



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

XII SBSR, Goiânia, Abril 2005

Programas espaciais de observação da Terra: Onde estamos, para onde vamos?

Gilberto Câmara

OBT/INPE

<http://www.dpi.inpe.br/gilberto>



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



Objetivo da Palestra

- “Transforming the scientifically possible and technologically viable into the operationally practical” (apud Radarsat International)
- O que é científcamente possível?
- O que é tecnologicamente viável?
- O que é operacionalmente praticavel?
- Conjecturar sobre possíveis direções nos programas espaciais de Sensoriamento Remoto



Quatro Temáticas

1. Quão amadurecida está a tecnologia de SR? O que pode ser operacional?
2. Quais são as limitações tecnológicas do projeto de satélites? Como elas afetam o futuro dos programas espaciais?
3. Como irá evoluir a relação público-privada em SR?
4. Qual a pergunta fundamental do SR para os próximos 20 anos?



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Temática 1: Quão Amadurecido está o Sensoriamento Remoto?



Quão amadurecido está o SR?

- Conjectura 1: O SR óptico está amadurecido o suficiente para podermos saber:
 - Os requisitos das principais aplicações;
 - As aplicações que podem ser operacionais;
 - O papel do SR na gestão da informação ambiental;
 - Os compromissos de projeto de sensores (configuração de bandas espectrais).



Quão amadurecido está o SR?

- Conjectura 2: A teoria e prática de processamento digital de imagens SR ópticas multiespectrais estão bem estabelecidas
 - Facilita muito o aprendizado

- Contribuições nos últimos 10 anos
 - Modelo de mistura
 - Segmentação e classificação por regiões
 - Interferometria SAR
 - Registro automático



Comparação entre Segmentadores

Segmentation program	eCognition 2.1	eCognition 3.0	Data Dissection Tools	CAESAR 3.1	InfoPACK 1.0	Image Segmentation (for Erdas Imagine)	Minimum Entropy Approach	SPRING 4.0
Number of reference areas	20	20	20	10 ¹	20	20	11 ¹	20
Average difference of area [%]	12,5	15,9	2100,3	75,1	11,1	107,0	13,6	8,2
Average difference of perimeter [%]	15,9	17,2	475,6	55,1	30,9	177,5	10,0	10,8
Average difference of Shape Index [%]	16,7	16,2	38,9	25,5	25,5	87,1	10,0	11,7
Average number of partial segments	1,9	1,8	134,6	10,4	17,1	5,9	9,0	6,2
Average quality, visual evaluated [0...2]	1,0	0,9	0,2	0,0	0,6	0,2	0,8	0,9

A comparison of segmentation programs for high resolution remote sensing data, G. Meinel, M. Neubert, ISPRS Congress, 2004



Quão amadurecido está o SR?

- Conjectura 3: O conhecimento em SR por microondas já nos permite dizer:
 - Que tipos de aplicação são mais adequadas ao uso de SAR
 - Quando forma é importante (SAR) e quando precisamos de medir radiação solar refletida (óptico)

- Conjectura 4: Temos um desafio: qual o papel do SAR orbital polarimétrico?



Requisitos operacionais: Desmatamento

	Resolução	Revisita
Detecção	50 m – 300 m	1 – 5 dias
Mapeamento	5 m – 50 m	5 – 30 dias
Identificação	1 – 5 m	5 – 30 dias



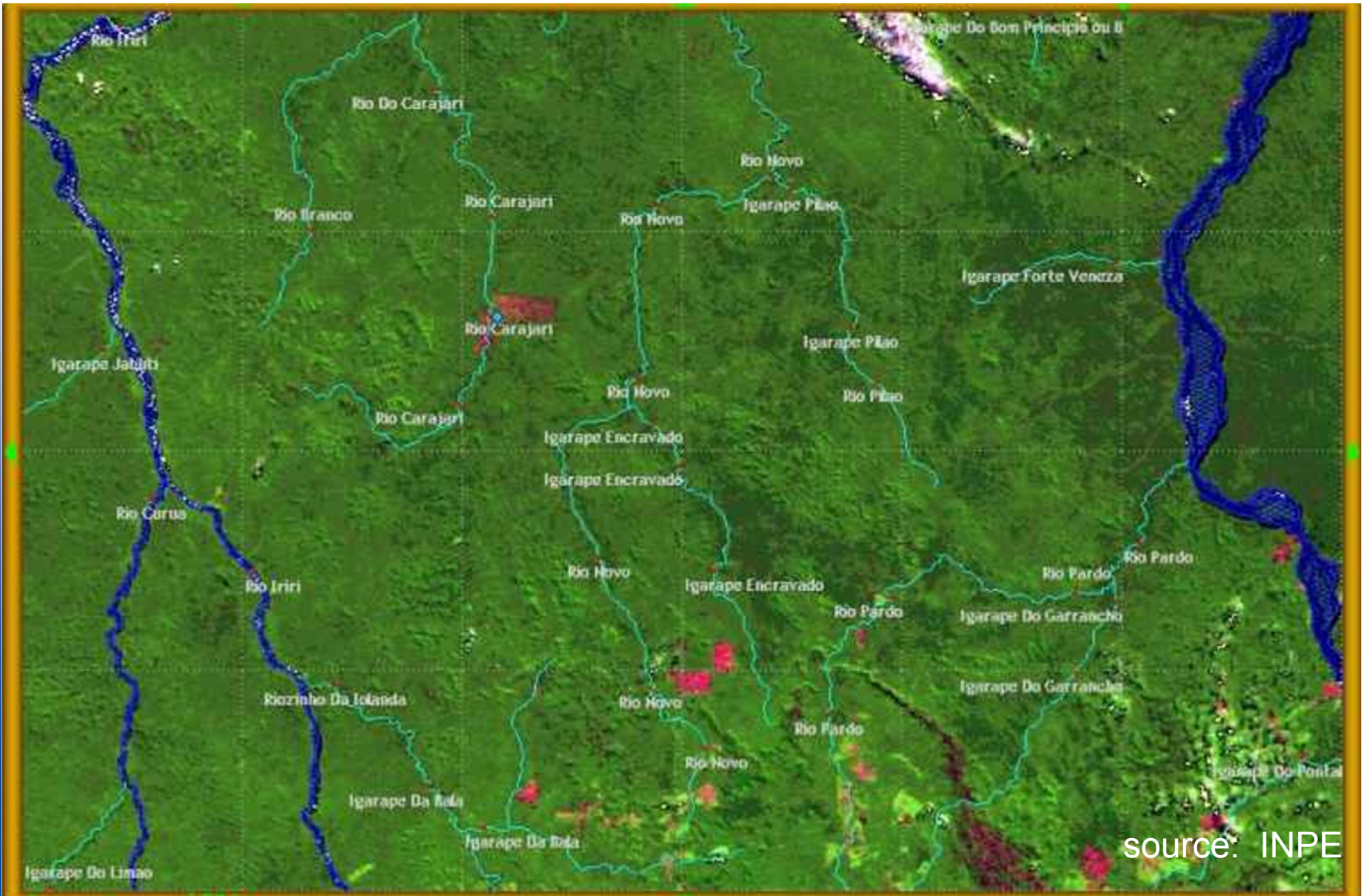
DETER: Modis 07-Maio-2004



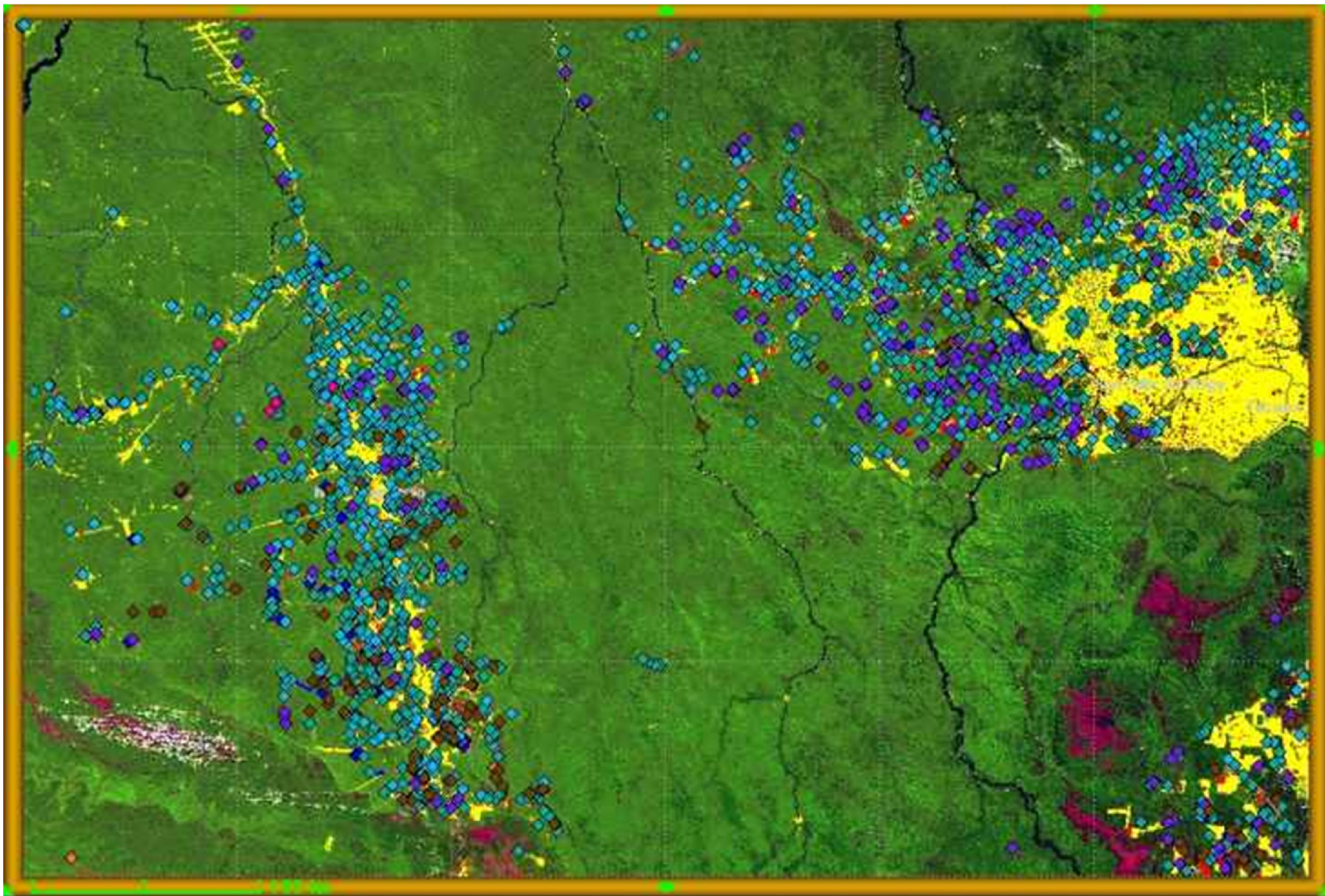
source: INPE



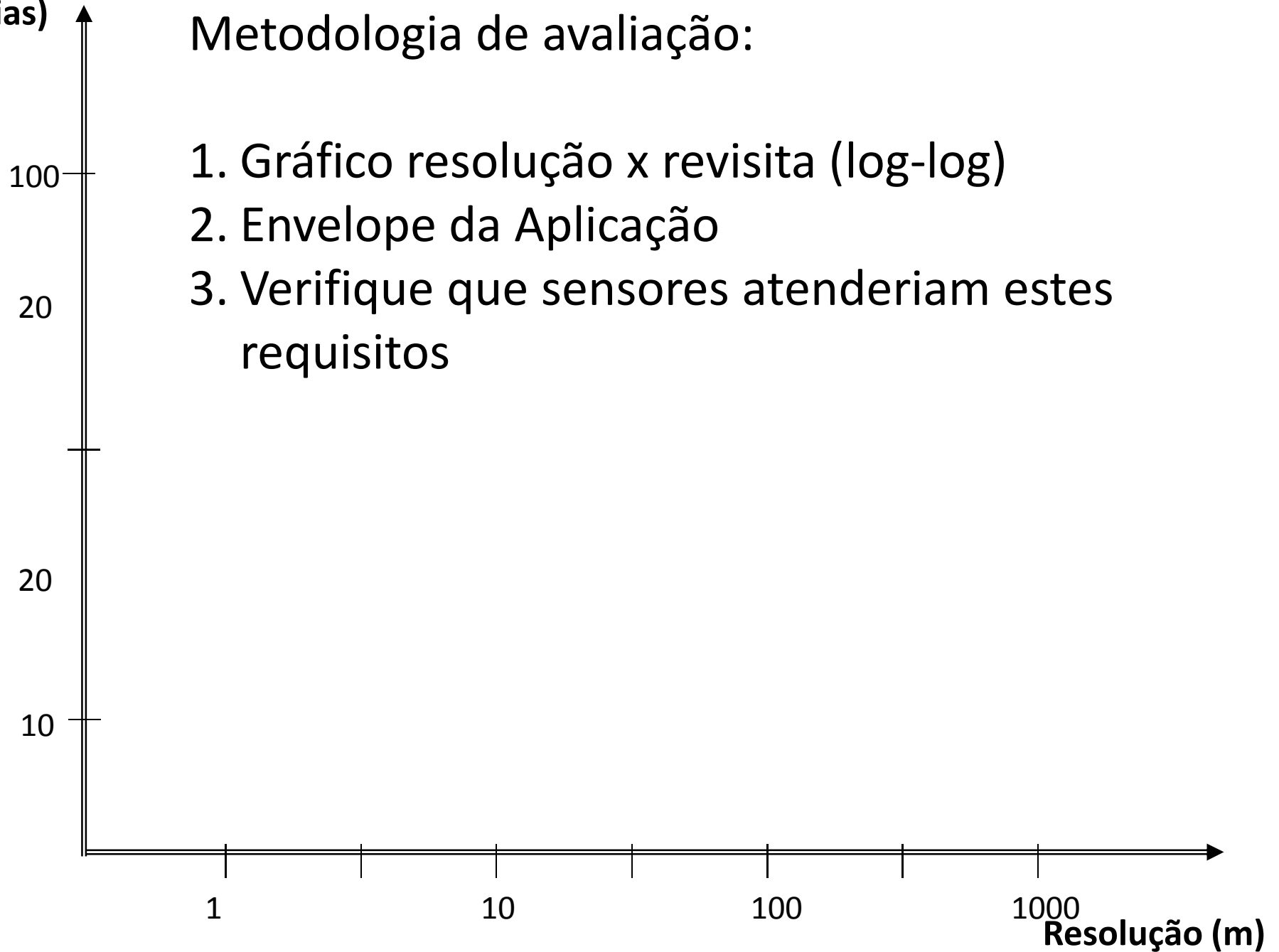
DETER: MODIS 21-Junho-2004



DETER: BR-163 e Terra do Meio



Revisita
(dias)



Metodologia de avaliação:

1. Gráfico resolução x revisita (log-log)
2. Envelope da Aplicação
3. Verifique que sensores atenderiam estes requisitos



Três dimensões operacionais

■ Detecção

- Atividade de revelar a existência de eventos
- Requer informação oportuna e de rápida difusão

■ Mapeamento

- Representar o fenômeno espacial com acurácia de medida de extensão (área)

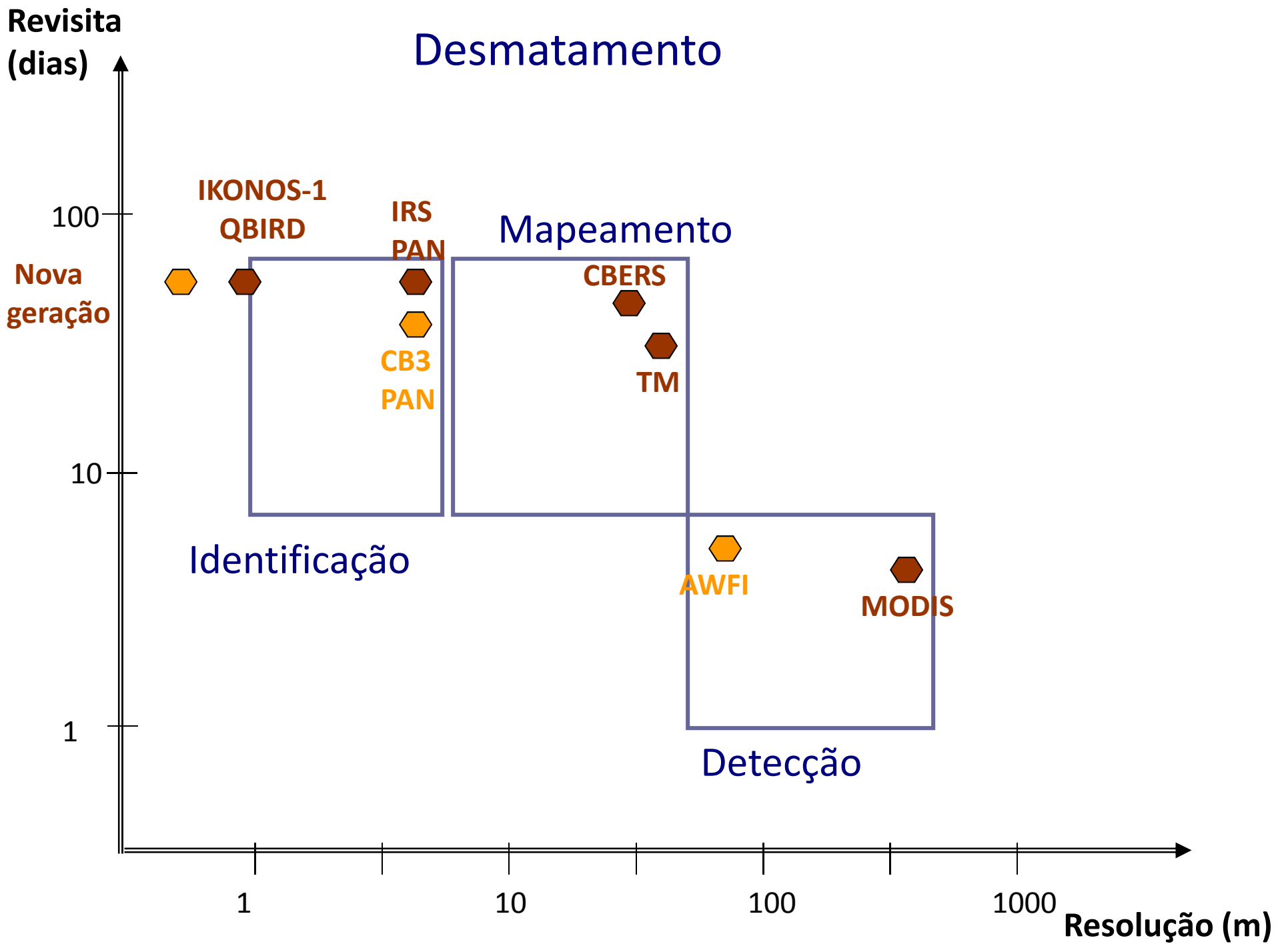
■ Identificação

- Distinguir objetos individuais no terreno que sejam característicos do fenômeno estudado



Requisitos operacionais: Desmatamento

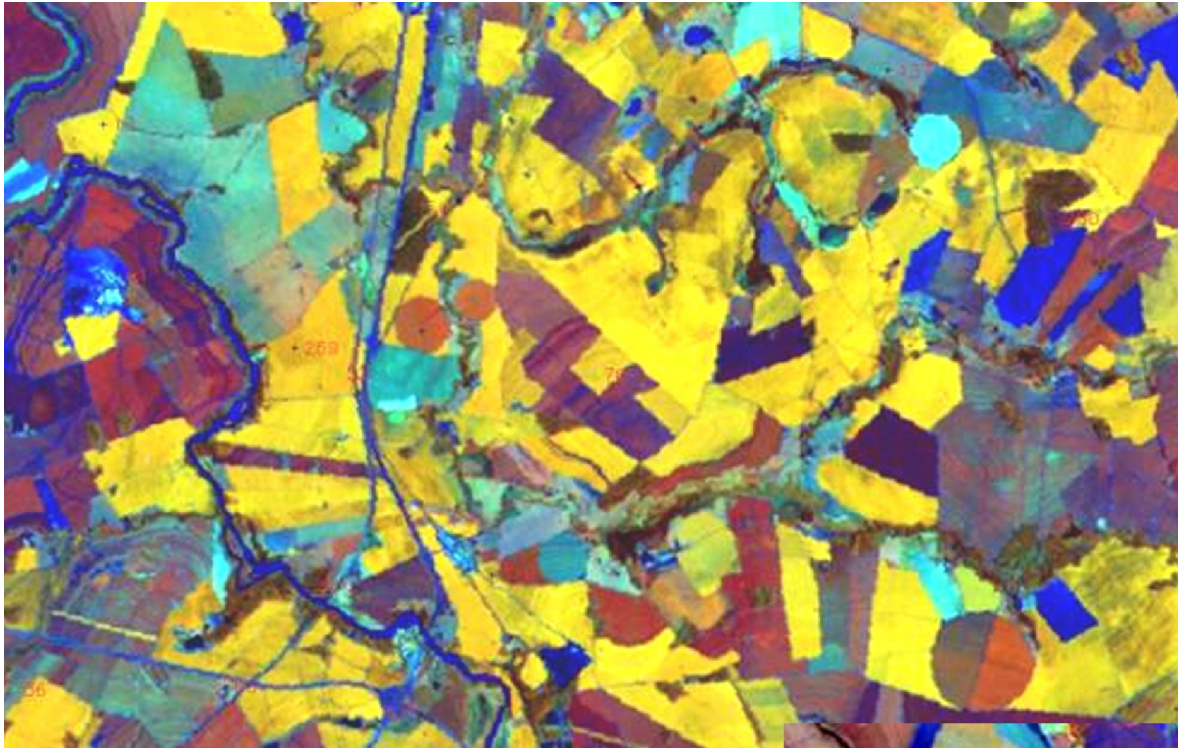
	Resolução	Revisita
Detecção	50 m – 300 m	1 – 5 dias
Mapeamento	5 m – 50 m	5 – 30 dias
Identificação	0.5 – 5 m	5 – 30 dias





Requisitos operacionais: Agricultura

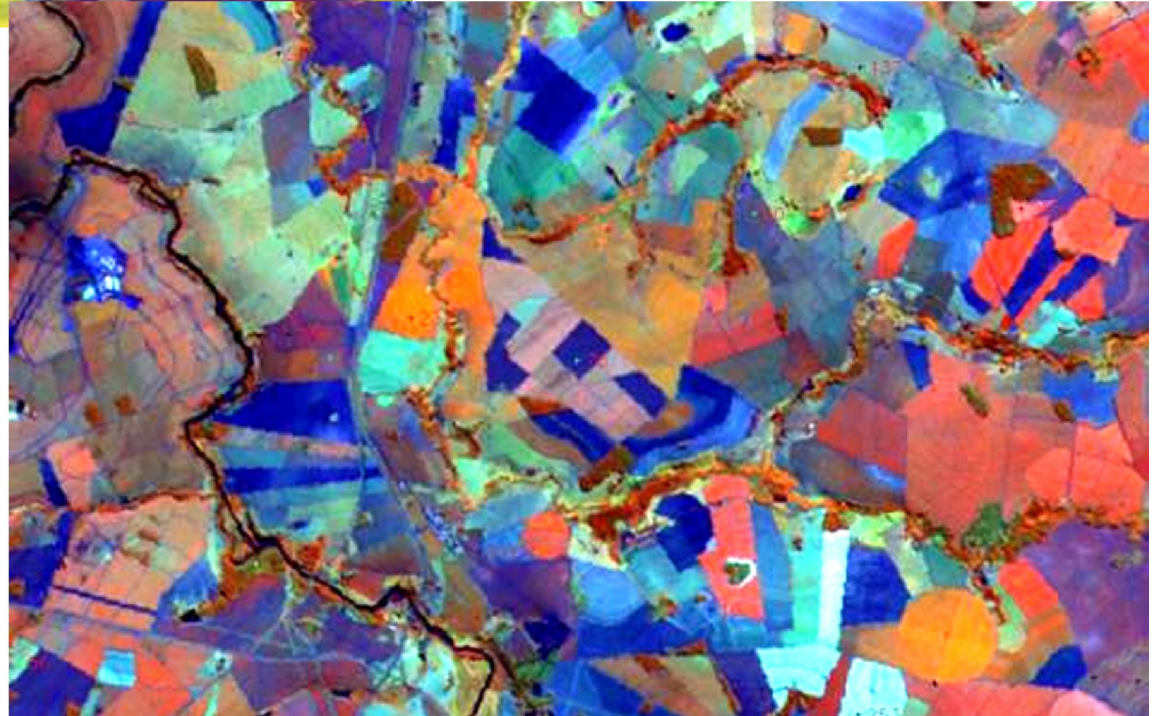
	Resolução	Revisita
Detecção	40 m – 100 m	1 – 7 dias
Mapeamento	5 m – 40 m	3 – 10 dias
Identificação	0.5 – 5 m	5 – 15 dias

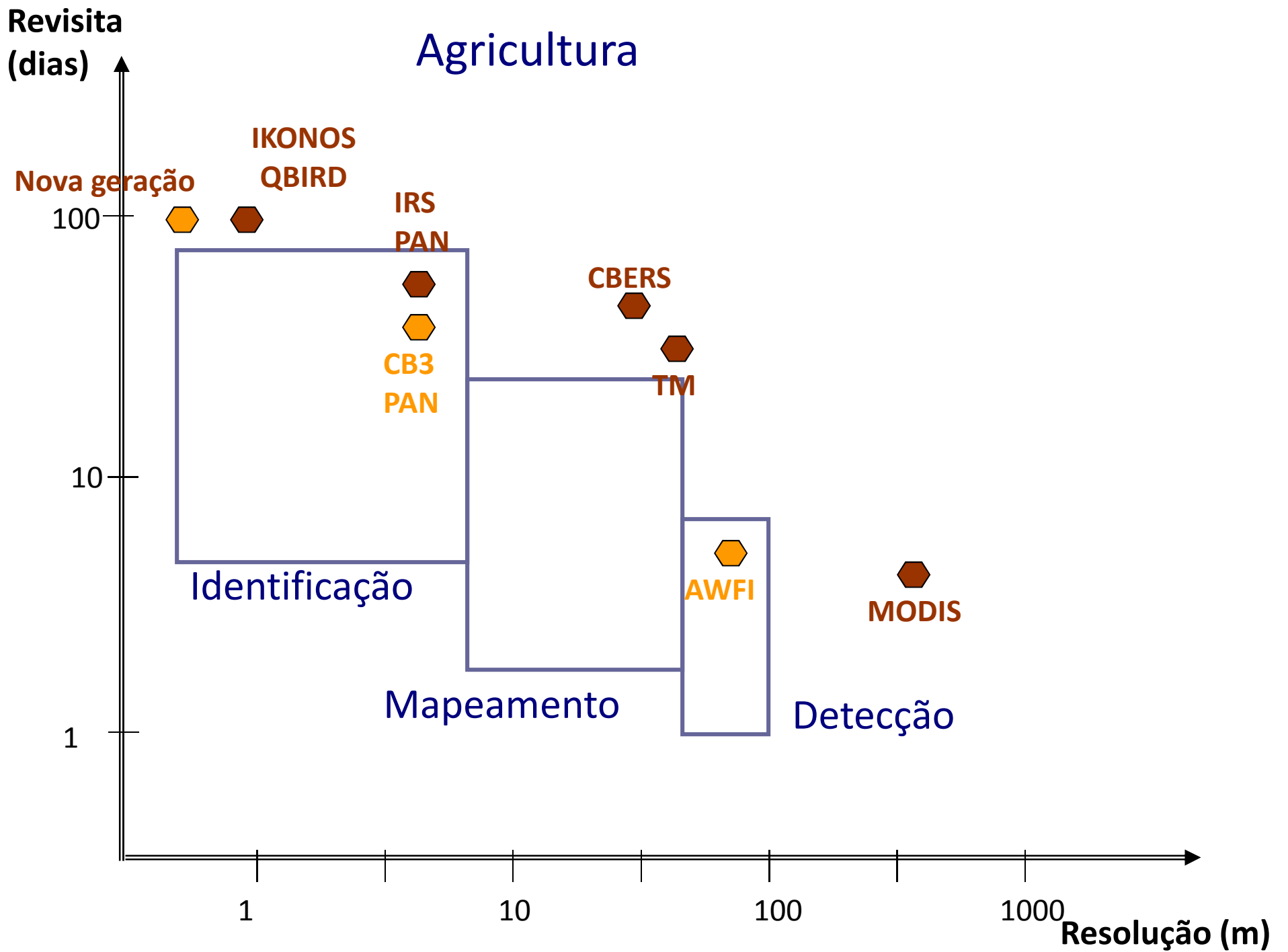


Múltiplas Datas

Guara - Junho

Guara - Janeiro







Como ter aplicações operacionais em Agricultura?

- Mapeamento acurado necessita de revisita rápida
 - 10 m de resolução (3 bandas) com revisita de 5 dias
 - Este tipo de satélite não existe hoje
 - Dificilmente um único satélite atenderá a estes requisitos

- Agricultura necessita de uma constelação de satélites operando de forma cooperativa



Requisitos operacionais: Áreas Urbanas

	Resolução	Revisita
Detecção	2.5 – 5 m	semestral
Mapeamento	0.5 m – 2.5 m	Bi-anual
Identificação	0.1 – 0.5 m	Bi-anual

Revisita
(dias)

Nova geração

100

IKONOS

QBIRD

IRS

PAN

CB3

PAN

CBERS

TM

Áreas Urbanas

Ident. Mapeam. Detecção

10

1

1

10

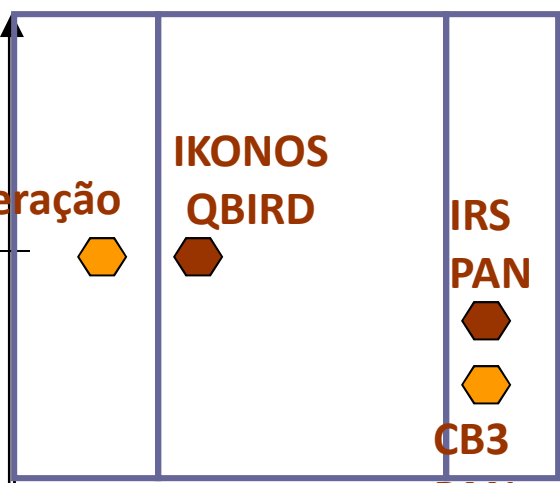
100

1000

Resolução (m)

AWFI

MODIS



































































































































































































































































































Mapeamento Áreas Urbanas (IKONOS)



Identificação Urbana: Foto Aérea (0.25 cm)





Imagens de Satélite em Áreas Urbanas

- Forte competição satélite – aerolevanteamento
- Empresas de aerolevanteamento - vantagens
 - Custos menores que imagens de satélite
 - Melhor resolução (15 – 30 cm)
 - Cliente tem propriedade dos dados
 - Serviço inclui criação BD integrado
- Mercado interno EUA
 - Empresas de aerolevanteamento tem mantido fatia de mercado



Requisitos operacionais: Inteligência militar

	Resolução	Revisita
Detecção	2.5 – 5 m	mensal
Mapeamento	0.5 m – 2.5 m	mensal
Identificação	0.1 – 0.5 m	mensal

Inteligência: Reator nuclear (Irã)



fonte: Space Imaging

Revisita
(dias)

Nova geração

Inteligência Militar

100

IKONOS

QBIRD

IRS

PAN

CBERS

TM

CB3

PAN

10

Ident. Mapeam. Detecção

AWFI

MODIS

1

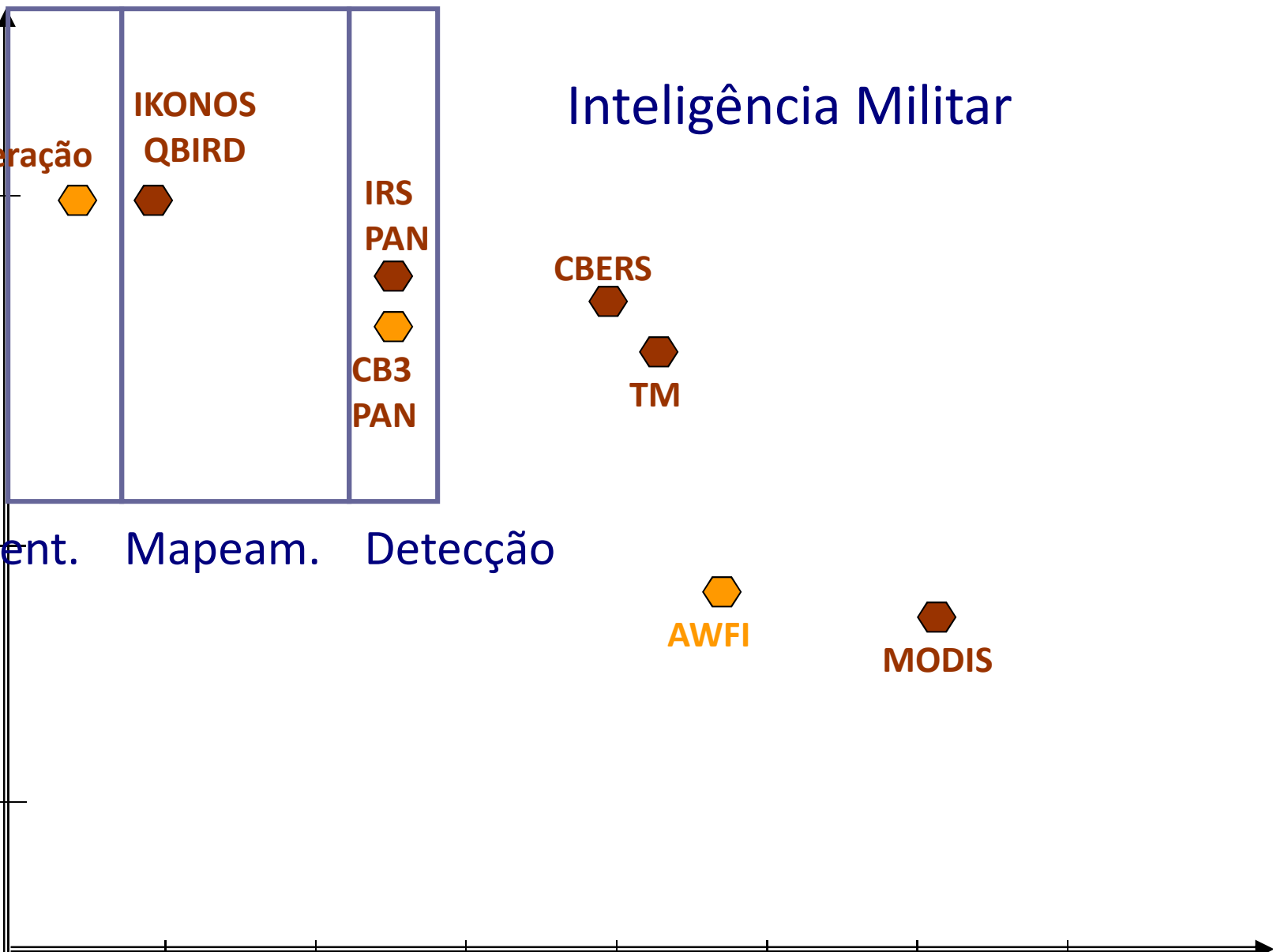
1

10

100

1000

Resolução (m)





Requisitos operacionais: Óleo no Mar

	Resolução	Revisita
Detecção	50 – 100 m	1 – 2 dias
Mapeamento	10 – 50 m	1 – 2 dias
Identificação	2.5 – 10 m	1 - 2 dias

Radarsat: Detecção de Óleo no Mar

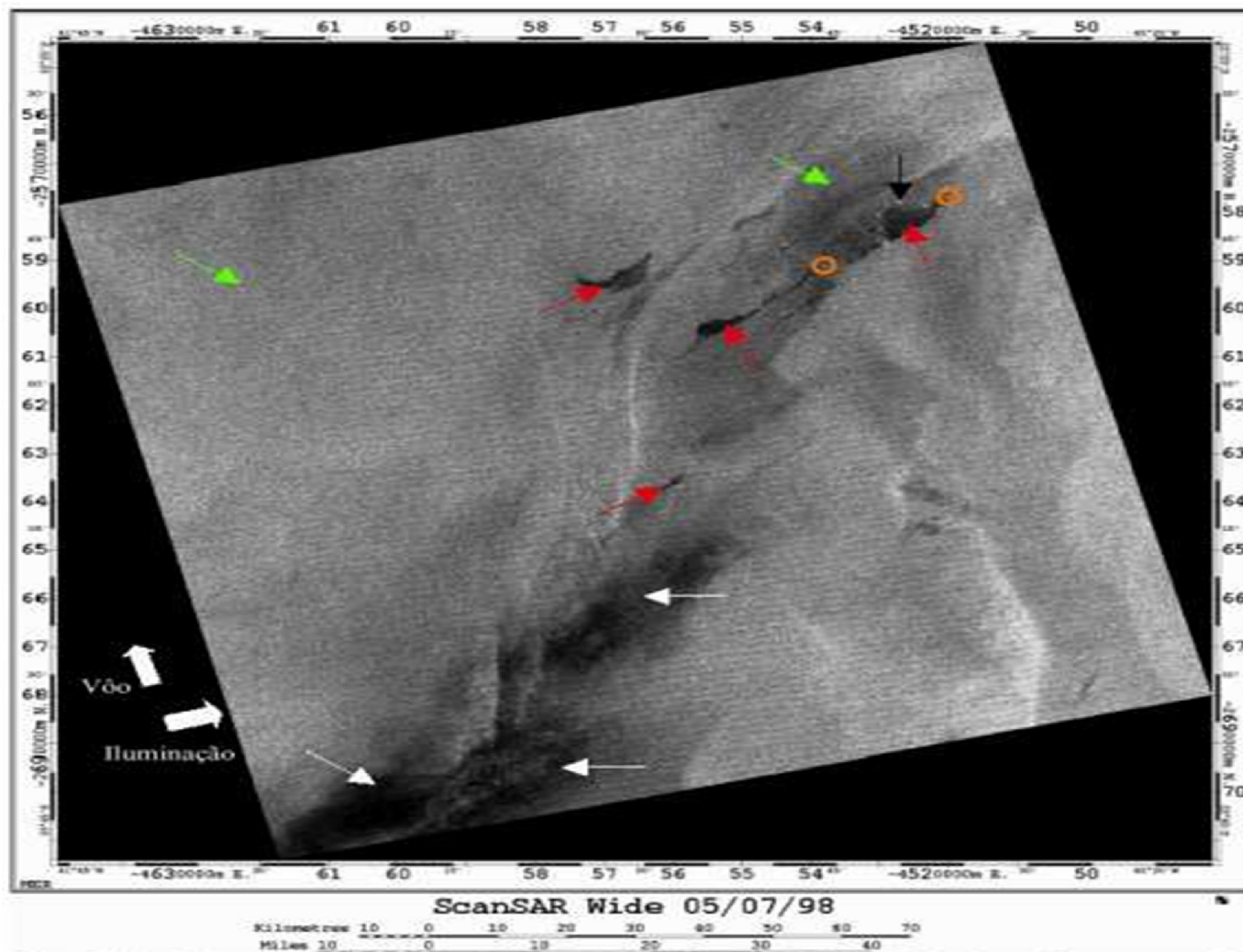
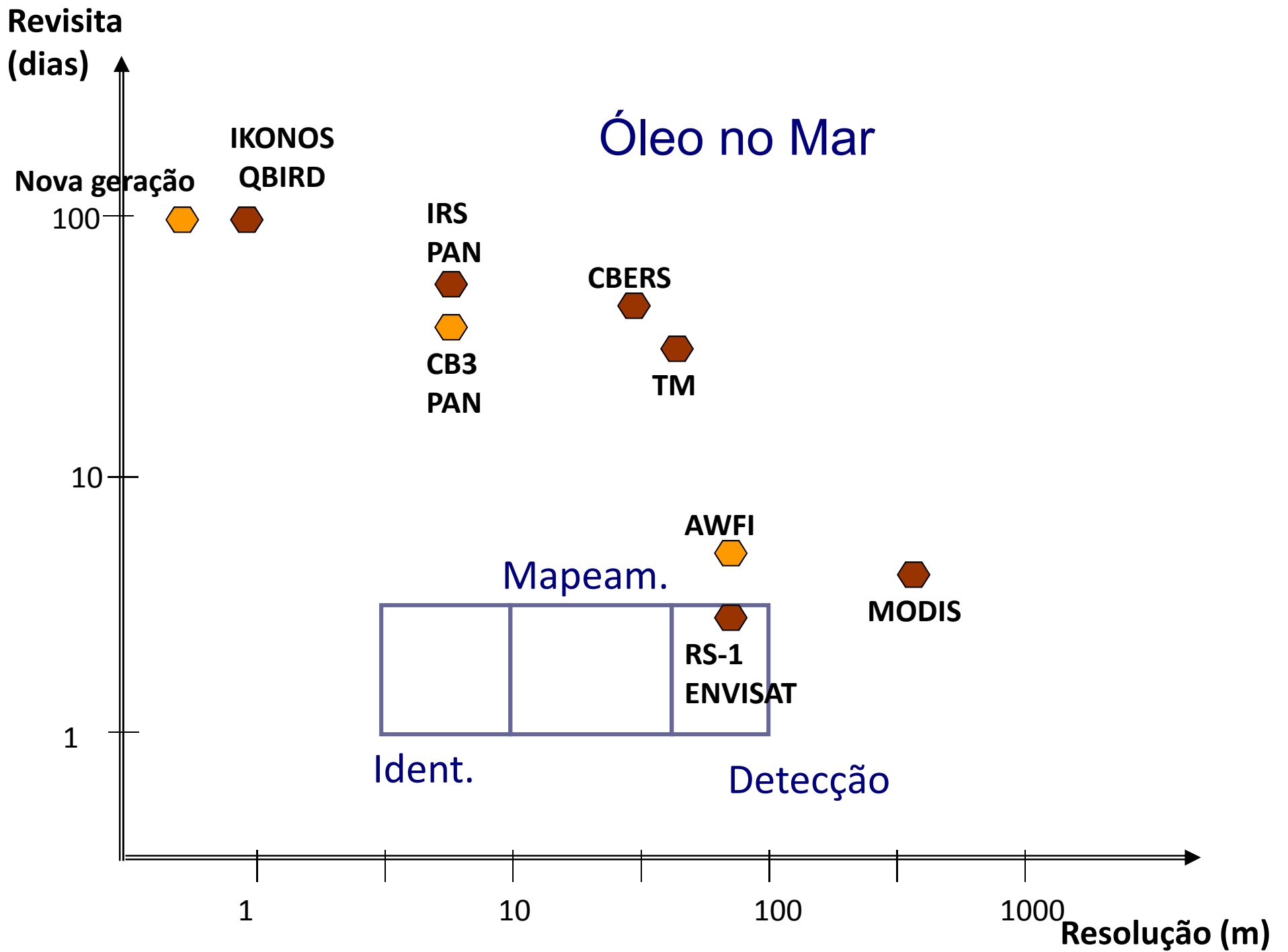


Fig. 5.14 – Recorte da imagem *ScanSAR Wide* de 05/07/98 original, onde as cores das setas estão relacionadas às seguintes classes: vermelho – óleo, verde – água, branco – baixa de vento e preto – embarcação/plataforma. Os pontos circundados em laranja indicam plataformas de extração de petróleo, segundo dados de coordenadas geográficas da Petrobrás.





Requisitos Operacionais

	Deteccção	Mapeamento	Identificação
Desmatam.	✓	✓	(✓)
Agricultura			✓
Urbano	✓	✓	
Militar	✓	✓	
Oleo no Mar	✓		



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Temática 2: Quais são as limitações tecnológicas do projeto de satélites?



Panorama internacional

Diferentes alternativas de satélites

- Alta resolução espacial (IKONOS, QuickBird, EROS)
 - Classe IKONOS
- Média resolução espacial (CBERS, LANDSAT, IRS, SPOT)
 - Classe LANDSAT
- Alta resolução temporal (WFI)
- Alta resolução temporal, alta resolução espectral (MODIS, MERIS)
 - Classe MODIS
- Micro-ondas (RADARSAT, ENVISAT, ALOS/PALSAR)
 - Classe RADARSAT
 - Classe MAPSAR (LightSAR)



Programas Internacionais de Sensoriamento Remoto – Optico (Alta Resolução Temporal)

		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
MODIS	2001	[Barra]								
MERIS	2002	[Barra]								
WFI	2003	[Barra]								
WFI-IRS	2002	[Barra]								
AWFI	2008						[Barra]			



Programas internacionais – SR óptico (Média resolução, cobertura global)

		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
LANDSAT5	1984	[Barra]								
LANDSAT8	2011?								[Barra]	
SPOT4	1998	[Barra]								
SPOT5	2002	[Barra]								
CBERS-2	2003		[Barra]							
CBERS-2B	2006				[Barra]					
CBERS-3	2008						[Barra]			
IRS-P6	2003		[Barra]							



SR óptico (alta resolução)

		2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
IKONOS	1 m	[Light blue bar from 2004 to 2007]							
QUICKBIRD	0.6 m	[Light blue bar from 2004 to 2007]							
ORBVIEW-3	1 m	[Light blue bar from 2004 to 2007]							
EROS A	1.9	[Light blue bar from 2004 to 2007]							
SPOT5	2.5 m	[Light blue bar from 2004 to 2008]							
IRS-P6	5.8 m	[Light blue bar from 2004 to 2007]							
IRS-P5	2.5 m		[Light blue bar from 2005 to 2009]						
IRS-P6 B	5.8 m			[Light blue bar from 2007 to 2010]					
EROS B	0.7 m		[Light blue bar from 2005 to 2009]						
WorldView (Digital Globe)	0.5 m			[Light blue bar from 2006 to 2009]					
PLEIADES1	0.7 m			[Light blue bar from 2006 to 2009]					
ORBVIEW-5	0.4 m			[Light blue bar from 2006 to 2009]					
CBERS-3 PM	5 m					[Light blue bar from 2008 to 2011]			



Programas Internacionais de Sensoriamento Remoto - SAR

		2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	
ENVISAT ASAR	C-HH	[Barra]										
ENVISAT-2	C-dual						[Barra]					
TERRASAR	X-dual interf					[Barra]						
RADARSAT-2	C-quad interf				[Barra]							
PALSAR	L-quad				[Barra]							
MAPSAR	L-quad							[Barra]				



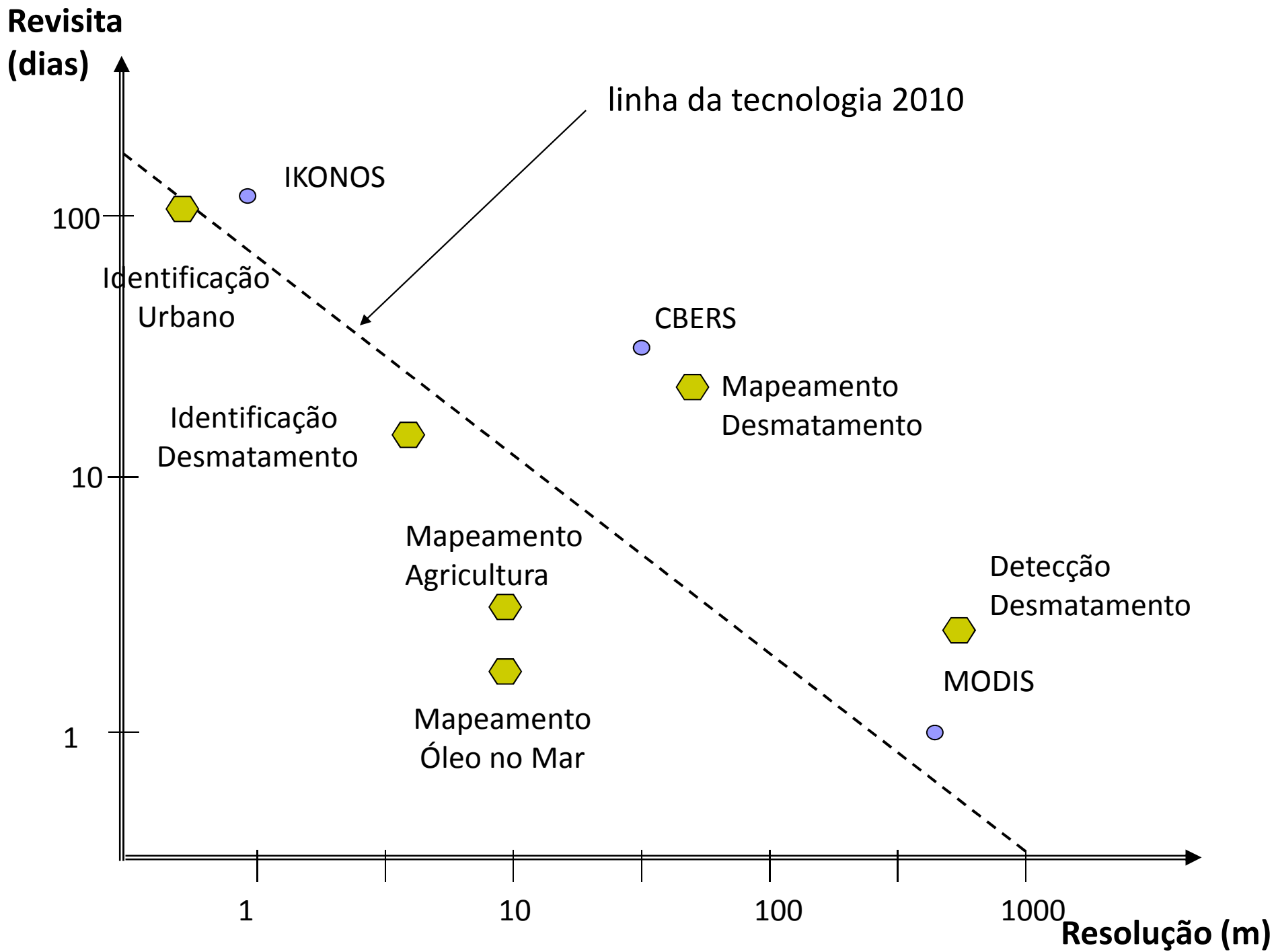
Limitações tecnológicas: Taxa de transmissão

■ Hoje

- IKONOS-2 – 0.5 m x 14 km swath = 600 Mb/s (com compressão)
- CBERS-2 – 20 m x 120 km swath (3b) – 150 Mb/s

■ Quais os limites da tecnologia atual?

- Hipóteses = limite de 1. Gb/sec, melhoria de 50% na compressão
- Como ficaria um sensor de campo largo (960 km) com média resolução (20 m) e 3 bandas?
 - 20 m x 960 km swath (3b) x 2/3 = 800 Mb/s





Conjecturas preliminares

■ Necessidades operacionais

- Desmatamento – pelo menos 2 satélites
- Agricultura – pelo menos 3 satélites
- Óleo no Mar – pelo menos 2 satélites

■ Consequências

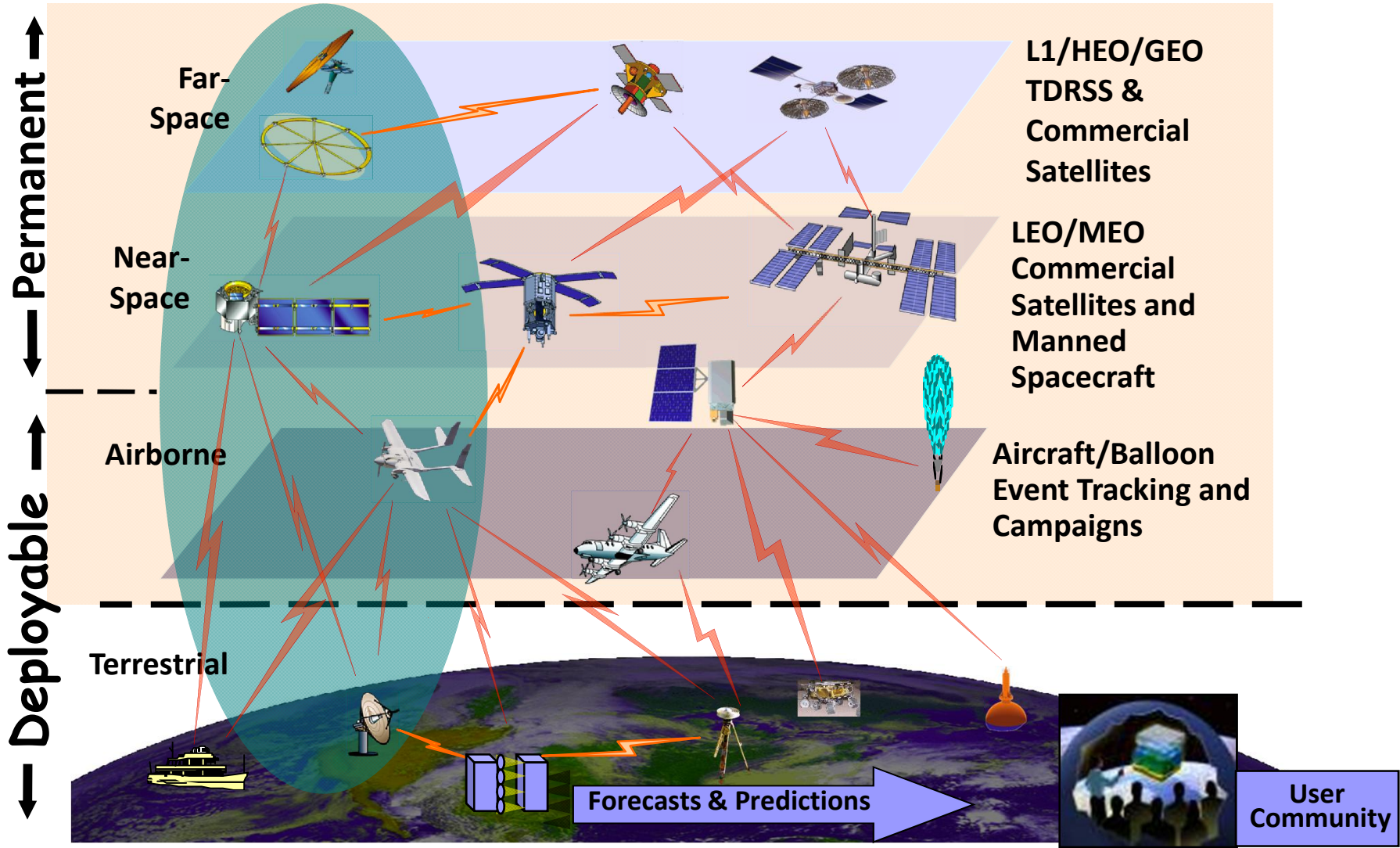
- SR operacional requer combinação de diferentes satélites e sensores



Coordinating Earth Observing Systems

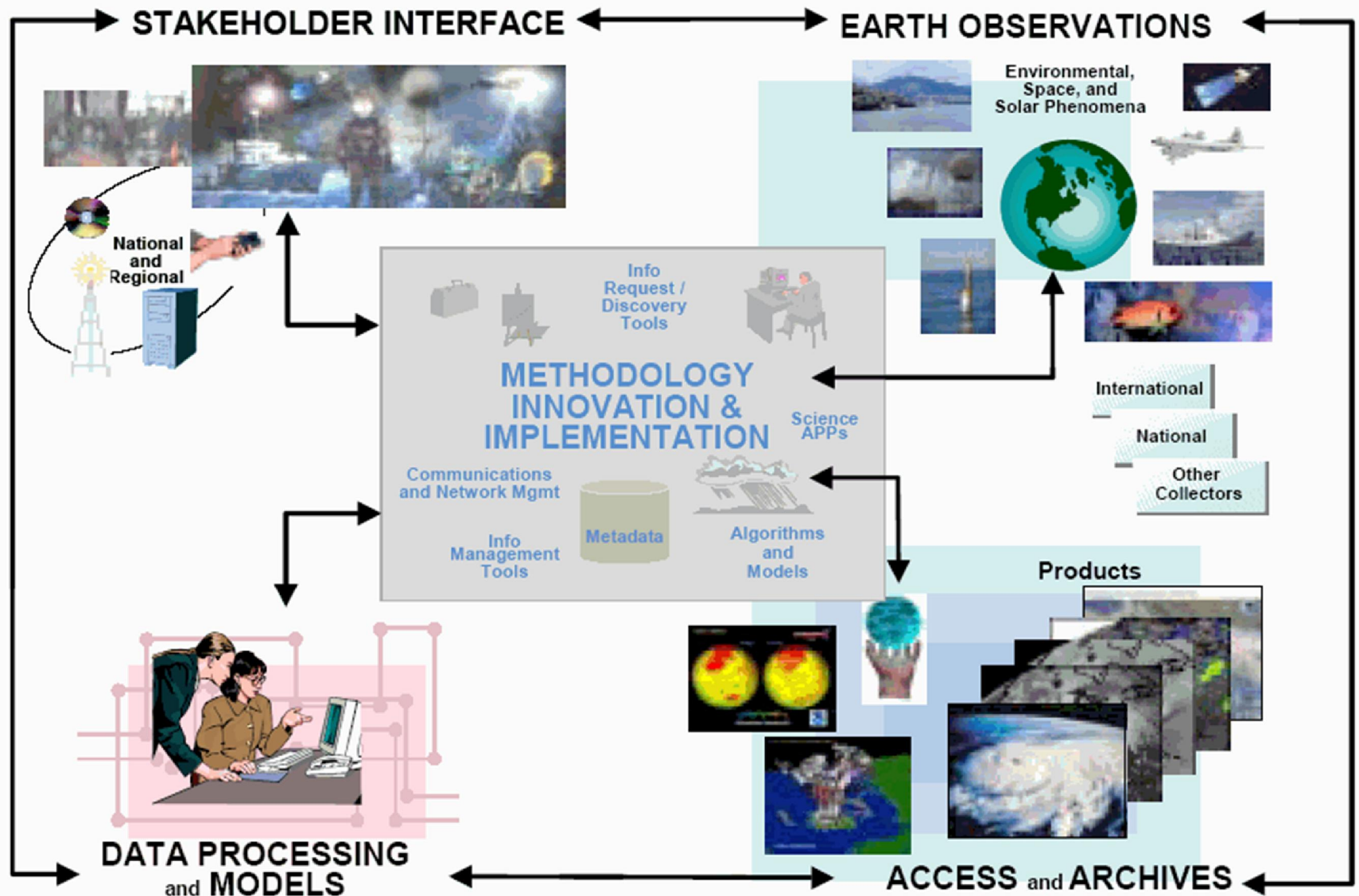
Vantage Points

Capabilities





Group on Earth Observation System of Systems





MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Temática 3: Como irá evoluir a relação público-privada?



Porque Sensoriamento Remoto?

- Quando precisamos de informação consistente para todo o planeta.
- Quando precisamos monitorar uma grande área de forma sistemática, confiável e independente.
- Quando precisamos coletar informação em locais de acesso difícil ou restrito.
- Quando há uma necessidade de obter informação rapidamente sobre eventos cuja localização e ocorrência são imprevisíveis.
- Sensoriamento Remoto serve ao “bem público”



Setor Público e Geoinformação

- Produção de Informação Básica
 - Cartografia sistemática
- Programas Espaciais
 - LANDSAT, SPOT, CBERS
- Financiamento à Pesquisa Básica e Aplicada
 - Pós-graduação, tecnologias software livre
- Contratação de produtos e serviços
 - Demanda 70% dos serviços de empresas privadas
- Regulação do setor privado
 - “US National Remote Sensing Policy”
 - Legislação brasileira (PL 3587)

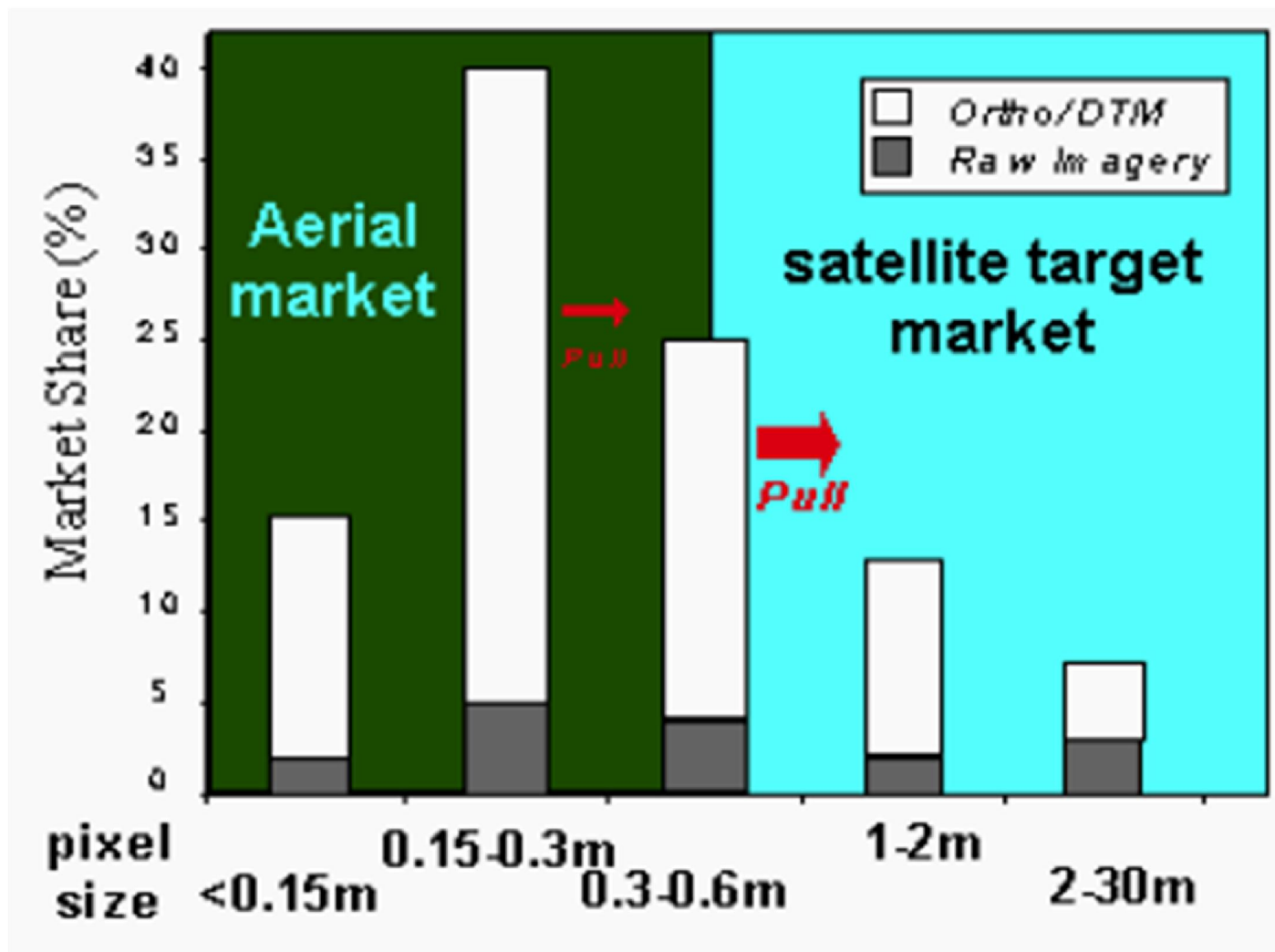


Setor Privado e Geoinformação

Segmento de Mercado	Receitas (US\$ milhões)
Imagens	990
Software GIS	1.430
Dados GIS	1.380
Serviços	1.580
Total	5.380

Fonte: Frost e Sullivan (2003)

Mercado Comercial de Imagens



Fonte: Boz Allen (1999)



Relação Público-Privada em Sensoriamento Remoto

- Satélites de Sensoriamento Remoto (> 2m de resolução)
 - Setor público é financiador e comprador de dados
 - Ex.: SPOT

- Satélite de Alta Resolução
 - Setor público é pelo menos o principal comprador (80%)
 - Ex: contratos NGA com Digital Globe e OrbImage (US\$ 500 M)



Territórios Digitais e Geodados Públicos

■ Exemplos

- Censo IBGE
- Bases cadastrais municipais
- Aerolevanteamento
- Imagens de satélite

■ Desafio

- Sem geodados públicos, não existirão territórios digitais



Geodados Públicos: Questões Chave

- Se os dados públicos valem tanto, qual o preço justo a cobrar?
- Quais os direitos de autor associados aos geodados públicos?
- Como as informações derivadas geradas pelo setor privado afetam os direitos de autor?
- Que direitos devem ter os cidadãos e os consumidores sobre os geodados?



Impacto Econômico de Políticas Públicas

	Europa	EUA
Investimento em geração de informação pelo setor público	EU 9.5 bi/ano	USD 19 bi/ano
Valor econômico dos serviços associados	EU 68 bi/ano	USD 750 bi/ano

Fonte: “*Commercial Exploitation of Europe’s Public Sector Information*”
PIRA International, 2001 (sob contrato da União Europeia)



Política Nacional de Infraestrutura de Dados Geográficos

- Estender os direitos do consumidor à área de geoinformação
- Dados geográficos como “bem público”
- Custo dos geodados públicos associado apenas aos custos de reprodução
- Garantir ao cidadão o livre acesso aos geodados que lhe dizem respeito
- Incentivar a geração de valor agregado



Política de Distribuição do INPE

- **Imagens CBERS e Dados Históricos LANDSAT**
 - Disponíveis sem custo na Internet
 - 53.000 imagens distribuídas em 2004

- **Dados sobre a Amazônia**
 - Disponíveis na Internet

- **Tecnologia de geoinformação**
 - Software livre



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Temática 4: Qual a pergunta fundamental do SR nos próximos 20 anos?

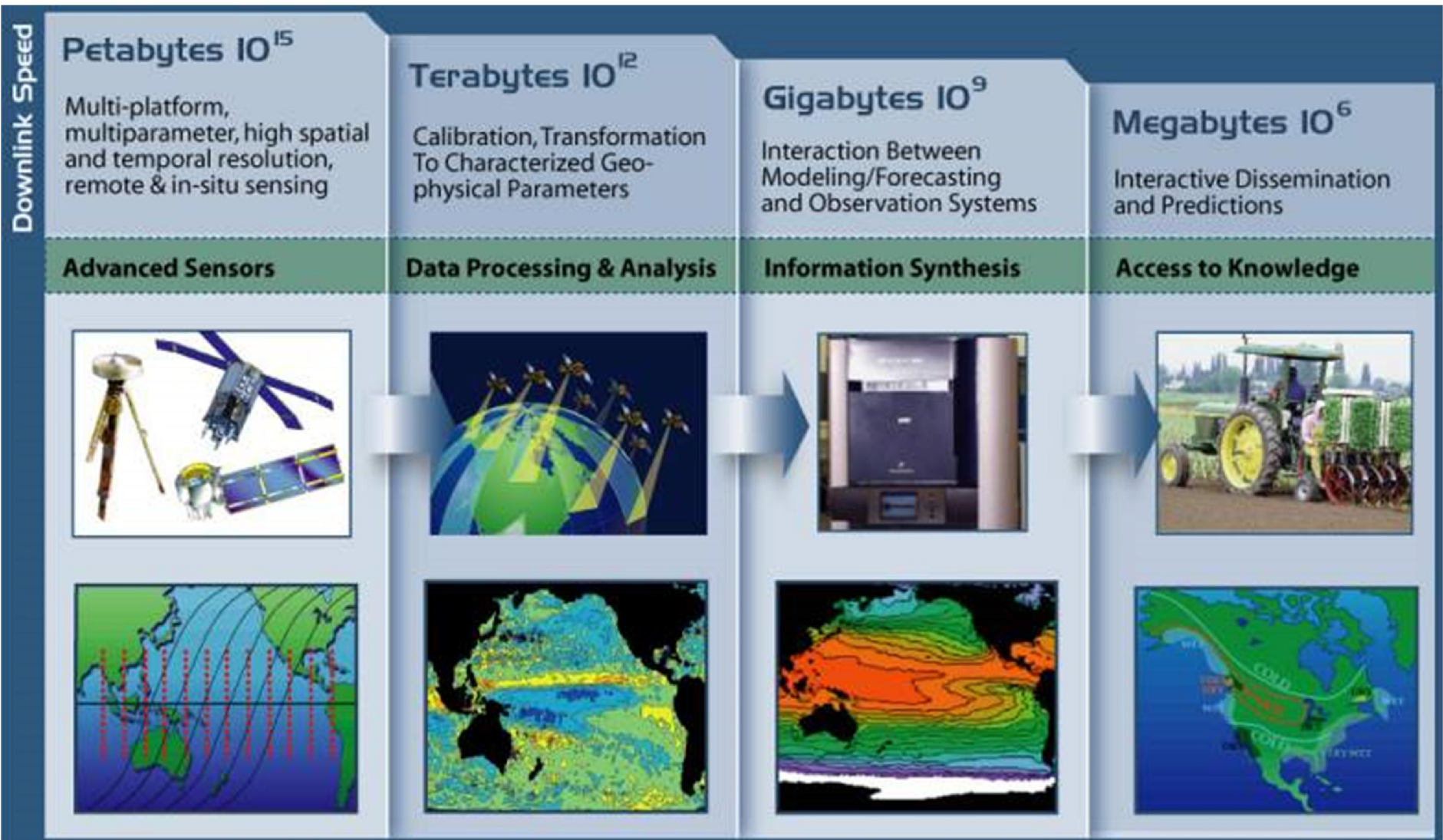


Qual a pergunta fundamental do SR?

- Conjectura: A questão fundamental é determinar o papel do SR na gestão de informação ambiental e urbana
- Precisamos de gestores de informação com conhecimentos fundamentados em SR

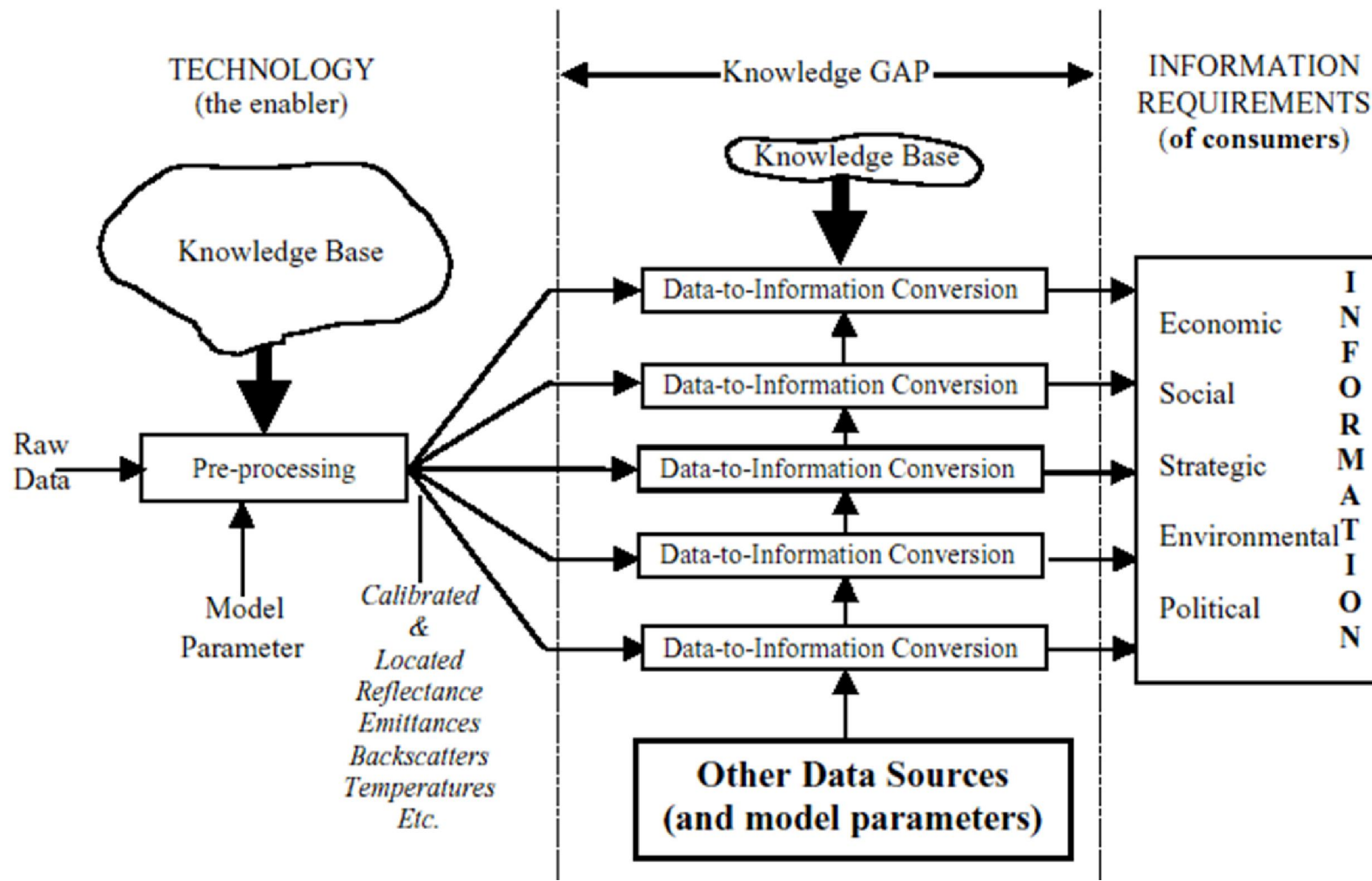


Turning Observations into Knowledge Products





Fosso de Conhecimento em Observação da Terra

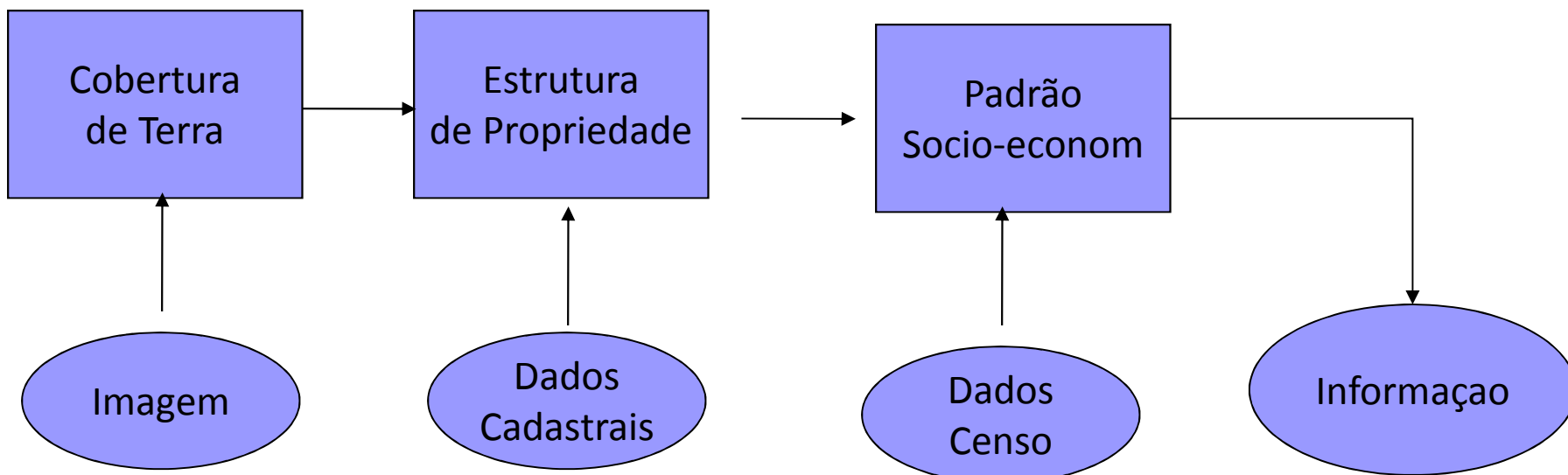


source: John McDonald (MDA)



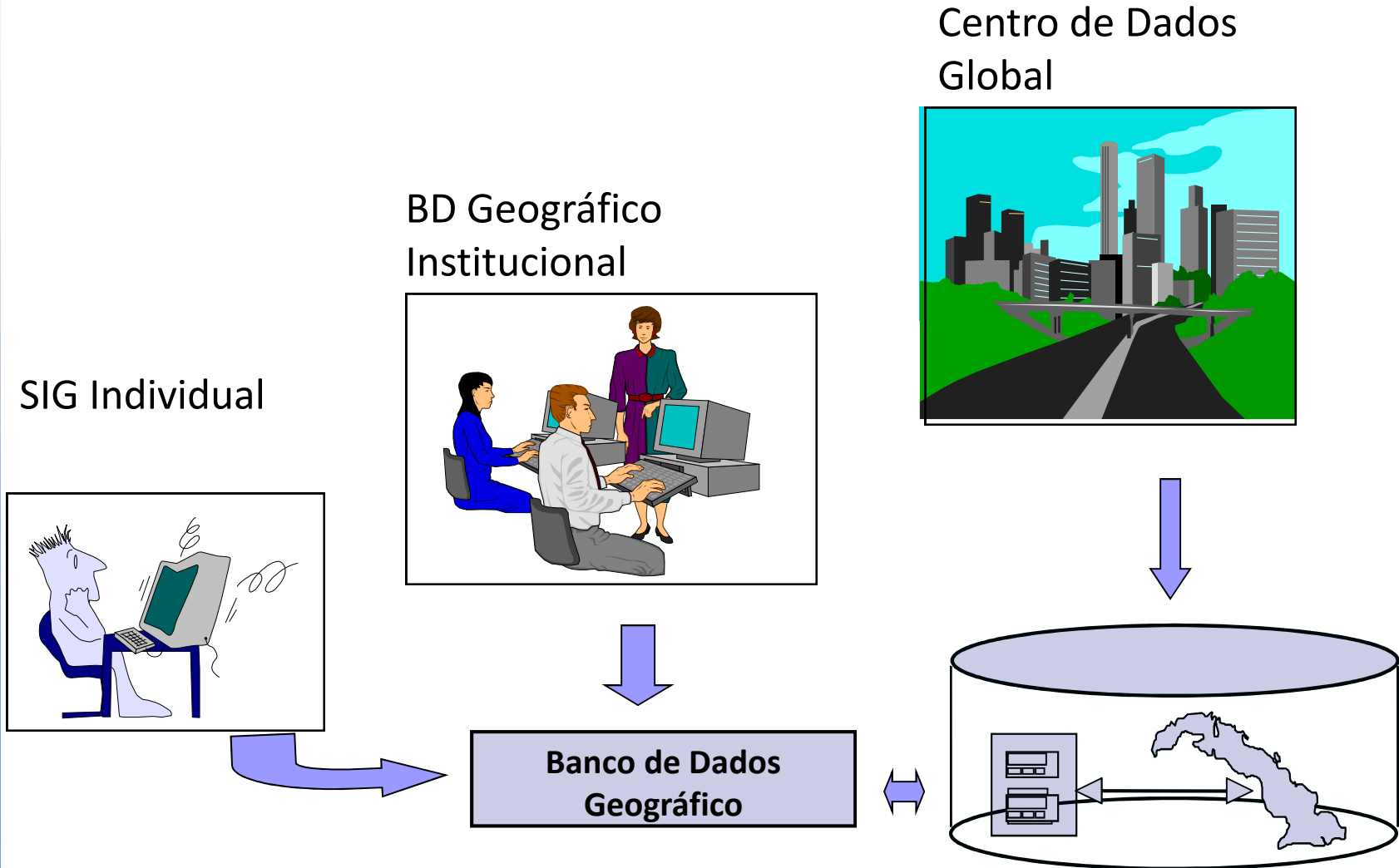
Melhorando os benefícios da Observação da Terra

- Identificar a “cadeia” de informação
- Exemplo: processo de desmatamento





Todos Precisamos de Gerenciamento de Dados



“O Brasil não conhece o Brasil”



Planisfério de Cantino (cerca 1510)



“O Brasil não conhece o Brasil”

- Como conhecer o Brasil sem conhecer os territórios brasileiros?
- Como combater a exclusão social, sem saber aonde estão os excluídos?
- Como restringir o desmatamento na Amazônia, sem identificar os fatores que impulsionam o processo?

Hic sunt leones et dragones



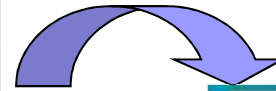
Hic sunt leones et dragones



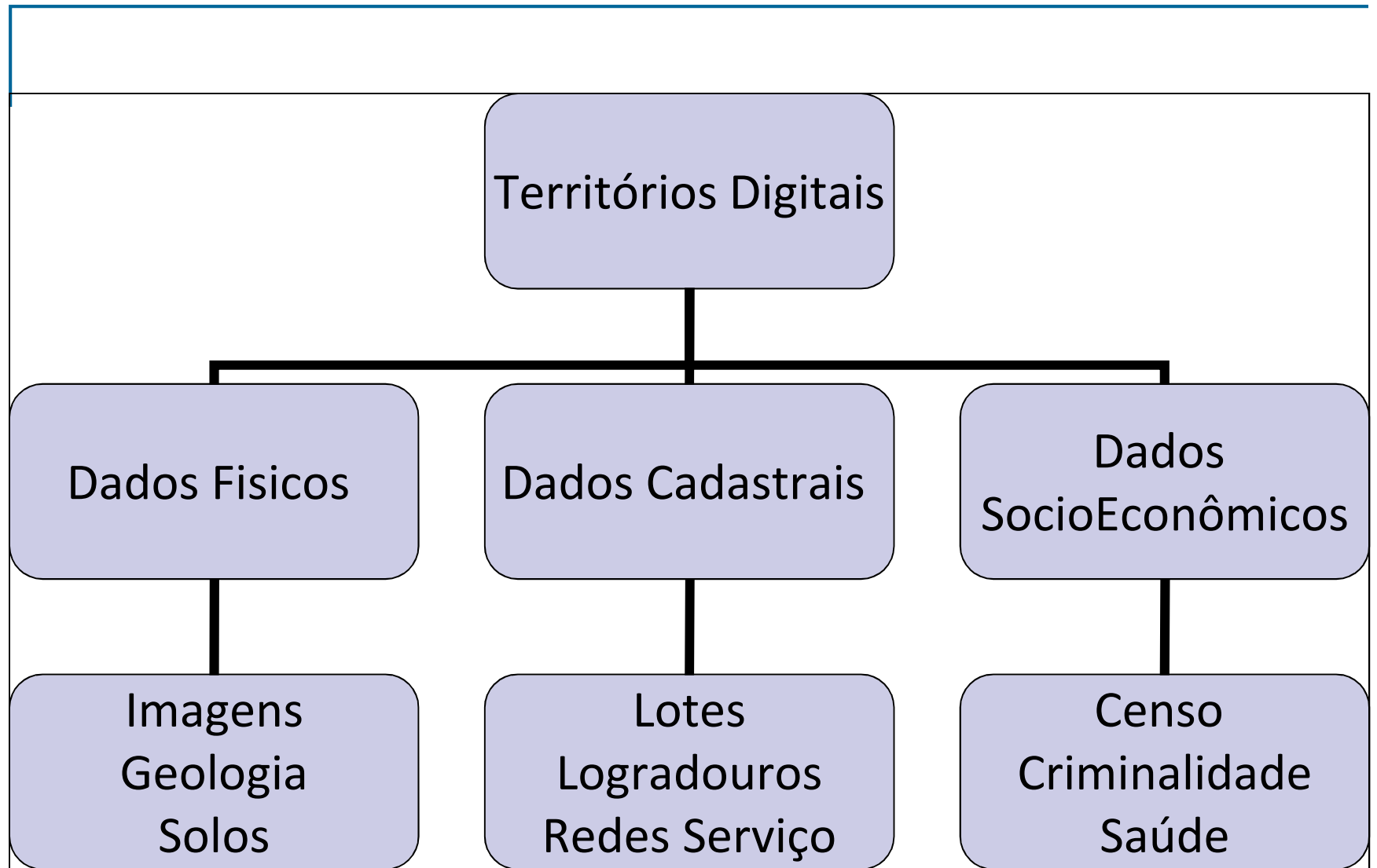
Hic sunt leones et dragones



Territórios Digitais



Representações Computacionais do Espaço Geográfico





Qual o papel do SR na construção dos Territórios Digitais?

- Dados recentes sobre uso e cobertura da terra
- Histórico de mudanças na paisagem
- Capacidade de capturar diferentes comportamentos espectrais de alvos

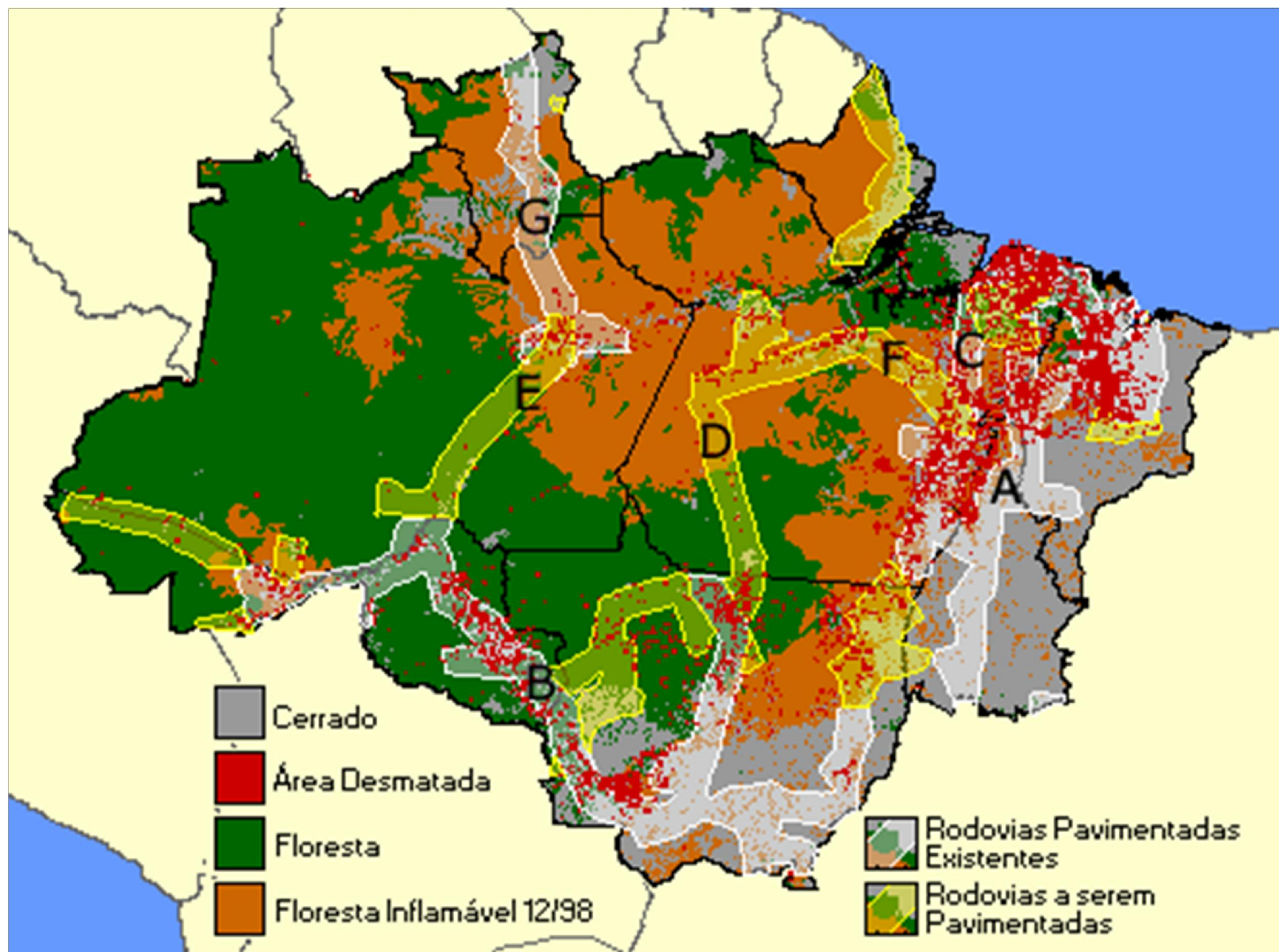


Podemos conhecer o passado....

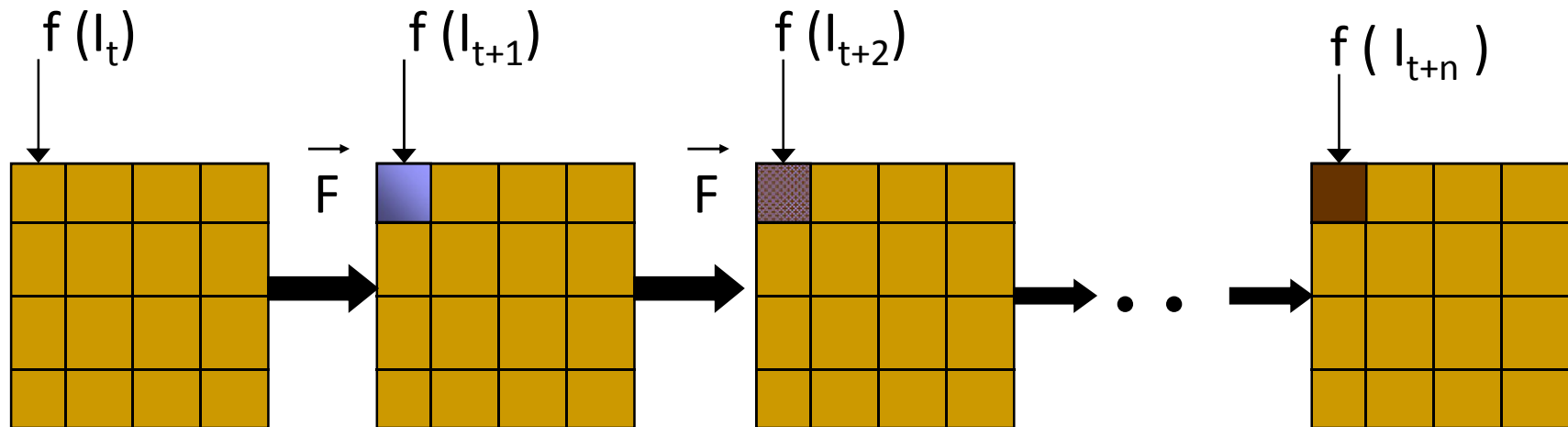
Estimativa do Desmatamento da Amazônia (INPE)



O que nos reserva o futuro?

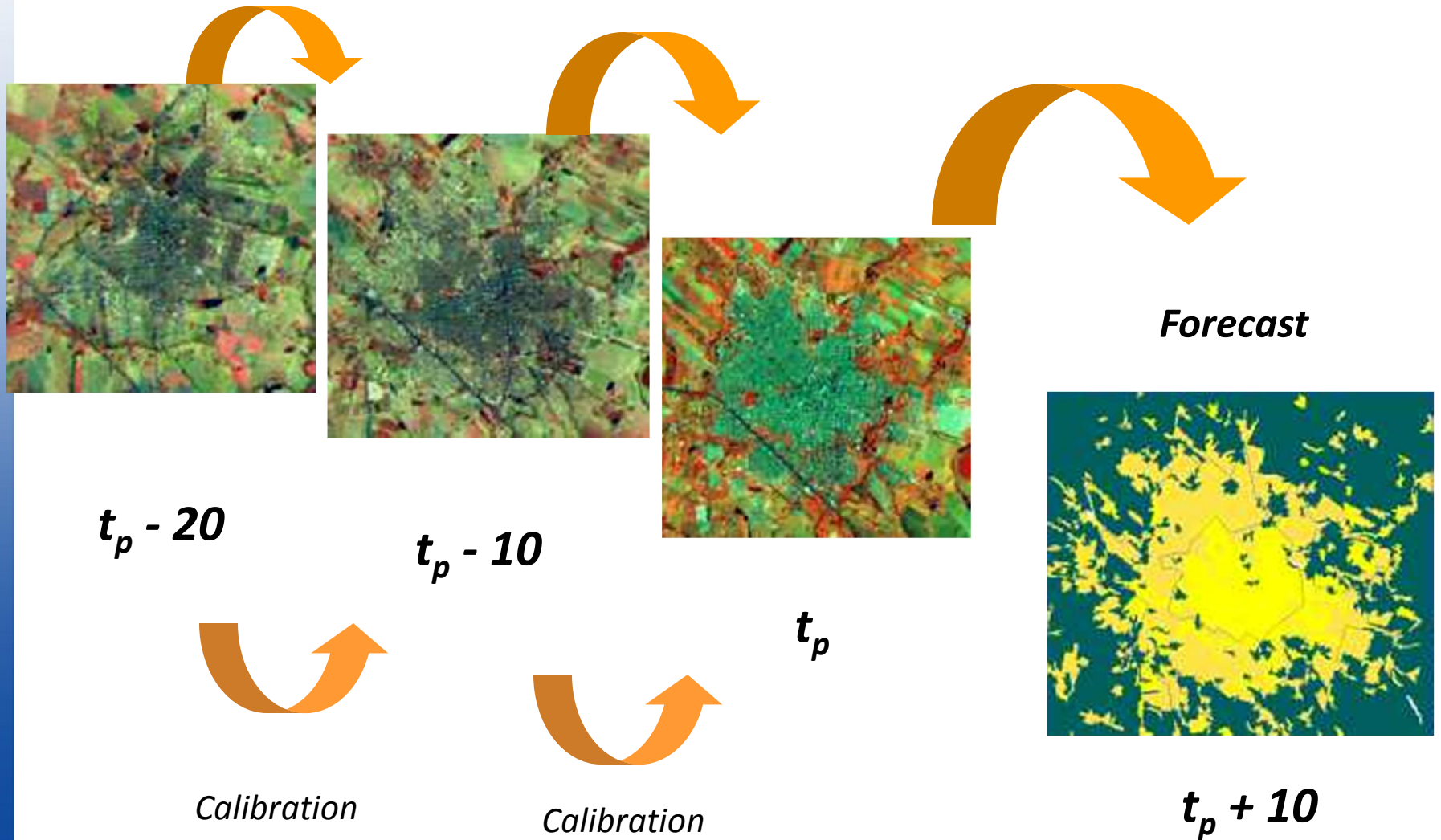


Dynamic Spatial Models



“A dynamical spatial model is a computational representation of a real-world process where a location on the earth’s surface changes in response to variations on external and internal dynamics on the landscape” (Peter Burrough)

Dynamic Spatial Models



Source: Cláudia Almeida



SR na gestão de informação

- Maioria das aplicações de SR
 - Paradigma do polaróide
- Analogia culinária
 - Tome 1 imagem (“crua”)
 - “Cozinhe” a imagem (correção + interpretação)
 - Adicione “sal” e “pimenta” (i.e., dados auxiliares)
 - Sirva bem quente (num prato “GIS”)

- Mas temos milhares de imagens!



SR na gestão de informação

■ Questões científicas

- Quantas aplicações existem que utilizam informação disponível em bancos de dados de imagens?

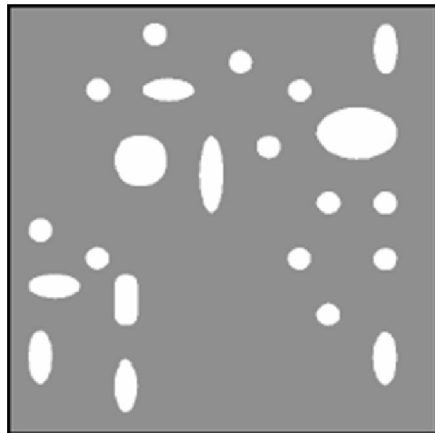
- Quanto de P&D está sendo investido em mineração de dados em grandes repositórios de dados espaciais?

Tipologia de Padrões Espaciais para Processos de Desflorestamento - Lambin



■ CORREDOR

- Colonização ao longo de rodovias e rios
- Extensão de infra-estrutura



■ DIFUSO

- Agricultura de subsistência
- Corte e queimada
- Dinâmica populacional

Tipologia de Padrões Espaciais para Processos de Desflorestamento - Lambin



- ESPINHA DE PEIXE
 - Assentamento planejado
 - Extração de madeira



- GEOMÉTRICO
 - Grandes clareiras para atividades de setores modernos (larga-escala: agricultura mecanizada, pasto/gado, reflorestamento industrial)



Imagem de Rondônia

LANDSAT TM – 231/67 – 2003

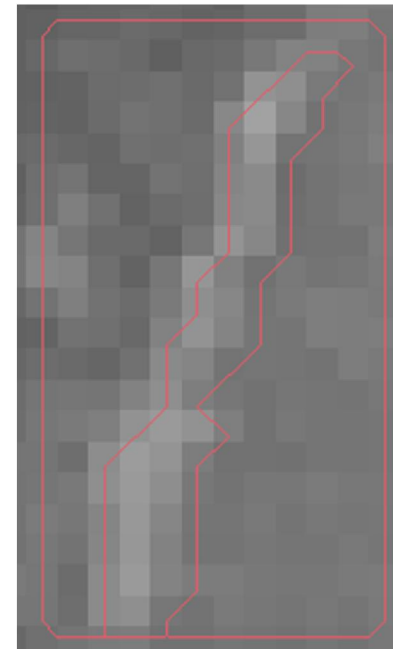
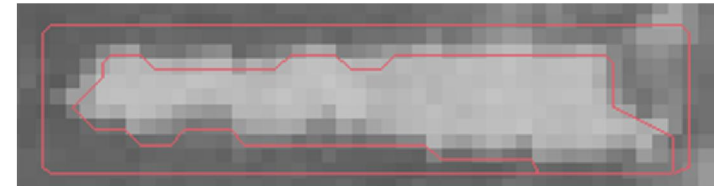
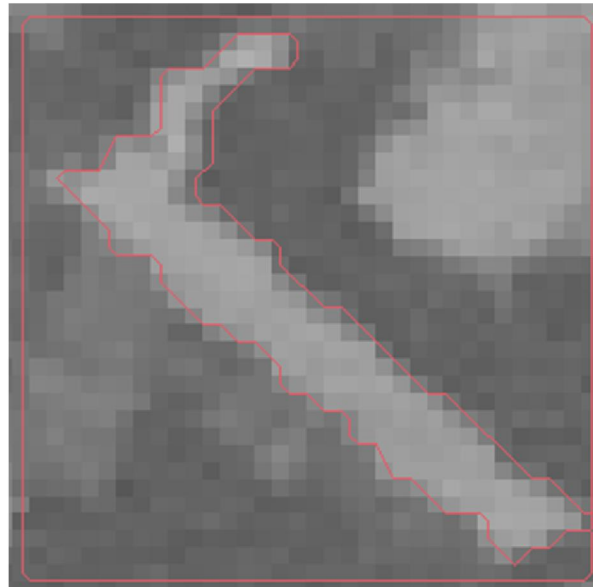
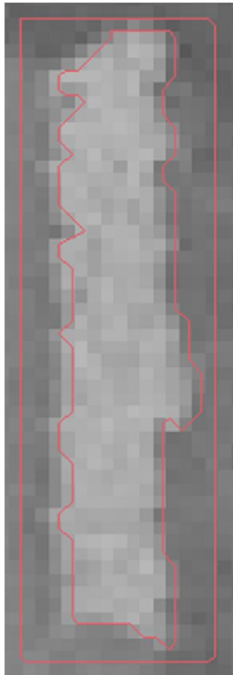




Dados de Treinamento - Corredor

LANDSAT TM – 231/67 – 2003

(desconsiderar escala)

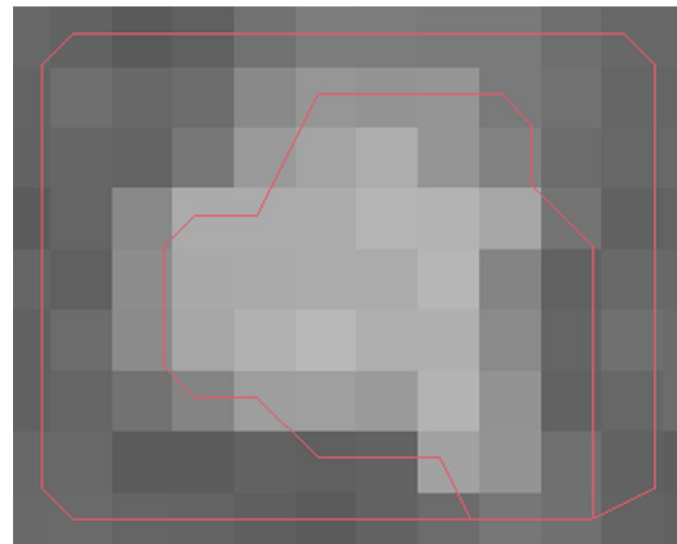
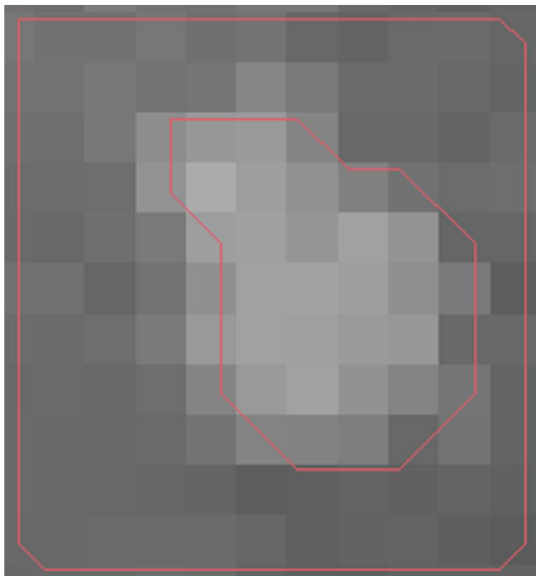
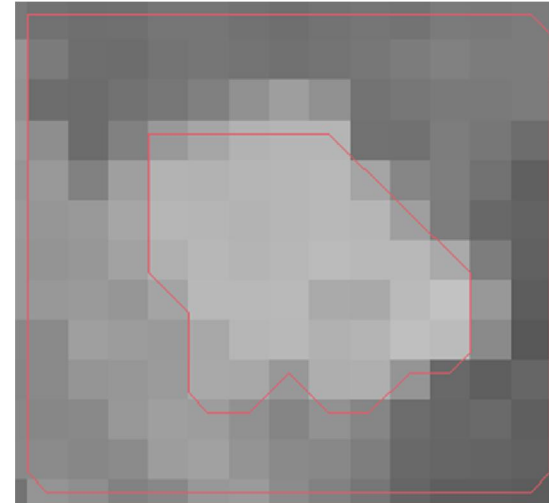
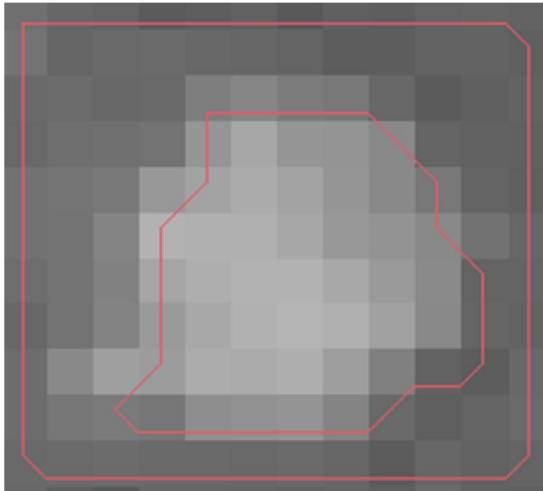




Dados de Treinamento - Difuso

LANDSAT TM – 231/67 – 2003

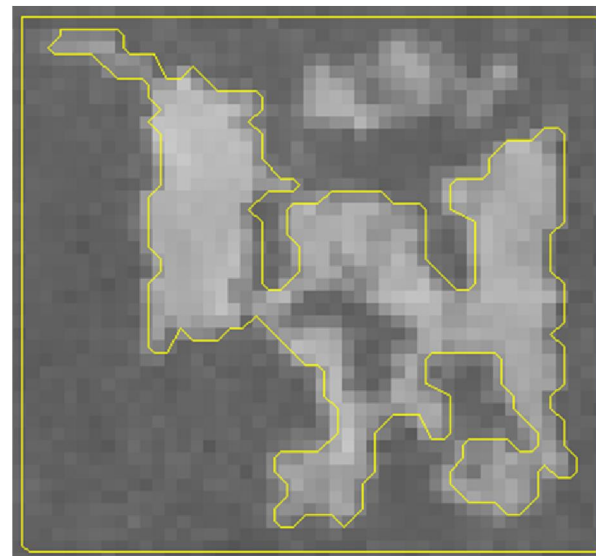
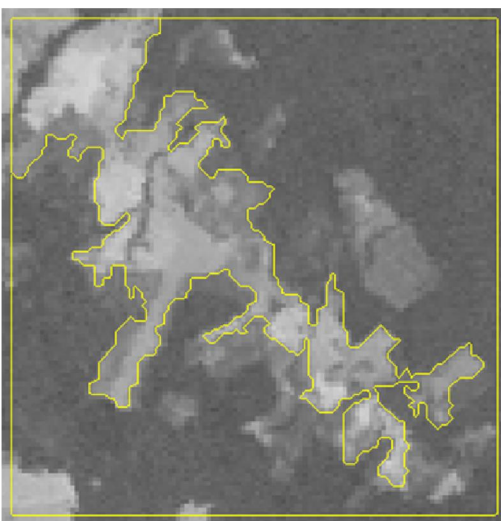
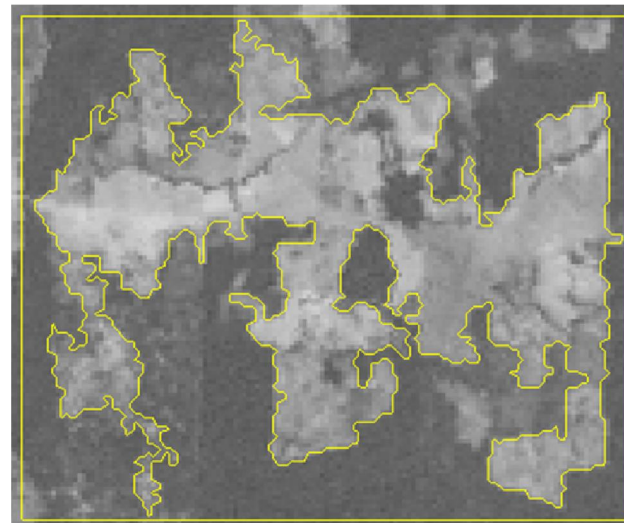
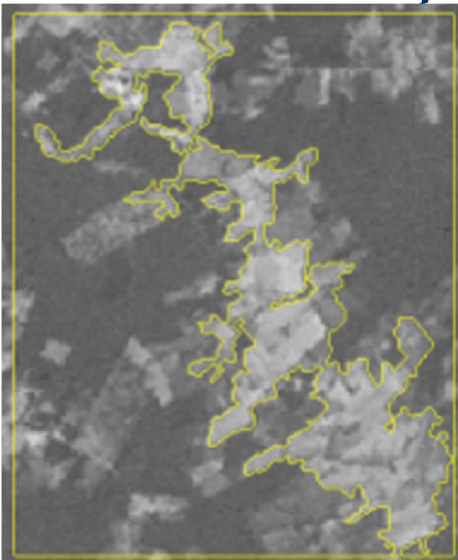
(desconsiderar escala)



Dados de Treinamento – E. Peixe

LANDSAT TM – 231/67 – 2003

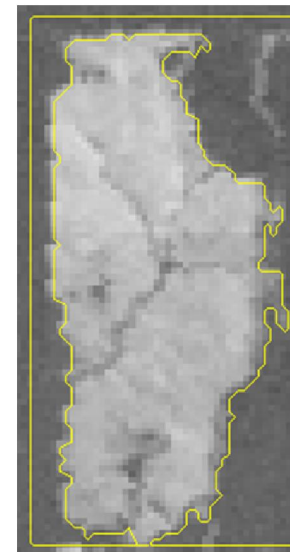
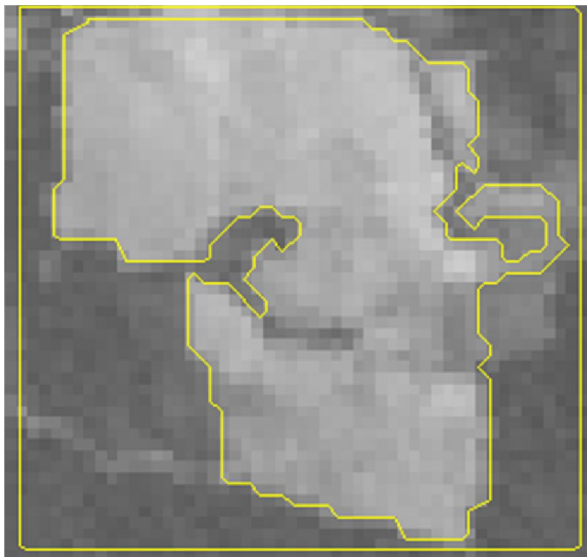
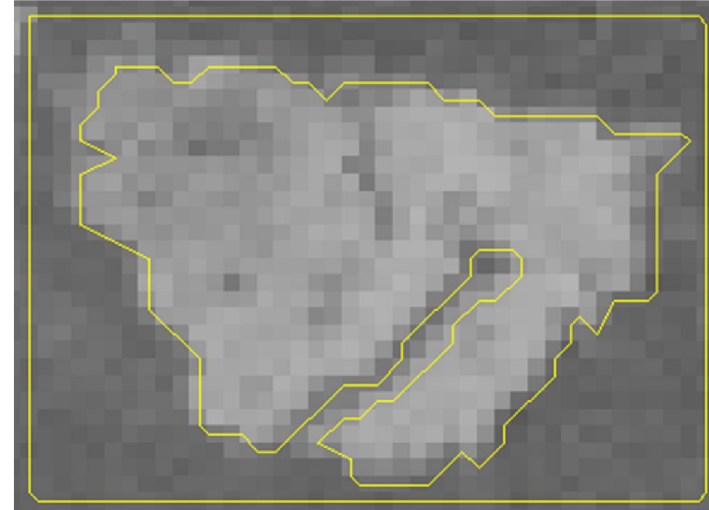
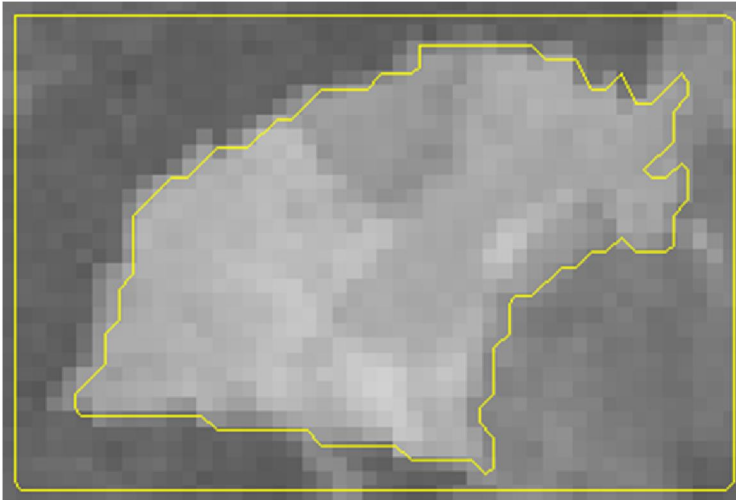
(desconsiderar escala)



Dados de Treinamento – Geom.

LANDSAT TM – 231/67 – 2003

(desconsiderar escala)





Todos os padrões - 2003

Fração sombra

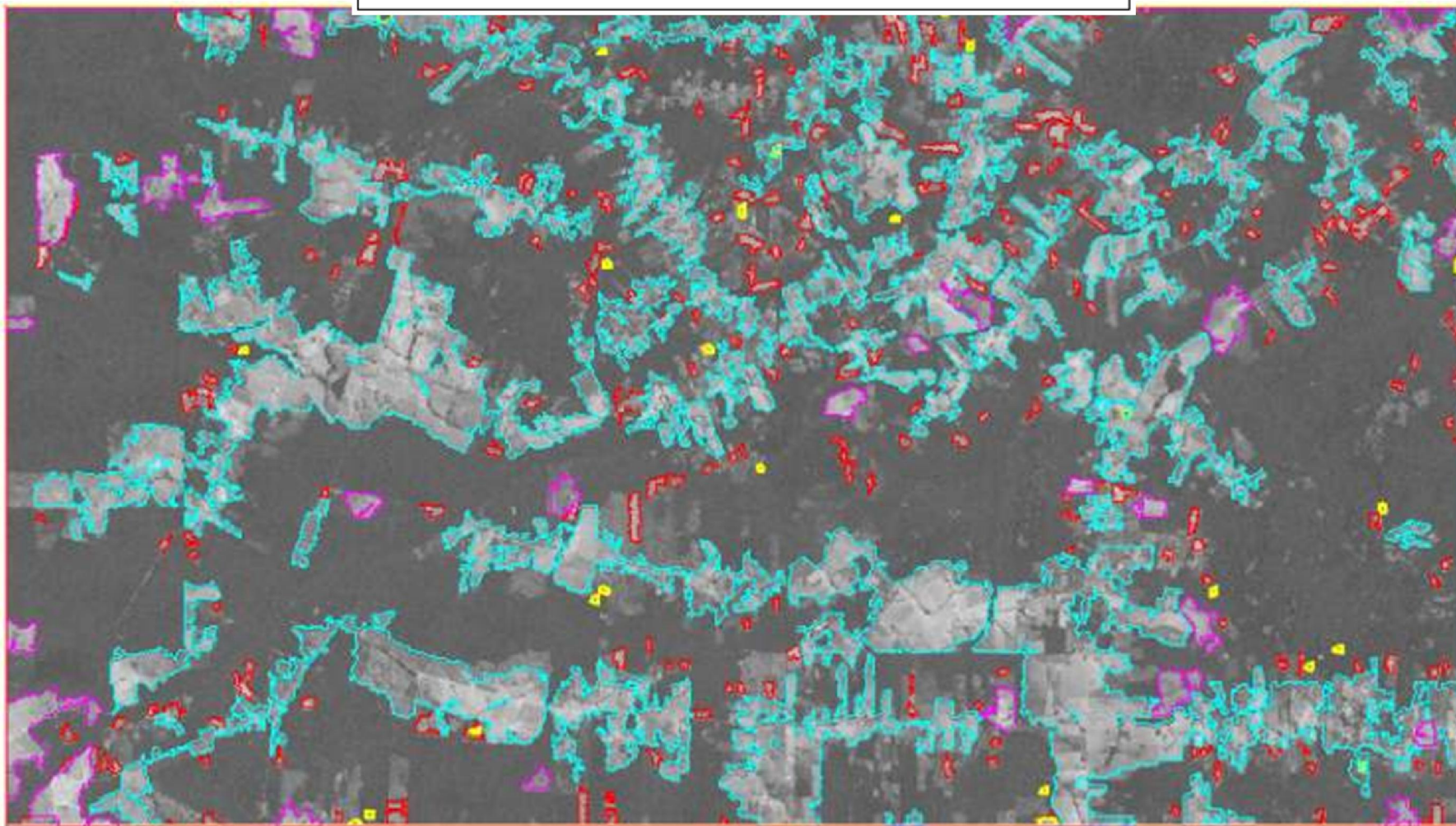
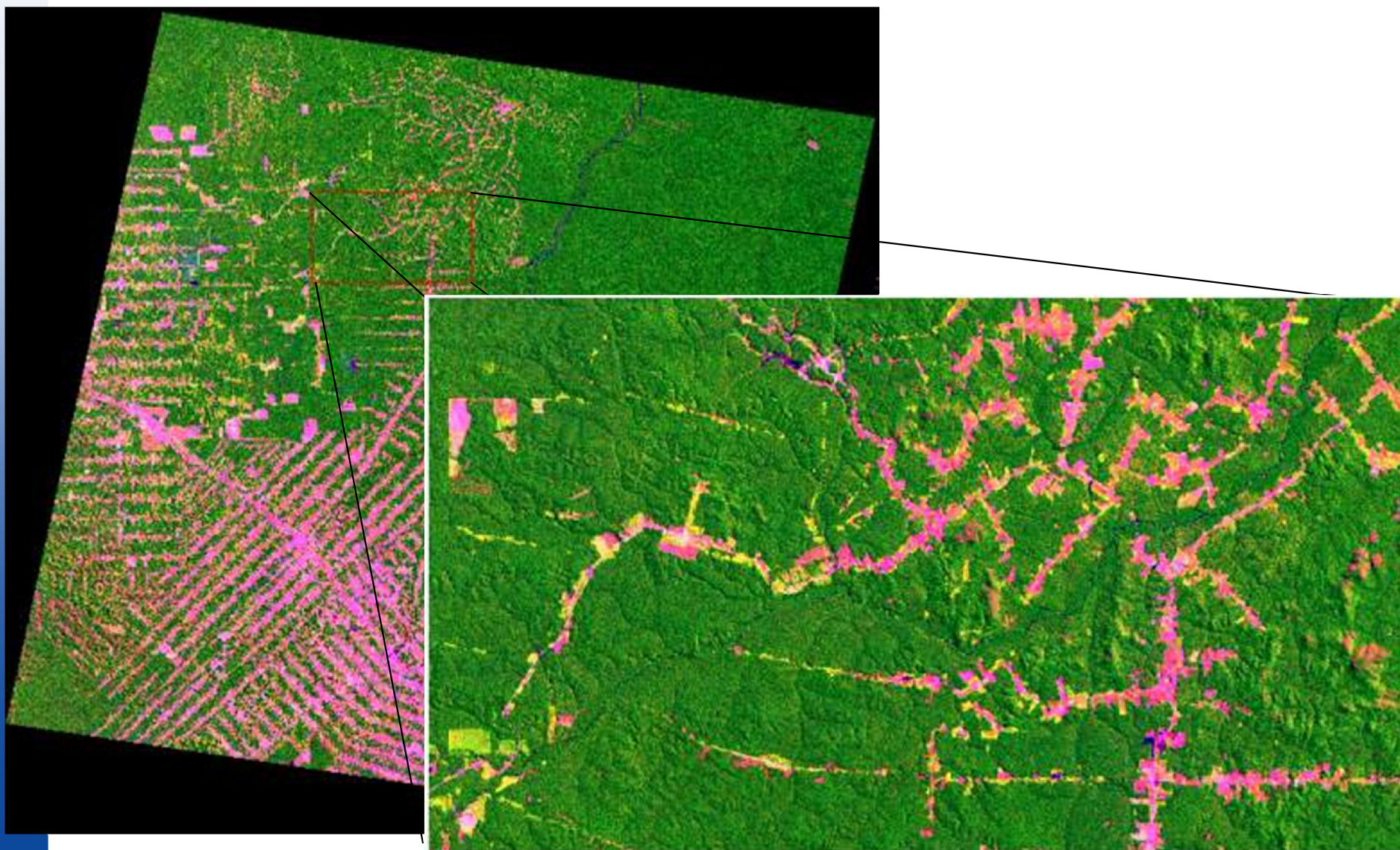




Imagem de Rondônia

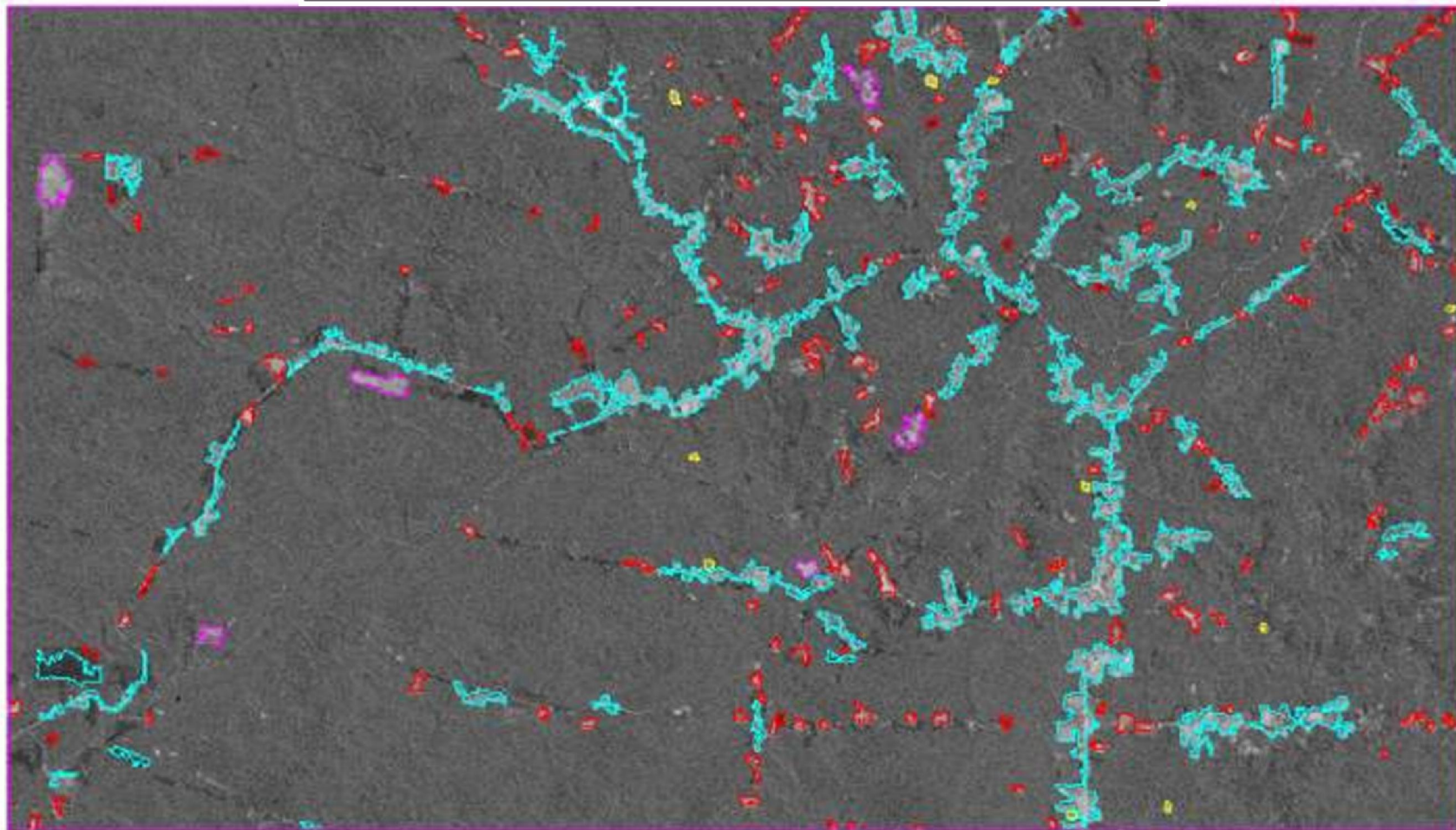
LANDSAT TM – 231/67 – 1990





Todos os padrões - 1990

Fração sombra



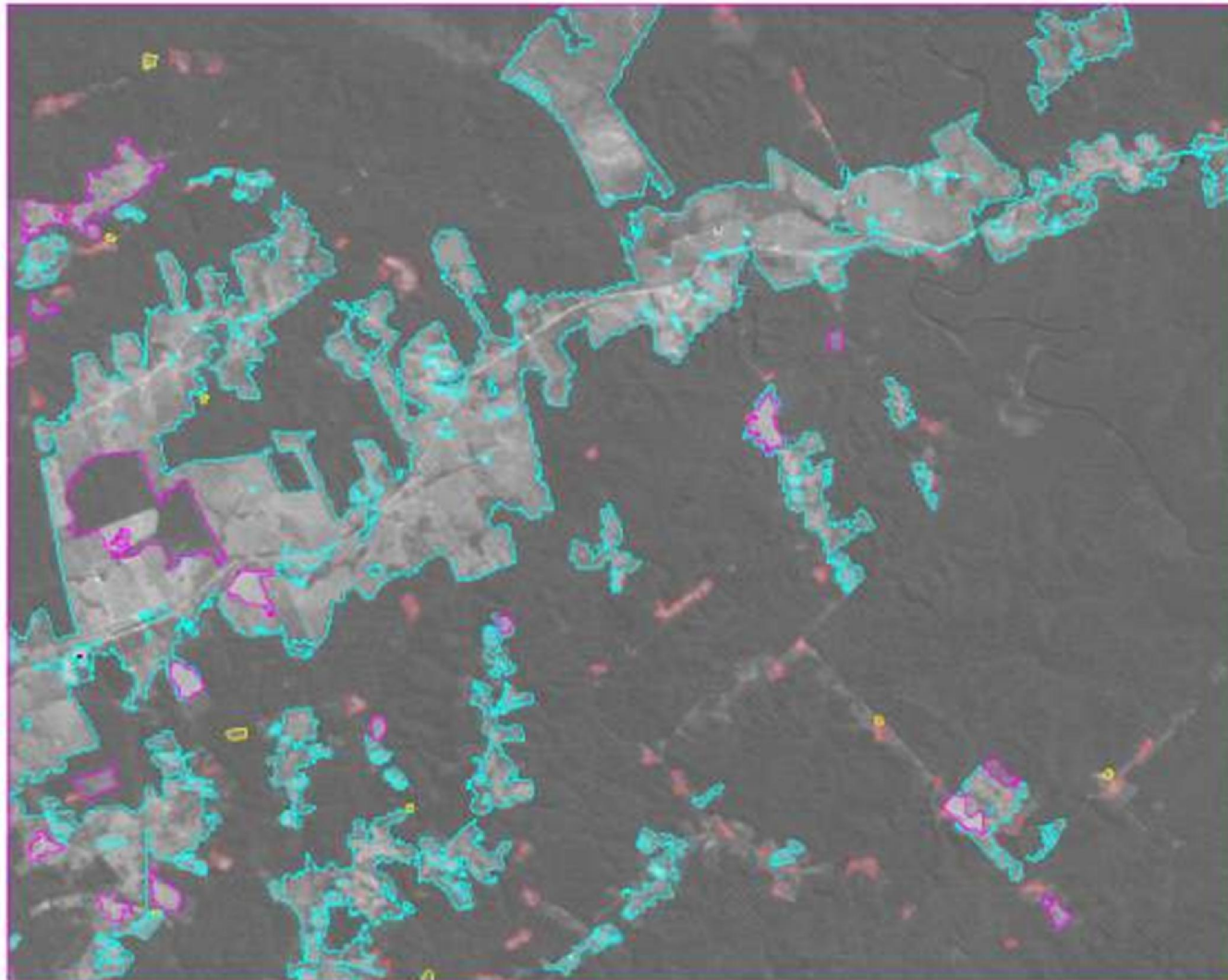


Dados de treinamento e de aplicação do modelo devem ter a mesma resolução espacial?

Testes com sensores CCD/WFI CBERS (172/108 – 2004) – Fração Sombra



CCD



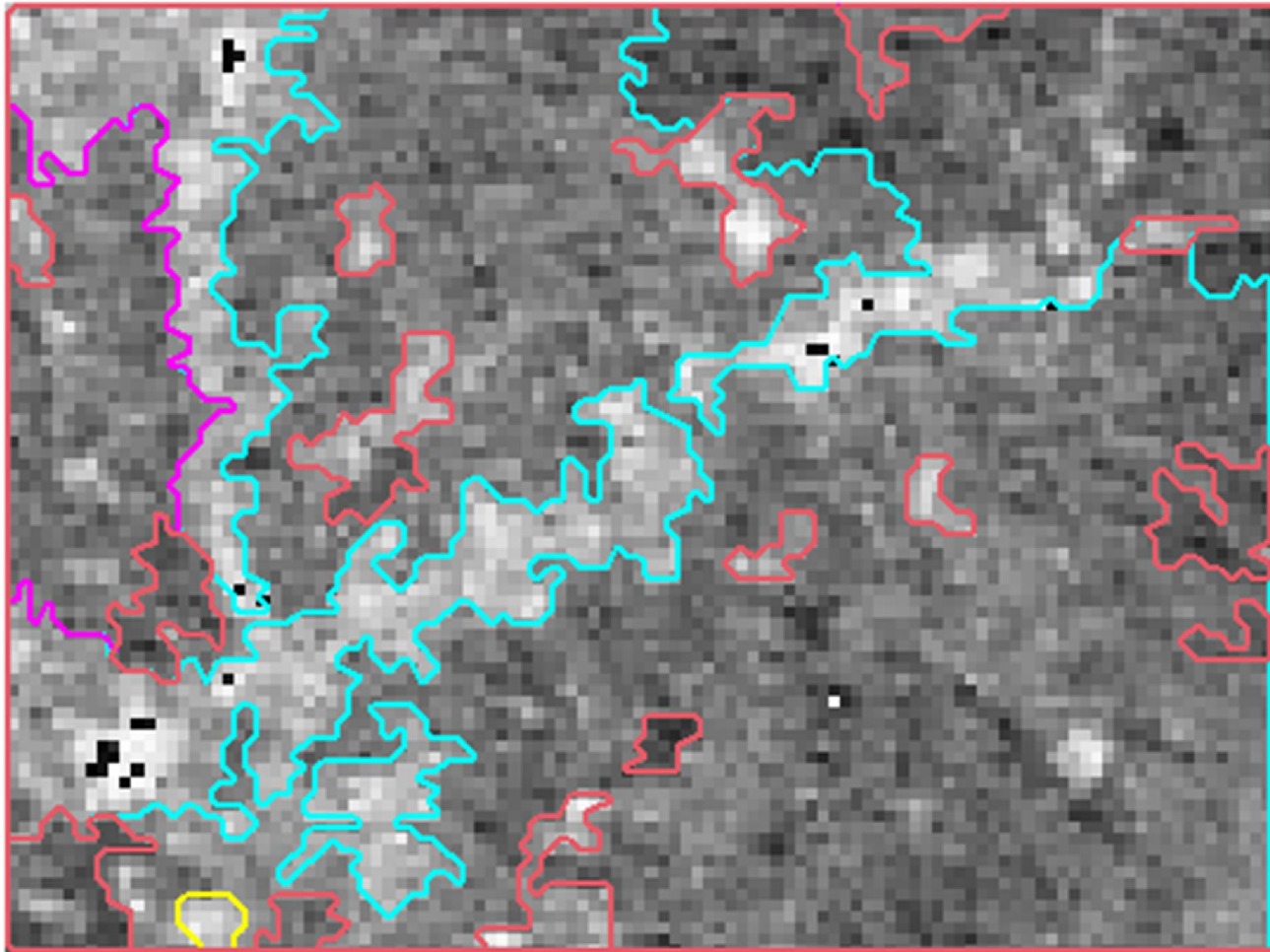


Dados de treinamento e de aplicação do modelo devem ter a mesma resolução espacial?

Testes com sensores CCD/WFI CBERS (172/108 – 2004) – Fração Sombra

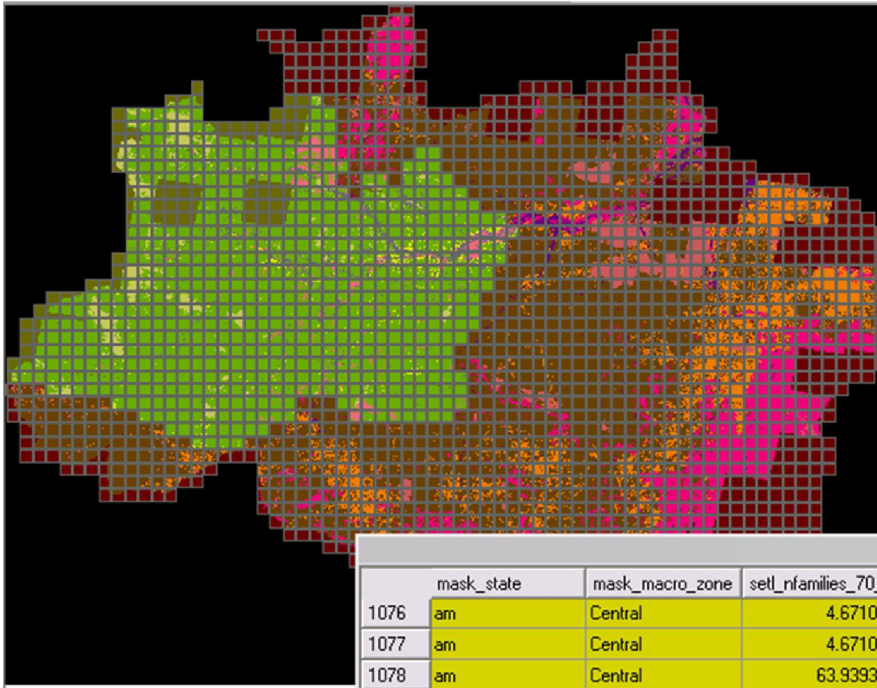


WFI



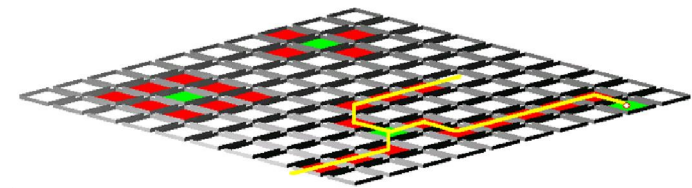
Modelagem Computacional

Espaços celulares

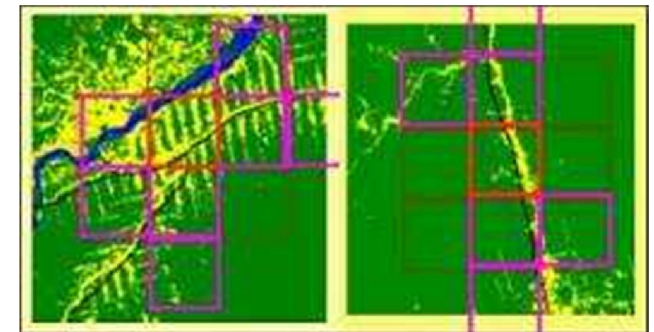


Componentes

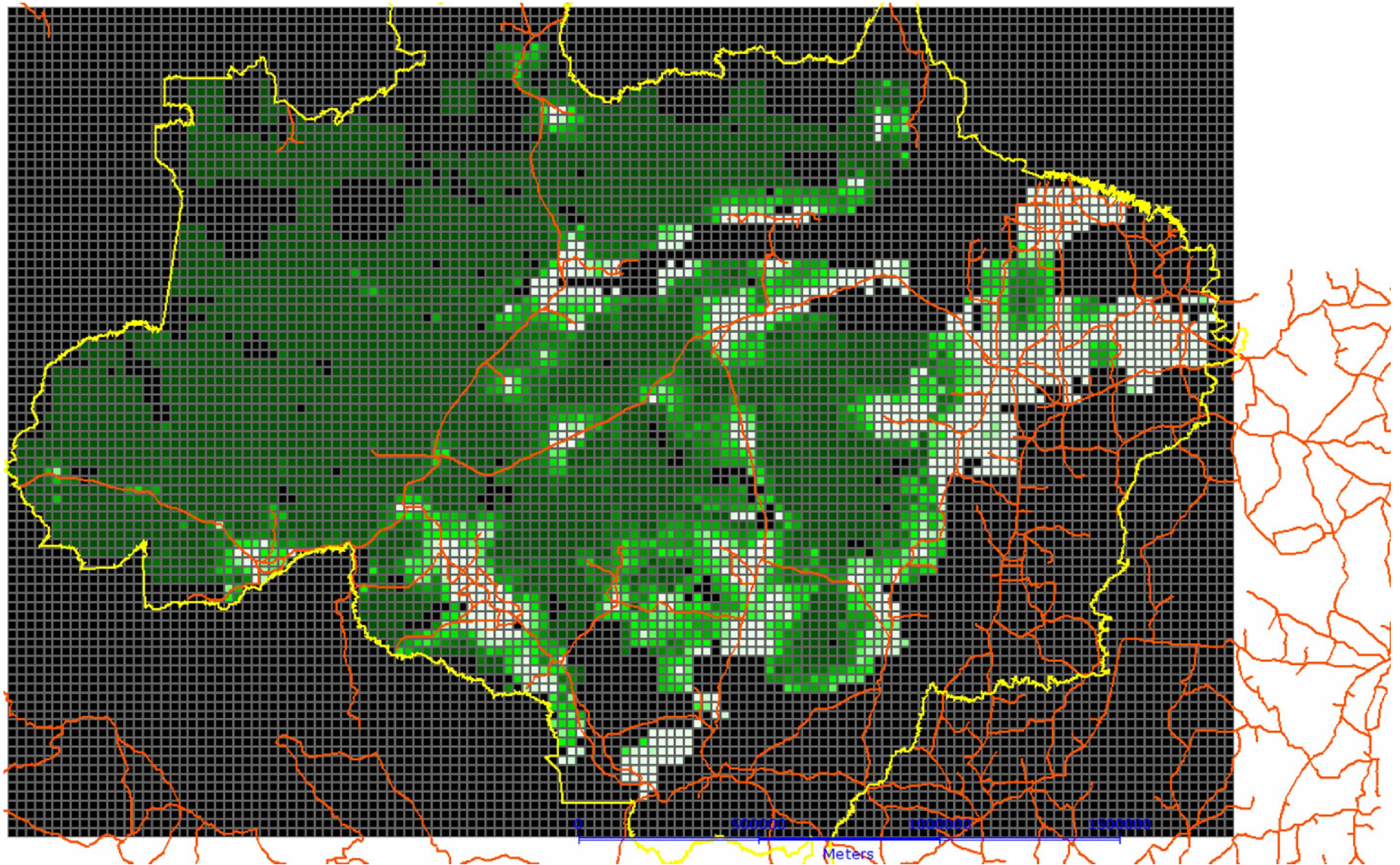
- conjunto de células georeferenciadas
- identificador único
- vários atributos por células
- matriz genérica de proximidade - GPM



	mask_state	mask_macro_zone	setl_nfamilies_70_9	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	



Amazônia em 2015?





Trilhando as Novas Fronteiras

- “O território é o dado essencial da condição da vida cotidiana” (Milton Santos)
- Territórios digitais são fronteira do conhecimento e inovação
- Precisamos dos territórios digitais para retomar o controle dos territórios reais