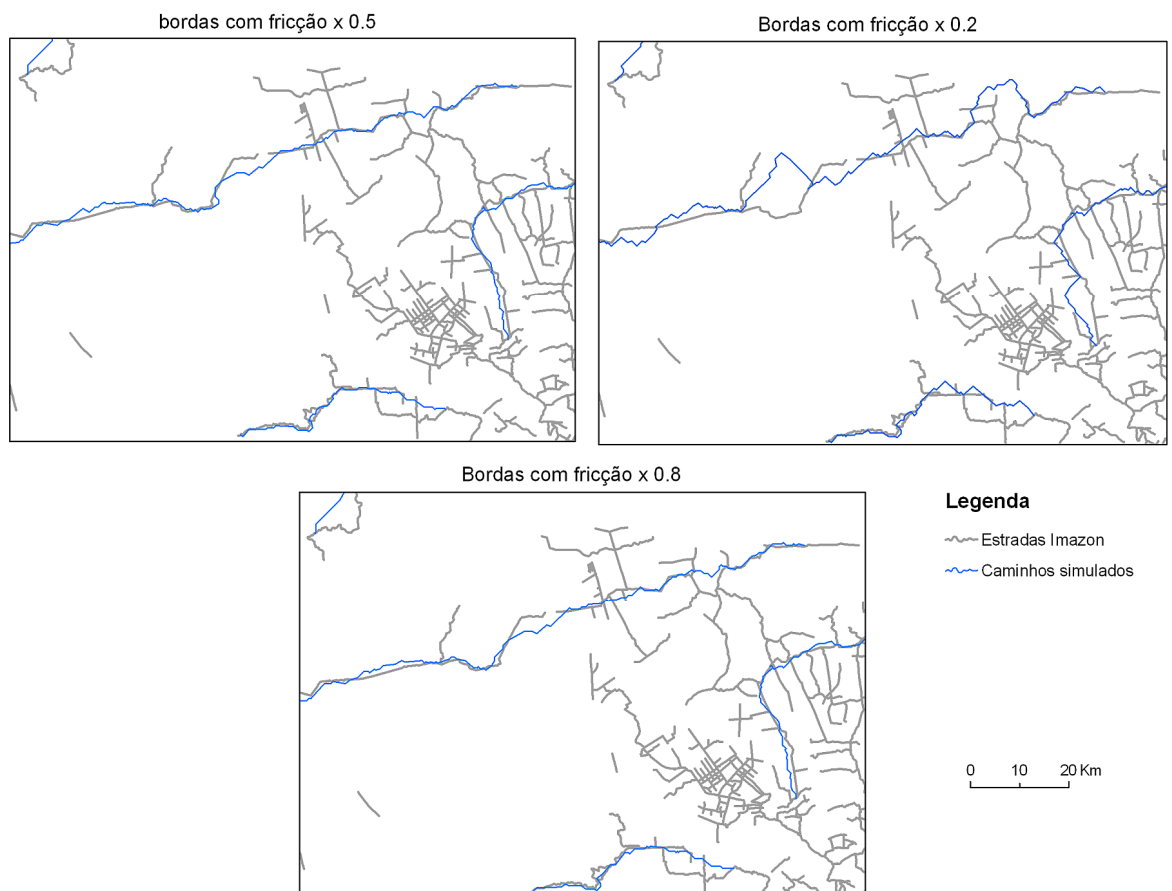


Figura 24: Efeitos dos três valores de impedância experimentados para as bordas do relevo.

O resultado final desta calibração foi tal que em diversos trechos, as estradas simuladas coincidiram satisfatoriamente seus traçados com as estradas reais, demonstrando que de fato este uso não tradicional dos algoritmos de *least cost path* é capaz de reproduzir algumas escolhas dos agentes locais.

No entanto, a validação foi visual, devido às dificuldades já discutidas da validação de feições lineares em imagens raster (ver tópico 4.8). Não foi possível aplicar as medidas de validação da teoria dos grafos propostas por Rodrigue *et al* (2005), uma vez que o que interessa não é a distribuição espacial das linhas da rede viária, e sim o acerto mais preciso possível dos caminhos trilhados entre as origens e destinos discutidos há pouco. Mas a validação visual deixa espaço para erros de interpretação, o que exige ainda a definição de um método sistemático de validação do custo.

Além disto, infelizmente, algumas características do algoritmo de custo parecem não contribuir para uma melhor modelagem em escalas assim tão próximas, como foi discutido no tópico 4.7.1 que aborda os parâmetros de simulação do software.

Entre outros problemas deste resultado final, estradas retas às vezes são observadas na paisagem, mas a progressão contínua das impedâncias com o aumento da declividade não tendem a produzi-las, mesmo que hajam quebras nas seqüências de valores. Aparentemente há na percepção dos agentes locais a tendência de construir estradas retas em áreas visivelmente muito planas, mas definir impedâncias fixas para intervalos de valores de declividade para toda a paisagem forçará a retificação de todas as estradas, mesmo nas áreas menos planas. É necessário, portanto, explorar mais as possibilidades de calibração deste modelo de custo.

### 5.3.3 - A superfície de custo adotada:

A declividade foi o primeiro fator para o qual calcularam-se as impedâncias, pois esta variável carregava consigo uma noção mais intuitiva de como se organizariam seus valores. Foram realizados, então, testes com diferentes impedâncias para a declividade. Em seguida foi anexada a hidrografia à equação de impedância. Uma nova série de testes foi realizada para verificar se a hidrografia teria utilidade no cálculo do custo. Por fim foi anexado o mapa de bordas das unidades de relevo, e uma nova série de testes foi realizada.

A melhor superfície de custo obtida após a calibração e validação realizadas produziu as estradas da Figura 25:

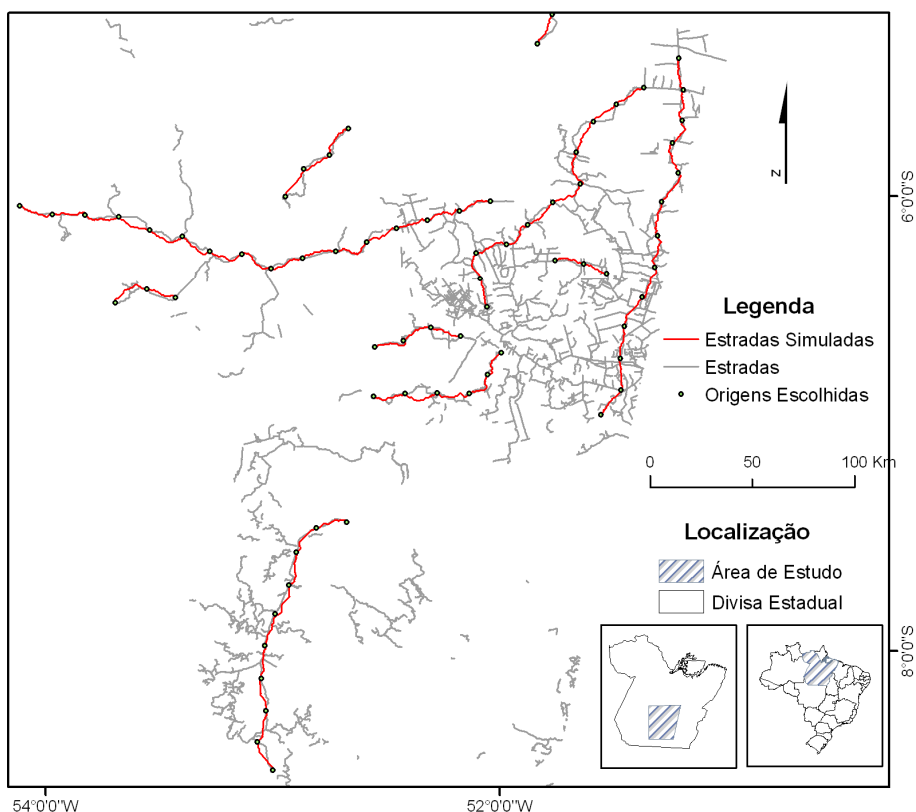


Figura 25: Melhor resultado de impedância. Função, adotada nas simulações finais

Ela foi produzida pela seguinte função de custo exibida na Tabela 13, que relaciona as impedâncias de melhor ajuste dentre as alternativas testadas durante a calibração do modelo de custo. Não foi definida uma unidade de custo, logo adotou-se a designação “uc”.

Tabela 13: Valores de impedância adotados nas simulações finais

Variáveis	Valores de classe ou intervalo	Impedância por pixel
Valor inicial de qualquer pixel	-	11
Declividades	0 a 4%	0 a 4
	5 a 8%	8,9135 a 14,2616
	9 a 16%	34,2162 a 60,8288
	17 a 28	205,008 a 337,6004
	>28%	1000
Hidrografia	Classes excluídas	0
	Principais rios	30 ou 50*
Bordas dos compartimentos morfológicos	Não borda	Impedância inalterada
	Borda	Impedância x 0,8**

\* O Rio Xingu chega a ter mais de 20 pixels de largura em alguns trechos, podendo assim contribuir com 1000uc ou mais.

\*\* As impedâncias são aditivas, mas no caso das bordas dos compartimentos morfológicos é realizada uma divisão que tornará estas áreas mais fáceis de percorrer. Valores negativos poderiam gerar custo negativo ou zero, que são incompatíveis com algoritmos de *cost pushbroom*.

## **CAP. 6: RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES**

O construtor de estradas do DINAMICA possui a característica de determinar destinos de construção de estradas e a partir deles traçar o caminho mais favorável até uma origem. Se o destino da estrada fosse sorteado sobre uma estrada pré-existente, e esta fosse considerada a origem da construção, como foi empregado neste trabalho, ou a nova estrada teria comprimento zero, ou ela seria coincidente com a estrada previamente existente. Além disso, como a distância às estradas pré-existentes se mostrou um fator de grande peso na escolha dos destinos pelos agentes do desmatamento, definir uma distância mínima de construção igual a zero tornaria muito grande a chance de que os destinos fossem sorteados sobre as estradas pré-existentes. Na prática, o DINAMICA acaba produzindo poucas ou nenhuma nova estrada num cenário como este. Assim, define-se normalmente uma distância mínima à origem maior que zero. Mas este procedimento impede completamente a conexão de trechos viários em ciclos, resultando em uma rede viária sempre pouco conectada.

Se não é possível conectar a rede viária, torna-se inútil empregar sobre as simulações medidas da relação entre o número de nós e vias da rede ou de contagem de ciclos, como algumas propostas por Rodrigue *et al* (2005). Além disso, sem a conectividade da rede, a modelagem tornou-se incapaz de superar o padrão de fronteira de exploração em espinhas de peixe, e os resultados da modelagem foram prejudicados.

Mesmo assim foram realizadas 6 rodadas de simulação para cada teste proposto, e obtidos valores médios para comparação com a malha viária observada no período.

O número de passos de simulação foi 6, correspondendo aos 6 anos de duração de cada período. É preciso lembrar que o período entre 1985 e 1990 corresponde na realidade a: 1974 - 1990. São 17 anos, mas a simulação não considerou este período completo. Assim o número de estradas a serem produzidas será proporcional ao período simulado. O comprimento médio das estradas foi obtido por observação empírica.

### ***6.1 - Medições realizadas na rede viária real:***

A rede viária real foi validada por um conjunto de medidas que incluem algumas daquelas propostas por Rodrigue *et al* (2005).

Foram realizadas medidas para cada período distinto. Nem todas as medidas foram, entretanto, implementadas, como aquelas relativas ao número de nós e conectividade.

As seguintes medidas foram então obtidas:

A Tabela 14 exhibe as medidas realizadas sobre a malha viária acompanhada de desmatamento.

Observa-se a tendência de ao aumentar o número de segmentos de estradas, diminuir o comprimento médio das vias. Isto ocorre em função do aumento do número de bifurcações de estradas. O diâmetro da rede sofre bastante alteração ao final do primeiro período com pouco acréscimo de comprimento total da malha viária, e continua aumentando após o segundo período, quando o comprimento total da malha viária aumentou bastante. Há aí uma mudança no comportamento da malha viária, e é esta mudança que demonstra  $P_i$ . Até 1990 havia uma pequena concentração da rede a leste do Xingu, e uma única grande estrada a oeste. A rede é concentrada em uma porção que se tornou mais significativa em número de ligações, e muito poucas ligações estão localizadas fora da área de concentração. Entre 1991 e 1996, a rede se espalha mais rapidamente, invadindo áreas antes não ocupadas com ramais longos e pouca interconexão. O índice  $P_i$ , portanto, baixa, pois aumenta o número de locais acessados de forma direta. A densidade da malha entre 1985 e 1996 praticamente não se altera, dando indícios de que a rede continua se expandindo para novas áreas inexploradas. Após 1996, a rede sofre grande desenvolvimento na porção leste do Xingu e ganha interconexões com diversos caminhos alternativos entre os mais variados pontos da paisagem.  $P_i$  então se eleva e a densidade se eleva substancialmente. Estas mudanças refletem a forma topológica da rede, que no período entre 1991 e 1996 foi mais característica de uma rede viária de fronteira especulativa.

*Tabela 14: Medidas de rede para as estradas reais*

Medida de Validação	1985 a 1990	1991 a 1996	1997 a 2002
Numero_total de segmentos	178	303	1011
Comprimento médio dos segmentos (km) - ETA	5,14	7,99	3,71
Desvio Padrão do comprimento (km)	15,23	10,19	5,37
Comprimento mínimo (km)	0,252	0,25	0,23
Comprimento máximo (km)	187,73	71,31	62,32
Comprimento total da malha (km)	999	1999	4622
Densidade	0,061	0,0657	0,144
Diâmetro	21	46	63
$P_i$	47,57	43,45	73,36

O período de 1996 a 2002 demonstra então a passagem de uma estrutura tipicamente de fronteira especulativa no período anterior para uma nova estrutura mais consolidada. O espaço que já se encontrava desbravado, passa a ser ocupado por atividades



produtivas permanentes, o que justifica a implantação e melhoria da infra-estrutura disponível na região. (Margullis, 2003).

## 6.2 - A primeira simulação:

A primeira simulação foi realizada com os valores de parâmetros obtidos diretamente da observação empírica da rede viária observada no período (Tabela 15).

*Tabela 15: Parâmetros usados no primeiro teste de simulação*

Parâmetros de simulação	1985 a 1990	1991 a 1996	1997 a 2002
Distância mínima da origem	2km	4km	2km
Distância máxima da origem	8km	12km	6km
Número de segmentos	1x1	1x1	1x1
Distância mínima entre destinos	2km	2km	2km
Número de destinos por segmento	30	21	118
Número de passos da simulação	6	6	6

Percebe-se que as distâncias mínimas e máximas procuraram ajustar comprimentos médios de vias a serem construídas, semelhantes àqueles exibidos pelas estradas reais, na Tabela 14. Por exemplo, entre 1985 e 1990 com mínimo de 2km por estrada e máximo de 8km, espera-se uma média de 5km nos sorteios de destinos, produzindo-se assim estradas um pouco mais longas por passo, devido à sua sinuosidade.

Ao mesmo tempo, a distância mínima foi mantida sempre baixa, para permitir tanto a formação de vias menos extensas, quanto evitar o efeito de saturação que distâncias mínimas grandes tendem a causar. Excessão foi o caso do período entre 1991 e 1996, quando estradas mais longas foram abertas na região.

Os parâmetros foram ajustados para os três períodos seguindo a mesma lógica do período entre 1985 e 1990, em que 30 estradas por passo de simulação, ao longo de 6 passos produziriam 180 estradas (pouco mais que as 178 observadas para o período inicial). Com uma média de 5km por estrada, ter-se-iam 900km de estradas construídas ao final do período, o que seria bem próximo dos 915km. Cada período subsequente apenas ajustou os valores de forma equivalente.

Assim, produziram-se os mapas de estradas simuladas com os valores empíricos para cada um destes três períodos. Os resultados são apresentados na Tabela 16:

Tabela 16: Medidas de rede aplicadas às estradas simuladas no teste T1.

Medida de Validação	1985 a 1990	1991 a 1996	1997 a 2002
Numero_total de segmentos	160	247	646
Comprimento médio dos segmentos (km) - ETA	9,45	8,89	7,41
Desvio Padrão do comprimento (km)	9,11	13,59	5,04
Comprimento mínimo (km)	0,02	0,01	0,01
Comprimento máximo (km)	46,82	154,97	154,97
Comprimento total da malha (km)	1512,20	2197,82	4783,89
Densidade	0,098	0,090	0.126
Diâmetro	32	33	66
Pi	47,25	66,60	72,48

O número de estradas produzidas ficou muito aquém do número real. As estradas também tenderam a ser em média bem maiores que as estradas reais. O comprimento total da rede em todos os períodos acabou um pouco superior ao real, mas nota-se especial descompasso no período de 1985 a 1990, quando de 999km salta-se para 1512,2km. A densidade das redes foi maior que a real nos dois primeiros períodos, e menor no terceiro. Outro aspecto interessante de se notar é que o diâmetro do período entre 1985 e 1990 demonstrou uma rede muito mais desenvolvida que a real, e que diferentemente do que se nota no período entre 1991 e 1996 na rede real, quando o padrão de fronteira especulativa se tornara mais óbvio na rede real, na simulação este aspecto não é repetido.

Comparando as estradas reais (Figura 26) e 1 amostra das simulações executadas com parâmetros empíricos para os três períodos (Figura 27), tem-se uma dica do que teria ocorrido:

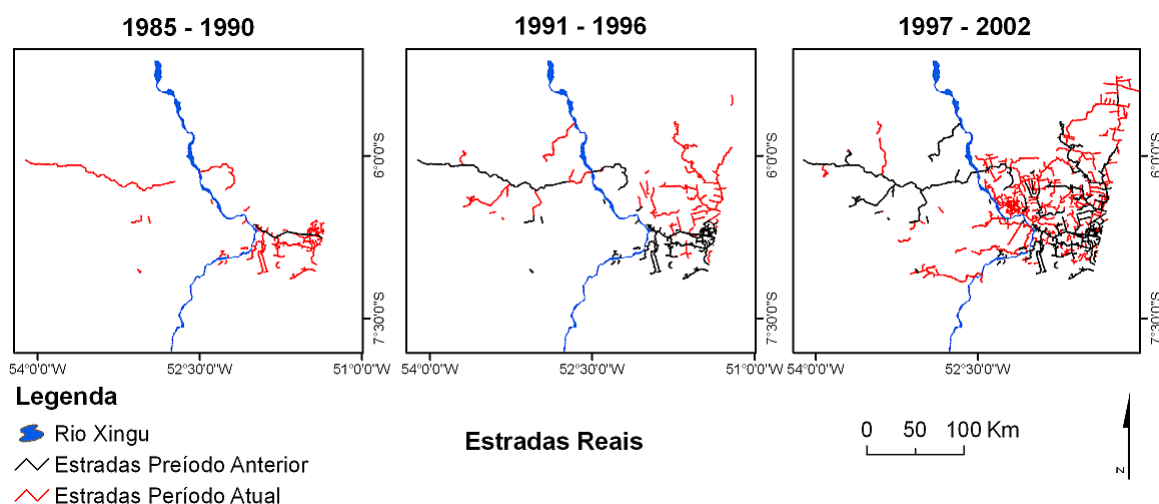


Figura 26: Estradas reais nos três períodos estudados

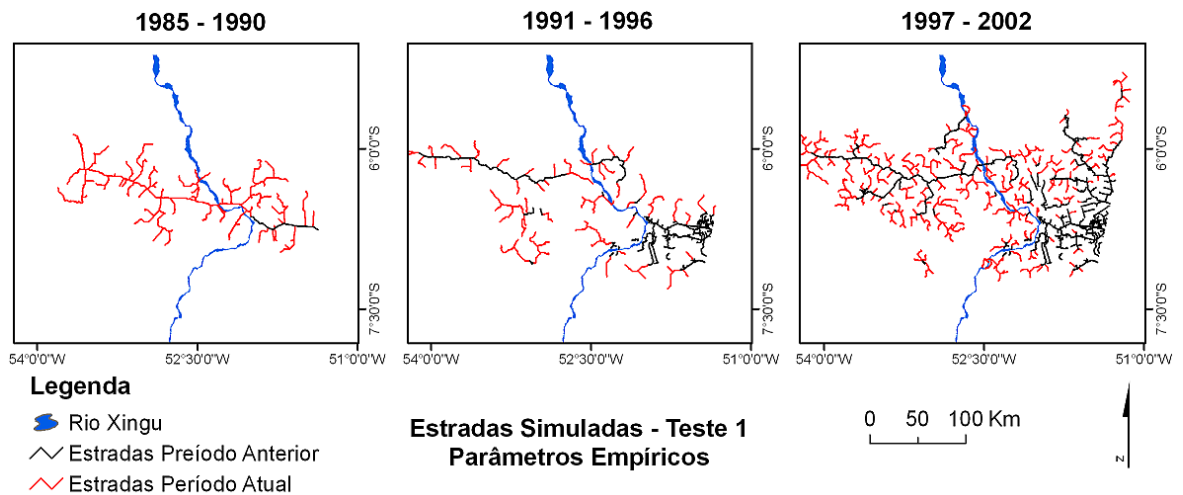


Figura 27: Estradas simuladas com parâmetros empíricos

É notável a diferença no padrão viário em todos os períodos...

É notável também como nas simulações as novas estradas tendem a ser abertas de forma distribuída na paisagem, enquanto que nas paisagens reais ocorre forte concentração a oeste do Xingu.

A falha na modelagem se refletiu especialmente nos resultados de  $P_i$  e da densidade. Se as novas estradas estão mais distribuídas do que deviam, a densidade tende a baixar. É o que ocorre no terceiro período. E se  $P_i$  foi muito diferente, quer dizer que a conformação geral da rede é diferente em termos topológicos. Aqui não importa se as estradas não se dirigiram para os mesmos locais que as estradas reais.  $P_i$  indica se a forma da rede é mais regular ou mais espichada.

Esta diferença se deve ao fato de todas as variáveis de proximidade a elementos da paisagem como estradas, centros urbanos, assentamentos do Inca e outras terem sido excluídas da modelagem de pesos de evidências e, conseqüentemente da atratividade. Tais elementos integram toda uma rede de consumo, serviços e produção que se estrutura em torno das vias de acesso. Aguiar (2004), Margullis (2003), Sant'Anna (1989), Becker (2000) entre vários outros não consideraram a rede de transportes da Amazônia dissociada dos mercados consumidores, rede urbana e dos locais de produção. Assim, a modelagem de atratividade efetuada estava no, teste 1, dissociada do verdadeiro significado da acessibilidade da mata pelos agentes construtores principais: madeireiros e pecuaristas que têm nas cidades seus mercados consumidores, e mesmo sua infra-estrutura de produção (Margullis, 2003; Veríssimo, Lima e Lentini, 2002).

Além disto, a grande estrada que se estende para oeste do Rio Xingu, como já dito anteriormente, provavelmente pertence a uma dinâmica de abertura distinta daquela que

está sendo modelada. É uma estrada garimpeira (Gabeira, 2004), de extensão pouco comum para estradas não oficiais, mas que serve de acesso às áreas até então remotas da Terra do meio.

Para modelar a construção de tal estrada e compensar sua influência sobre a média de comprimento de estradas no período inicial, foi programada uma fase em que uma grande estrada seria aberta, para depois surgirem ramais menores em seu entorno. Esta é a dinâmica mais comum da abertura de estradas na Amazônia, segundo Soares-Filho *et al* (2006). Mas tal atitude teve seu preço, na medida em que a ausência de medidas de acessibilidade tornaram a abertura de estradas a oeste do Xingu tão ou mais atrativa do que a Leste. A grande extensão da estrada construída, ou presente nos passos posteriores, fez com que o sorteio de destinos para construção de estradas tivesse um grande número de opções de sorteio a oeste. Os sorteios ocorrem dentro de um *buffer* delimitado pelas distâncias mínima e máxima programadas. (A atratividade válida). A grande extensão desta estrada faz com que o *buffer* a oeste seja por vezes maior que a leste onde as vias estão concentradas, permitindo assim igual número de sorteios ou mesmo mais sorteios a oeste.

Outro aspecto a se considerar é que a grande estrada não foi construída com base em nenhum dos determinantes da atratividade escolhidos. Assim não há como garantir pelo mapa de atratividade que uma extensa estrada simulada, irá seguir a mesma direção da estrada aberta na rede real. Então no primeiro período, cada uma das seis rodadas distintas de simulação construiu estradas em direções diferentes, seguindo para norte, sul, sudoeste ou nordeste, e não apenas para oeste. A tentativa de simulação desta estrada acabou trazendo muitos erros na modelagem.

### **6.3 - A segunda simulação**

Vistos os resultados da primeira simulação, alguma alternativa para adicionar a acessibilidade à modelagem da atratividade mostrou-se necessária.

Uma alternativa lógica seria empregar o custo como um fator de atratividade, já que ele tem relação com a acessibilidade (Husdal, 2000). Mas como discutido anteriormente, devido ao desconhecimento de datas de fundação de núcleos urbanos e outras prováveis origens, a modelagem de custo considerou as estradas prévias como suas origens. Assim, numa tentativa simples de solucionar o problema de acessibilidade, criou-se um mapa de “cost distance” ESRI (2003) ou uma superfície de custo acumulado, partindo da rodovia PA-279 em direção à floresta. Esta superfície considerava como único fator externo de

impedância os rios principais. Estabeleceu-se assim um fator que poderia ser subtraído da atratividade, representando a acessibilidade da mata aos principais mercados consumidores de seus produtos.

O teste 2 consistiu na verificação desta hipótese de que o custo pudesse ser utilizado como fator da atratividade. Mas seria necessário calibrar a impedância do Rio Xingu, de forma a extrair-lhe um valor capaz de equilibrar as distribuições de densidades viárias a leste e oeste. Este procedimento pode ser realizado variando o peso com que o custo resultante do Rio Xingu reduzirá a atratividade, sem que seja necessário refazer o mapa de distância acumulada. Elaboraram-se então mais dois testes, um com metade da influência da acessibilidade, e outro com o dobro do que no teste 2.

A idéia desta variação é simplesmente que a partir de um dado custo, a atratividade torne-se zero. Reajustando o mapa de custo a partir de novos valores máximos, o limite até onde as atratividades são válidas se aproximará ou se afastará geograficamente do Rio Xingu ao ser realizada a subtração. Partindo de uma situação em que o máximo custo é igual à máxima atratividade, quando o máximo custo sempre significará zero de atratividade, tentou-se um valor muito alto, e depois outro intermediário. (A escolha dos valores foi aleatória – tentativa e erro)

Os três valores de custo testados são apresentados na Tabela 17:

*Tabela 17: Pesos testados para a variável de acessibilidade*

	Teste 2	Teste 3	Teste 4
Valor máximo do custo	255	1140	384

Os testes produziram então os resultados exibidos na Figura 28:

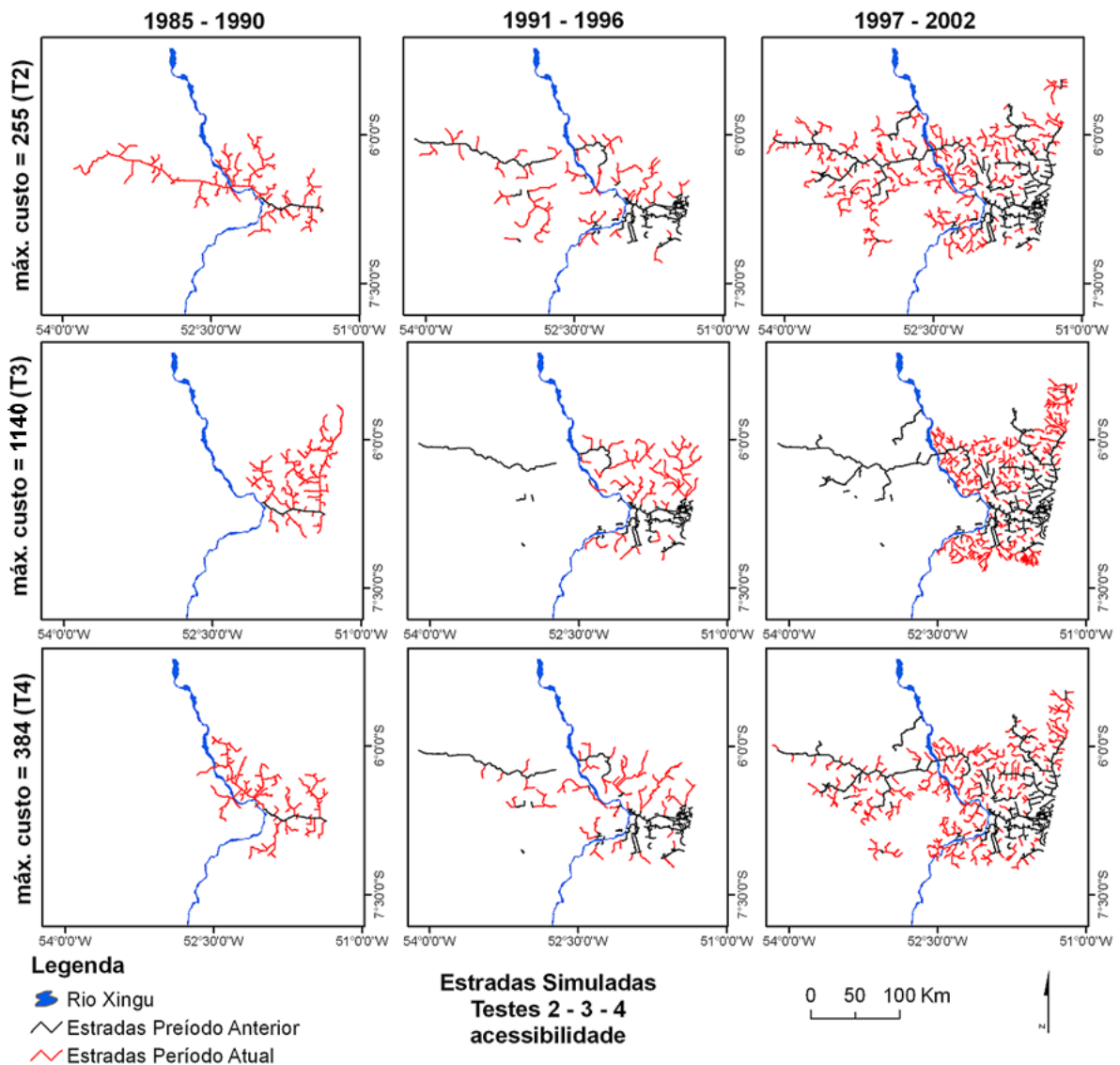


Figura 28: Estradas simuladas considerando a acessibilidade à mata pelos agentes que vem do Leste. Testes de simulação 2, 3 e 4

É importante perceber como na comparação vertical das figuras a concentração da malha viária evoluiu nos três testes. O teste 3, que possui custo máximo muito alto, tornou o Rio Xingu uma barreira praticamente intransponível, não sendo, portanto, adequado.

Deve-se então comparar o resultado da Figura 28 com o da Tabela 18, pois esta apresenta algumas medidas adicionais que ajudam a descrever as diferenças regionais na densidade viária. Estas medidas não estavam descritas na bibliografia, mas são todas baseadas na densidade viária descrita por Rodrigue *et al* (2005) como indicador do desenvolvimento da rede. Para obter densidades regionais, a área de trabalho foi dividida em 100 sub-regiões componentes de uma malha regular. Cada sub-região possui uma área, idêntica à das demais. A densidade foi obtida então pela contagem dos pixels de estrada em

cada sub região. Com regiões regulares, a percentagem dos pixels de uma região que são identificados como estrada dão uma aproximação do quão densa é a malha viária em cada região, melhorando a escala de análise. Esta medida de densidade foi processada tanto para a rede viária real, quanto para a rede simulada.

Para facilitar a identificação de diferenças estruturais, a densidade de vias na paisagem real foi subtraída pela densidade de vias simuladas em cada região.

Adicionalmente medidas de resumo e desvios foram calculadas. São elas:

- A média do módulo das diferenças: O módulo é calculado para que as diferenças positivas e negativas não se anulem. Tal medida quantifica o quanto se espera de erro no ajuste de densidades da rede viária, em toda a área de estudo.
- O Desvio das diferenças: Dá a idéia da variação dos erros de ajuste da densidade.
- A Soma dos módulos das diferenças: Quantifica o erro total de ajuste local das densidades, na escala utilizada. (Neste caso, para 100 sub-regiões).
- A Máxima diferença: Complementa a idéia da média e desvio padrão das diferenças, mostrando se há sub-regiões que concentram diferenças de densidade muito maiores que a média da rede viária.
- O Número de sub-regiões que apresentaram diferenças de densidade: Indica maior ou menor concentração dos erros de ajuste da densidade.

*Tabela 18: Diferenças regionais das densidades – testes T1, T2, T3 e T4 no período de 1997 a 2002.*

Medida	Valor em % de pixels da sub-região.			
	Sem subtração de custo (teste 1)	Máximo custo = 255 (teste 2)	Máximo custo = 1140 (teste 3)	Máximo custo = 348 (teste 4)
Média das diferenças	0,46	0,41	0,35	0,36
Desvio das diferenças	1,26	1,27	1,27	1,34
Soma das diferenças	46	41	36	36
Máxima diferença	7,11	6,86	6,676	6,29
Nr. sub-regiões com diferenças	43	43	39	36

Observa-se que o teste 2 apresentou resultado melhor que o teste 1, ao apresentar menor média de erros. Ao comparar a malha viária real (Figura 26) com as simulações baseadas em parâmetros empíricos (Figura 27) e com a simulação baseada em acessibilidade (Figura 28) , percebe-se melhor adaptação da densidade viária entre leste e oeste, especialmente para o teste 2. Há um equilíbrio leste / oeste mais próximo daquele

observado na malha viária real, com uma tendência de maior concentração a leste que no teste 1. Mas ambos os testes 1 e 2 apresentam erros superiores aos testes 3 e 4, tanto na quantidade de erros (média das diferenças ou total de erros), quanto em sua distribuição (número de sub-regiões).

Comparando visualmente os testes 3 e 4, percebe-se, entretanto que o Rio Xingu não se tornou uma barreira intransponível no teste 4, um ponto positivo. O teste 4 também apresentou estrutura mais condizente com a da rede viária real observada no período.

O número total de sub-regiões que apresentaram diferenças de densidade foi menor no teste 4, indicando maior adaptação dos resultados. O teste aqui exibido foi realizado sobre os vetores do terceiro período (1996 a 2002), que é menos suscetível a diferenças na direção das vias, por já contar com uma malha viária mais desenvolvida como base.

Na Figura 29, é possível observar a distribuição espacial das diferenças de densidades. Espera-se dela uma visão mais clara de onde se concentram os mais importantes erros na distribuição das densidades viárias pela paisagem. Por exemplo, no teste 4 notam-se erros especialmente nas áreas de ocupação mais antiga, a leste do Xingu, onde na rede viária real houve adensamento viário, mas na malha simulada não.

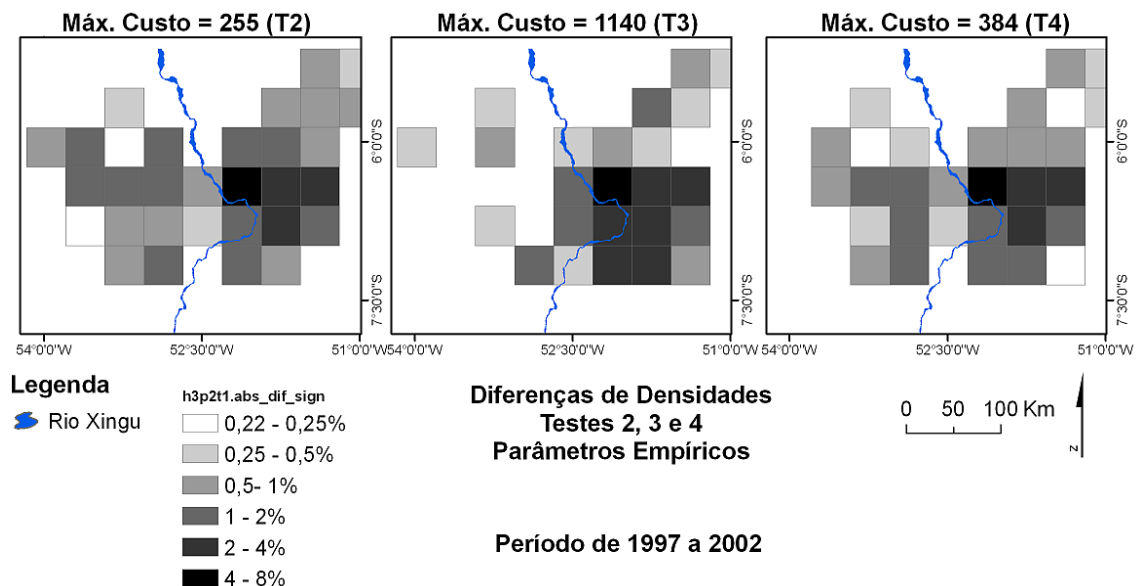


Figura 29: Diferenças de densidades para três ajustes da acessibilidade

Talvez a distância mínima às origens tenha causado tal problema, ao tornar impossível sortear destinos nas áreas de rede viária mais densa, já existentes no período anterior à modelagem. Afinal, se as estradas destas áreas já estiverem mais próximas umas



das outras do que a distância mínima permitida, o DINAMICA sorteará destinos em outras áreas atrativas. É um efeito de saturação da malha viária para sorteio de destinos.

Este tipo de comparação mostra-se útil no acompanhamento das mudanças causadas por variações de parâmetros, e na identificação das causas de erros localizados. A densidade viária proposta por Rodrigue *et al* (2005) não comporta o mesmo nível de detalhamento.

Embora os resultados da redução de atratividade a oeste do Xingu pareçam animadores, cabe ressaltar esta é uma intervenção artificial. A correção desta falha na distribuição de densidades viárias deveria se basear na teoria de consolidação da fronteira na porção leste do Xingu, adotando atratividades baseadas na presença dos centros urbanos e mercados consumidores reais na porção oriental do Rio, como já afirmado anteriormente.

## CAP. 7: CONCLUSÃO

A expansão da malha viária não oficial pode sim ser modelada com base nos pressupostos do projeto DINAMICA, mas com ressalvas. O emprego de superfícies de custo baseadas no relevo, hidrografia e distância às estradas foi capaz de obter alguns acertos de traçados, demonstrando que a adaptação do modelo de planejamento viário é capaz de antever escolhas dos agentes locais. Mas há de se considerar as deficiências do modelo empregado, e explorar a percepção do agente local, suas formas de orientação e preferências que por vezes podem se sobrepor às dificuldades do terreno.

A produção de redes viárias exclusivamente dendríticas é uma destas deficiências. Isto impediu o uso de medidas de conectividade durante a validação.

Sem que se tenha encontrado outra solução na bibliografia para reproduzir a conectividade da rede viária, restaria imaginar alguma alteração no algoritmo de caminho de menor custo, capaz de possibilitar a ligação de estradas pré-existentes em situações específicas, ou adicionar as ligações viárias faltantes após a definição das novas estradas.

Também a adoção das estradas do período anterior como origens das novas estradas na modelagem de custo, mostrou-se desinteressante na medida em que uma variável de acessibilidade externa teve que ser incluída na modelagem para que se alcançasse o desequilíbrio observado entre a abertura de vias a leste e a oeste do Rio Xingu. E esta solução é artificial. Ela deveria basear-se em variáveis cuja influência na construção de estradas fosse conhecida ou justificável pela bibliografia.

A modelagem da atratividade por pesos de evidências também apresentou problemas, pois a escolha de destinos pelos agentes locais certamente leva em consideração muitos fatores que foram neste modelo excluídos, como as distâncias a elementos associados à rede viária que se apresentaram, de forma geral, interdependentes, ou os dados excluídos por falta de informação temporal.

Mas mesmo com estas deficiências, foi possível aproximar alguns aspectos da estrutura viária, e entender algumas sutilezas do processo de construção de estradas.

Primeiro, a forma de orientação em campo do agente local parece ter influência na escolha dos caminhos traçados. A aderência das estradas às bordas do compartimento de relevo relativamente elevado e ondulado que se destaca das planícies sugere isto. Esta associação pôde ser aproximada com a adoção de uma impedância fracionária, que reduziu

o custo de traslado nestas áreas e melhorou os ajustes dos caminhos utilizados durante a validação do custo.

Segundo, percebe-se claramente que nos resultados das simulações não foram produzidos troncos viários de ligação regional, ou seja, as estradas produzidas ficaram limitadas ao alcance de uma distância máxima às origens, que serviu primariamente para a obtenção de um tamanho médio de segmentos observados empiricamente. Estas vias ficaram limitadas, então, a alcances curtos, já que as médias observadas eram pequenas. A adoção de duas fases no primeiro período de simulação, para a construção da grande via que atravessa o Rio Xingu em direção oeste demonstrou, entretanto, que esta aparente limitação pode ser facilmente superada pela adoção de fases. Basta que se equacione a construção destas longas vias com a média desejada das demais vias simuladas.

A progressão da malha viária ao longo do período de estudo lança ainda mais luz sobre esta questão, pois especialmente no período de 1991 a 1996, foram construídas estradas menos numerosas e mais longas. Em seguida, no período final de observação, assistiu-se a um adensamento viário intenso, com a abertura de numerosas vias de curto alcance e a interligação de vários trechos. A região de São Félix do Xingu, pertencente à fronteira sudeste do Pará, já experimenta certa consolidação. (Sant'Anna, 1998). Este comportamento da rede viária é bastante semelhante àquele proposto por Margullis (2003), quando descreve a consolidação da fronteira agropecuária e o estabelecimento de atividades fixas que visam auferir lucros com a produção e não com a especulação imobiliária, propiciando a construção e melhoria de infra-estrutura. Também este comportamento reitera a proposição de Soares-Filho *et al* (2006) de que a tendência geral na Amazônia é pela abertura de longas estradas, para que depois, a partir destas, surjam ramais de menor extensão. Mesmo fora das áreas de domínio das espinhas de peixe esta tendência se confirma, donde conclui-se que, diferente do que foi adotado neste experimento de simulação, a rede viária deve ser modelada com base em fases de construção, sem as quais a estrutura viária dificilmente se adequará aos padrões reais.

Assim, a simulação da rede viária não oficial do leste paraense foi capaz de acrescentar conhecimento sobre a região de estudo, e sobre o processo de abertura de estradas, mostrando-se útil e viável.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- AGUIAR, A. P. D. de; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.; CARTAXO, R.; SOUZA, M. de. Modelling Spatial Relations by Generalized Proximity Matrices. V Simpósio Brasileiro de Geoinformática, GeoInfo 2003, Campos do Jordão, 2003. Disponível em [http://www.dpi.inpe.br/gilberto/papers/gpm\\_geoinfo.pdf#search=%22Modelling%20Spatial%20Relations%20by%20Generalized%20Proximity%20Matrices%22](http://www.dpi.inpe.br/gilberto/papers/gpm_geoinfo.pdf#search=%22Modelling%20Spatial%20Relations%20by%20Generalized%20Proximity%20Matrices%22). Acesso em 25/07/2004.
- ANGELSEN, A.; KAIMOWITZ, Z. D. Rethinking the Causes of Deforestation. Lessons from Economic Models. The World Bank Research Observer. Vol.14, no1 fevereiro de 1999. p.73-98.
- BATISTELLA, Mateus. Landscape change and land-use/land-cover dynamics in Rondônia, Brazilian Amazon. Tese de Doutorado, 2001, Indiana University. 200p.
- BECKER, Bertha K. MIRANDA, Mariana P de. MACHADO, Lia O. Fronteira Amazônica. Questões sobre a gestão do território. Editora Universidade de Brasília, Brasília; Editora Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1990. 219p.
- BECKER, Bertha K. Amazônia. 3 ed. Série Princípios, Editora Ática, São Paulo, 1994. 112p.
- BECKER, Bertha. K. Revisão das Políticas de Ocupação da Amazônia: É possível identificar modelos para projetar cenários? Laboratório de Gestão do Território. In: X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Mesa Redonda: Sensoriamento Remoto e a Questão Urbana na Amazônia. 2001.
- BONHAM-Carter, Graeme. Geographic Information Systems for Geoscientists: Modeling with GIS. 1 ed. Ontario, PERGAMON, 1994. p.238 – 265; p.317-328.
- CHAVES, A.G. Modelagens Exata e Heurística para Resolução do Problema do Caixeiro Viajante com Coleta de Prêmios. Monografia de bacharelado. Universidade Federal de Ouro Preto, 2003. 49p. (somente p 25 e 26)
- CHEN, Y., MRPM: Three visual basic programs for mineral resource potential mapping. Computers & Geosciences vol.30. 2004. p.969-983.
- CHRISTOFOLETTI, Antonio. Modelagem de Sistemas Ambientais. 1ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1999. p. 1-18; p. 35-49.

- CLARKLABS. IDRISI HELP SYSTEM. Clark University, Worcester – USA. [Sistema de ajuda on-line de software].
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). A indústria e o meio ambiente. In: Sondagem especial da Confederação Nacional da Indústria. Ano 2 no1 maio de 2004. Disponível em: [http://www.cni.org.br/produtos/econ/src/sondagem\\_especial\\_meio-ambiente.pdf](http://www.cni.org.br/produtos/econ/src/sondagem_especial_meio-ambiente.pdf) . Acessado em 20 de fevereiro de 2005.
- CONAMA. Resolução 001 de 1986. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>. Acessado em 23 de fevereiro de 2005.
- CONAMA. Resolução 237 de 1997. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>. Acessado em 23 de fevereiro de 2005.
- (CPC) Carolina Population Center – University of North Carolina. Cellular Automata Modeling. Equador Projects. Desenvolvido por Carolina Population Center. Disponível em: [http://www.cpc.unc.edu/projects/ecuador/spatial\\_ca.html](http://www.cpc.unc.edu/projects/ecuador/spatial_ca.html) Acesso em: 10 out. 2005.
- CORREIA, J. D.; CRUZ, C. B. M.; MENEZES, P. M. L.; MARINE, S. S. BARROS, R. S. Contribuição das imagens CBERS na Atualização do Mapeamento Sistemático Brasileiro na escala 1:100.000. In: Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia. INPE, 16 - 21 de abril de 2005, p.873-880.
- EASTMAN, J. R. IDRISI Kilimanjaro: Guide to GIS and Image Processing. Clark University, Worcester – USA, 2003. [Manual de software]. p.255-259.
- ESRI. ArcGis 9.x Help System. ESRI, Redlands – USA, 2003. [sistema de ajuda on-line de software].
- FERREIRA da SILVA, Adalberto. Ocupação Recente das Terras do Acre. Transferência de capitais e disputa pela terra. UFMG, Belo Horizonte, 1982. 79p.
- GABEIRA, F. [accessoria] Terra do Meio. In: Gabeira.com. 2004. Disponível em: <http://www.gabeira.com.br/noticias/noticia.asp?id=2316> Acessado em 2005.
- GREENPEACE. Parceiros no Crime: A extração ilegal de mogno. 2001, 18p. Disponível em: [http://www.greenpeace.org.br/amazonia/pdf/report\\_parceiros\\_no\\_crime.pdf](http://www.greenpeace.org.br/amazonia/pdf/report_parceiros_no_crime.pdf). Acesso 12 de dez. 2004. Relatório.
- GROGAN, J.; BARRETO, P.; VERÍSSIMO, A. Mogno Na Amazônia Brasileira: Ecologia e perspectivas de manejo. 2002. Imazon, Belém. 40p.

- GEIST, H. J.; LAMBIM, E. F. What Drives Tropical Deforestation?. In: LUCR Report Series nº 4: Ciaco, Louvain-la-Neuve, Belgium, 2001. 136p Disponível em: <http://www.geo.ucl.ac.be/LUCC/pdf/LUCC%20Report%20-%20Screen.pdf>. Acessado em 2004.
- GEIST, H. J.; LAMBIM, E. F. Regional Differences in Tropical Deforestation. *Environment*. V45. no6. Julho/Agosto de 2003. Heldref Publications. p.22-36.
- GEIST, H. J.; LAMBIM, E. F. "Proximate Causes Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation" In: *BioScience*, v.52, n. 2, 2002. pp. 143-150.
- Hopkins, W. G. A new view of statistics. Disponível em <http://www.sportsci.org/resource/stats/>. Acessado em 25/06/2006. Internet Society for Sport Science. 2000.
- Husdal, J. (2000) How to make a straight line square - Network analysis in raster GIS. Tese de mestrado em Sistemas de Informações Geográficas, University of Leicester, UK. Desenvolvido por Husdal, J. 2000. Disponível em: <http://husdal.com/mscgis/thesis/> Acesso em: 20 out. 2005.
- IBGE. Carta do Mundo ao Milionésimo. Folhas: SA21, SA22, SB21, SB22, SC21 e SC22. Servidor de downloads do IBGE. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br> IBGE, 2005.
- ISA (Instituto
- KAMPEL, S. A.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. Análise Espacial do Processo de Urbanização da Amazônia. Programa de Ciência e Tecnologia para Gestão de Ecossistemas. Ação "Métodos, Modelos e Geoinformação para a Gestão Ambiental". INPE, 2001. 30p. [relatório]
- KAMPEL, S. A.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. Configurações Espaciais do Processo de Desflorestamento da Amazônia. INPE, 2001. 24p. [relatório] (b)
- LENTINI, M. VERÍSSIMO, A. SOBRAL, L. Fatos Florestais da Amazônia 2003. Imazon, Belém, 2003. 110p. Disponível em: <http://www.imazon.org.br/publicacoes/publicacao.asp?id=116> Acessado em 23 de maio de 2004.
- MARGULIS, S. Causas do Desmatamento da Amazônia Brasileira. Brasília. 1ª Edição. Banco Mundial, 2003. 100p.
- NASA. Shuttle Radar Topography Mission Website. Desenvolvido por Eric Ramirez. Disponível em: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/> Acesso em: 13 de nov. 2005.

- NEITZ, J. LIMA, H. Game Playing – Alfa Beta Pruning. Disponível em [http://sern.ucalgary.ca/courses/CPSC/533/W99/presentations/L2\\_5B\\_Lima\\_Neitz/search.html](http://sern.ucalgary.ca/courses/CPSC/533/W99/presentations/L2_5B_Lima_Neitz/search.html) Acessado em 30/06/2006. Departamento de Ciência da Computação. University of Calgary, Canadá. Última atualização em fev. 1999.
- OBT-INPE (Coordenação Geral de Observação da Terra do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por satélite: PROJETO PRODES. Disponível em <http://www.obt.inpe.br/prodes/> Acessado em junho de 2004. [website].
- PIRES, A.; TORES, L.; MARQUES, W.; MARIA, K.; DE-PÁDUA, A.; ANGELO, J. Sistemas Especialistas. Pernambuco, Universidade Católica de Pernambuco. 2002. Website. Disponível em: <http://www.dei.unicap.br/%7Ealmir/seminarios/2002.1/ns01/sistespecialista/index.htm> Acessado em: 12 mar. 2006.
- PONTIUS JR, R. G, CORNELL, J. D., HALL, C. A. S. Modeling the spatial pattern of land-use change with GEOMOD2: application and validation for Costa Rica. Disponível em: [http://www.clarku.edu/~rpontius/pontius\\_etal\\_2001\\_aee.pdf](http://www.clarku.edu/~rpontius/pontius_etal_2001_aee.pdf). Acesso em 12 de junho de 2004. Agriculture, Ecosystems and Environment 1775 (2001) 1-13.
- REIS, E. J. Os Impactos do Polo Siderúrgico de Carajás no Desflorestamento da Amazônia Brasileira. In: A Economia Brasileira em Perspectiva. V.2, Rio de Janeiro, IPEA. 1996. p.691-715.
- RODRIGUE, J. P.; ANDREY, J.; CONTOIS, C.; SLACK, B. Transport Geography on the WEB. Department of Economics & Geography. Hofstra University. New York. 1998-2005. Disponível em: <http://people.hofstra.edu/geotrans/> Acesso em: 13 jun. 2005. [website e e-book].
- RODRIGUES, R. L. V. Análise dos Fatores Determinantes do Desflorestamento na Amazônia Legal. Rio de Janeiro, 2004. 249p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. COPPE.
- SANT'ANNA, J.A. Rede básica de Transportes da Amazônia. In: IPEA Textos para Discussão. n562, Brasília, junho de 1998. 86p.
- SCHAFER, Alois. Fundamentos de ecologia e biogeografia das águas continentais. Porto Alegre: 1985. 525p.
- SIRAKOULIS, G. Ch; KARAFYLLIDIS, I; THANAILAKIS, A. A cellular automaton model for the effects of population movement and vaccination on epidemic propagation. In: Ecological Modeling. V 133, 2000. p. 209-223.

- SOARES, Marco. My Space. Probabilidade e estatística I. Desenvolvido por Marco Soares. Pg.95. 2002. Disponível em: <http://myspace.eng.br/Default.asp> Acesso em: 23 dez. 2005.
- SOARES-FILHO, B.S. Modelagem da dinâmica de paisagem de uma região de fronteira de colonização amazônica. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de engenharia de transportes. São Paulo, 1998. 229p.
- SOARES-FILHO, B.S. (coordenador) DINAMICA PROJECT. Disponível em: <http://www.csr.ufmg.br/dinamica/> Desenvolvido por Centro de Sensoriamento Remoto, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. Acesso em: 13 jun. 2005.
- SOARES FILHO, Britaldo Silveira; NEPSTAD, Daniel; CURRAN, Lisa; VOLL, Eliane; CERQUEIRA, Gustavo; GARCIA, Ricardo Alexandrino; RAMOS, Claudia Azevedo; MCDONALD, Alice; LEFEBVRE, Paul; SCHLESINGER, Peter. Modeling conservation in the Amazon basin. *Nature*, London, v. 440, p. 520-523, 2006.
- SOARES-FILHO B., ALENCAR A., NEPSTAD D., CERQUEIRA G., VERA DIAZ M., RIVERO S., SOLÓRZANO L., VOLL E. Simulating the response of land-cover changes to road paving and governance along a major Amazon highway: the Santarém-Cuiabá corridor. *Global Change Biology*, vol.10 de 2004. Blackwell Publishing Ltd. 2004.
- SOUZA, Oswaldo, Braga de; VELÁSQUES, Cristina. Sociedade civil e ribeirinhos aliam-se para implementar áreas protegidas da Terra do Meio (PA). In: Notícias Socioambientais. Instituto Socioambiental (ISA), 2006. Disponível em: <http://www.socioambiental.org/nsa/detalhe?id=2257> Acessado em 24 jul. 2006.
- SOUZA-JR, C.; BRANDÃO-JR, A.; ANDERSON, A.; Veríssimo, A.; Avanço das estradas endógenas na Amazônia. In: IMAZON. Amazônia em foco. N01. Belém, Agosto de 2004. 2p.
- SOUZA-JR, C.; VERÍSSIMO, A.; AMARAL, P.; Identificação de Áreas com Potencial para a Criação de Florestas Nacionais no Estado do Pará. Ministério do Meio Ambiente. Programa Nacional de Florestas. Brasília. 2002. 37p.
- SUDAM. Roraima: Programa de Polos Agropecuários e Agrominerais da Amazônia. Polamazônia. Coordenação de informática. Divisão de documentação. Belém, 1976.
- VALVERDE *et al.* A Organização da Espaço na Faixa da Transamazônica V1: Rondônia, Convênio IBGE / INCRA, Rio de Janeiro, 1979.



- VALVERDE *et al.* A Organização da Espaço na Faixa da Transamazônica V2: Acre e regiões vizinhas, Convênio IBGE / INCRA, Rio de Janeiro, 1989. 224p.
- VERÍSSIMO, A.; LIMA, E.; & LENTINI, M. Polos Madeireiros do Estado do Pará. 2002, Imazon, Belém. 76p.
- WAYNE, R. OTT. Environmental statistics and data analysis. CRC Press LCC, EUA. 1995
- WEIS, B. Grileiros aterrorizam comunidades ribeirinhas na Terra do Meio (PA). In: Notícias Socioambientais. Instituto Socioambiental (ISA), 2005. Disponível em: <http://www.socioambiental.org/nsa/detalhe?id=1912> Acessado em: 24 jul. 2006.
- YAMANE, Taro. Statistics: an introductory analysis. 3 ed. New York, Harper & Row, 1979. p.634-645.