



INPA, MPEG, IDSM, LNCC, INPE, IMPA, CBPF

# Informática na Fronteira do Conhecimento: Modelagem Ambiental da Amazônia

Gilberto Câmara, INPE

56a Reunião Anual da SBPC  
Cuiabá, Julho de 2004



Licença de Uso: Creative Commons Atribuição-Usó Não-Comercial-Compartilhamento  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/br/>

# O Desafio do Espaço Amazônico

- Quantas Amazônias existem?
- Amazônia dos rios e das florestas...
- Amazônia dos índios e dos seringueiros...
- Amazônia dos fazendeiros e posseiros...
- Amazônia do governo e da sociedade brasileira...
- Amazônia da comunidade mundial..



A floresta...



fonte: Carlos Nobre



fonte: Carlos Nobre

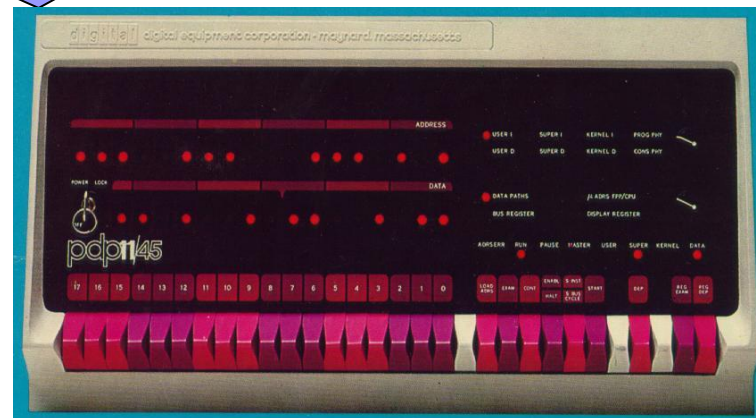
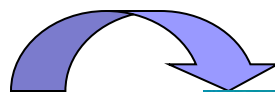
The rivers...



# O Desafio do Espaço Amazônico

- Quantas Amazônias existem?
- O que precisamos para entender a Amazônia?
- Projetar um espaço de comunicação que expresse
  - As diferentes visões da Amazônia
  - Os múltiplos potenciais de cenários futuros
  - Acesso da informação a toda a sociedade
- Como a informática pode ajudar?

# Para que serve o computador?





# Para que serve o computador?

## ■ Computadores

- instrumentos de representação do conhecimento
- capturam modelos formais da realidade
- exigem quantificação (visão reduzida)

## ■ O que representar?

- Aproximações de entidades realmente existentes (e.g. rio)
- Conceitos abstratos (tipos de solo, exclusão social)

# Para que serve um computador?

- Como usar a capacidade representacional dos computadores?
  - Materializar e comparar diferentes conceitos
  - Avaliar o potencial de cada conceito para uso em políticas públicas.
- Processo de conceber representações computacionais de conceitos sociológicos
  - processo de aquisição de conhecimento
- “Conhecimento como construção”

# Como representar a realidade?



# Como colocar o mundo no computador?

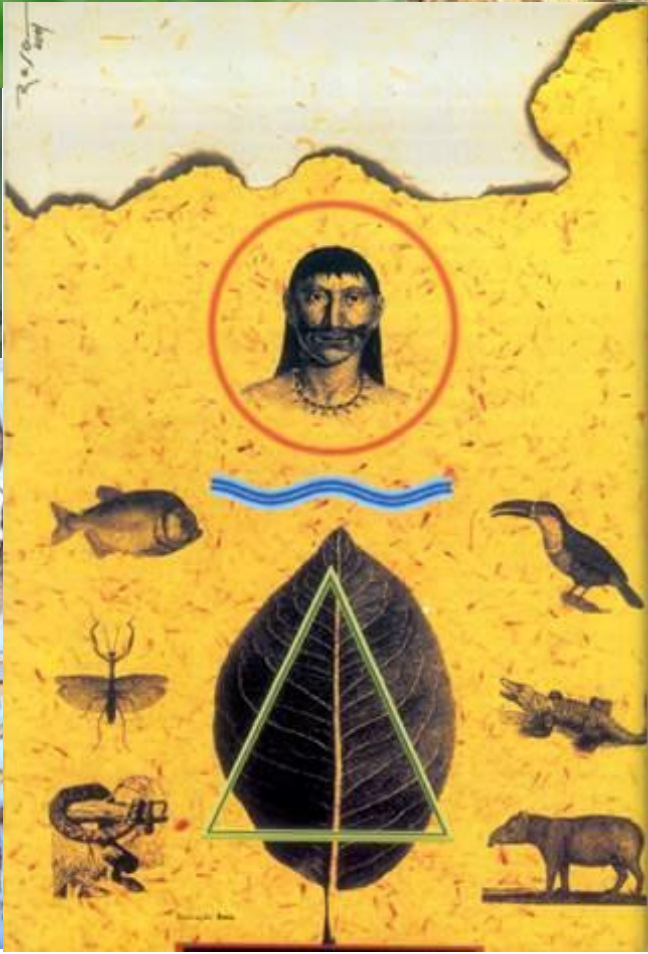


- Níveis de abstração
  - Mundo real (conceitos e medidas): lote, tipo de solos
  - Modelo matemático: funções, modelos de dados
  - Representações Computacionais: matrizes, vetores

## LBA Flux Towers on Amazonia



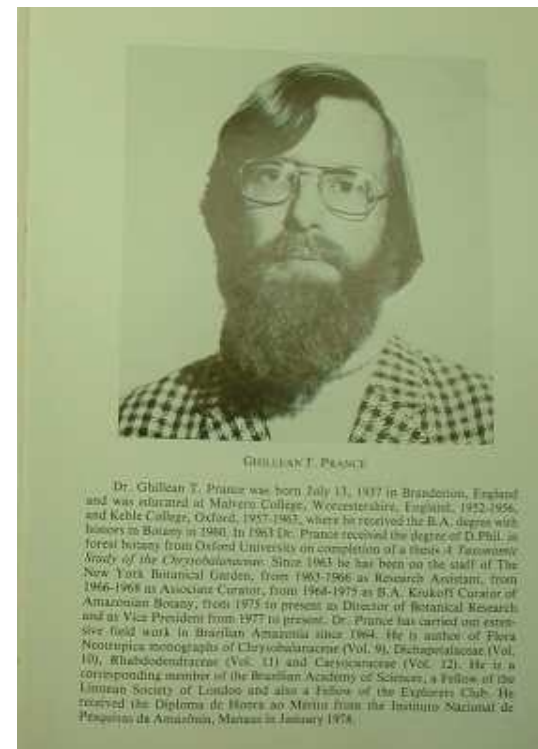
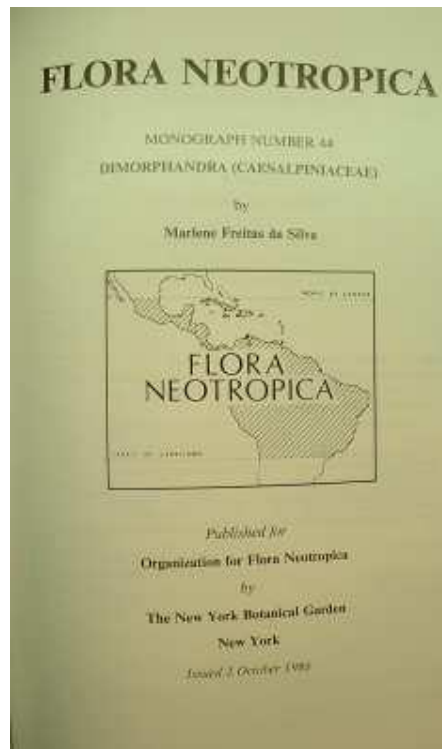
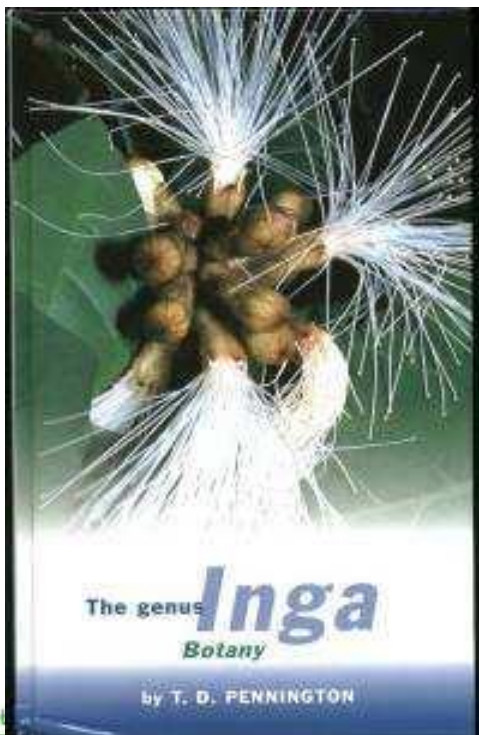
Source: Carlos Nobre (INPE)

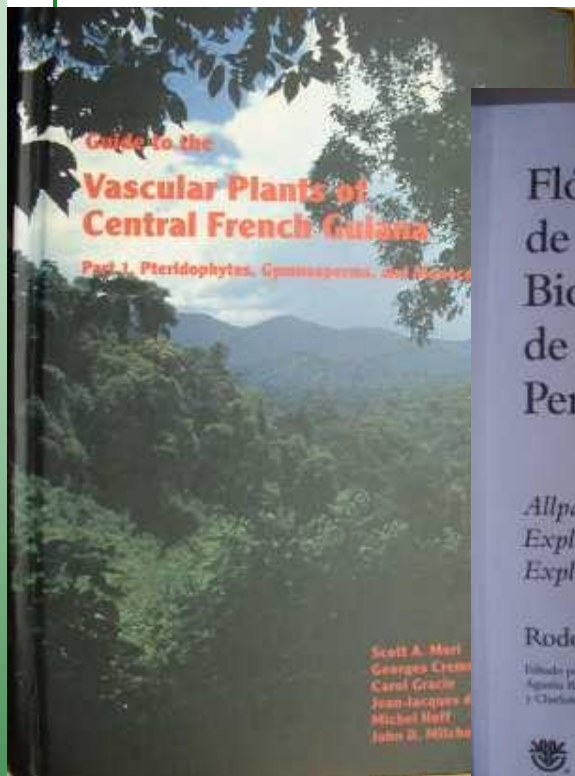


Biodiversity...

Dados com boa taxonomia e bons dados de distribuição.....

Flora Neotropica etc: Mimosoideae: *Inga*; Lauraceae: *Nectandra*; Sapotaceae, Chrysobalanaceae, algumas Annonaceae, Marantaceae: *Montagma*, etc, 1425 spp geo-referenciadas até grau de longitude/latitude e mapeadas em Arcview.





Também:

Saül (Guiana Francesa – Mori *et al.*) – 1997 & 2002.

Iquitos (Vásquez *et al.*) - 1997

Flora of Ecuador (Renner *et al.*) – em progresso



# Fire Monitoring in Brazil



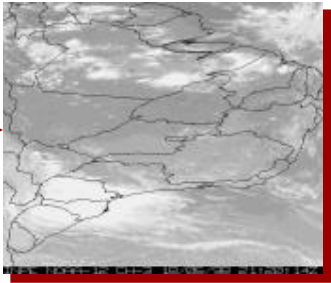
Landsat/CBERS Reception



Imagem TM



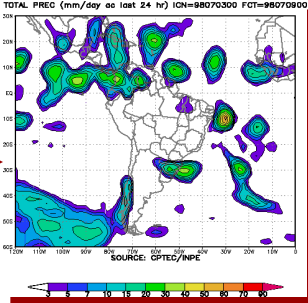
NOAA Reception



NOAA Image

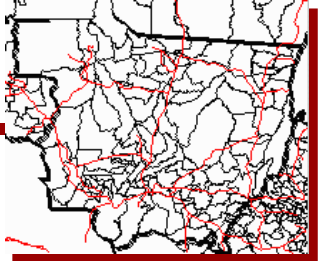


CPTEC

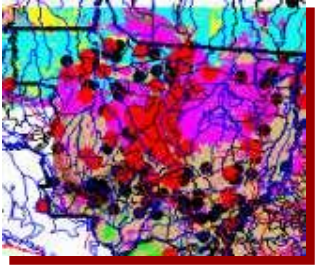


Weather Forecast

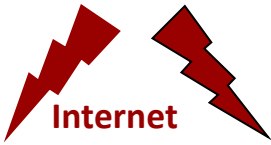
F  
O  
R  
E  
S  
T  
  
F  
I  
R  
E  
  
M  
O  
N  
I  
T  
O  
R  
I  
N  
G



Cartographic Base



Products



Internet



Decision Making

### BDQueimadas

Parâmetros da Pesquisa

Data Inicial (> 01-JUNHO-1998)

Formato aaaa-mm-dd

2003-05-01

Data Final

2003-09-31

Pais

BRASIL

Estado Brasileiro

TODOS

Satelite

NOAA 12 Noite

Vegetação (opcional)

Por Regiao (opcional)

Norte 15.0

Oeste -90.0 Leste -30.0

Sul -40.0

Clique em "Ver Focos"

Gráficos/Histogramas

Tipo: Politico

Histograma

Ver Focos

Recompor

Imagens Satélite

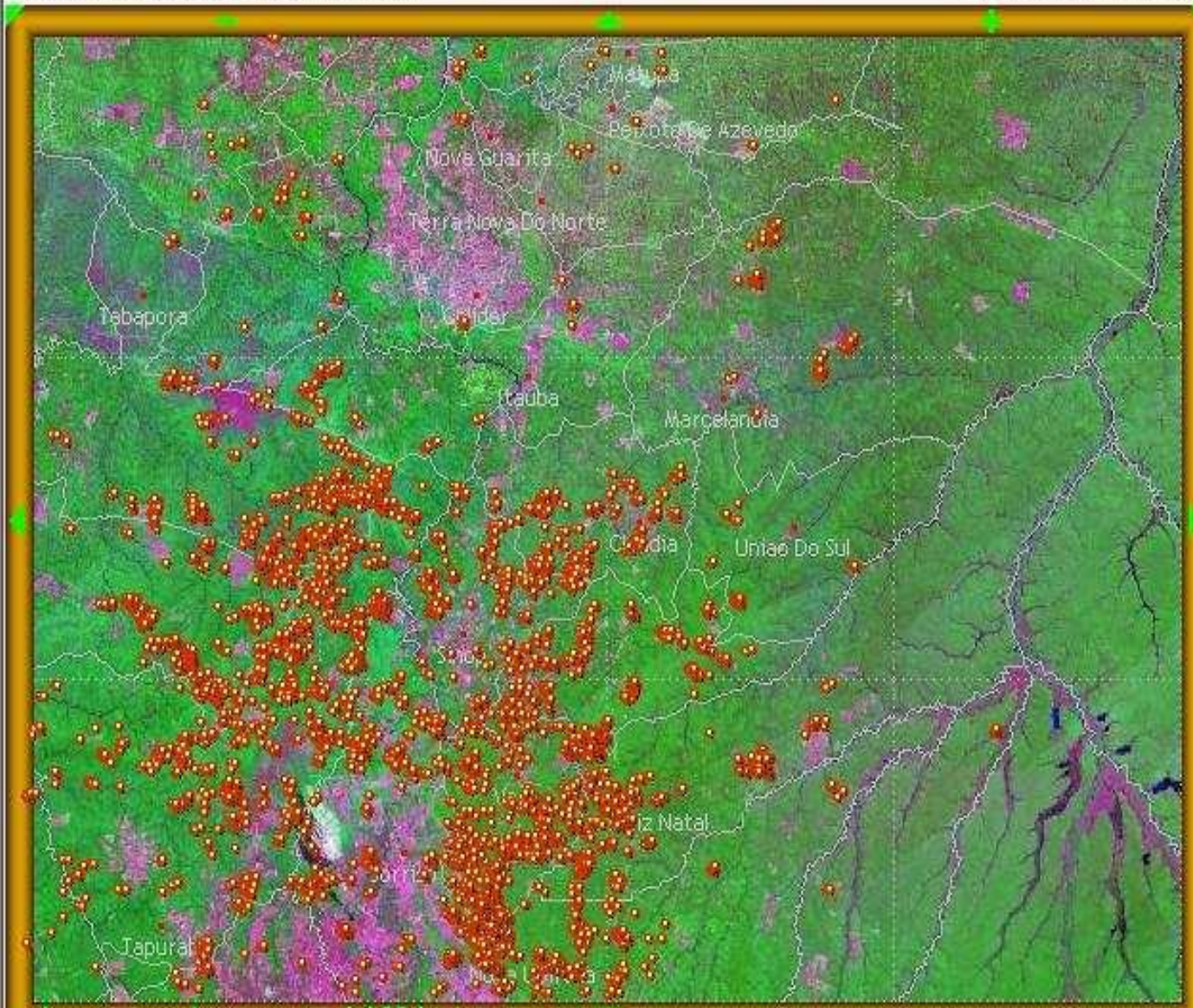
Base Cartográfica

Mapas Temáticos

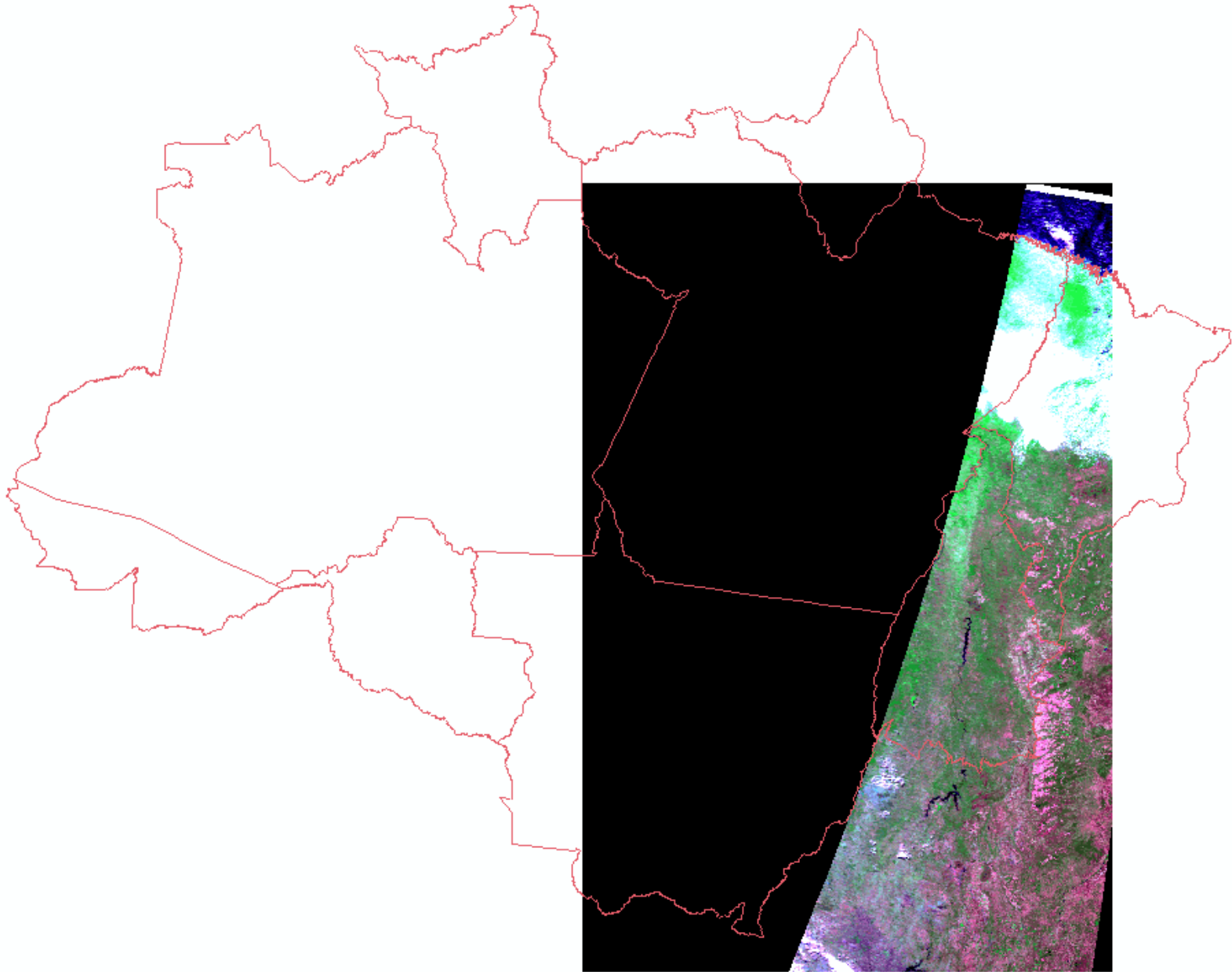
Tamanho da Tela

Mosaico Landsat 1990/Politico

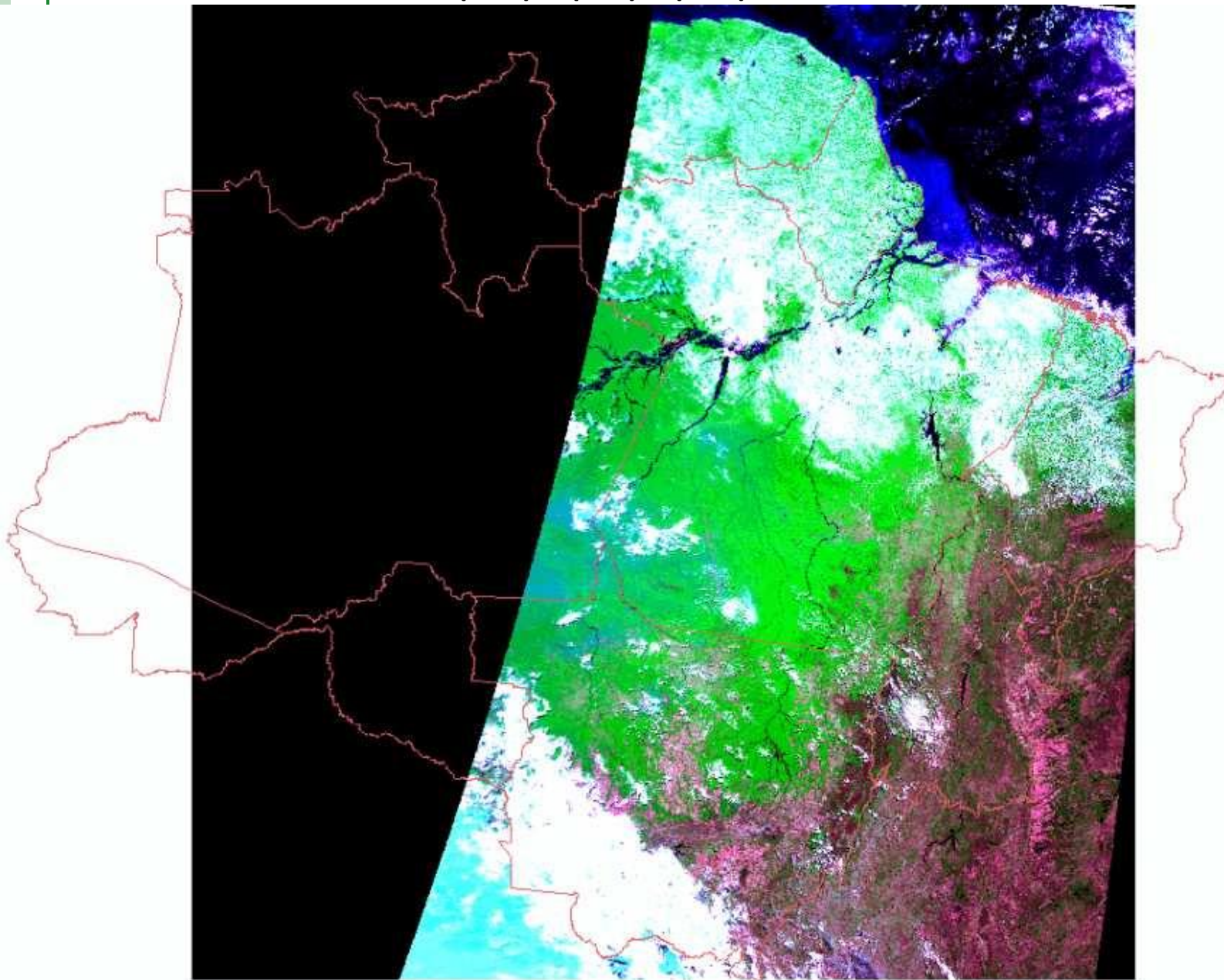
S10:00:00 O53:00:00



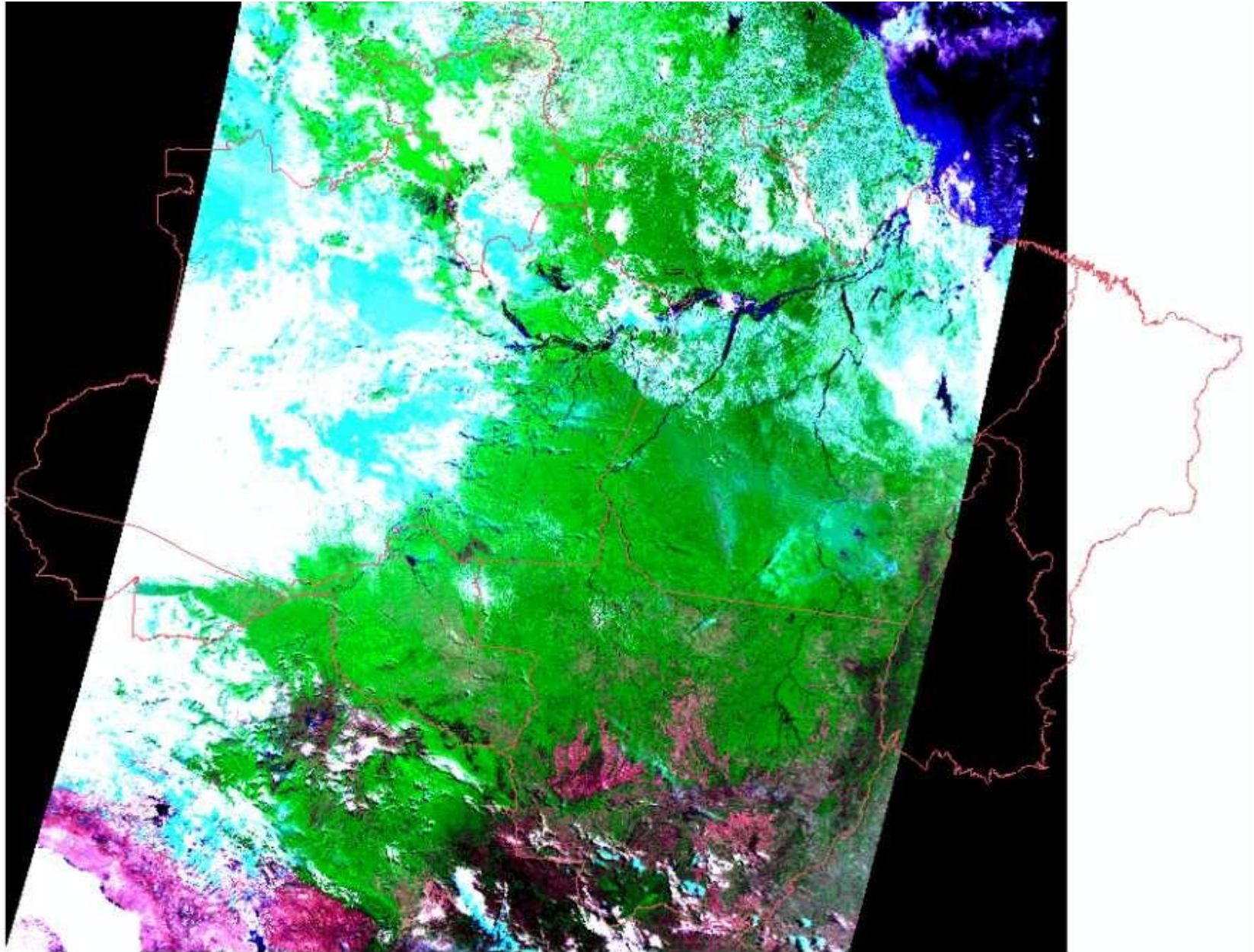
**MODIS R (MIR) G (NIR) B (RED) - 08/AGOSTO/2003**



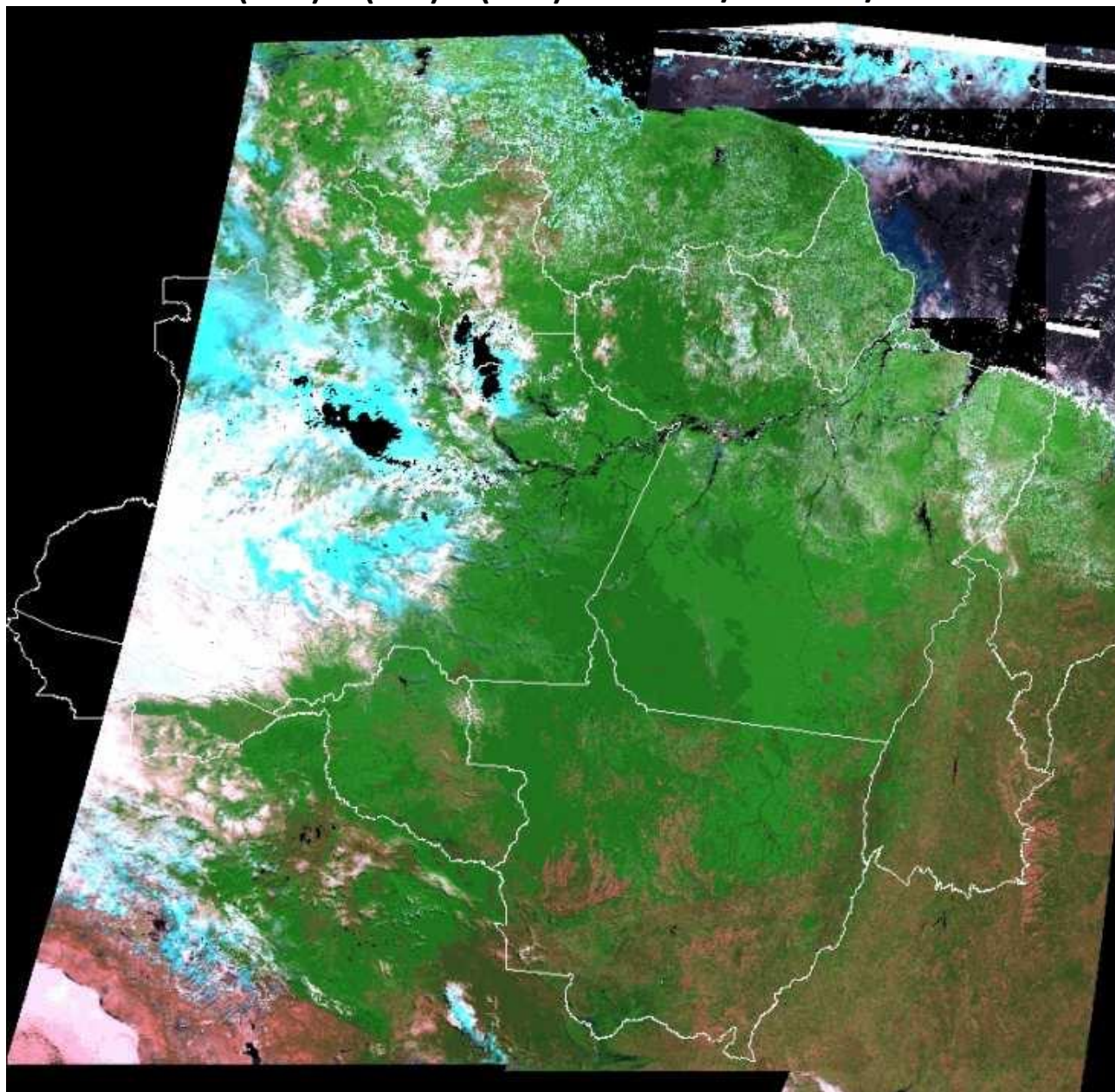
MODIS R (MIR) G (NIR) B (RED) - 09/AGOSTO/2003



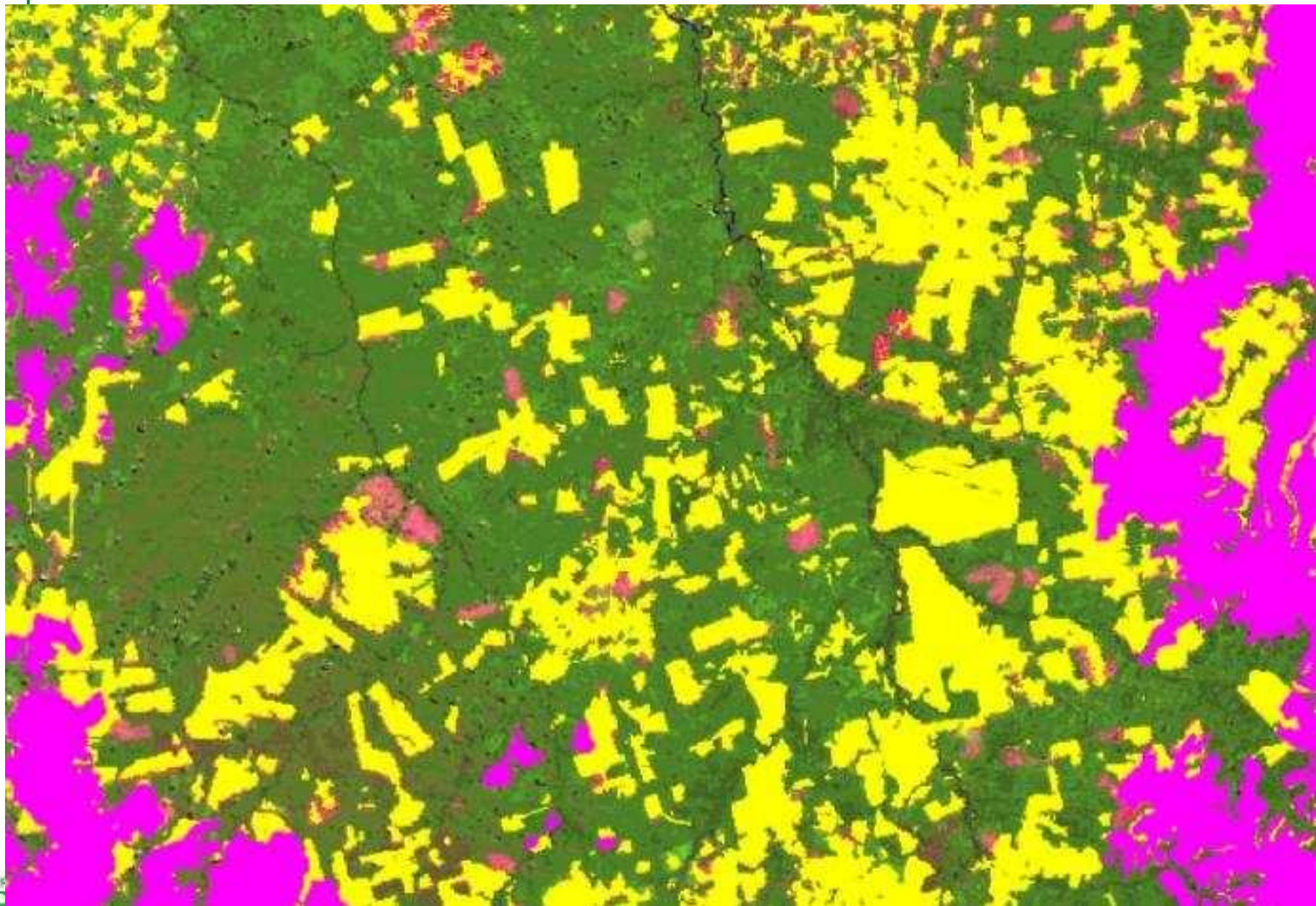
MODIS R (MIR) G (NIR) B (RED) - 10/AGOSTO/2003

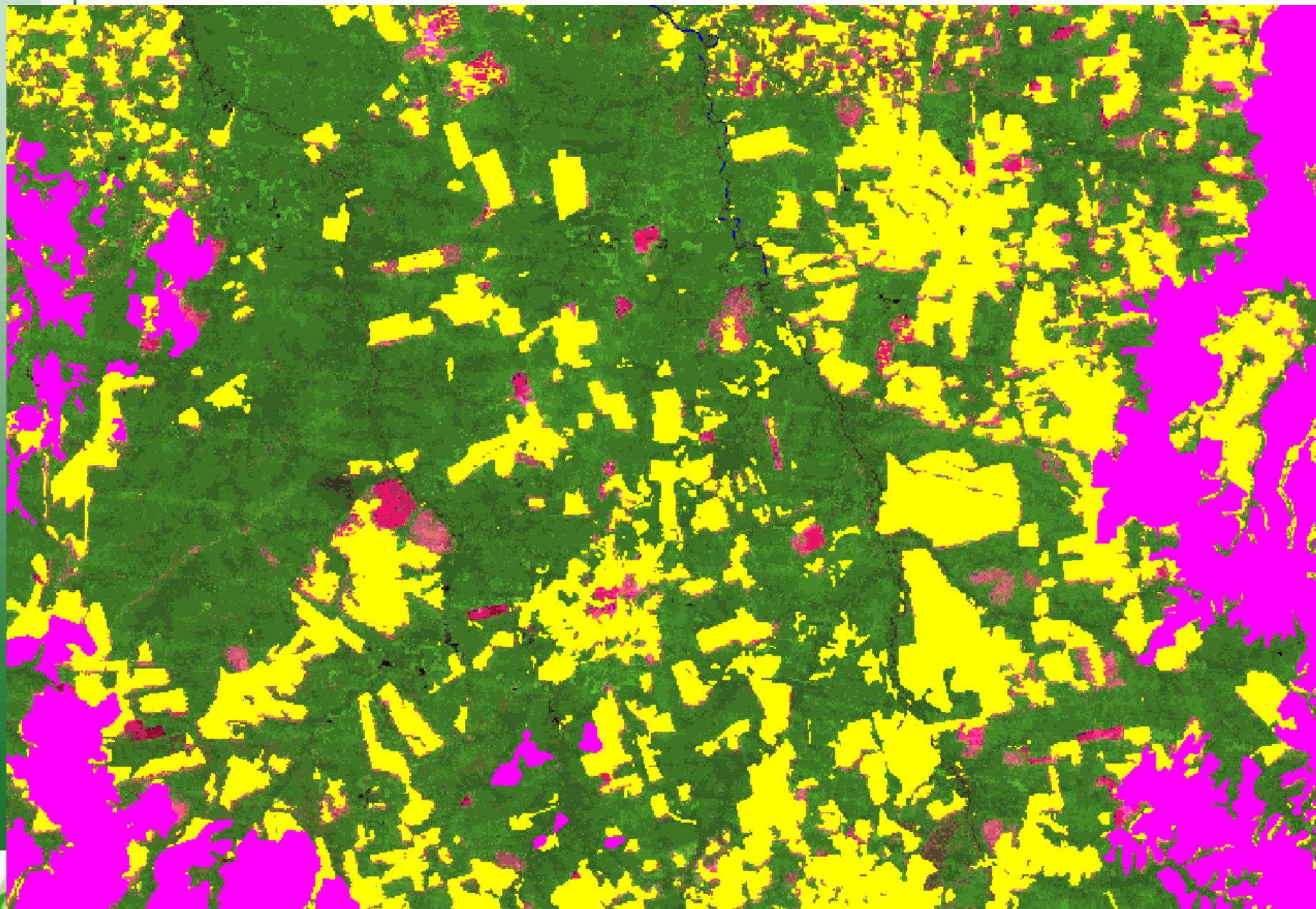


MODIS R (MIR) G (NIR) B (RED) - Mosaico/AGOSTO/2003



PRODES Digital 2002 - MODIS MAIO 2003 (RGB)

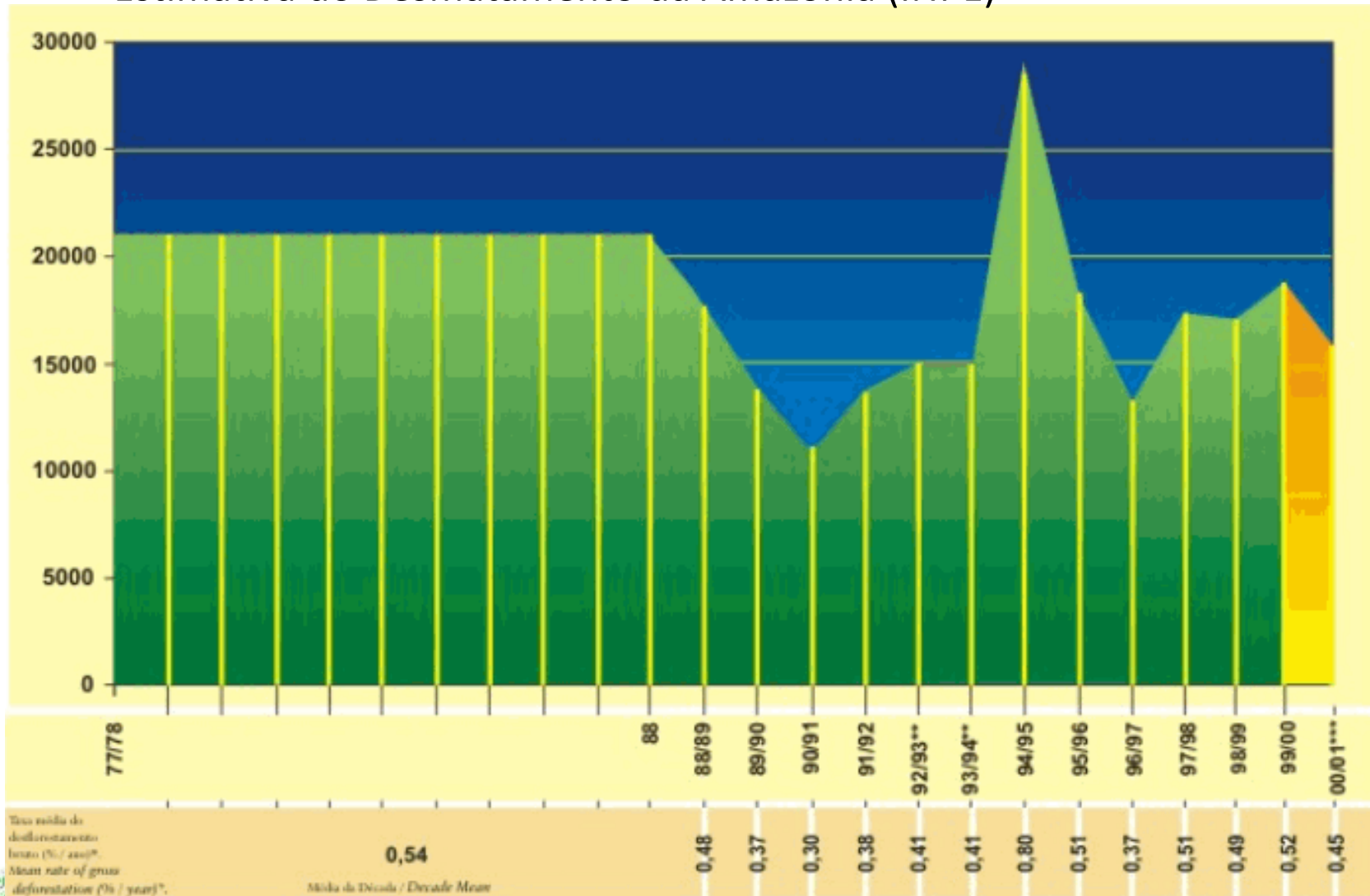




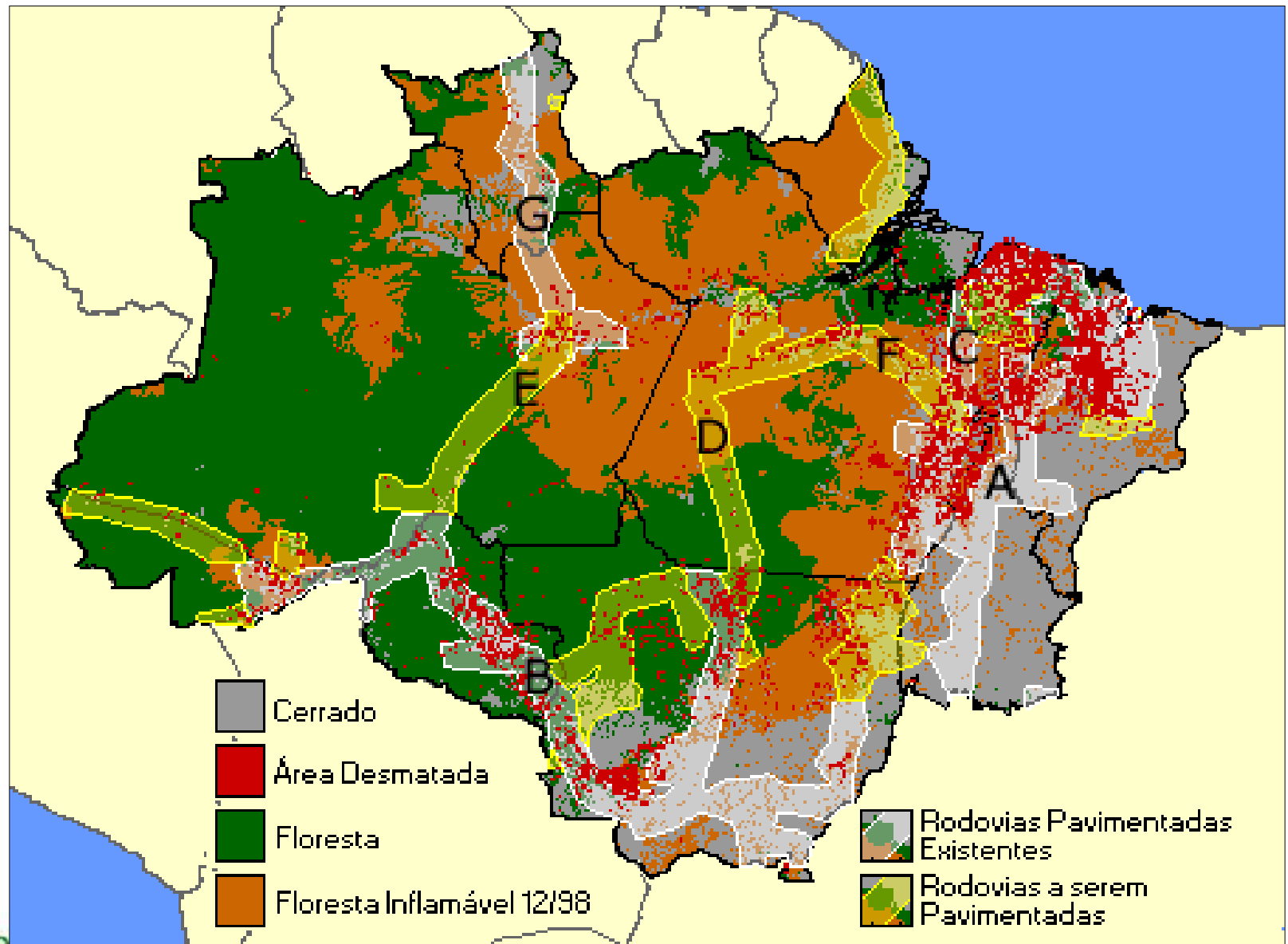


# Podemos conhecer o passado....

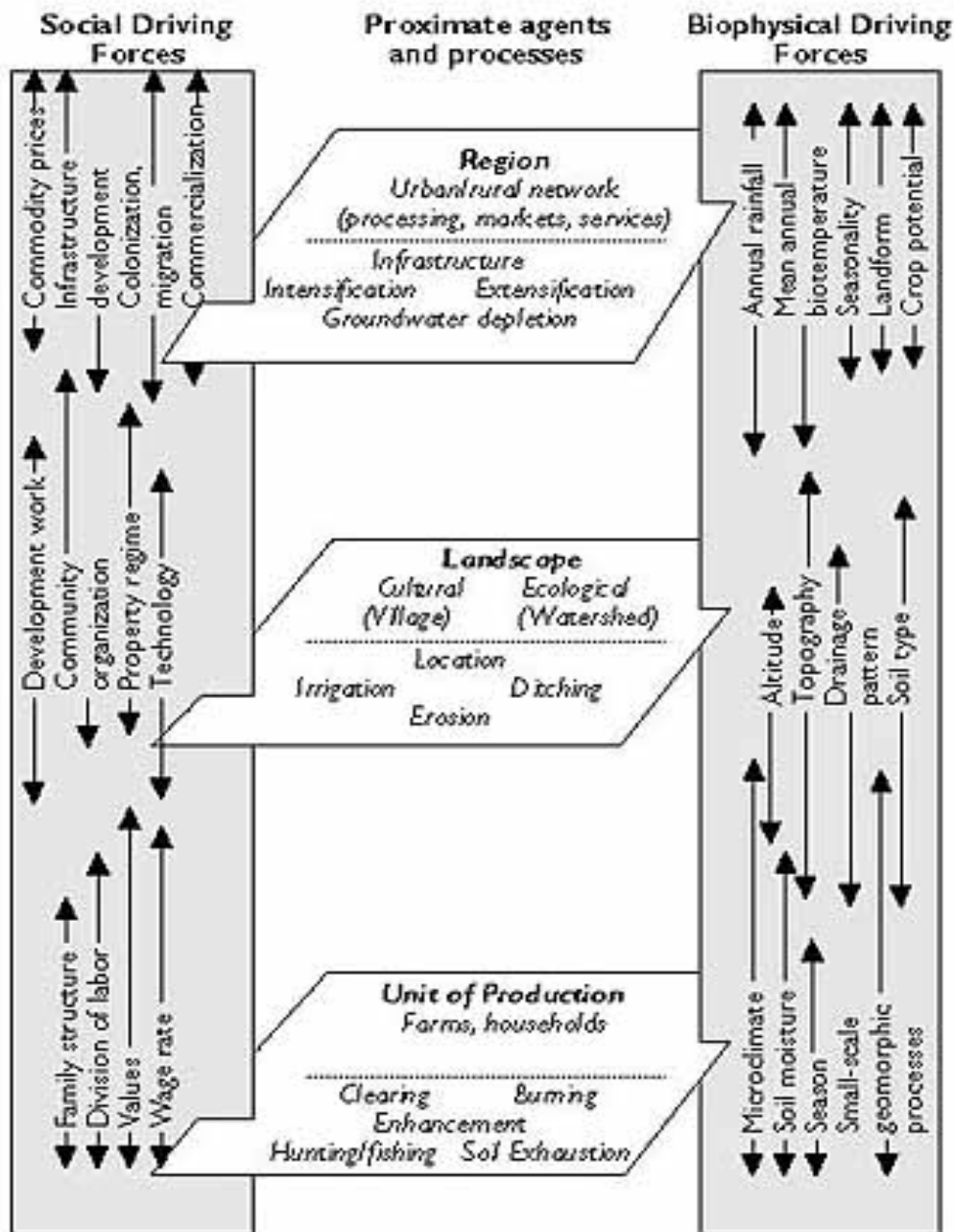
Estimativa do Desmatamento da Amazônia (INPE)



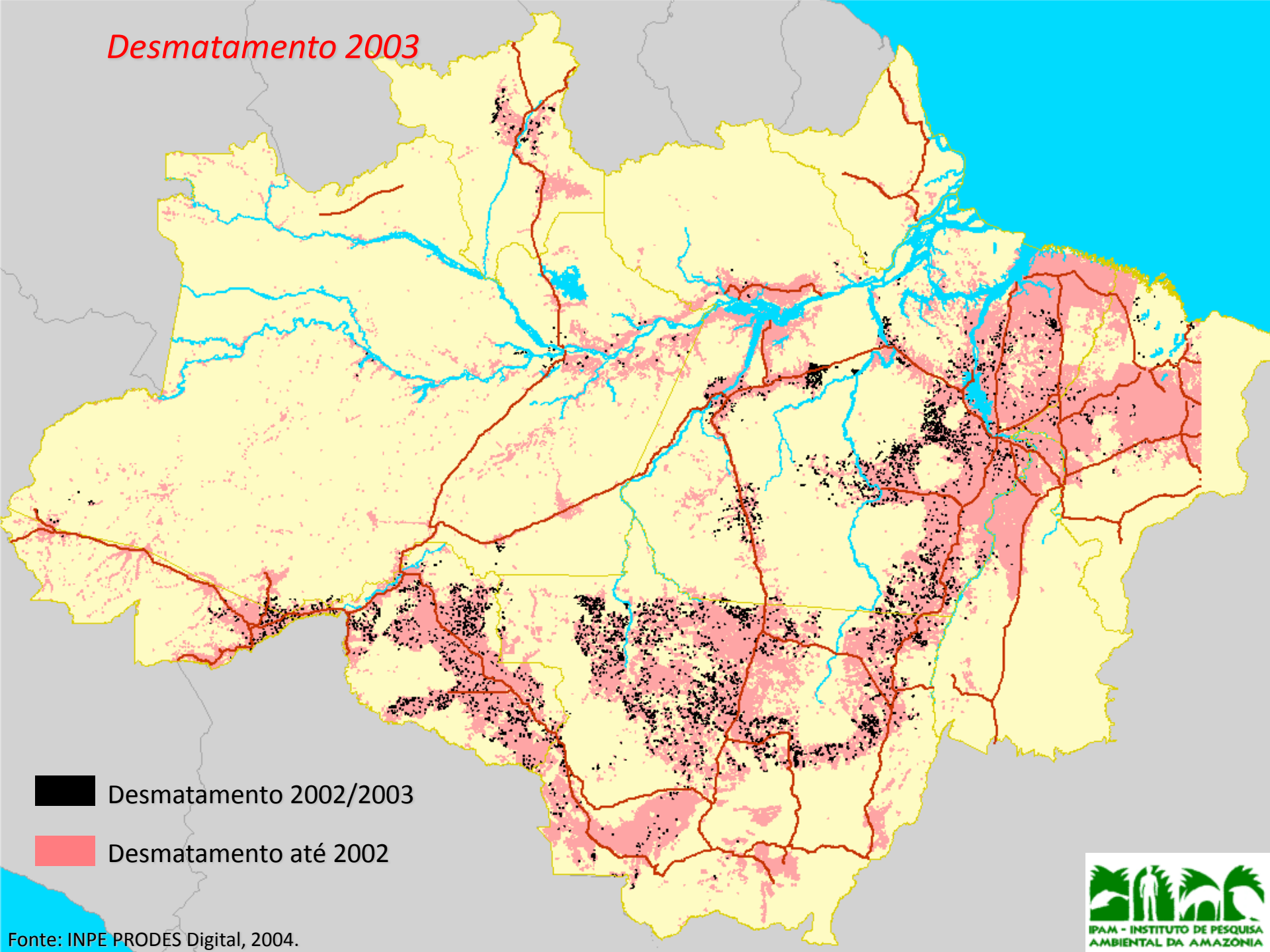
# O que nos reserva o futuro?



# Multiscale Driving Forces in Land Use/Land Cover Change



# Desmatamento 2003

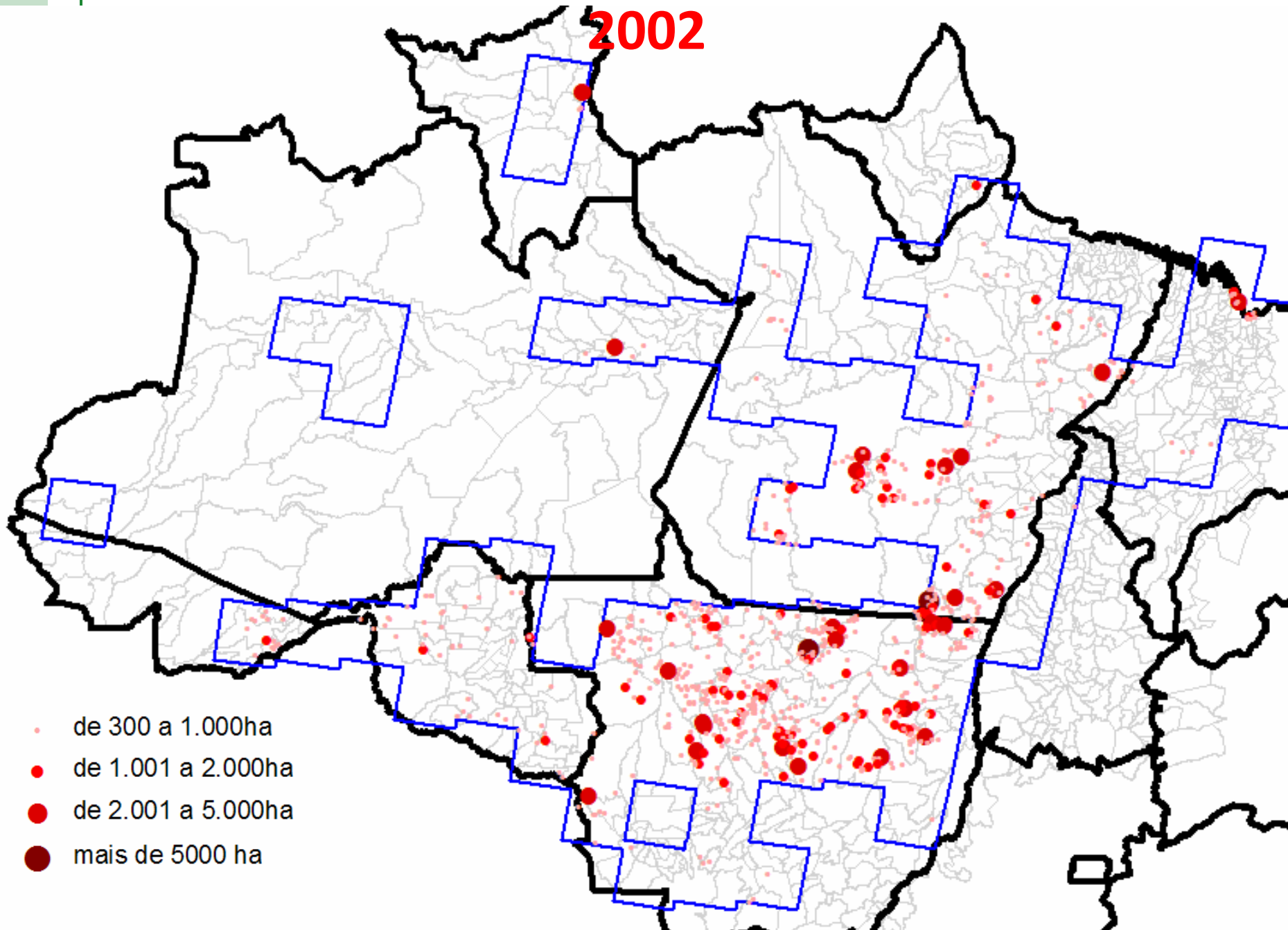


■ Desmatamento 2002/2003

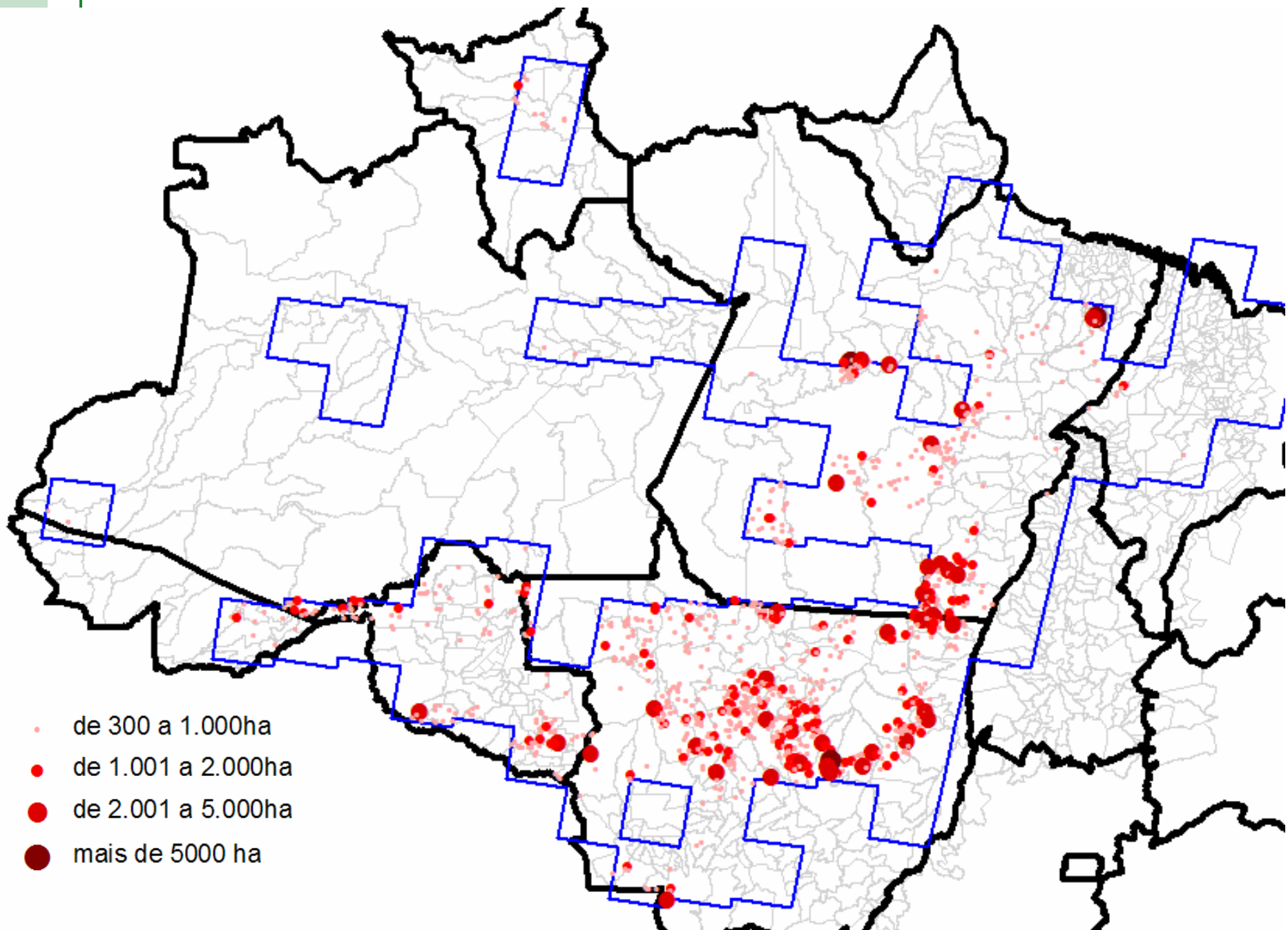
■ Desmatamento até 2002

# Localização dos Desmatamentos com mais de 300ha em

**2002**



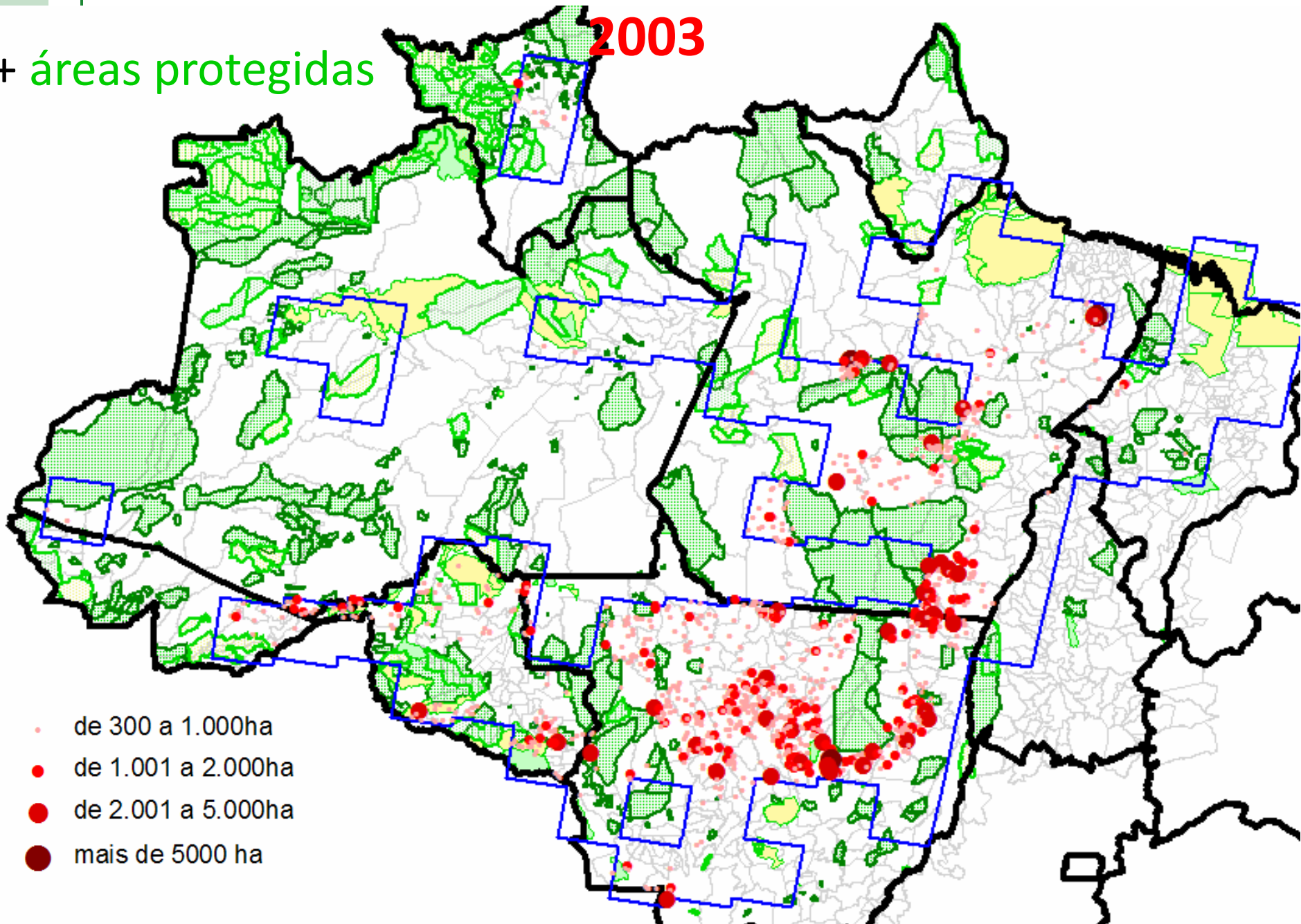
# Localização dos Desmatamentos com mais de 300ha em 2003



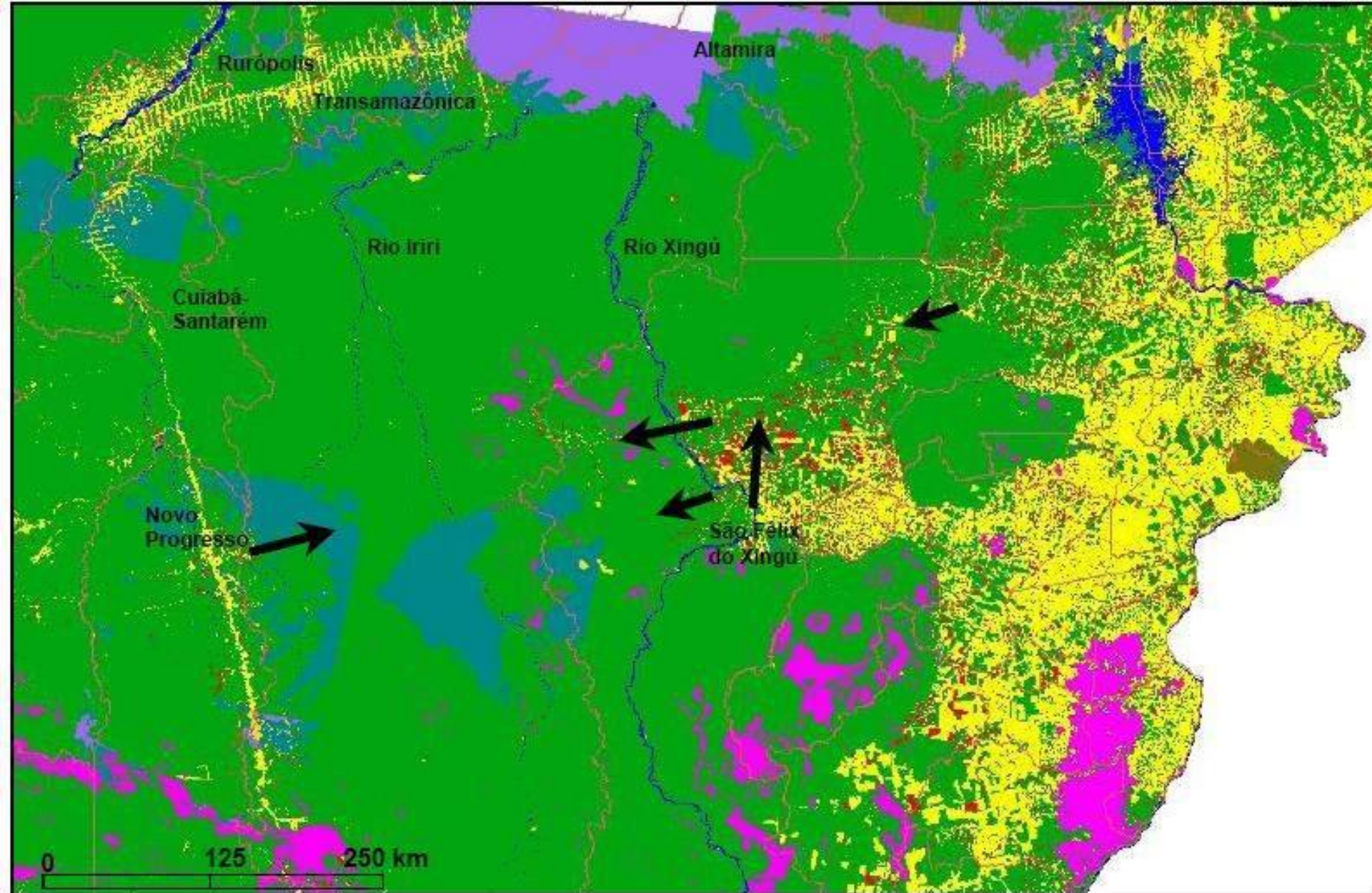
# Localização dos Desmatamentos com mais de 300ha em

+ áreas protegidas

2003

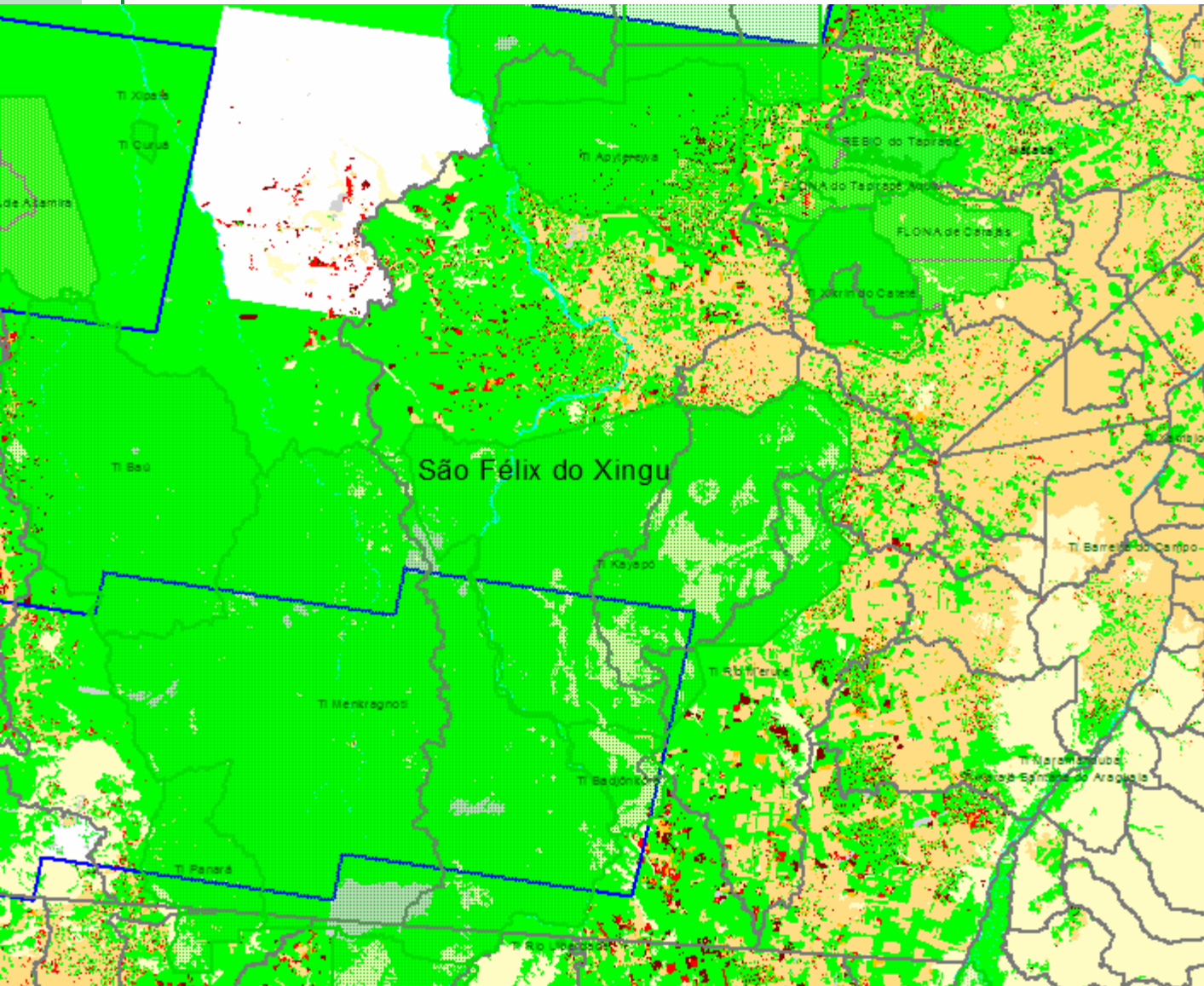


# Efeito de Tenaz na Terra do Meio





# São Félix do Xingu



Área do Município  
8.460.261 ha

Área Mapeada  
6.396.080

Área de Floresta 2003  
5.050.336  
79% da area mapeada

Desmatamento 03  
133.273

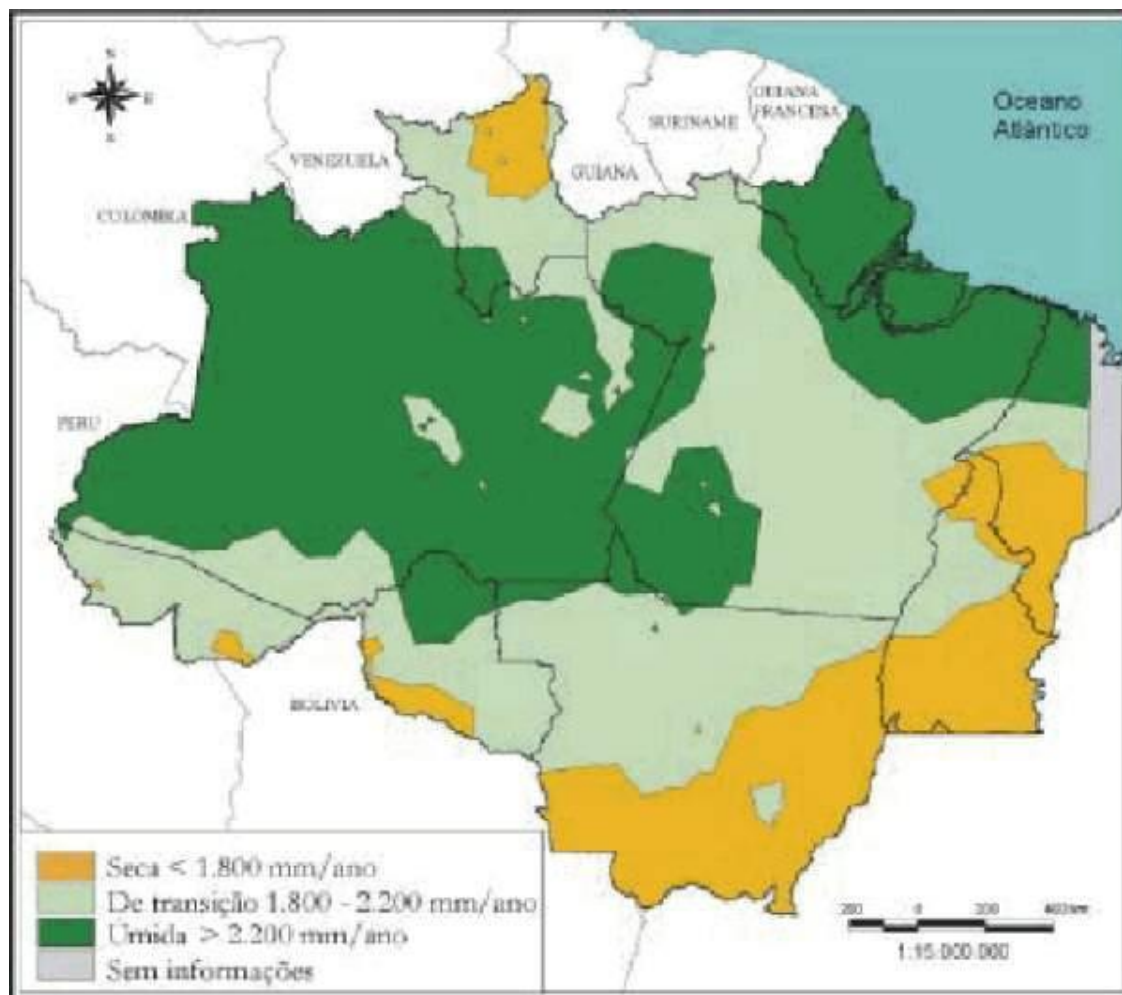
Desmatamento 02  
122.007

Desmatamento 01  
156.715

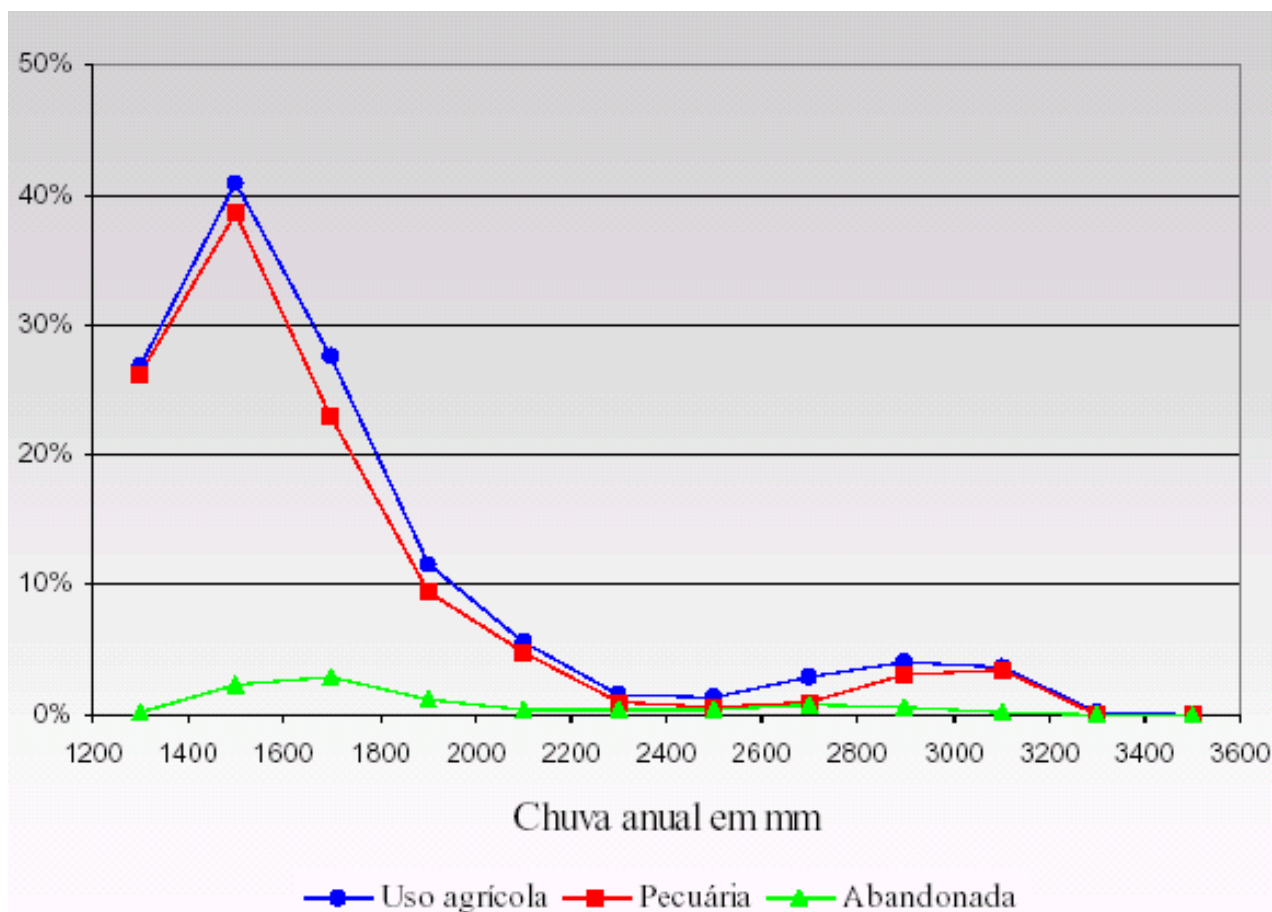
Desmatamento TOTAL  
921.448

14% da área mapeada

# Fatores Condicionantes de Modelos

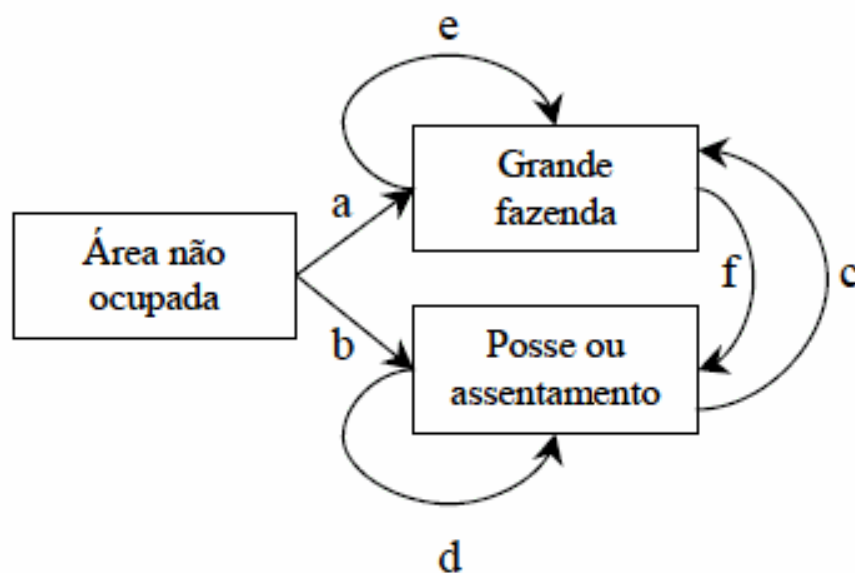


# Fatores Condicionantes de Modelos



Áreas em uso agrícola (%) em relação à pluviosidade  
(Schneider et al., 2001)

# Apropriação de Terras na Amazônia

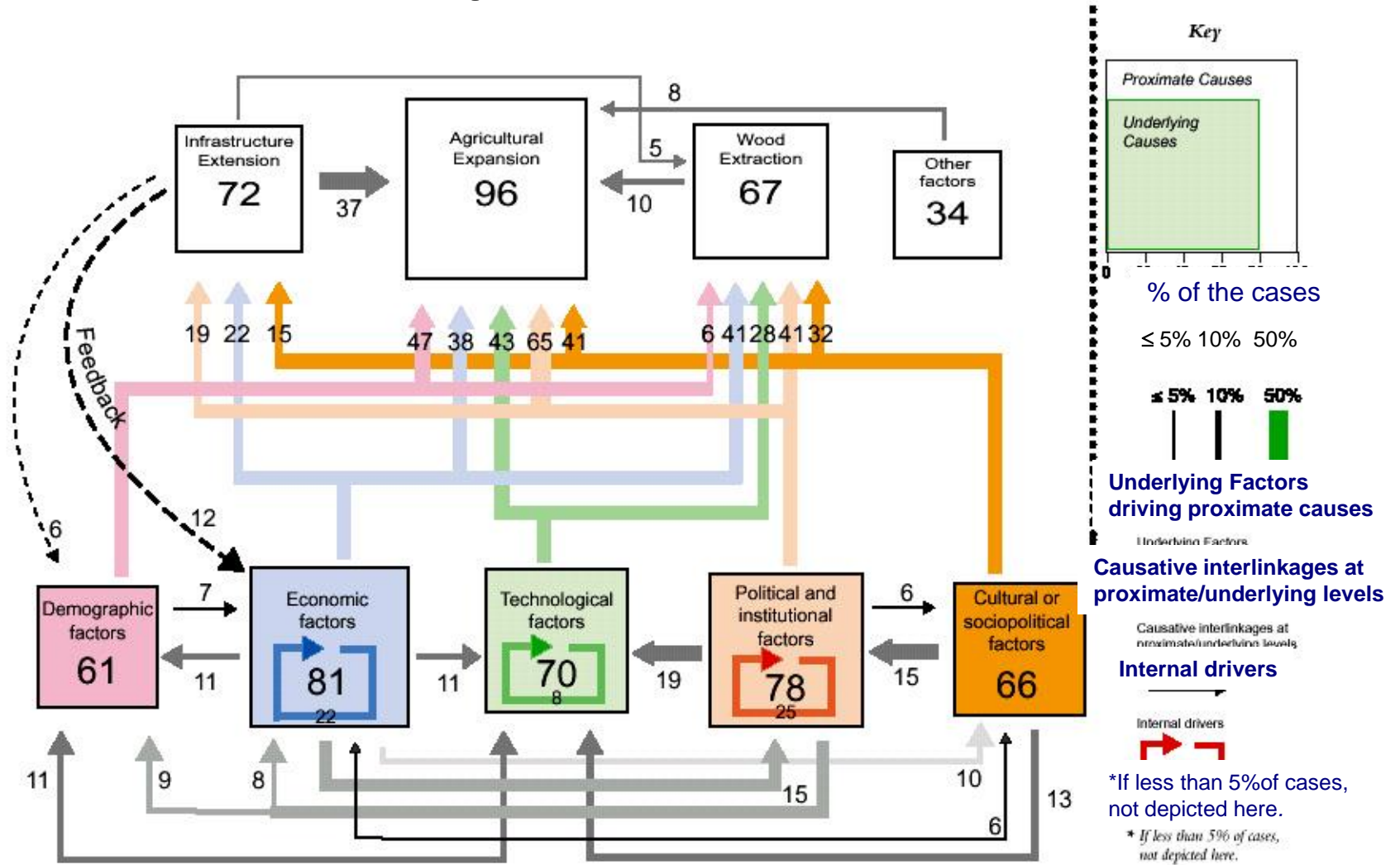


## LEGENDA

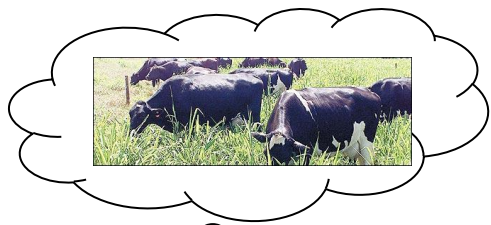
- a) requisição de área ou grilagem
- b) posse ou demarcação de assentamento
- c) venda de lote para grande proprietário e concentração de terra
- d) pequenos agricultores
- e) comércio de terra
- f) desapropriação para assentamento de pequenos agricultores

Diagrama de apropriação de terras na Amazônia.

# What Drives Tropical Deforestation?



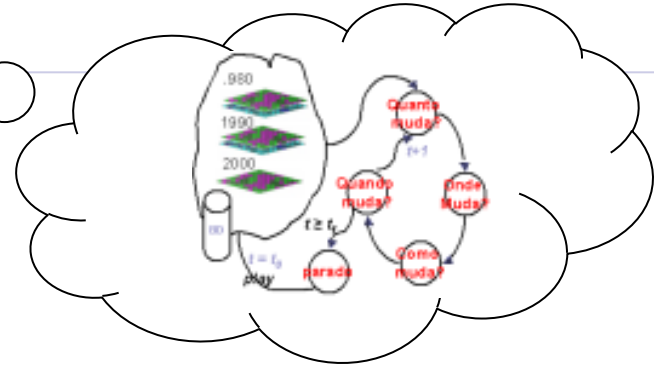
# Processo de Modelagem



$$\frac{d}{dx}(cx^n) = ncx^{n-1}$$

If (... ? ) then ...

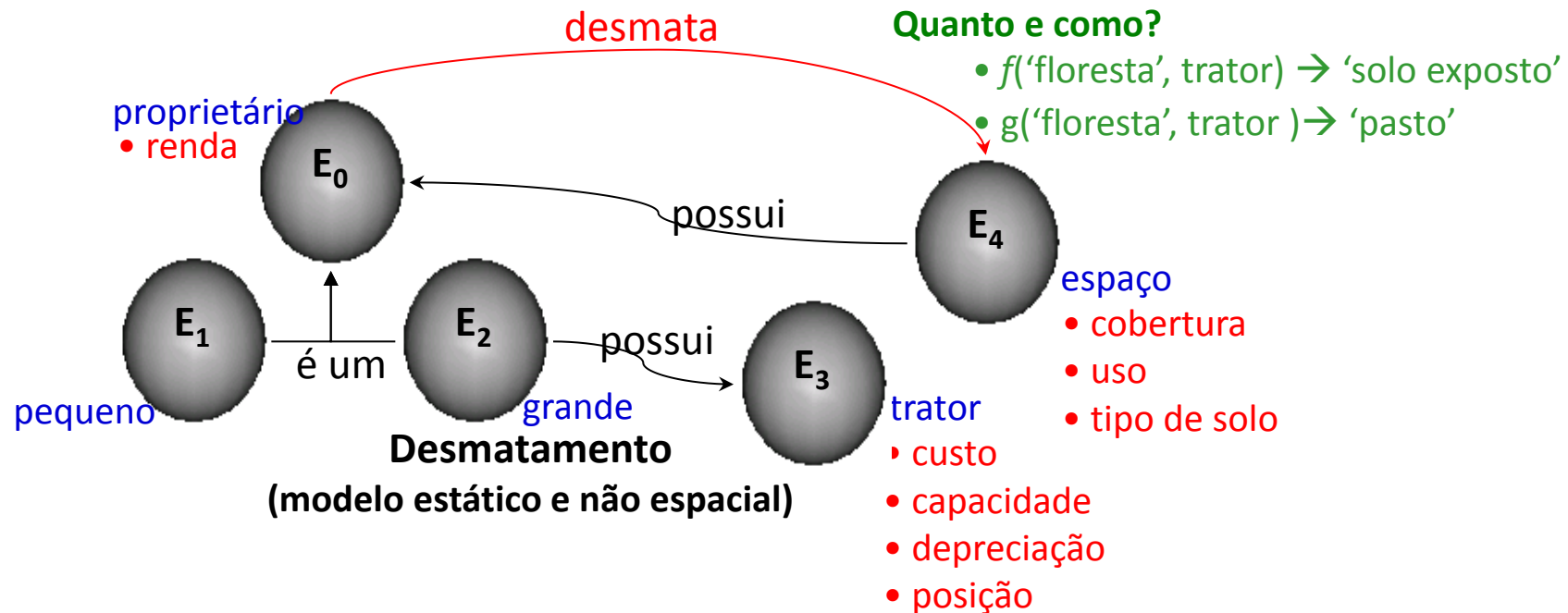
$$\int a dx = ax$$



# Teoria de Modelagem

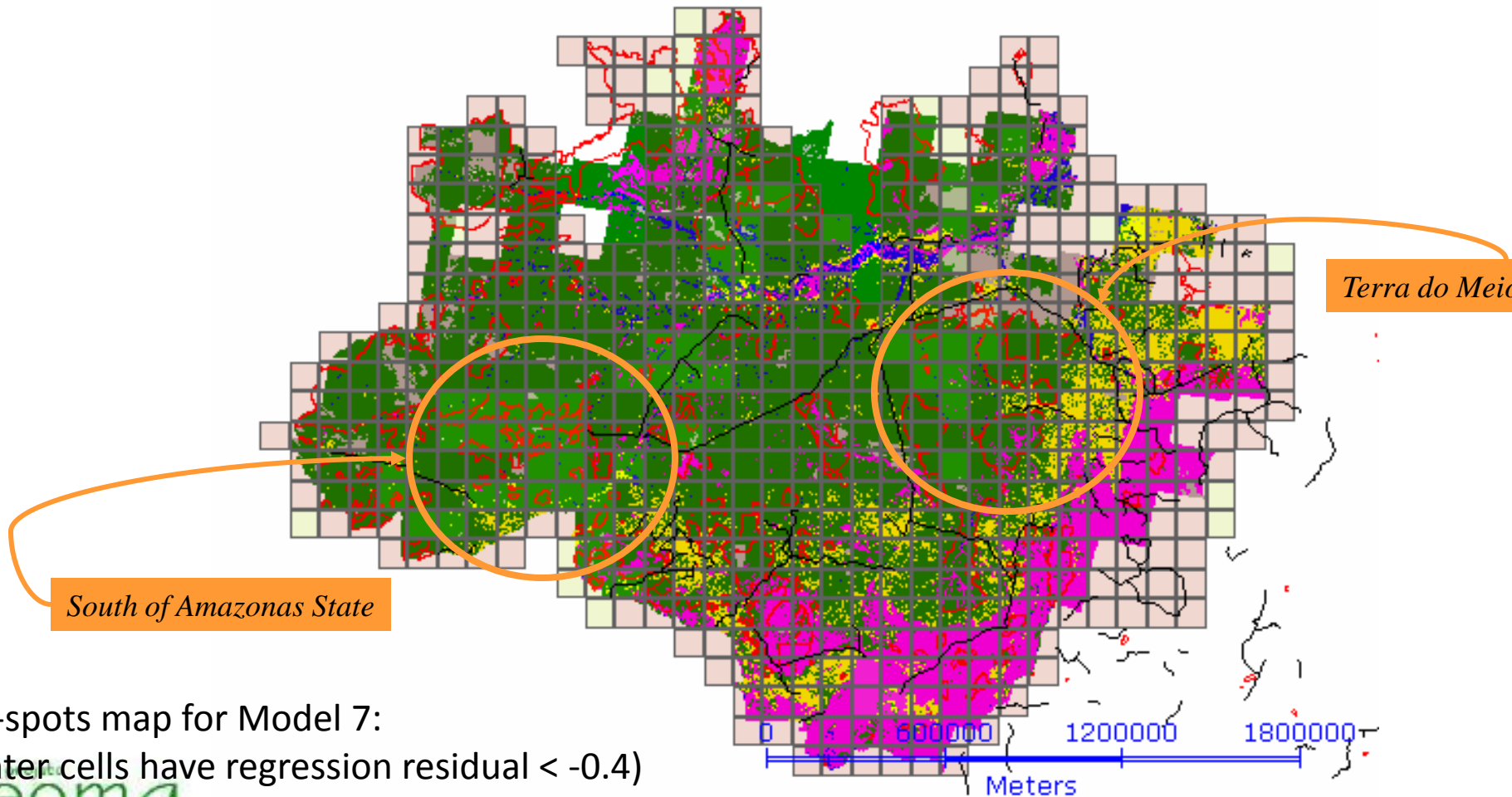
## ■ Modelo

- Um modelo é definido como uma **representação** simplificada e abstrata de um fenômeno, processo ou sistema.



**Modelo = entidades e relações + variáveis descritivas (entidade, estado ou interação) + regras de comportamento**

# Modelos de Uso da Terra: Áreas Previstas de Expansão do Desmatamento



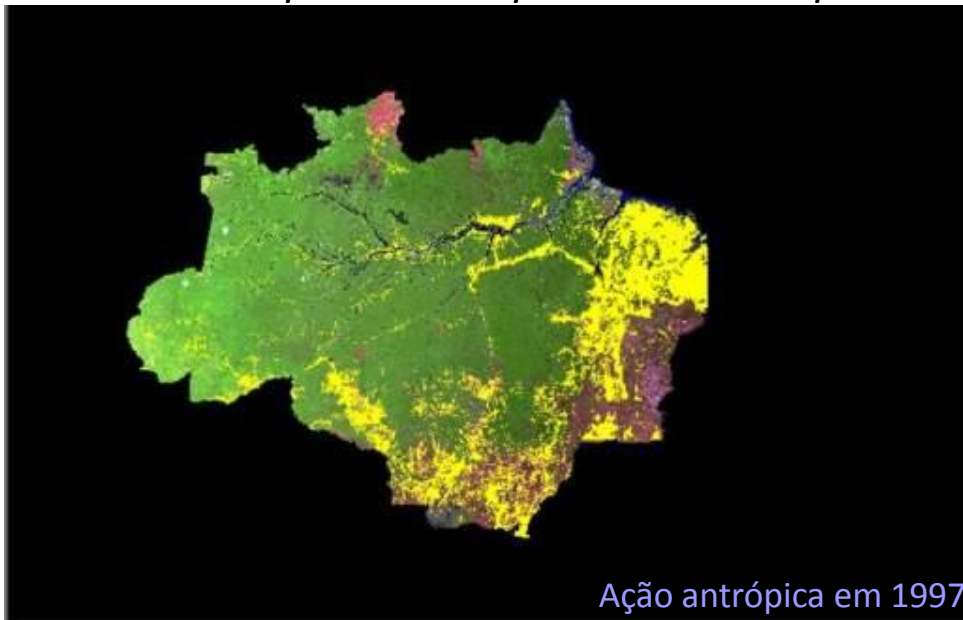
Hot-spots map for Model 7:  
(lighter cells have regression residual  $< -0.4$ )



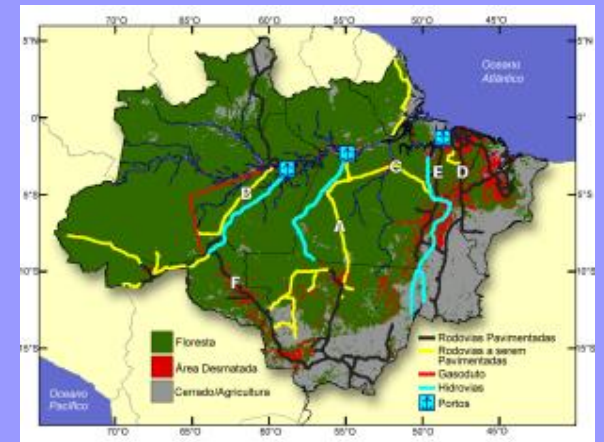
# Exemplos de questões para modelagem

*Quais os impactos em termos de desflorestamento de obras de infra-estrutura planejadas?*

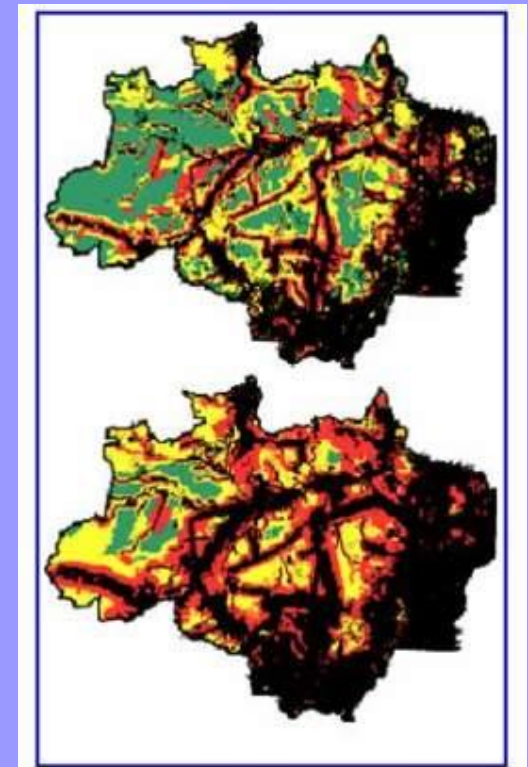
*Como outras políticas de proteção e zoneamento podem compensar estes impactos?*



Ação antrópica em 1997

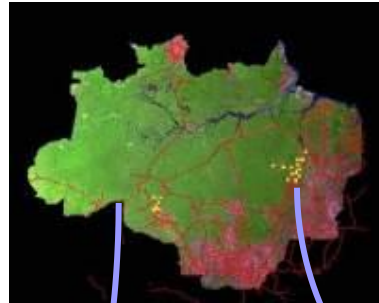


*Existem alternativas a estes cenários?*

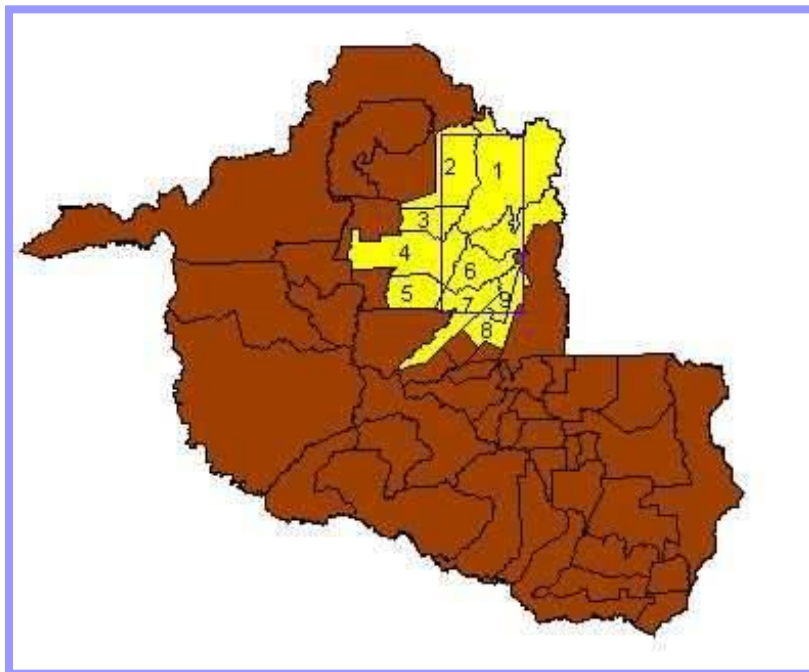


Laurence et al. The future of Brazilian Amazon. Science 291 (5503): 438

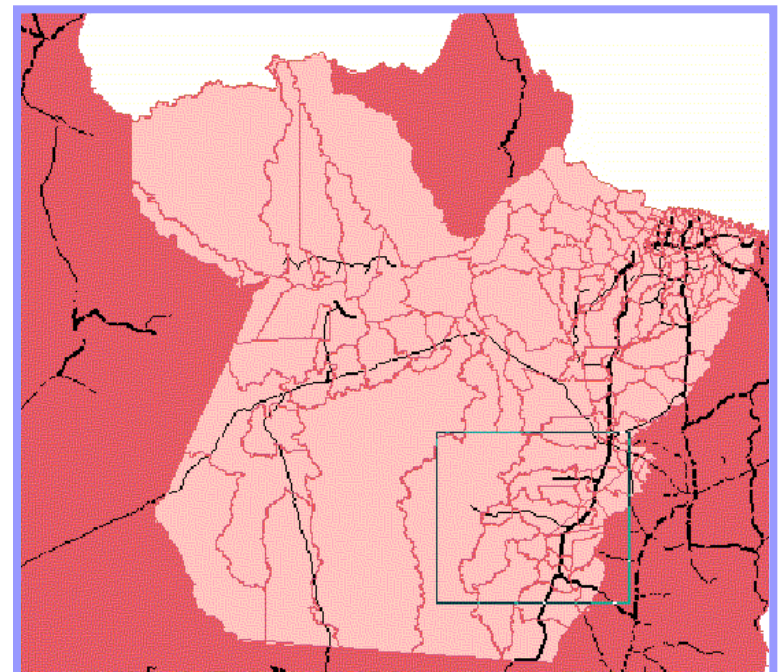
## Estudos mais localizados



Nordeste de Rondônia



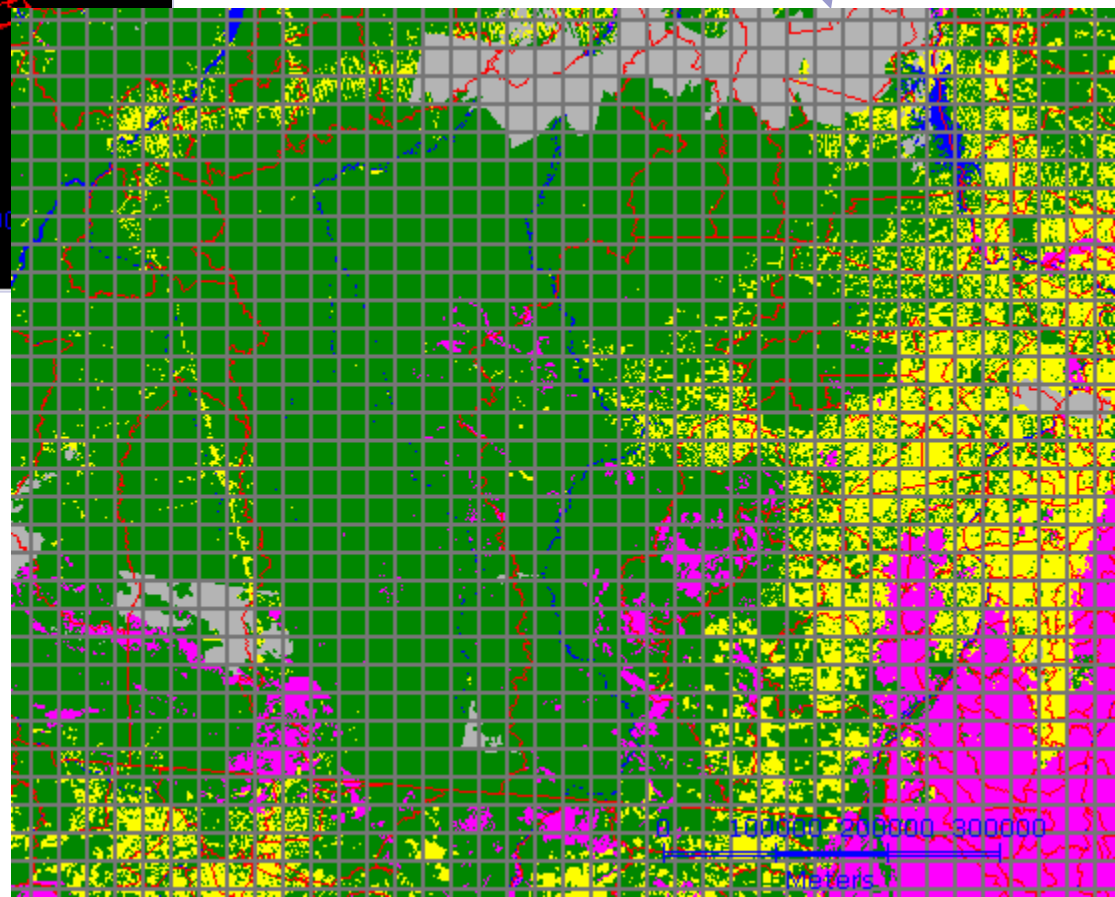
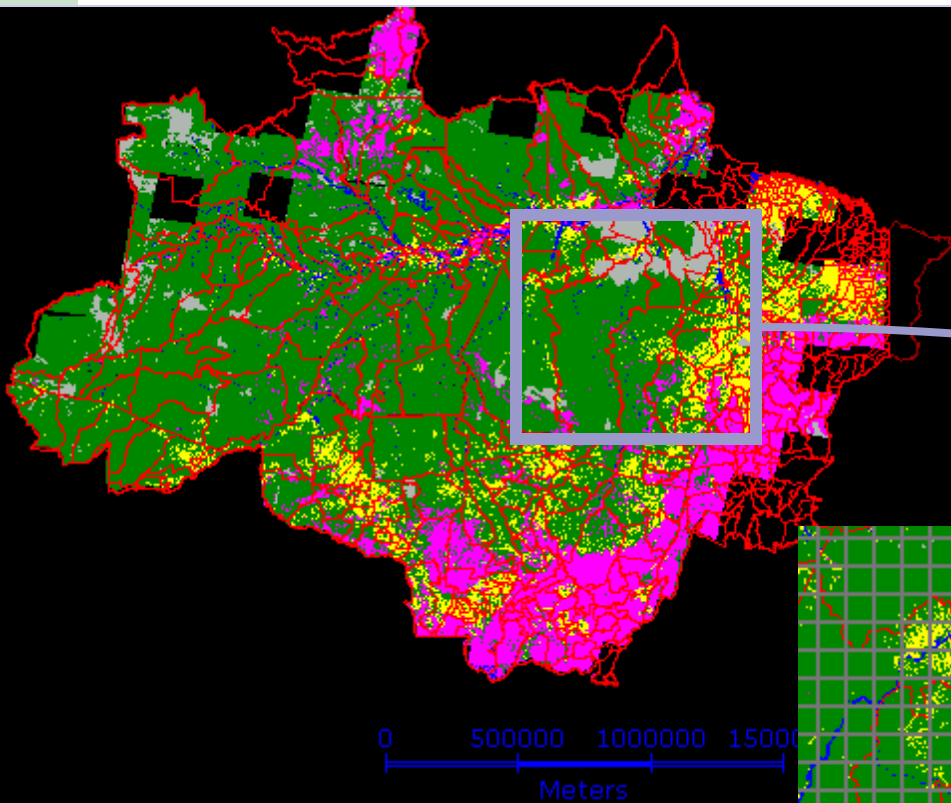
Sudeste do Pará








# Categorias de fatores candidatos

(~ 90 variáveis)

<b>Demográficos</b>	Densidade populacional e migração.
<b>Estrutura Agrária</b>	Indicadores de distribuição de terras entre pequenos, médios e grandes estabelecimentos rurais (em número e área).
<b>Acessibilidade e conexão a mercados</b>	Medidas de conexão a mercados nacionais e portos via rede viária. Distância a estradas, rios e centros urbanos.
<b>Políticos</b>	Assentamentos, áreas de proteção e crédito.
<b>Atividades econômicas</b>	Distância a pólos madeireiros e depósitos minerais.
<b>Ambientais</b>	Qualidade do solo (fertilidade, textura), relevo e clima (precipitação, umidade, temperatura).



-  Divisão municipal
  -  Célula 25 km x 25 km
- Mapa de Desflorestamento – 1997  
(INPE/PRODES t)
-  Desflorestamento
  -  Floresta
  -  Não-floresta (e.g., cerrado)

# Fatores Correlacionados ao Desmatamento

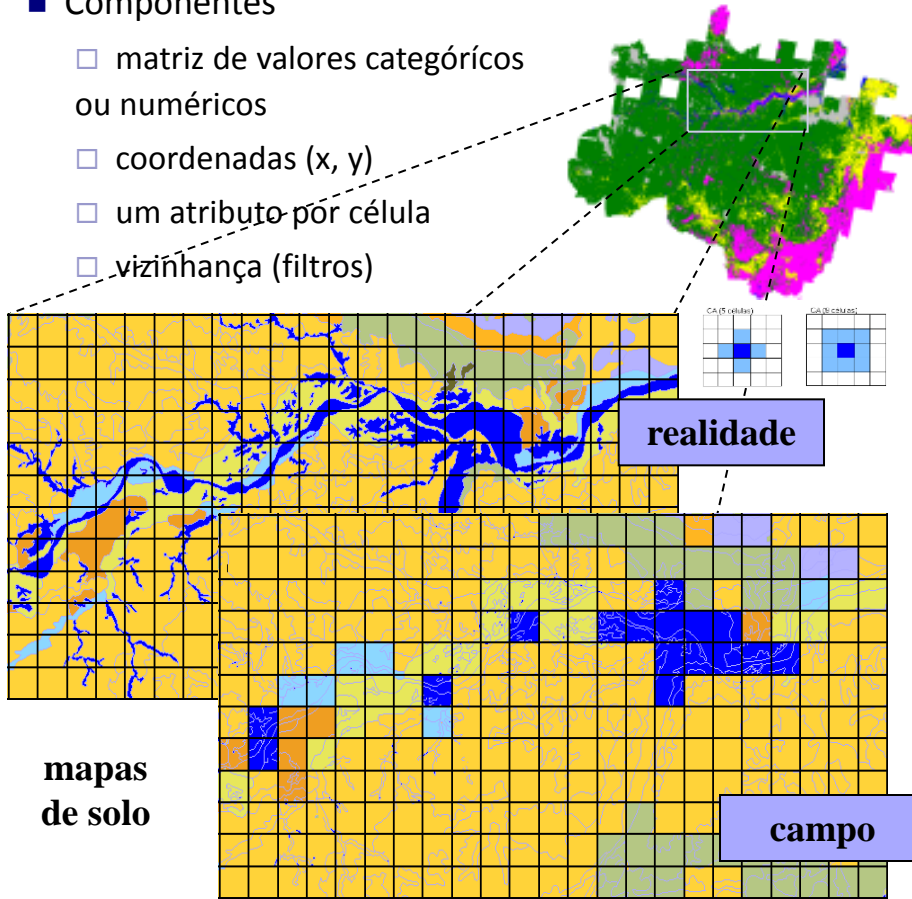
- Sete fatores estão relacionados à variação de 83% das taxas de desmatamento na Amazônia nos últimos anos:
  - (a) Estrutura Agrária (2 fatores): percental de área ocupada por grandes fazendas e número de pequenas propriedades.
  - (b) Ocupação Populacional (1 fator): densidade de população.
  - (c) Condições do Meio Físico (2 fatores): Precipitação média e percentual de solos férteis.
  - (d) Infraestrutura (1 fator): distância a estradas.
  - (e) Presença do Estado (1 fator): percentagem de áreas indígenas

# Ambientes Computacionais para Modelagem

## Campos

### Componentes

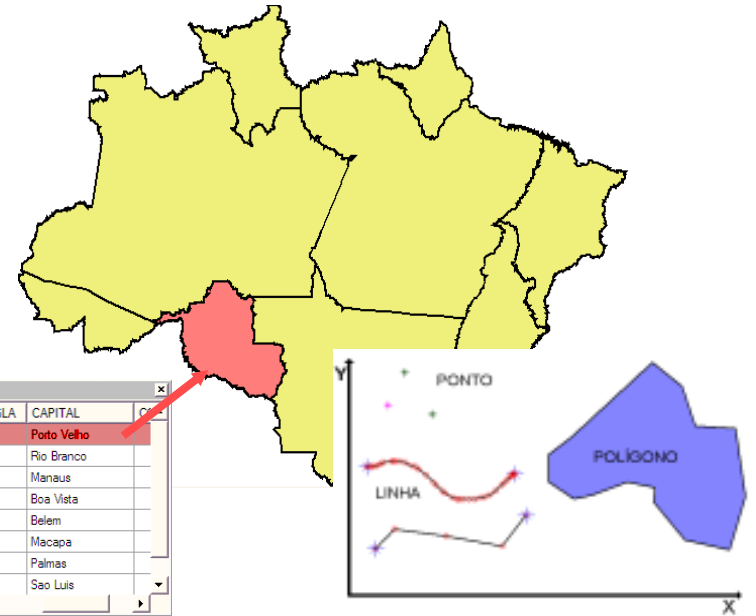
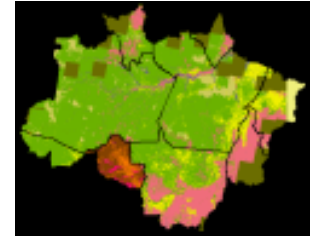
- matriz de valores categóricos ou numéricos
- coordenadas (x, y)
- um atributo por célula
- vizinhança (filtros)



## Objetos

### Componentes

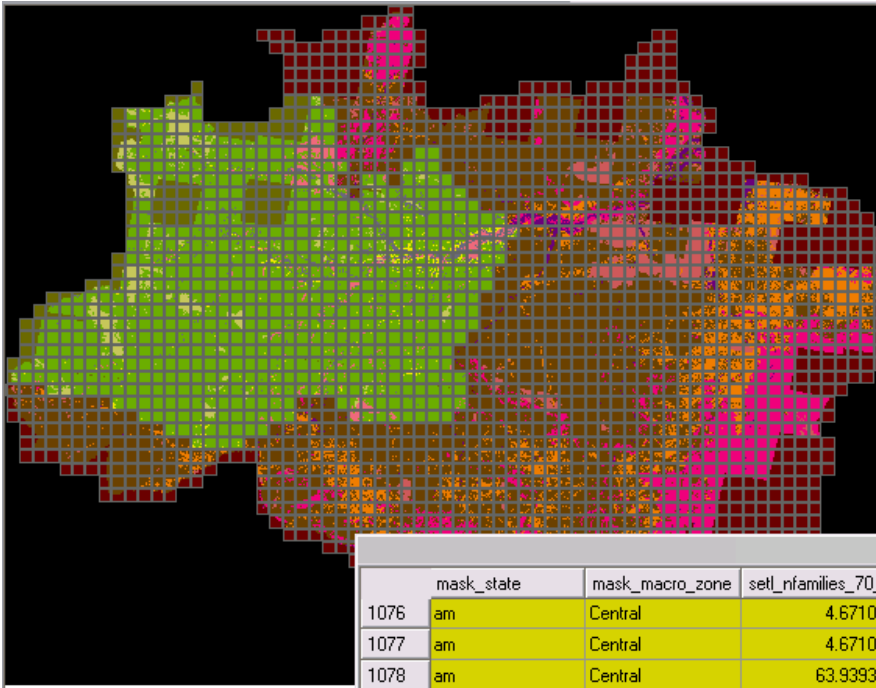
- conjunto de geo-objetos
- identificador único
- vários atributos por objeto
- operadores topológicos:  $\cup$ ,  $\cap$ ,  $\supset$ ,  $\not\subset$ , toca, etc.



O modelo espacial da maioria dos **SIGs atuais** considera somente uma **realidade estática** que não evolui no tempo: campo, objeto e espaço celular.

# Ambientes Computacionais para Modelagem

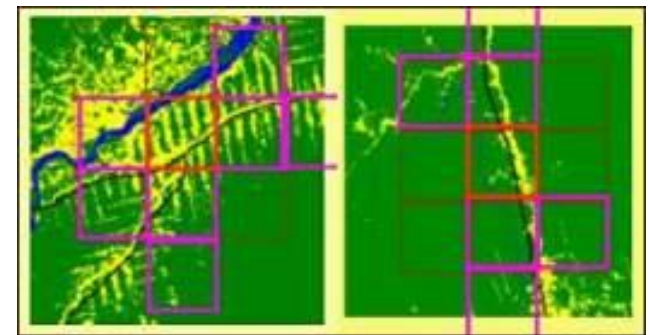
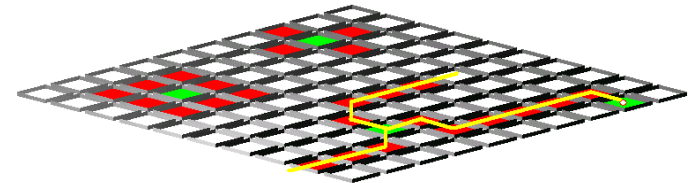
## Espaços celulares



	mask_state	mask_macro_zone	setl_nfamilies_70_99	setl_area_70_99	agr
1076	am	Central	4.671096	146.23648	
1077	am	Central	4.671096	146.23648	
1078	am	Central	63.939396	23501.954167	
1079	am	Central	81.582006	29565.766222	
1080	pa	Central	12.805476	1287.076729	
1081	pa	Central	13.10852	1329.578364	
1082	pa	Central	13.10852	1329.578364	
1083	pa	Central	11.466334	1163.013824	

### Componentes

- conjunto de células georeferenciadas
- identificador único
- vários atributos por células
- matriz genérica de proximidade - GPM



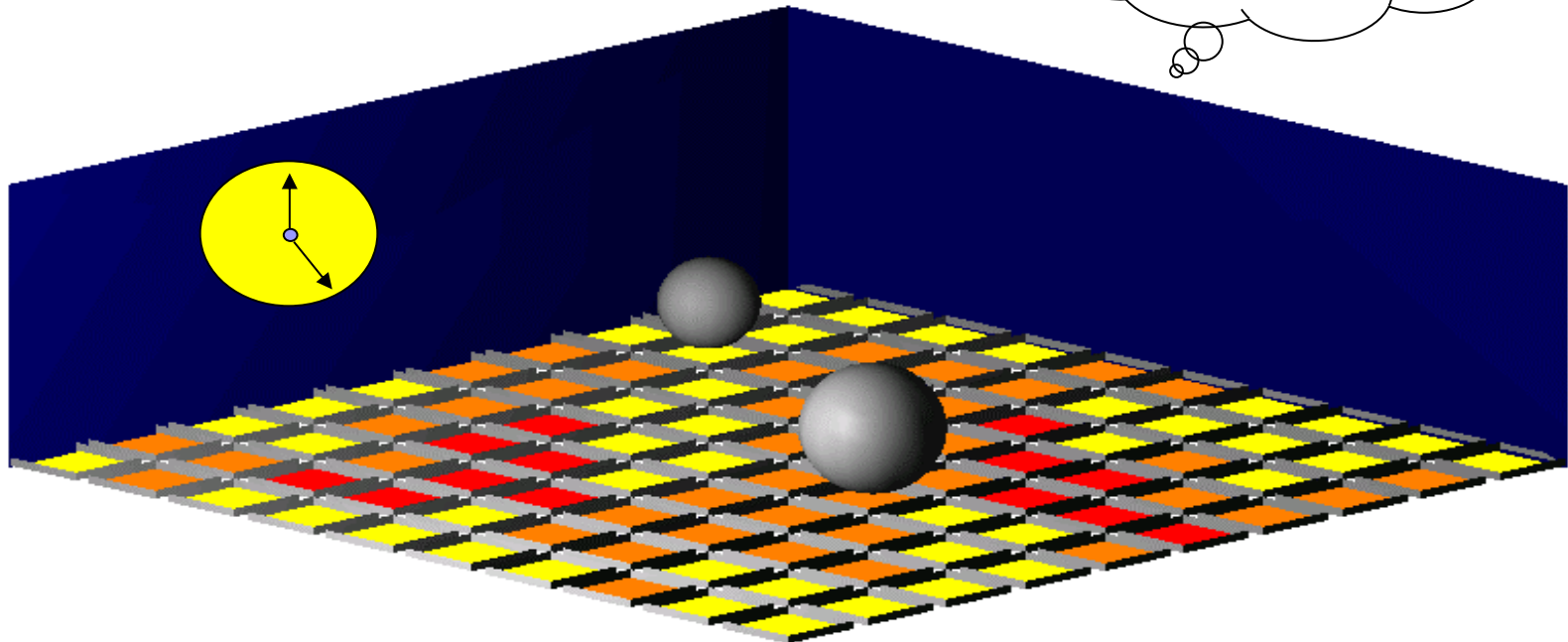
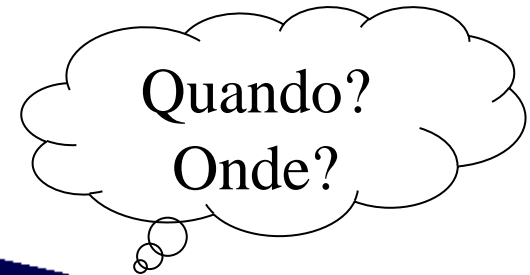
superfície discreta de células retangulares multivaloradas possivelmente não contíguas

A biblioteca **TerraLib** também modela a realidade por meio de **espaços celulares**.

# Teoria de Modelagem

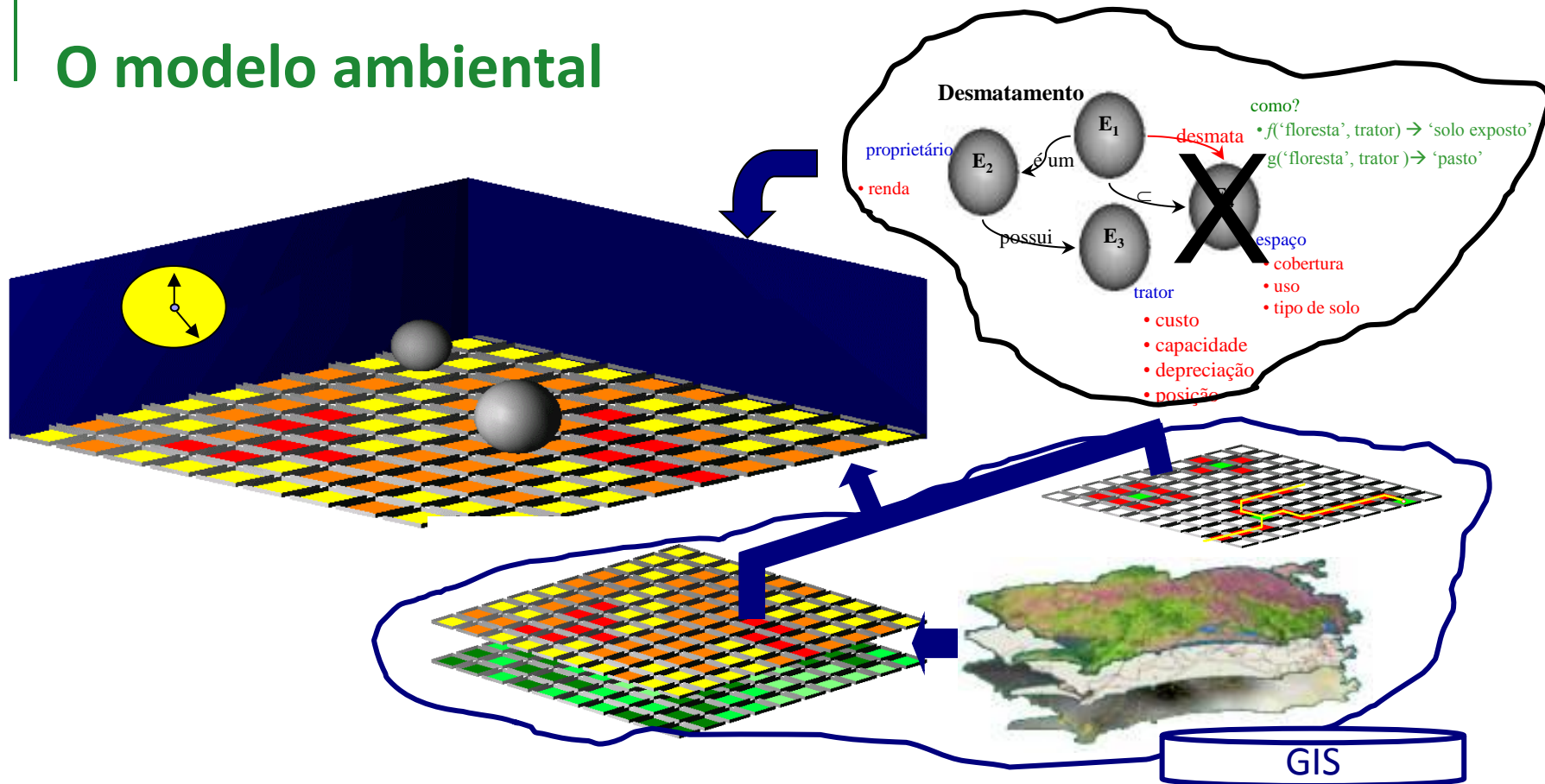
## ■ Modelo Ambiental

- conjunto de entidades e relações, uma **estrutura espacial e temporal**, uma “física”, ou seja, regras de **comportamento**, e regras de **inferência** ou lógica.





# O modelo ambiental

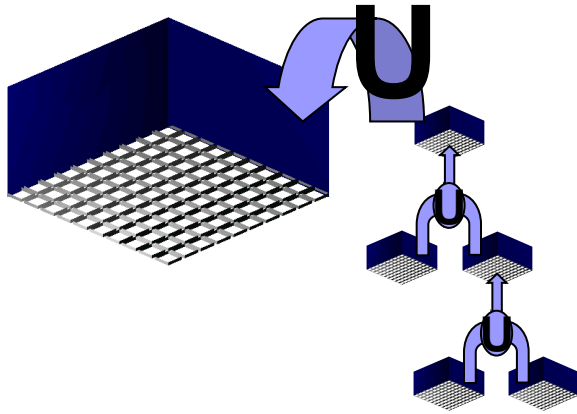


## ■ Um ambiente possui 3 submodelos:

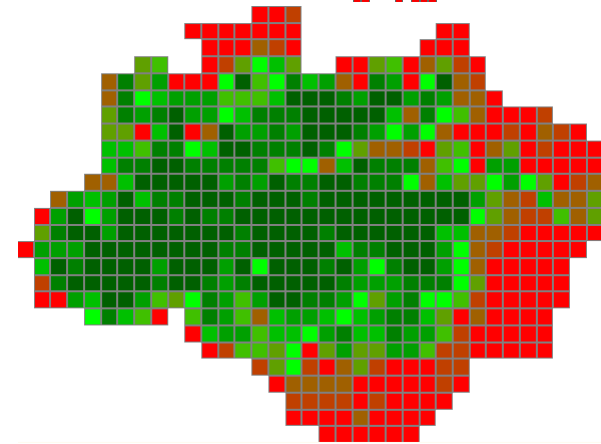
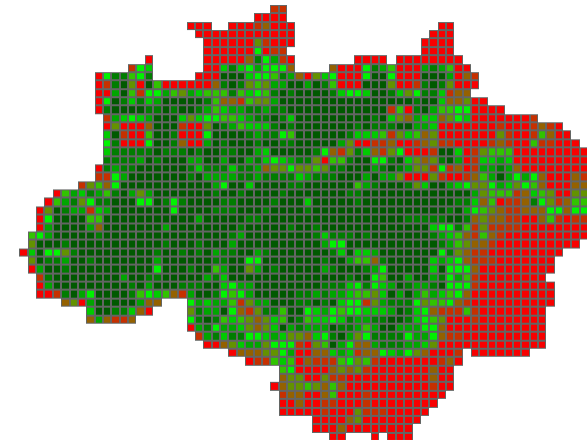
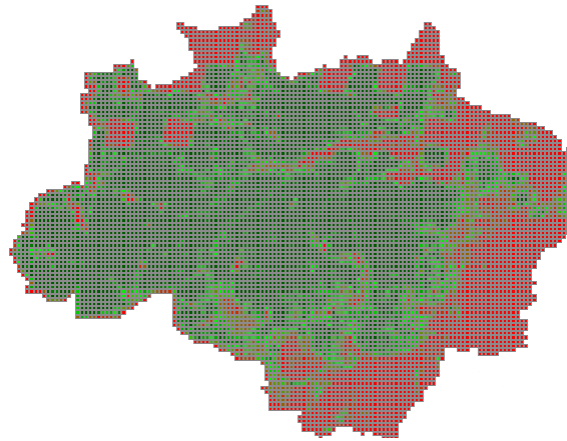
- **Modelo Espacial:** espaços celulares + regiões + GPM
- **Modelo Comportamental:** teoria de sistemas + autômatos celulares híbridos + agentes situados
- **Modelo Temporal:** simulador de eventos discretos definidos de forma recorrente

## ■ A estrutura espacial e temporal é compartilhada por vários agentes.

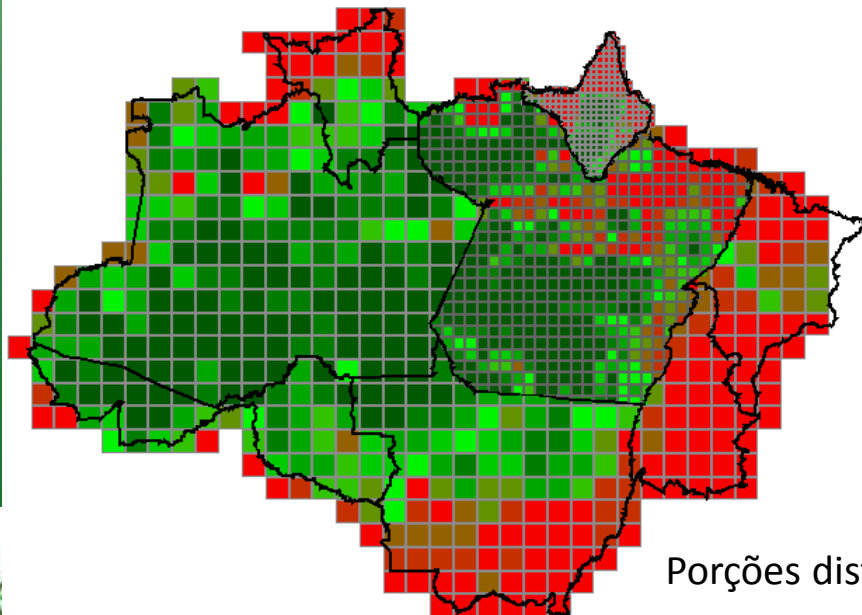
# A estrutura do espaço é heterogênea



Ambientes definidos de forma recorrente



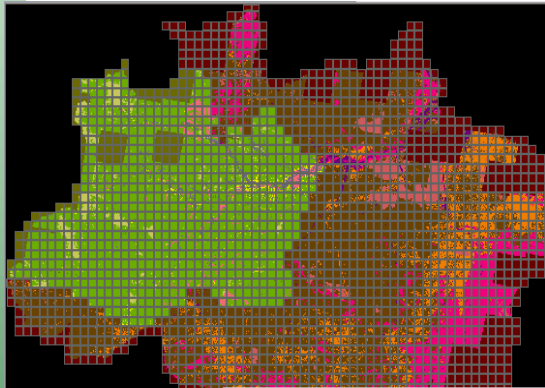
É possível construir modelos **multiescalas**



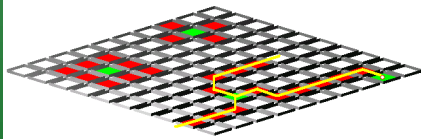
Porções distintas do espaço podem ter escalas diferentes

# Espaços celulares equipados com regiões

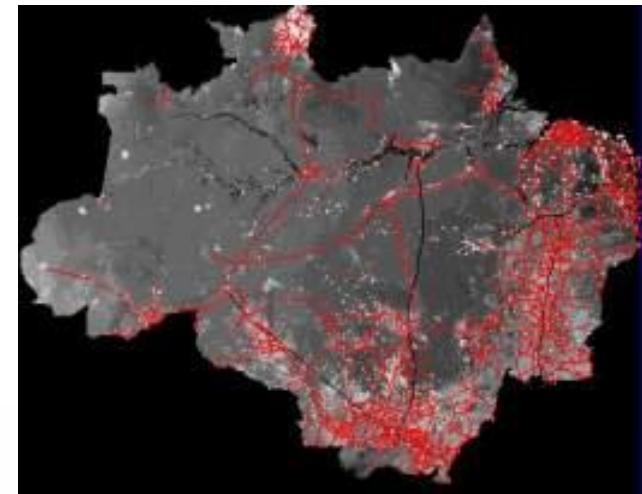
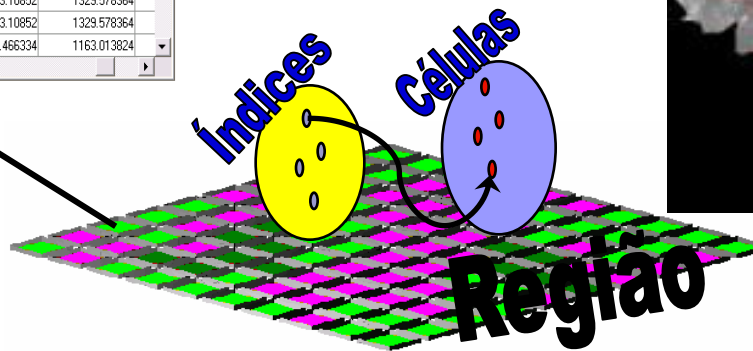
- Espaços Celulares
  - conjunto de células **pertencentes ao  $R^n$**
  - identificador único + **região**
  - vários atributos por células
  - matriz genérica de proximidade - GPM



	mask_state	mask_macro_zone	set_nfamilies_70_91	set_area_70_99	agr
1076	am	Central	4.671096	146.23648	
1077	am	Central	4.671096	146.23648	
1078	am	Central	63.939396	23501.954167	
1079	am	Central	81.582006	29565.766222	
1080	pa	Central	12.805476	1287.076729	
1081	pa	Central	13.10852	1329.578364	
1082	pa	Central	13.10852	1329.578364	
1083	pa	Central	11.466334	1163.013824	

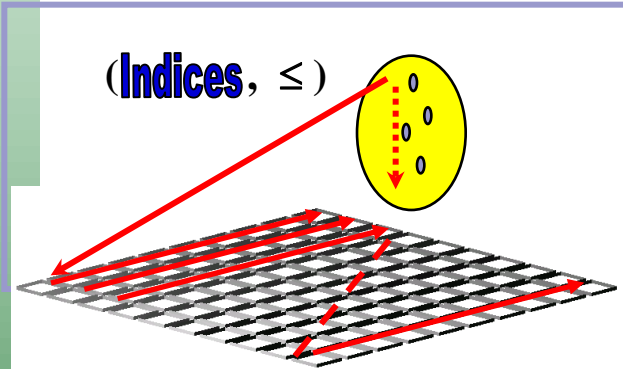


+



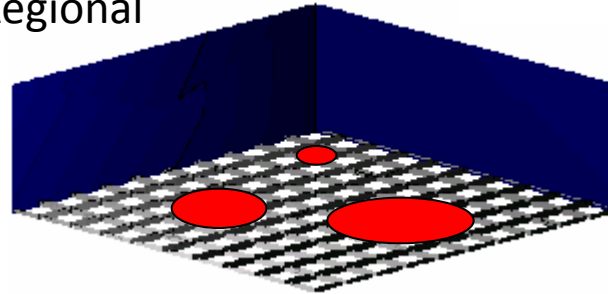
É necessário modelar espaços não isotrópicos e considerar ações à distância

# Regiões



(Indices,  $\leq$ )

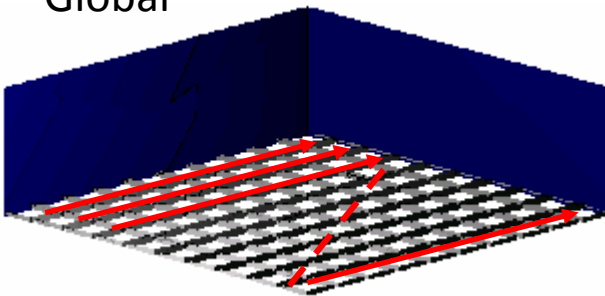
Regional



expansão urbana  
deflorestamento

heurísticas: patcher & expander

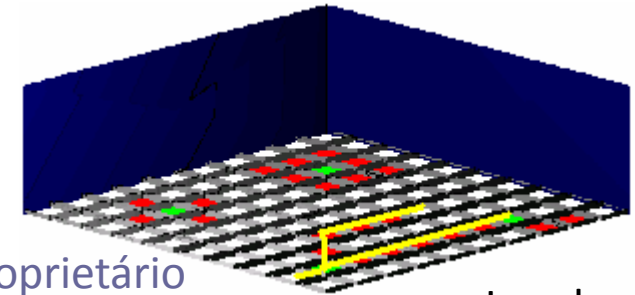
Global



clima  
hidrologia

proprietário  
governo

Local



- O espaço pode ser percorrido na ordem estabelecida por uma região
- Um índice pode ser qualquer valor do tipo:  $(I_1, I_2, I_3, \dots, I_n)$ .
- O conjunto de índices deve ser parcialmente ordenado.
- Uma região pode mapear subconjunto de células não contíguas.

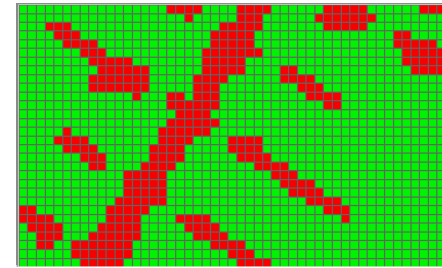
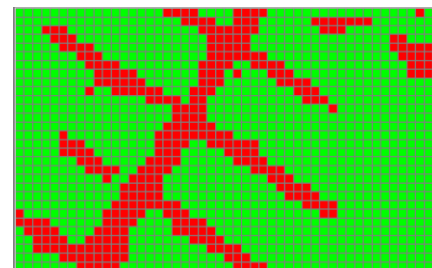
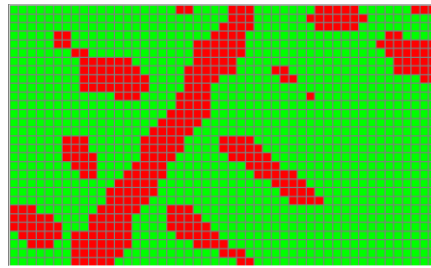
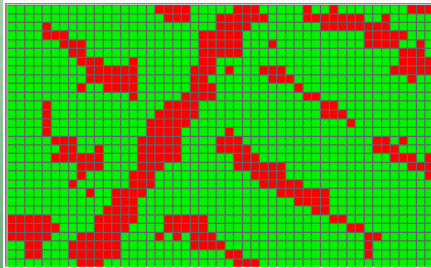
# Ambiente Computacional de Modelagem: TerraLib

Realidade

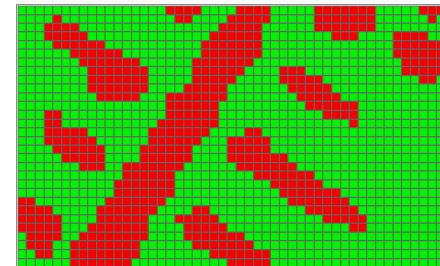
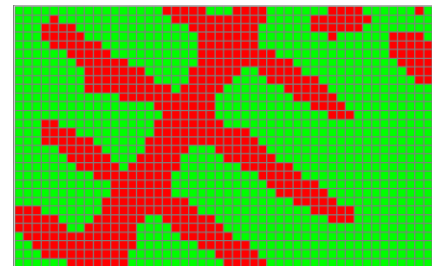
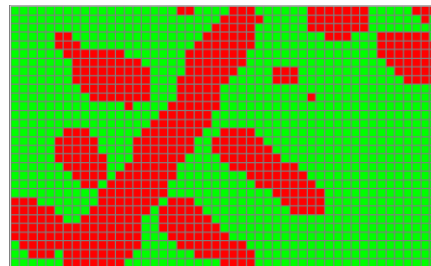
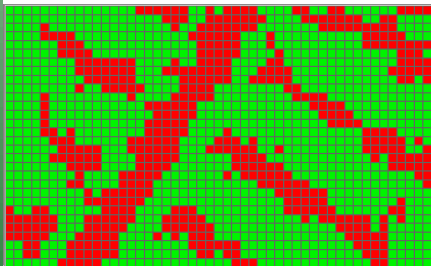
Moore

GPM

GPM+Lote



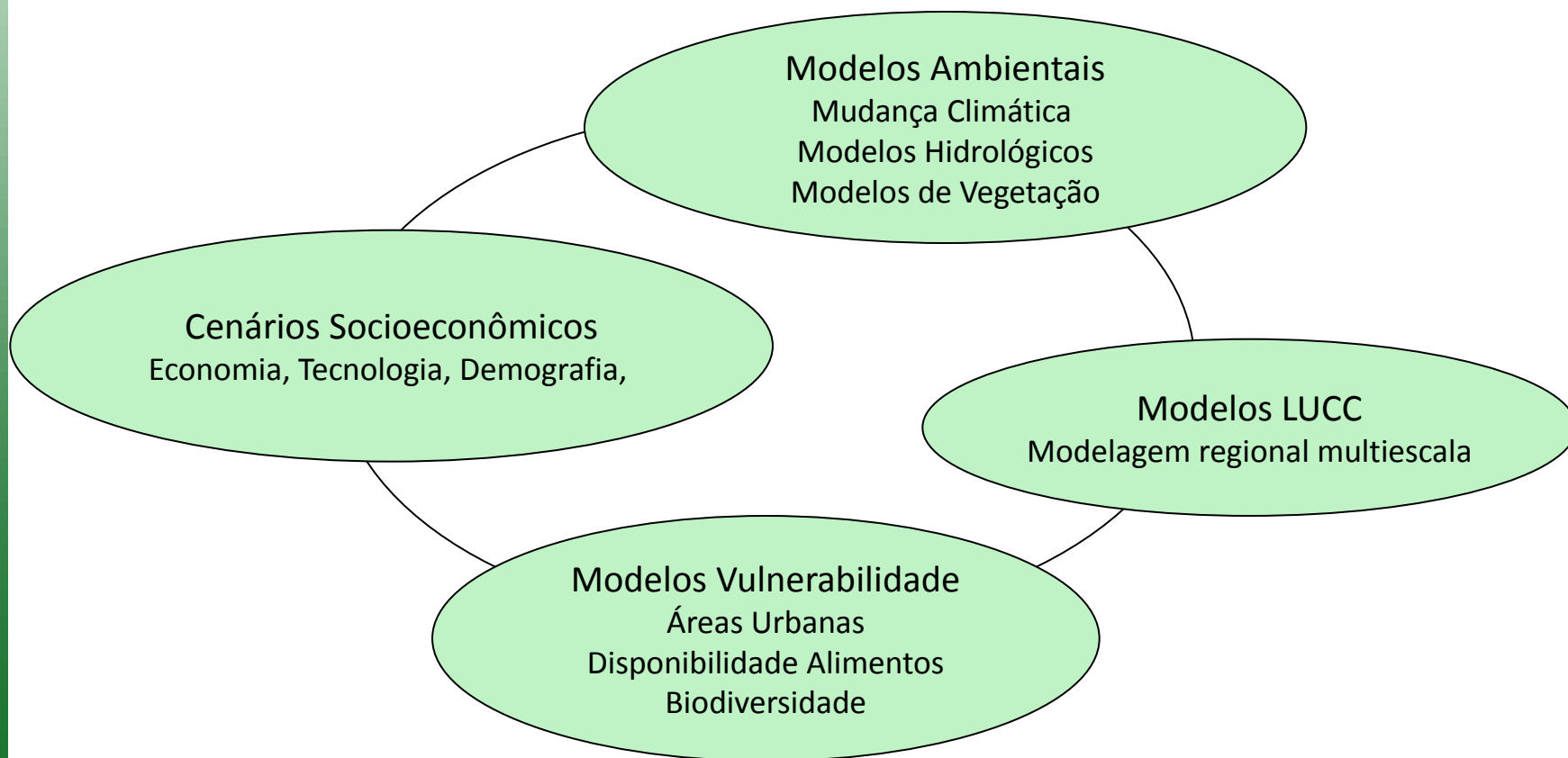
1988



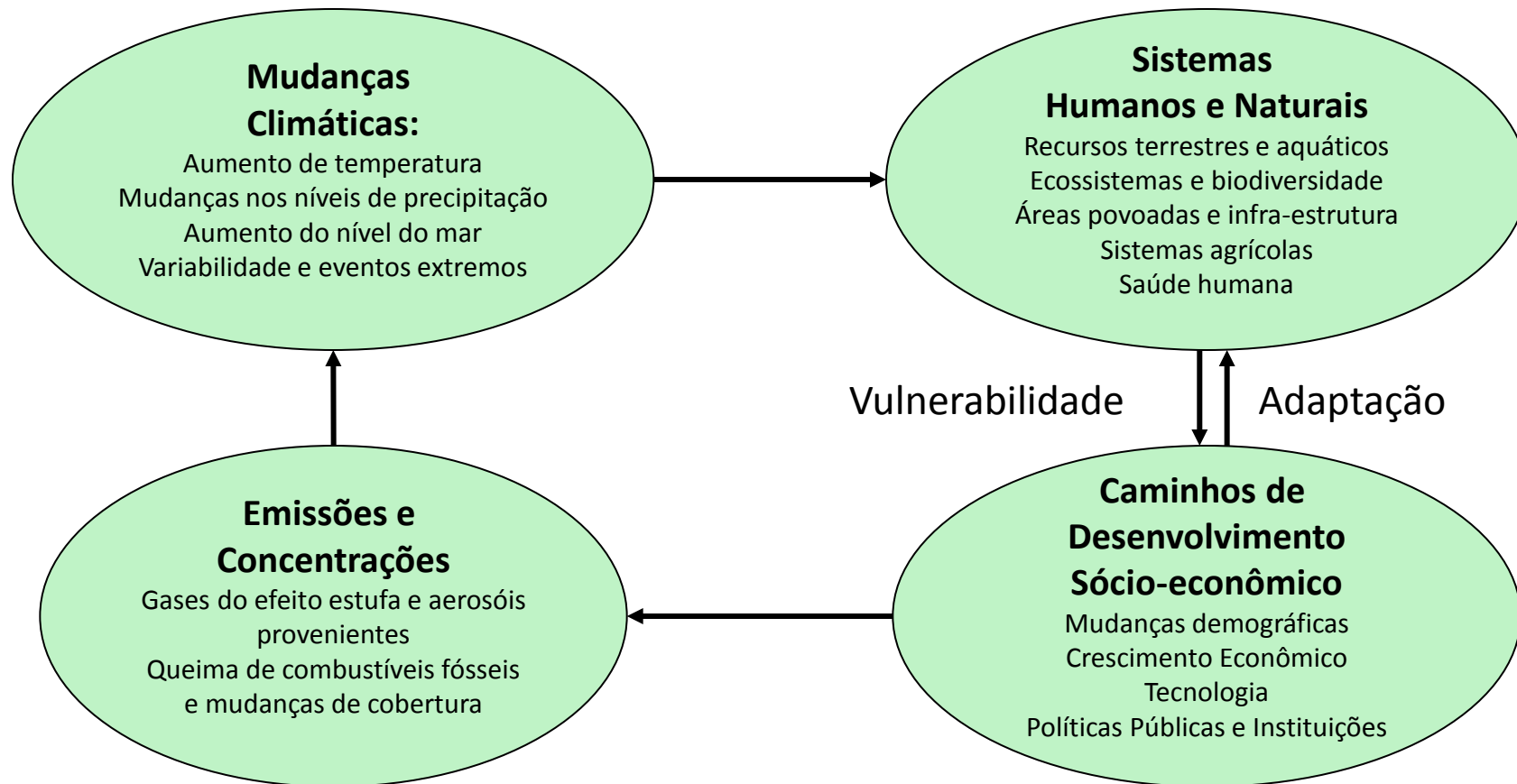
1991

Geoinfo (Aguiar, 2003),  
Submetido GIScience (Câmara et al, 2004)

# Visão de Longo Prazo : Modelos Integrados



# Visão de Longo Prazo : Modelos Integrados



# Limites para Modelar a Realidade

fonte: John Barrow





# Relógios, Nuvens ou Formigas?

## ■ Relógios

- Paradigmas: lei de Newton (leis físicas que governam o mundo)

## ■ Nuvens

- Modelos estocásticos
- Suporte: Teoria de sistemas caóticos

## ■ Formigas

- Modelos emergentes
- Suporte: teoria de sistemas complexos
- Exemplos: automata celulares

# Como parametrizar os modelos?

- Data-driven (“empíricos”)
  - “Deixar os dados falarem”
  - Não impor modelos a priori
  - Conveniente para inferência multi-variada
- Theory-driven (“funcionais”)
  - Dados são ocorrências imperfeitas da teoria
  - Modelos estatísticos
    - Parametrização de processos estocásticos
  - Modelos determinísticos
    - Modelos de equações diferenciais
- Modelos híbridos

# O Desafio Atual do GEOMA: GT-11

- 1.7 - DESENVOLVIMENTO DE MODELOS DE MUDANÇA NO USO DA TERRA (DESMATAMENTO) PARA DIFERENTES CENÁRIOS DE POLÍTICAS PÚBLICAS
- Resultados Esperados
  - Caracterizar a dinâmica do desmatamento em bases georreferenciadas;
  - Avaliar os impactos sócio-ambientais das políticas públicas e dos investimentos da Amazônia, comparando os cenários prospectivos de diferentes políticas públicas, como subsídio para tomada de decisão;
  - Desenvolvimento de um projeto piloto de modelagem ambiental na região do Arco do Desmatamento;
  - Consolidar o Projeto Geoma (Geoprocessamento e Modelagem Ambiental na Amazônia) e outros estudos prioritários sobre dinâmicas do desmatamento na Amazônia brasileira.
- Indicador de Resultado:
  - Modelos apresentados a tomadores de decisão e publicados em artigos interdisciplinares e multi-institucionais.

# Áreas de Atuação

- Modelos de mudanças do uso e cobertura da terra na Amazônia.
- Modelos da dinâmica populacional da Amazônia.
- Modelos de distribuição da biodiversidade na Amazônia.
- Modelos de ecossistemas inundáveis amazônicos.
- Modelos das bacias hidrográficas da região.
- Modelos de mudanças climáticas e acoplamento bioma-clima
- Banco de dados socioambiental da Amazônia e modelos integrados multi-escala que incorporem diferentes dimensões da sustentabilidade na Amazônia