



Detecção de Mudanças

Análise de trajetórias

Mariane Souza Reis
mariane.reis@inpe.br

CST- 312: Padrões e Processos em Dinâmica de Uso e Cobertura da Terra
SER-415: Detecção e Análise de Padrões de Mudanças de Uso e Cobertura da Terra

REIS, M. S.; ESCADA, M. I. S.; SANT'ANNA, S. J. S.; DUTRA, L. V. Métodos de Classificação e Análise de Trajetórias de Uso e Cobertura da Terra na Amazônia: Implicações para Estudos de Regeneração Florestal . **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 72, p. 1087-1113, 2020.

Detecção de mudanças

- Detecção de mudanças é o processo de identificar diferenças no estado de um objeto ou fenômeno em tempos distintos (SINGH, 1989).

SINGH, A. Digital change detection techniques using remotely-sensed data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 10, n. 6, p. 37–41, 1989.

Detecção de mudanças

- Alguns trabalhos para consulta:

SINGH, A. Digital change detection techniques using remotely-sensed data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 10, n. 6, p. 37–41, 1989.

LU, D.; MAUSEL, P.; BRONDIZIO, E.; MORAN, E. Change detection techniques. **International journal of remote sensing**, v. 25, n. 12, p. 2365-2401, 2004.

COPPIN, P.; JONCKHEERE, I.; NACKAERTS, K.; MUYS, B.; LAMBIN, E. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 9, p. 1565–1596, 2004.

KENNEDY, R. E.; TOWNSEND, P. A.; GROSS, J. E.; COHEN, W. B.; BOLSTAD, P.; WANG, Y. Q.; ADAMS, P. Remote sensing change detection tools for natural resource managers: Understanding concepts and tradeoffs in the design of landscape monitoring projects. **Remote sensing of environment**, v. 113, n. 7, p. 1382-1396, 2009.

HANSEN, M. C.; LOVELAND, T. R. A review of large area monitoring of land cover change using Landsat data. **Remote sensing of Environment**, v. 122, p. 66-74, 2012.

LU, D.; LI, G.; MORAN, E. Current situation and needs of change detection techniques. **International Journal of Image and Data Fusion**, v. 5, n. 1, p. 13-38, 2014.

Detecção de mudanças

- Alguns trabalhos para consulta:

TEWKESBURY, A. P.; COMBER, A. J.; TATE, N. J.; LAMB, A.; FISHER, P. F. A critical synthesis of remotely sensed optical image change detection techniques. **Remote Sensing of Environment**, v. 160, p. 1-14, 2015.

MAGLIOCCA, N. R.; RUDEL, T. K.; VERBURG, P. H., MCCONNELL, W. J.; MERTZ, O., GERSTNER, K.; HEINIMANN, A; ELLIS, E. C. Synthesis in land change science: methodological patterns, challenges, and guidelines. **Regional environmental change**, v. 15, n. 2, p. 211-226, 2015.

GÓMEZ, C.; WHITE, J. C.; WULDER, M. A. Optical remotely sensed time series data for land cover classification: A review. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 116, p. 55-72, 2016.

ZHU, Z. Change detection using Landsat time series: A review of frequencies, preprocessing, algorithms, and applications. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 130, 370-384, 2017.

WULDER, M. A.; COOPS, N. C.; ROY, D. P.; WHITE, J. C.; HERMOSILLA, T. Land cover 2.0. **International Journal of Remote Sensing**, v. 39, n. 12, p. 4254–4284, 2018.

Detecção de mudanças

- Considerando datas distintas, alterações na **cobertura da terra** devem resultar em mudanças significativas no nível de sinal registrado em um dado sensor para que seja possível detectar mudanças (COPPIN et al., 2004).

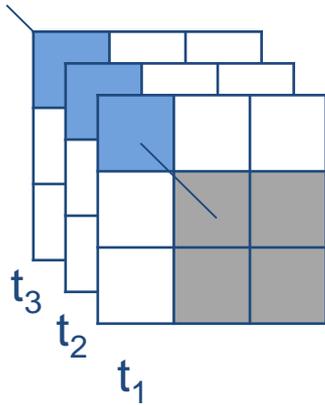
COPPIN, P.; JONCKHEERE, I.; NACKAERTS, K.; MUYS, B.; LAMBIN, E. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 9, p. 1565–1596, 2004.

Questão de detecção

- Tipo de mudanças:
 - Binário (*change/no-change*);
 - Classes de mudança de interesse (específicas, agrupadas, processos, etc.);
 - Informação de classes tempo a tempo.
- Temporal:
 - Duas datas = bi-temporal;
 - Mais de duas datas = trajetórias.

(para manter em mente)

Trajatórias de uso e cobertura da terra



Sucessão de tipos de uso e/ou cobertura da terra para uma dada unidade de análise em três ou mais tempos observados

Exemplo:



t1
Pasto

Transição

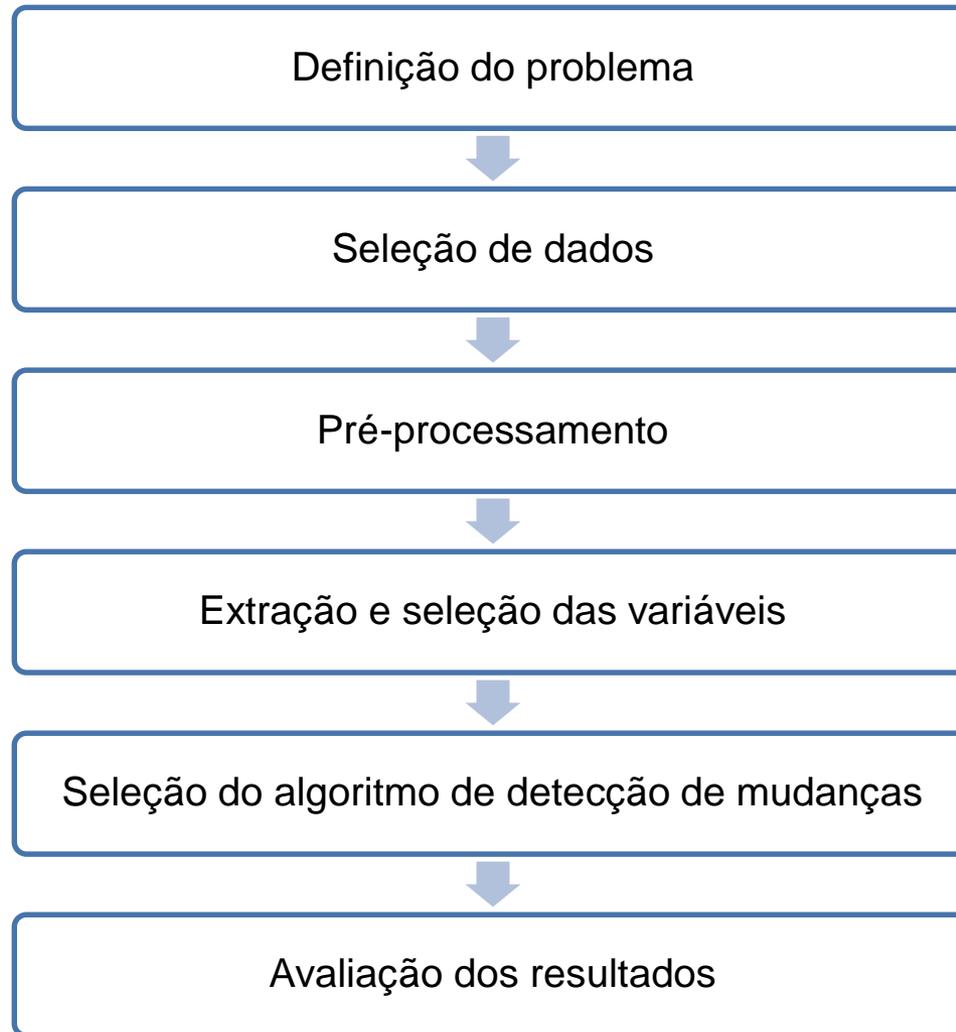


t2
Pasto

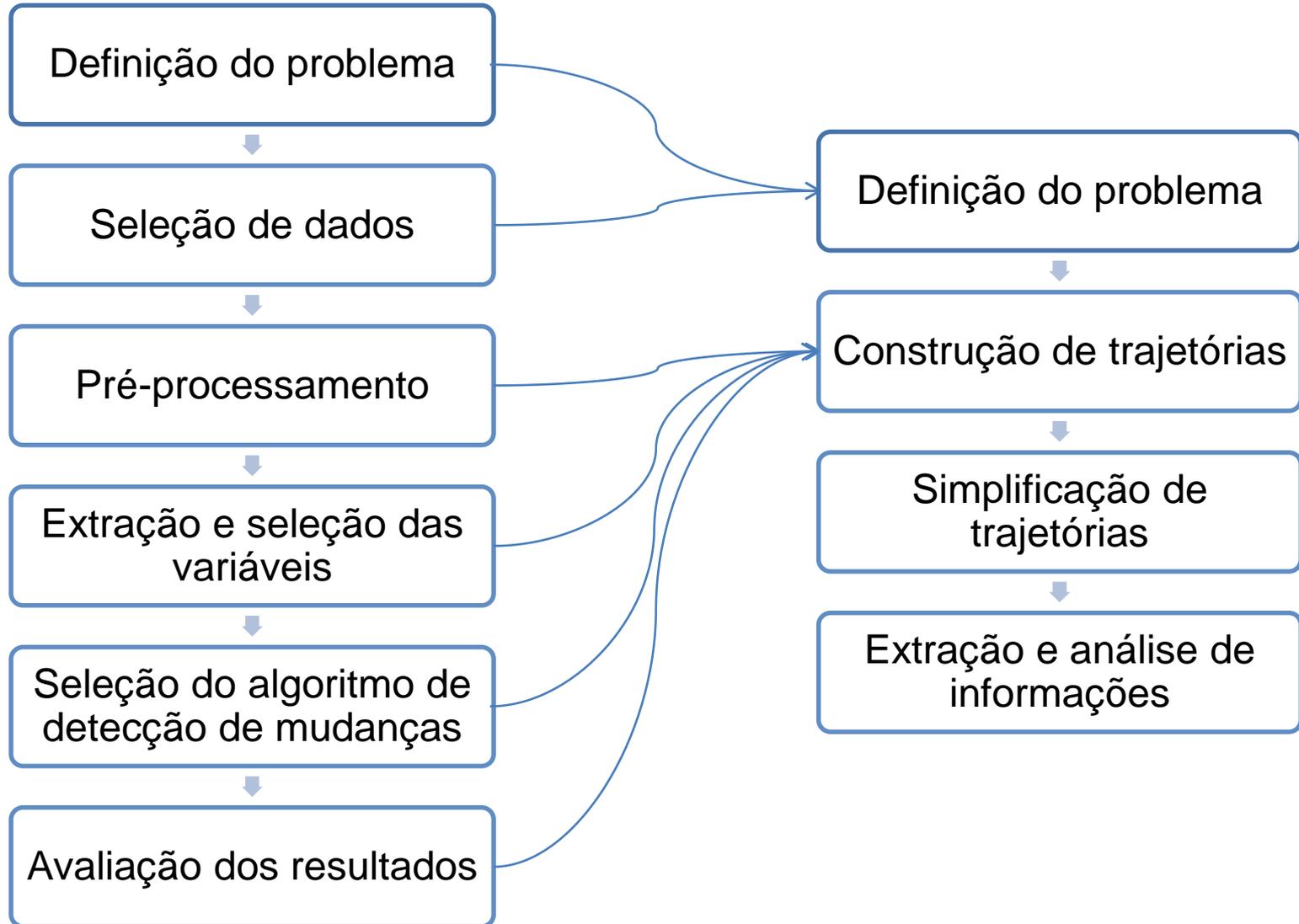


t3
Pasto

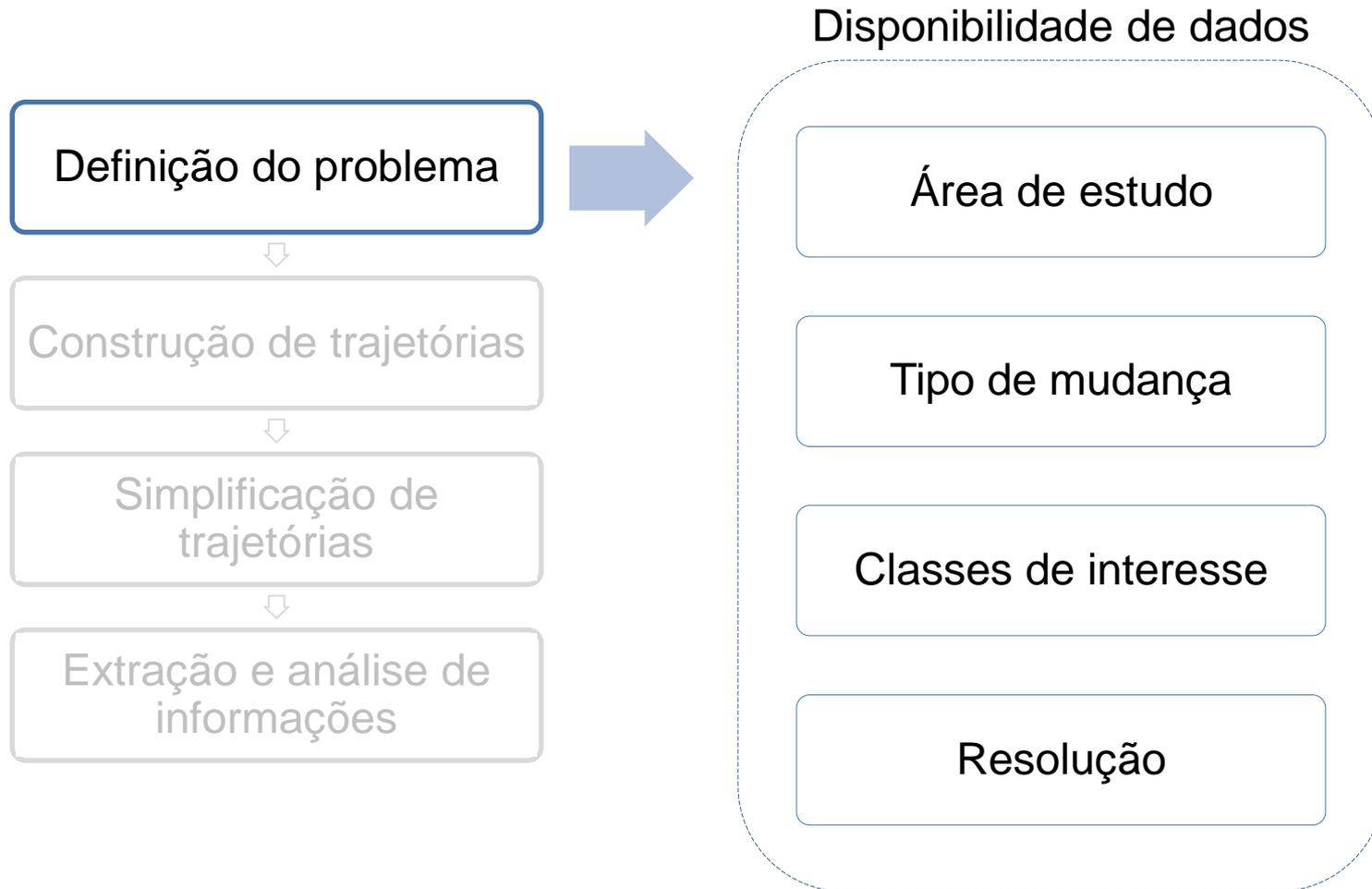
Detecção de mudanças - geral



Análise de trajetórias



Análise de trajetórias



Definição de mudança

t1



t2



≡ Mudança?



≡ Mudança?



≡ Mudança?

Resolução

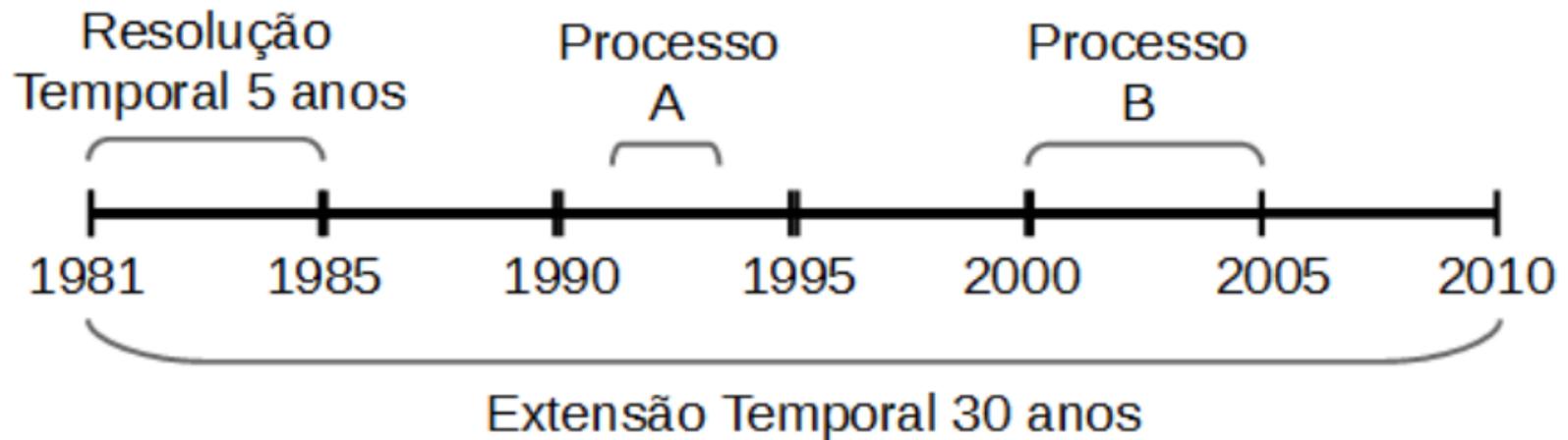
Espacial

Espectral

Radiométrica

Temporal

(resolução temporal)



Dados ópticos?

Basic Parameters

Satellite

Instrument

Time Interval Seasonal

From / /

To / /

Maximum Cloud Cover

Q1

Q2

Q3

Q4

Quick Look

Small Big

Passage Mosaic

Date: / / or Path:

Execute

Country

City

State

Execute

Path

Row

From To

From To

Execute

By Region

North

West

East

South

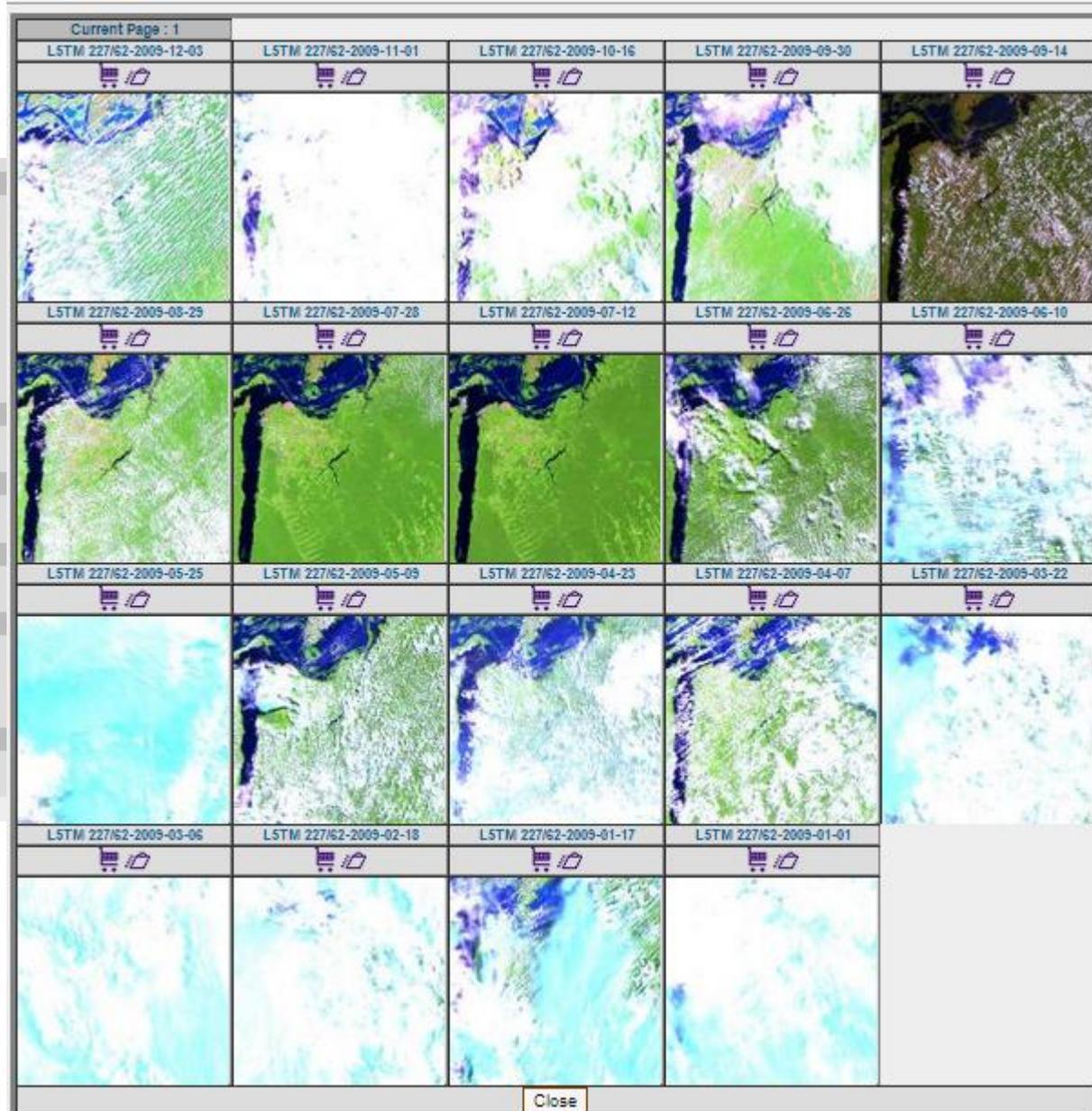
Execute

Map Interface

Lat

Lon

Navigate



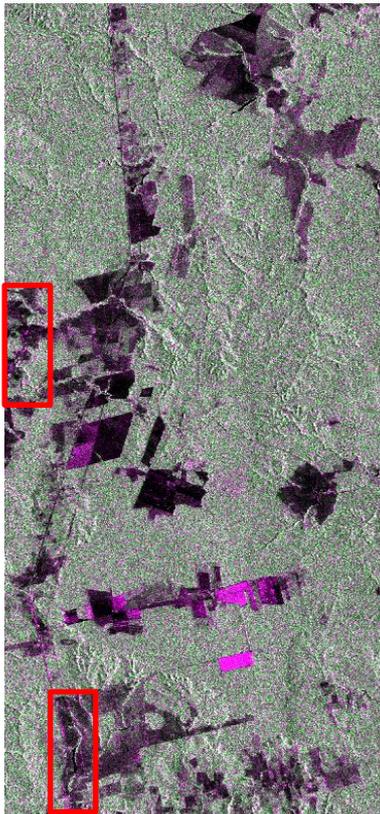
(dados ópticos)

- **Aquisição:** medição da energia refletida pelos alvos, nas regiões do visível, infravermelho próximo e infravermelho médio, e pelo registro da energia emitida dos alvos, na região do infravermelho termal;
- **Dados relacionáveis à(s):** características químicas, físicas e biológicas dos alvos;
- **Vantagens:** facilidade de interpretação visual dos dados e a possibilidade de caracterização espectral dos alvos. O sinal medido pode ser descrito por um modelo de ruído gaussiano aditivo, que possibilita um processamento relativamente simples dos dados;
- **Desvantagens:** fortemente afetado pela presença de nuvens, fumaça e outras condições atmosféricas. Topografia do terreno pode levar a distorções geométricas como o sombreamento. Pouca informação acerca das características internas do dossel vegetal e sobre as características abaixo da superfície do solo.

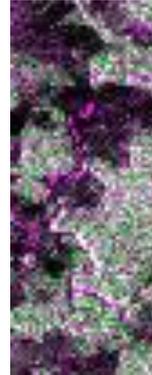
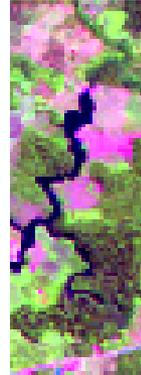
Dados SAR?



LANDSAT5/TM
29 de junho de 2010
5(R)4(G)3(B)



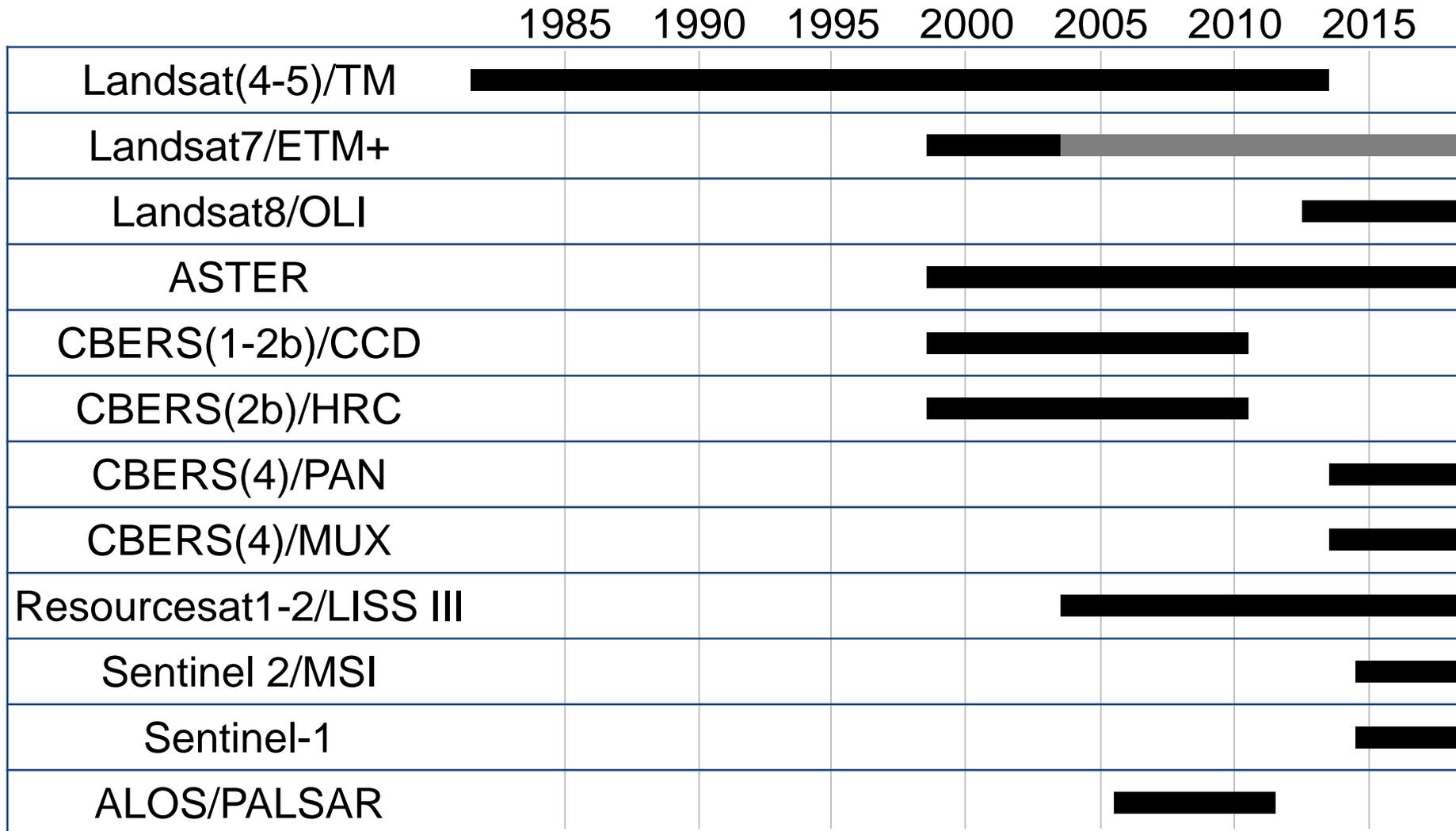
ALOS-PALSAR FBD 1.1
21 de junho de 2010
HH(R) HV(G) HH(B)
(amplitude)



(dados SAR)

- **Aquisição:** Sistema emite um pulso de energia eletromagnética cujo comprimento de onda varia entre 1 cm e 1 m e a porção do sinal refletida pelos alvos na superfície terrestre é captada pelo sensor;
- **Dados relacionáveis à(s):** variações texturais, dielétricas e estruturais dos alvos;
- **Vantagens:** Capazes de obter imagens quase que independentemente das condições atmosféricas e totalmente independente da energia solar. Penetrabilidade no dossel vegetal e na sub-superfície do solo, condicionado ao comprimento de onda utilizado;
- **Desvantagens:** O modelo associado ao sinal e ao ruído podem variar dependendo da cena. Presença de um ruído multiplicativo conhecido como *speckle*. Formas ou bordas mal definidas nas imagens em relação àquelas observadas em imagens óticas de resolução espacial comparável. Métodos mais específicos e refinados de correção geométrica são necessários em função da geometria de imageamento. Distorções geométricas como inversão do relevo, encurtamento de rampa e sombreamento.

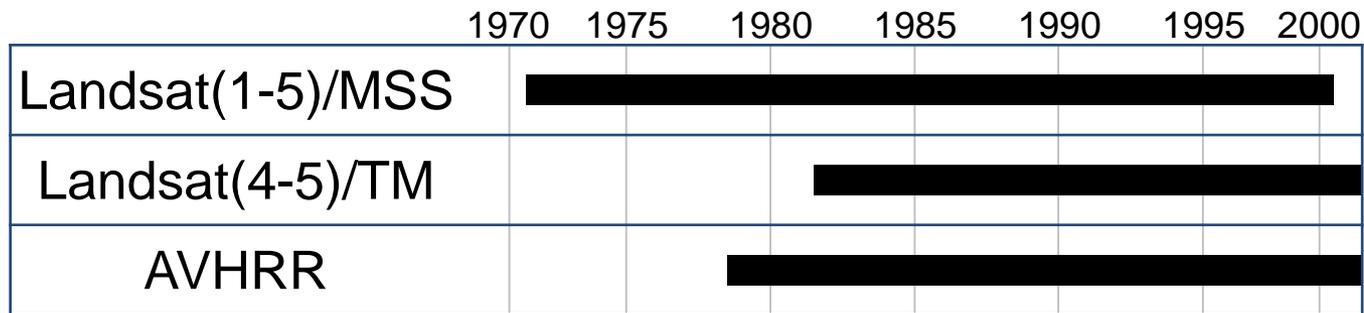
Sensores com acervo livre (Res. Espacial ≥ 30 m)



Operando

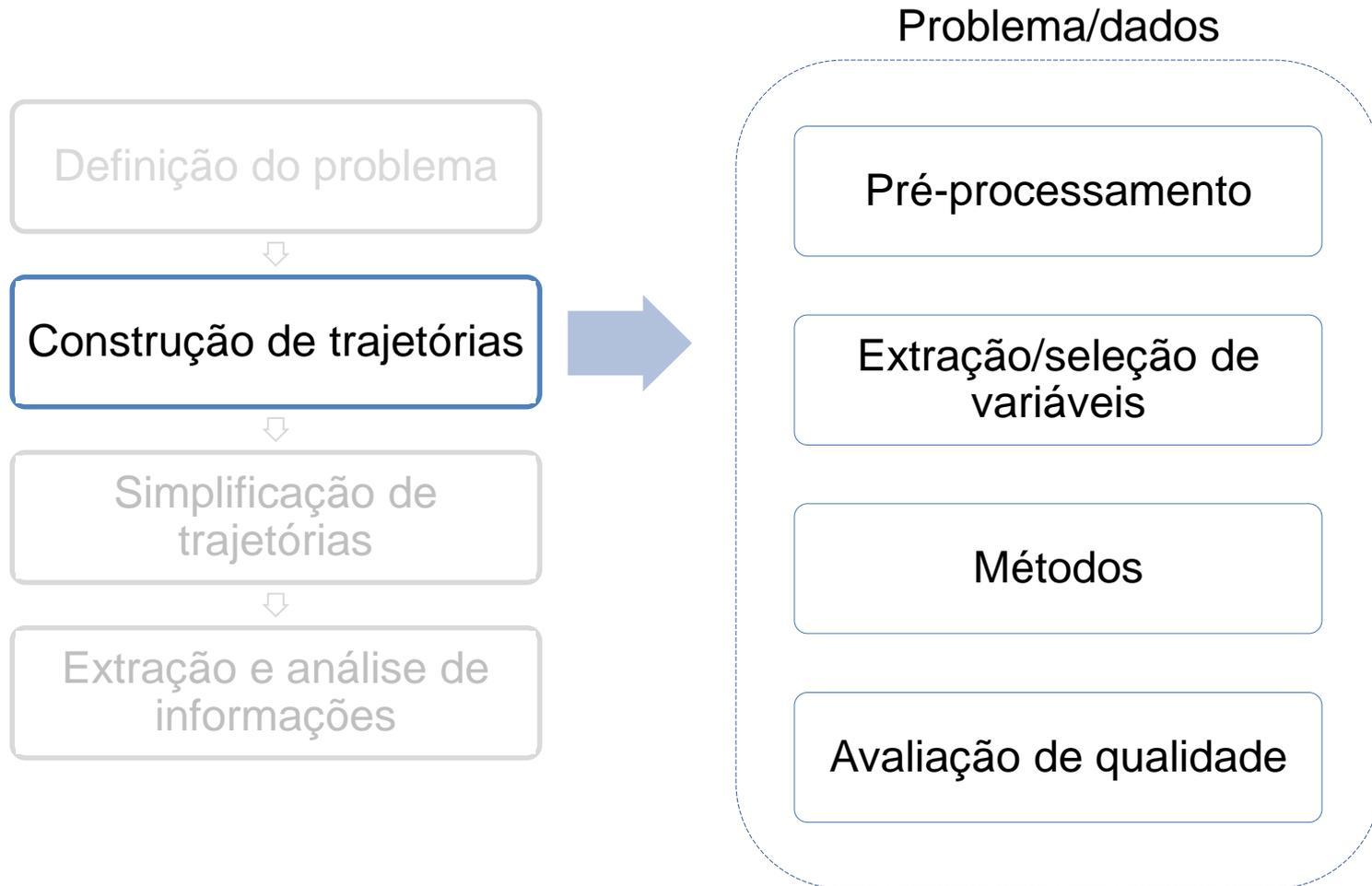
Operando com falhas de detecção

Sensores com acervo livre (antes dos anos 2000)



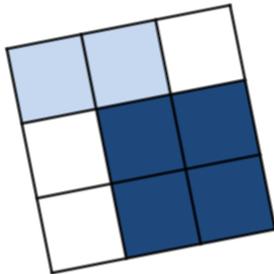
■ Operando

Análise de trajetórias

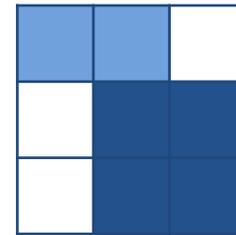


Pré-Processamento

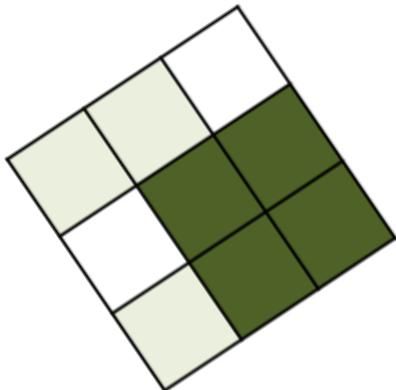
- Correções geométricas e radiométricas.



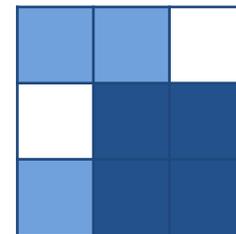
t_i



t_i



t_n



t_n

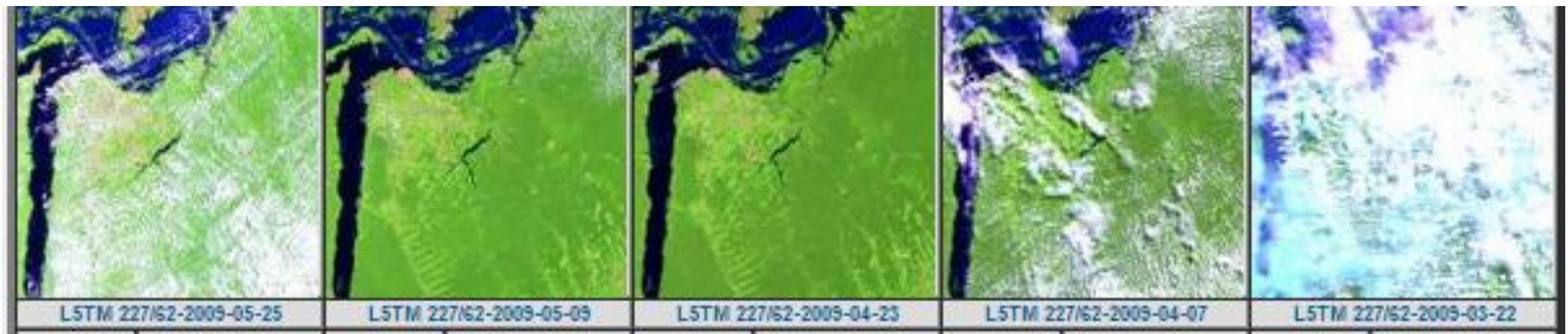
Pré-Processamento

- Composição de imagens;



Fonte: <http://mapbiomas.org/pages/methodology>

- Máscara de áreas sem informação.



Fonte: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>

Variáveis

- Índices;
- **Frações subpixel**
- Atributos de textura
- ...
- Fusão?



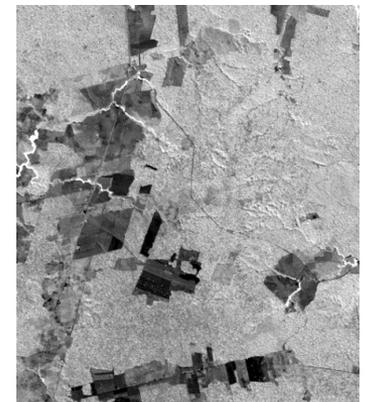
LANDSAT5/TM
5(R)4(G)3(B)



Componente Vegetação



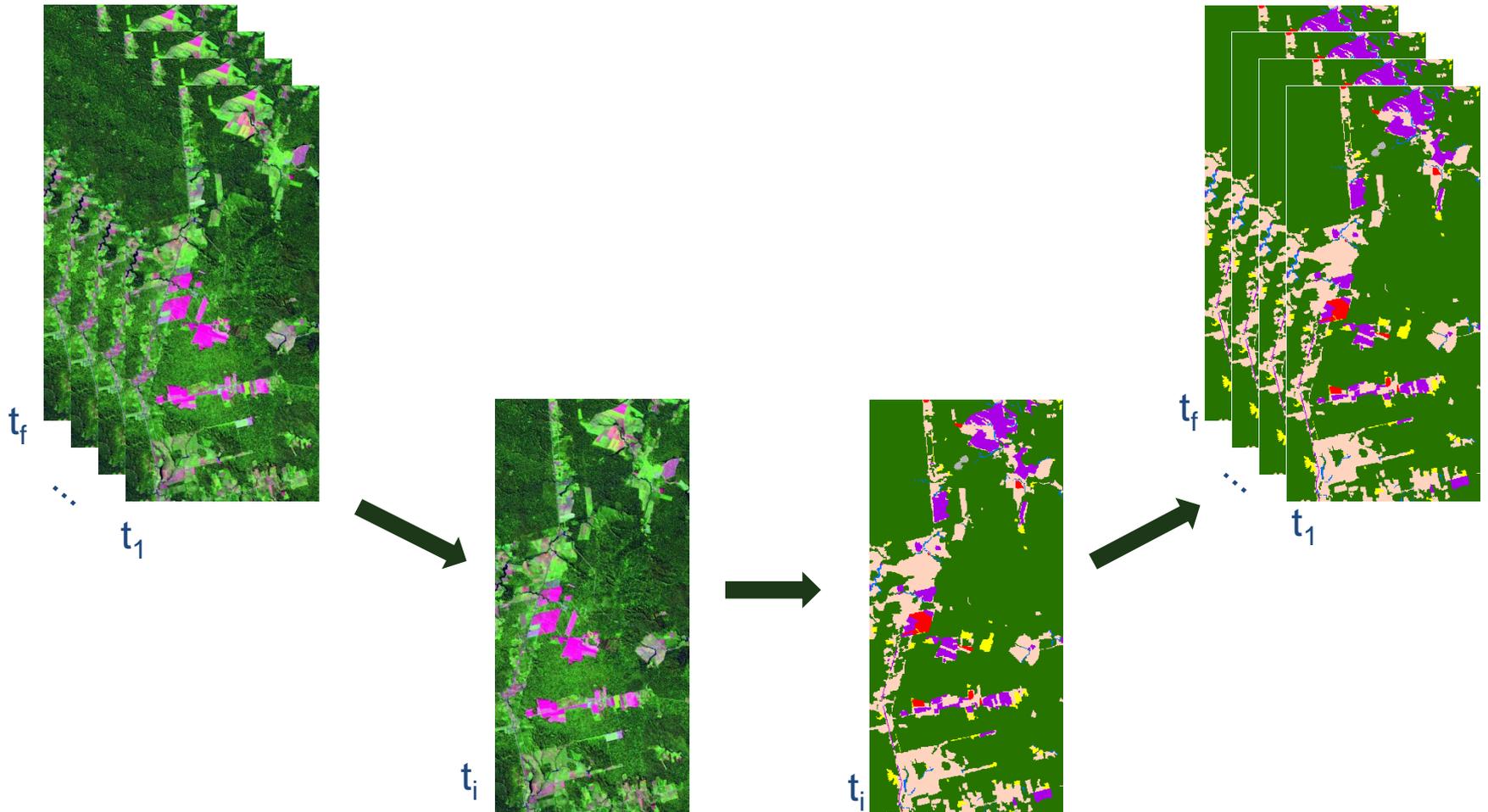
Componente Solo



Componente Água/Sombra

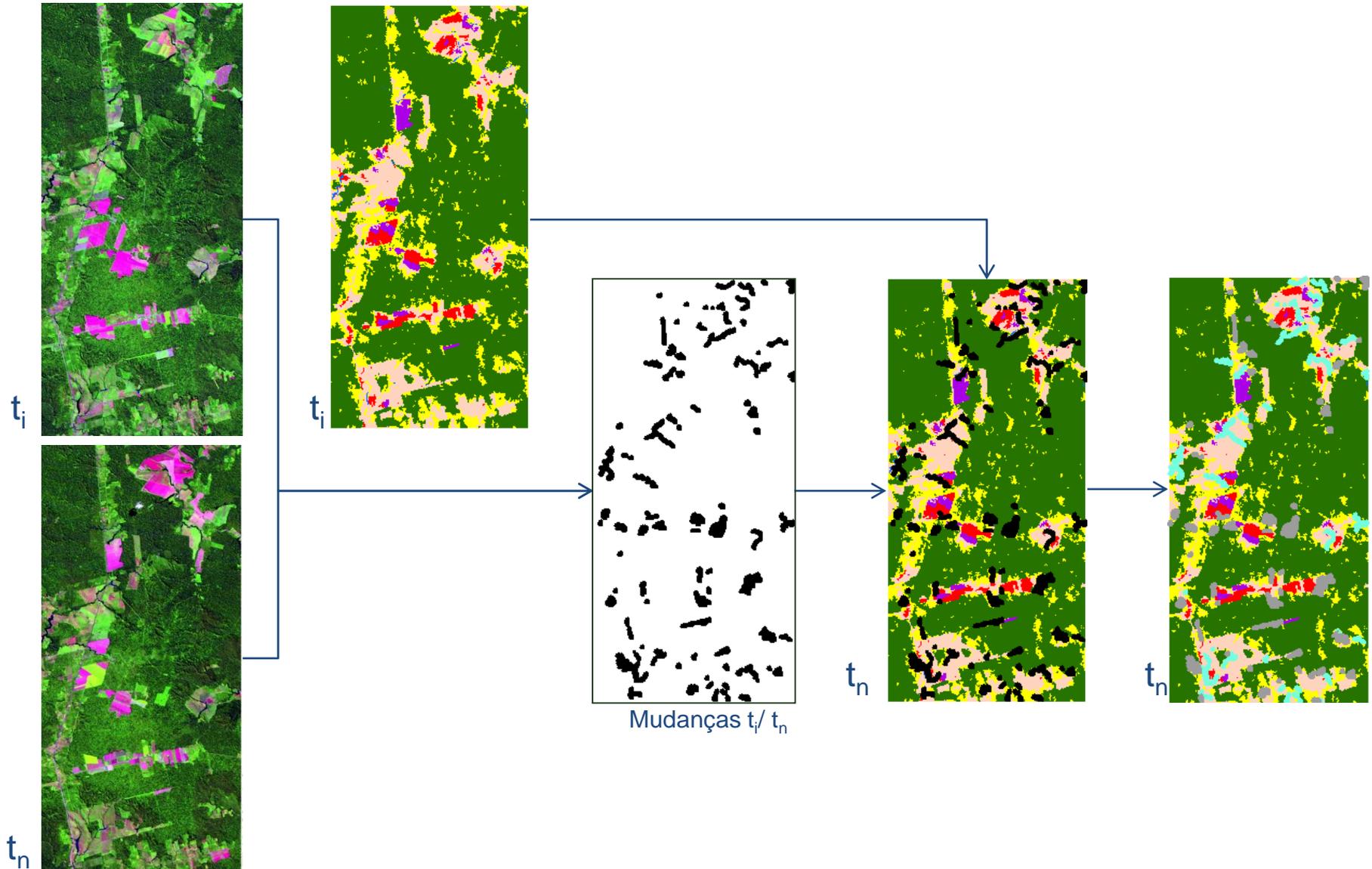
Métodos de classificação

- Comparação pós-classificação:



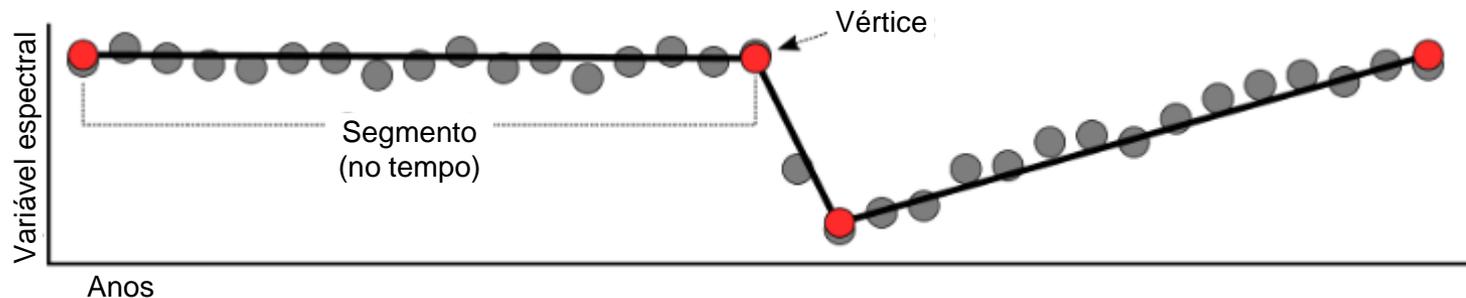
Métodos de classificação

- Atualização de mapas:



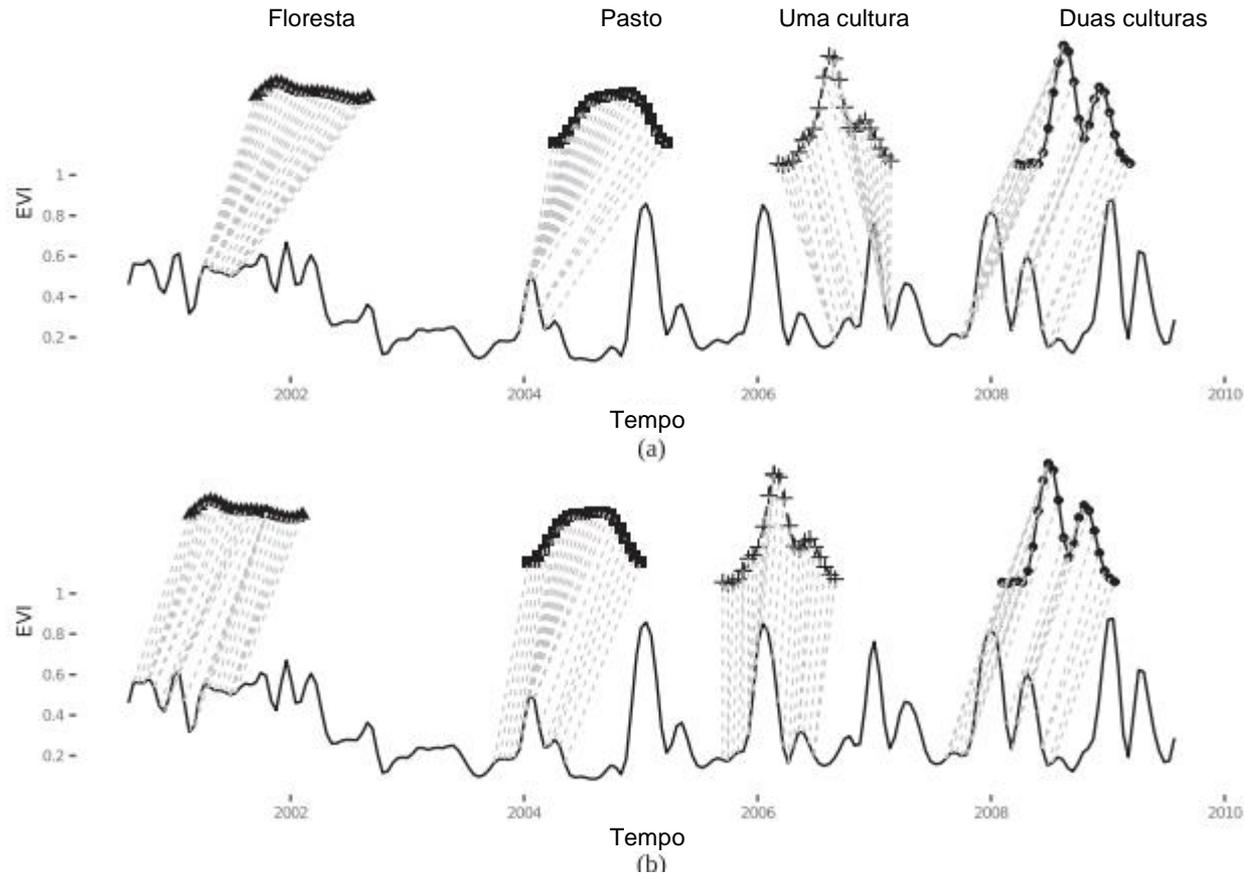
Métodos de classificação

- “Quebras” em séries temporais
- Continuous Change Detection and Classification (CCDC);
- **LandTrendR**;
- Breaks For Additive Season and Trend (BFAST);
- ...



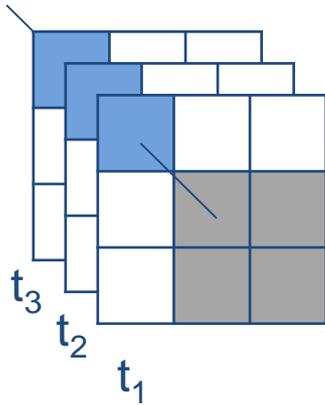
Métodos de classificação

- Distância entre séries temporais:



(lembam disso?)

Trajatórias de uso e cobertura da terra



Sucessão de tipos de uso e/ou cobertura da terra para uma dada unidade de análise em três ou mais tempos observados

Exemplo:



t1
Pasto

→
Transição



t2
Pasto



t3
Pasto

Necessidade de métodos capazes de:

Operar com número limitado de observações (imagens) e/ou amostras;

Restringir transições inválidas;

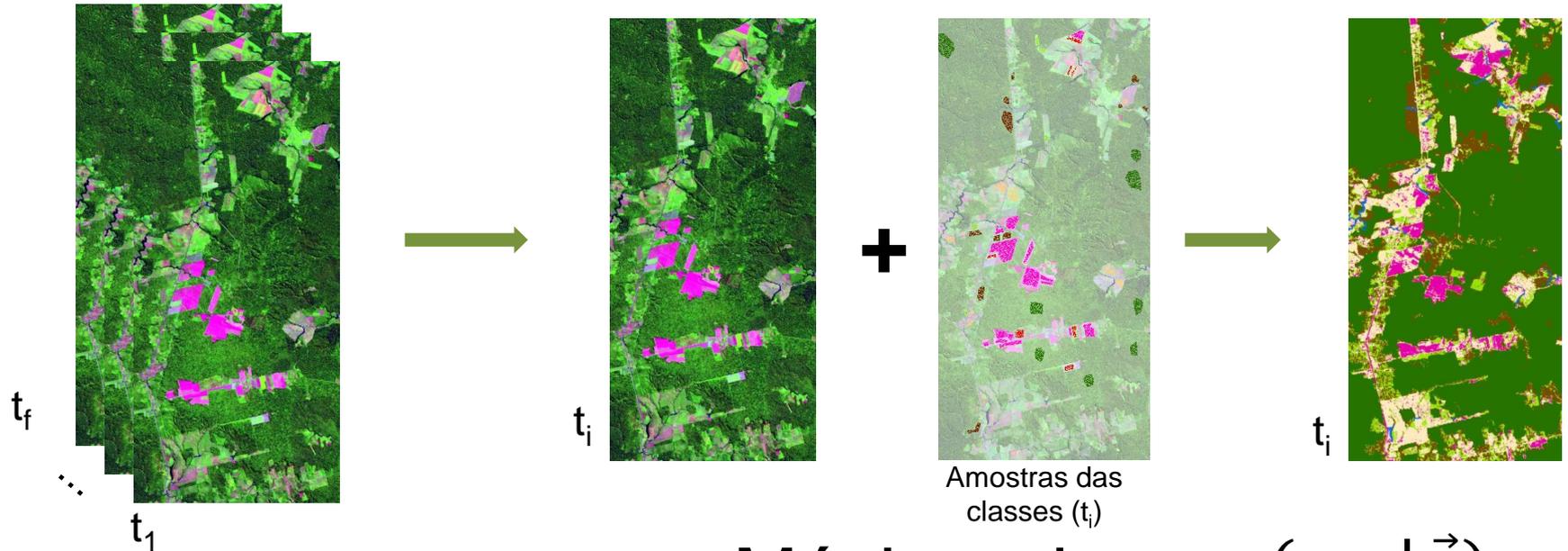
Utilizar dados multissensores;

Utilizar máscaras de forma automatizada.



Máxima Verossimilhança Composta *a Posteriori* (CMAP)

Classificador de Máxima Verossimilhança (MaxVer)



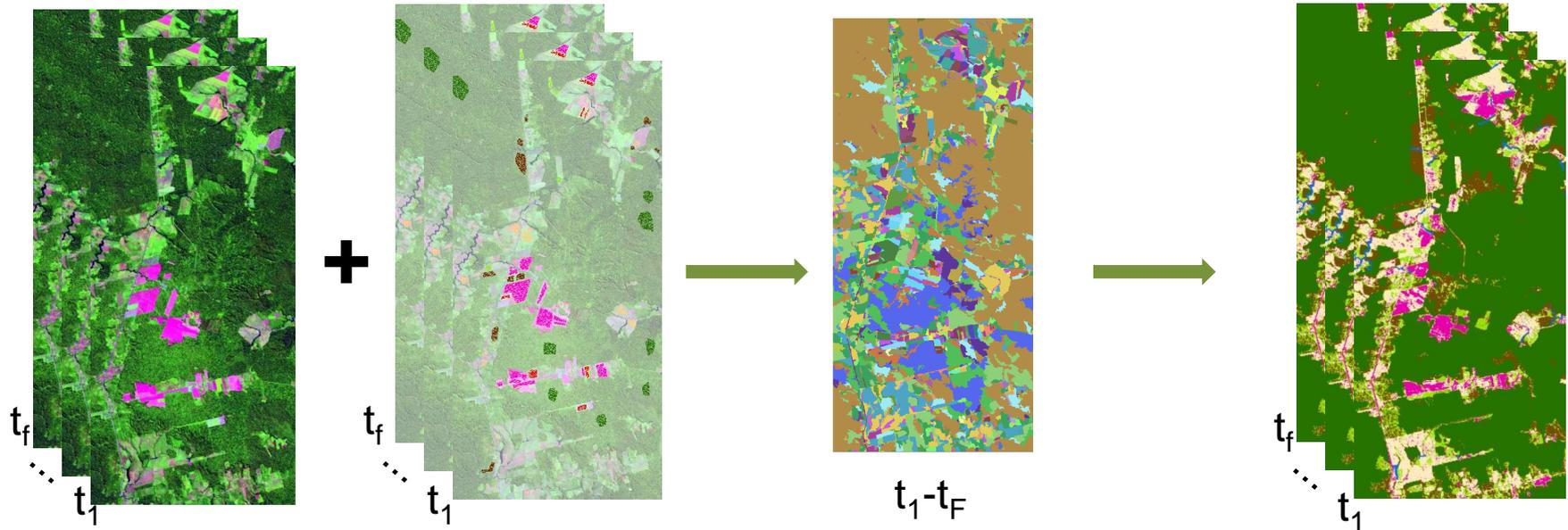
FM; VS0; VS;

PA; AG

Máximo de:

$$\begin{aligned} &P(\mathbf{FM}|\vec{X}) \\ &P(\mathbf{VS0}|\vec{X}) \\ &P(\mathbf{VS}|\vec{X}) \\ &P(\mathbf{PA}|\vec{X}) \\ &P(\mathbf{AG}|\vec{X}) \end{aligned}$$

CMAP



$S_1 = \{\text{FM}, \text{FM}, \text{FM}\};$
 $S_2 = \{\text{FM}, \text{FM}, \text{VS0}\};$
 $S_3 = \{\text{FM}, \text{VS0}, \text{FM}\} \dots$
 $\dots S_{125} = \{\text{AG}, \text{AG}, \text{AG}\}$

Máximo de:

$$\begin{aligned}
 P(s_1 | \vec{X}) &= P(\vec{X} | s_1) \times P(s_1) \\
 P(s_2 | \vec{X}) \\
 &\vdots \\
 P(s_{125} | \vec{X})
 \end{aligned}$$

Por exemplo...


$$s_l = \{\text{FM}, \text{VSO}, \text{FM}\}$$

Similar a concatenar as classificações MaxVer

$$P(\vec{X} | s_l) = P(\vec{X} | \text{FM}) \times P(\vec{X} | \text{VSO}) \times P(\vec{X} | \text{FM}) \times \\ \times P(\text{FM} \rightarrow \text{VSO} \rightarrow \text{FM})$$

Ponderado pela probabilidade *a priori* das transições

Matriz de probabilidade das transições

t \ t+1	FM	VS0	VS	PA	AG
Floresta Madura (FM)	V	V	I	V	V
Vegetação secundária pouco desenvolvida (VS0)	I	V	V	V	V
Vegetação secundária desenvolvida (VS)	I	V	V	V	V
Pasto (PA)	I	V	I	V	V
Área agrícola (AG)	I	V	I	V	V

Probabilidade :

Válidas = 1/Número de trajetórias válidas;

Inválidas = 0

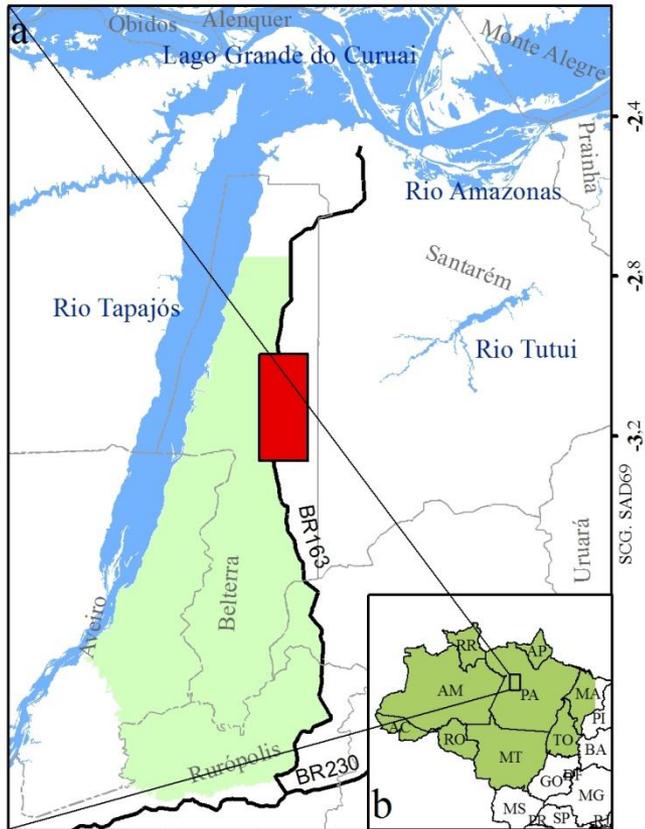
$$s_l = \{FM, VS0, FM\}$$

$$P(\vec{X}|s_l) = P(\vec{X}|FM) \times P(\vec{X}|VS0) \times P(\vec{X}|FM) \times \\ \times P(FM \rightarrow VS0 \rightarrow FM)$$

$$P(\vec{X}|s_l) = P(\vec{X}|FM) \times P(\vec{X}|VS0) \times P(\vec{X}|FM) \times \\ \times 0$$

$$P(\vec{X}|s_l) = 0$$

CMAP: exemplo



- Rodovias
- Limites municipais
- Estados brasileiros
- Amazônia Legal brasileira
- Hidrografia
- Flona Tapajós
- Área de estudo

01/07/2005

21/08/2006

21/06/2007

23/06/2008

12/07/2009

29/06/2010

Imagens
Landsat5/TM

Classes

Ex: 29/06/2010



F



DSV



ISV



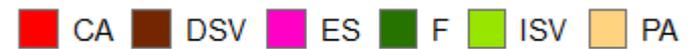
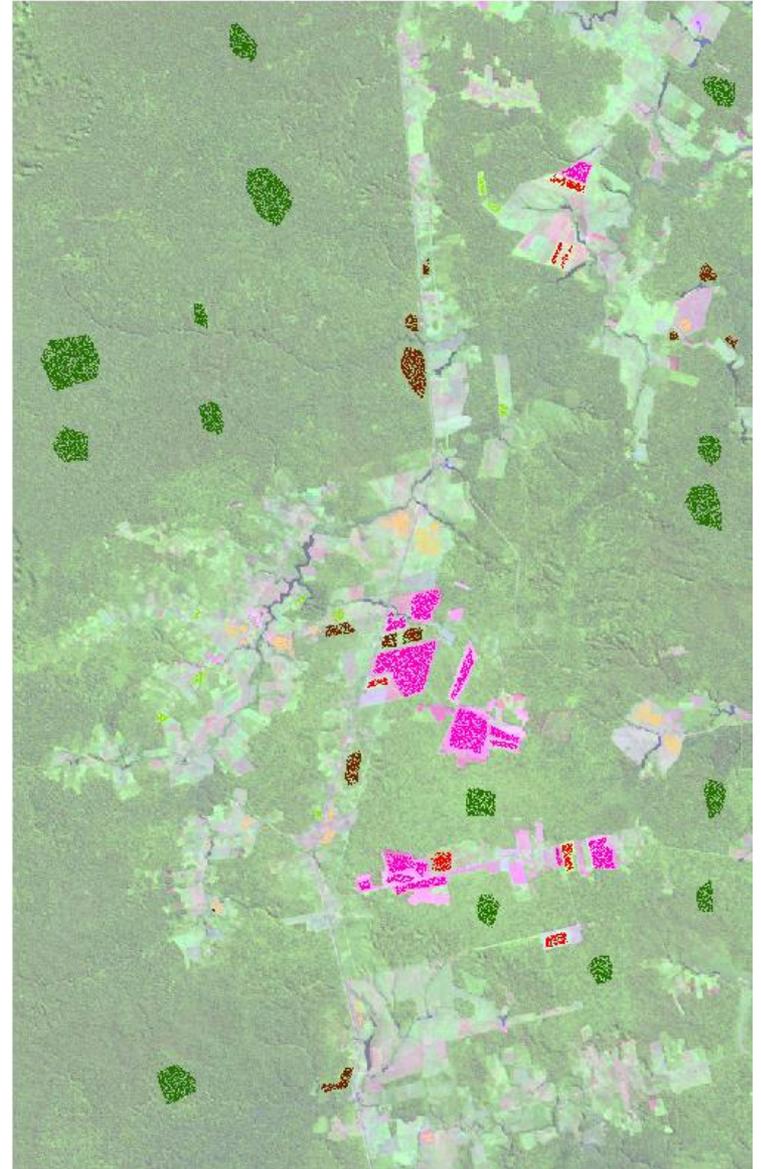
PA



ES



CA

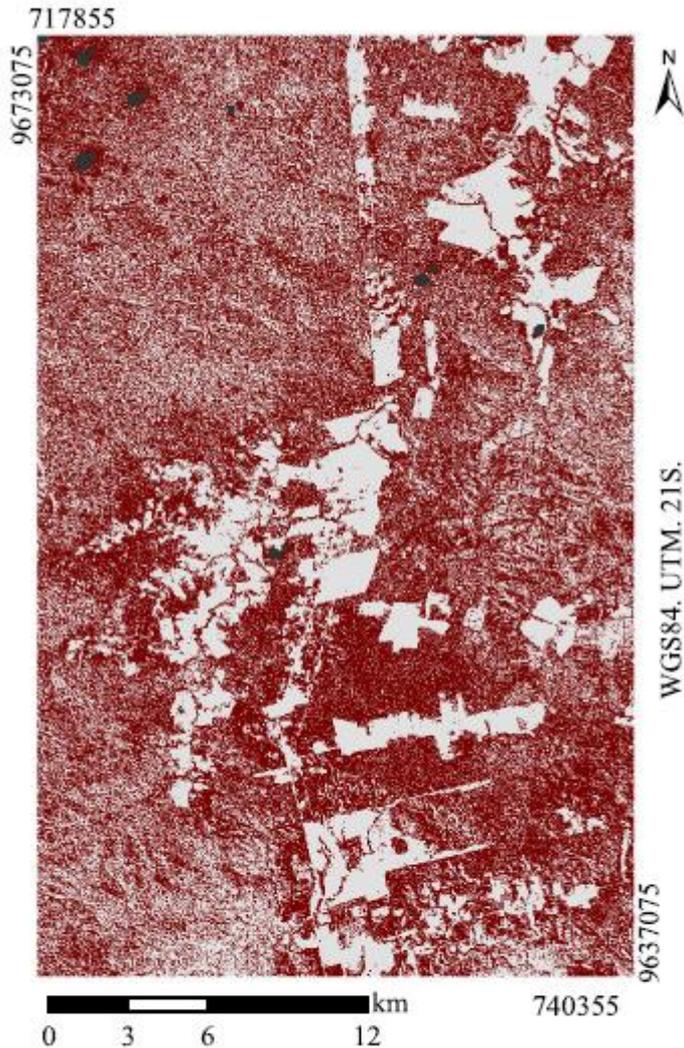


Validade das transições

t+1

		t+1					
		ES	CA	PA	ISV	DSV	F
t	Solo exposto (ES)	V	V	V	V	I	I
	Área cultivada (CA)	V	V	V	V	I	I
	Pasto (PA)	V	V	V	V	I	I
	Vegetação secundária inicial (ISV)	V	V	V	V	V	I
	Vegetação secundária desenvolvida (DSV)	V	V	V	V	V	I
	Floresta primária (F)	V	V	V	V	I	V

Comparação pós-classificação (MaxVer)



- Trajetórias Válidas
- Trajetórias Inválidas
- Máscara (Nuvens e sombra de nuvens)

54,9% dos pixels observados (fora da máscara) como uma trajetória inválida (contém pelo menos uma transição inválida)

Índices globais de exatidão

MaxVer

Imagem (data)	Exatidão Global	Kappa Global
2005	0,75	0,69
2006*	0,97	0,97
2007	0,89	0,86
2008	0,85	0,82
2009*	0,78	0,73
2010	0,82	0,78

CMAP

Imagem (data)	Exatidão Global	Kappa Global
2005	0,82	0,79
2006*	0,97	0,97
2007	0,93	0,92
2008	0,88	0,85
2009*	0,84	0,80
2010	0,83	0,80

* 5 classes (não havia áreas de CA na imagem)

Avaliação da qualidade

Índices de exatidão derivados de matrizes de confusão para cada observação (individualmente):

– Disponibilidade de amostras de referência para todas as datas?

		Classificação				Total
		1	2	...	c	
V e r d a d e	1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1c}	x_{1+}
	2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2c}	x_{2+}
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	c	x_{c1}	x_{c2}	...	x_{cc}	x_{c+}
	Total	x_{+1}	x_{+2}	...	x_{+c}	n

– Possível extrapolar os valores para outras classificações?

– Representam a exatidão da trajetória?

Avaliação (duas datas)

	AA	BB	AB	BA
AA				
BB				
AB				
BA				

Referência

Classificação

	Mudança	Não Mudança
Mudança		
Não Mudança		

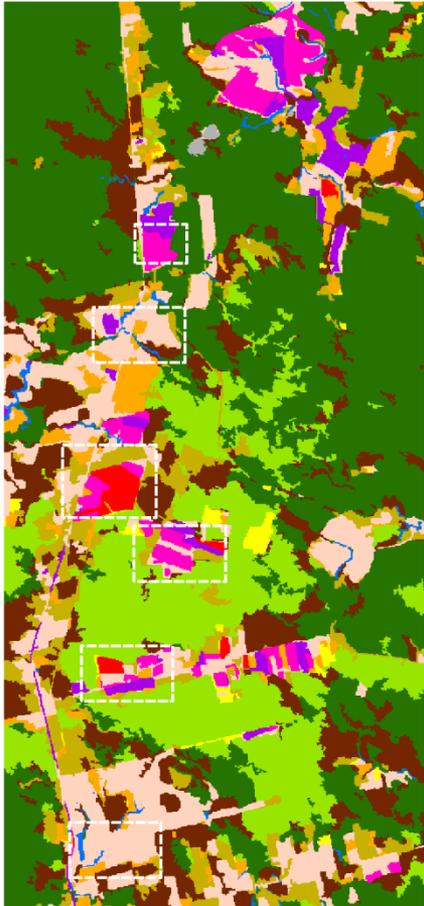
Referência

Classificação

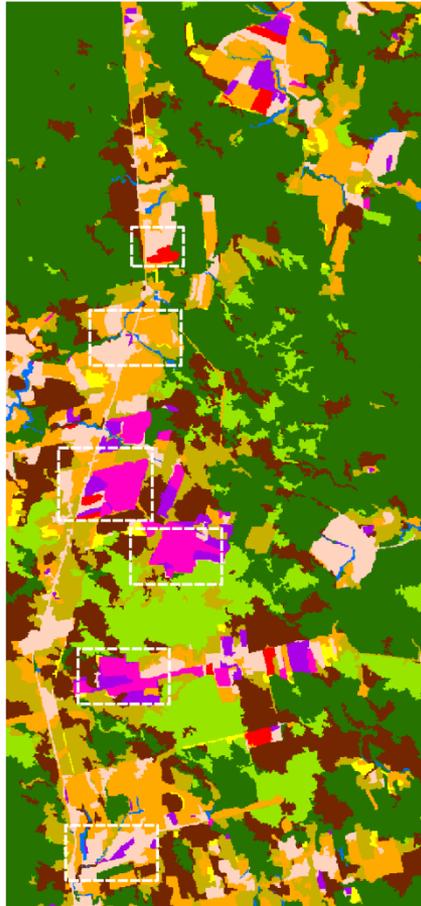
Avaliação (duas datas)

TM (L4)

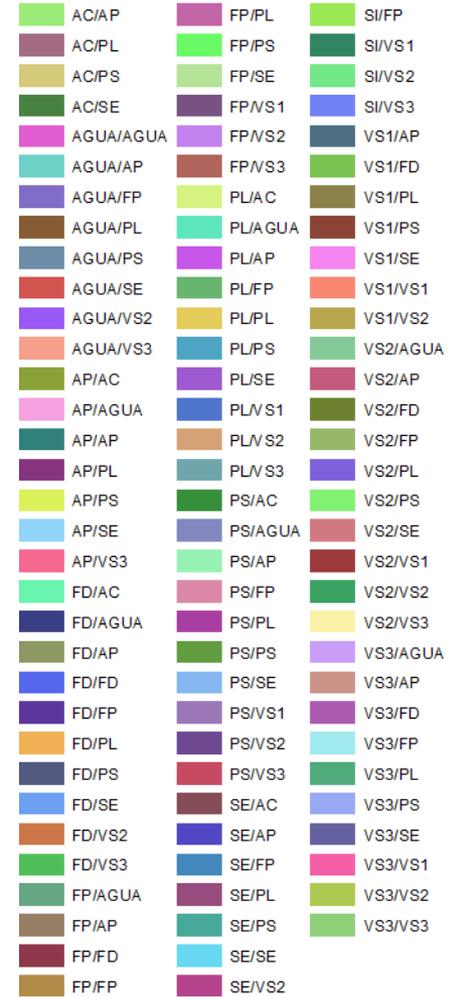
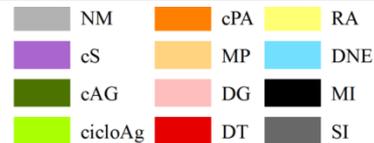
Cobertura 2008



Cobertura 2010



Mudança

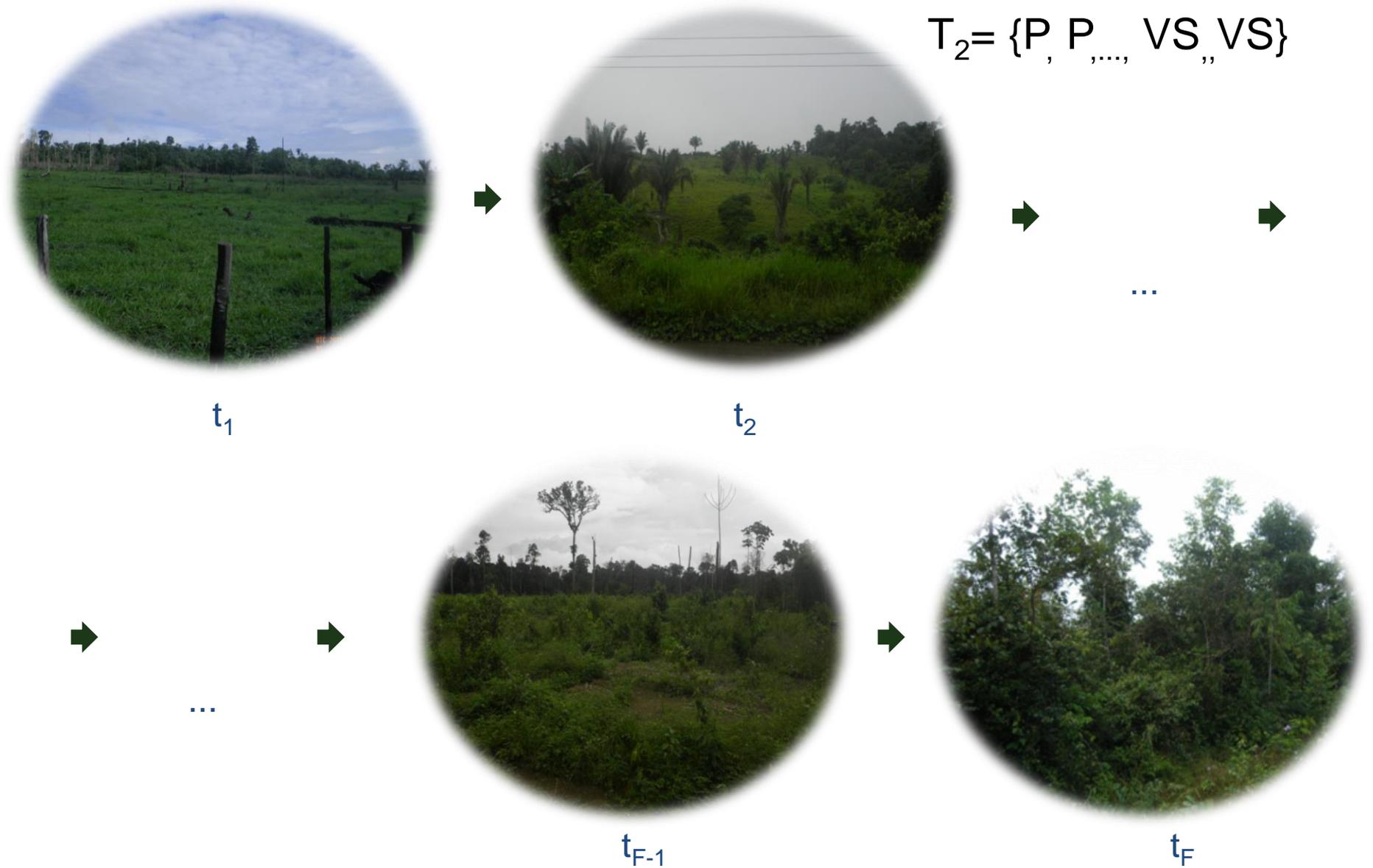


Avaliação da exatidão

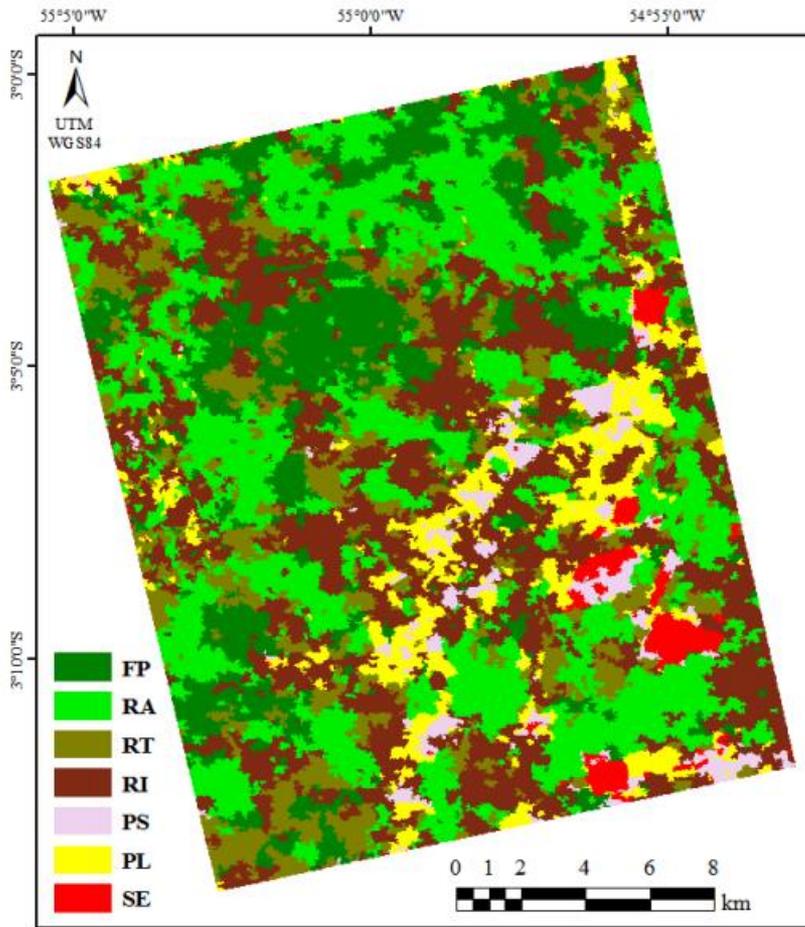
$$T = \{\omega^{t_1}, \omega^{t_2}, \dots, \omega^{t_{F-1}}, \omega^{t_F}\}$$

$$T_1 = \{P, P, \dots, P, VS\}$$

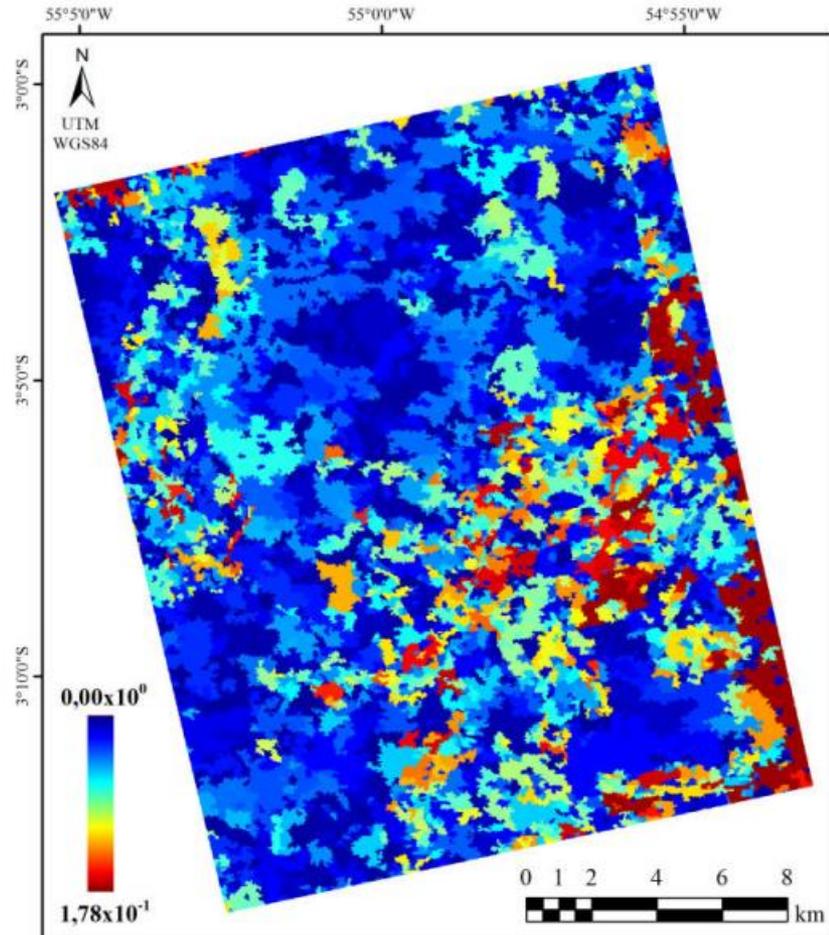
$$T_2 = \{P, P, \dots, VS, VS\}$$



Avaliação da qualidade



Classificação de cobertura

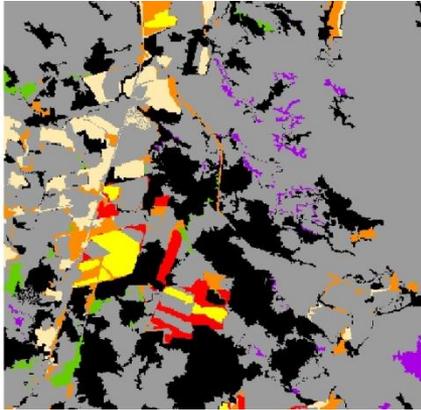


Mapa de possibilidade

BRAGA, B. C. Distâncias estocásticas e testes de hipóteses associados aplicados à classificação de imagens provenientes de múltiplos sensores independentes. 2016. 201 p. **Dissertação** (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2016.

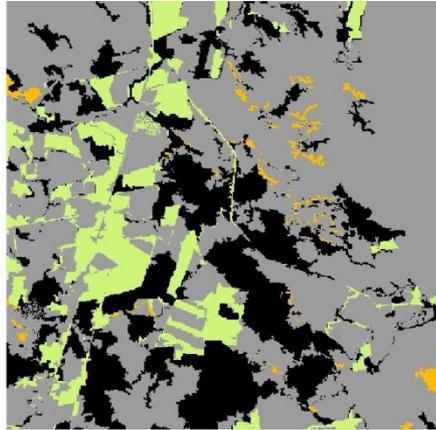
Avaliação da qualidade

Classificação
de transições



- Não mudança
- Não especificado
- Ciclo agrícola
- Conversão para pasto
- Conversão para agricultura
- Manejo pastoril
- Degradação florestal
- Regeneração florestal

Qualidade
da transição



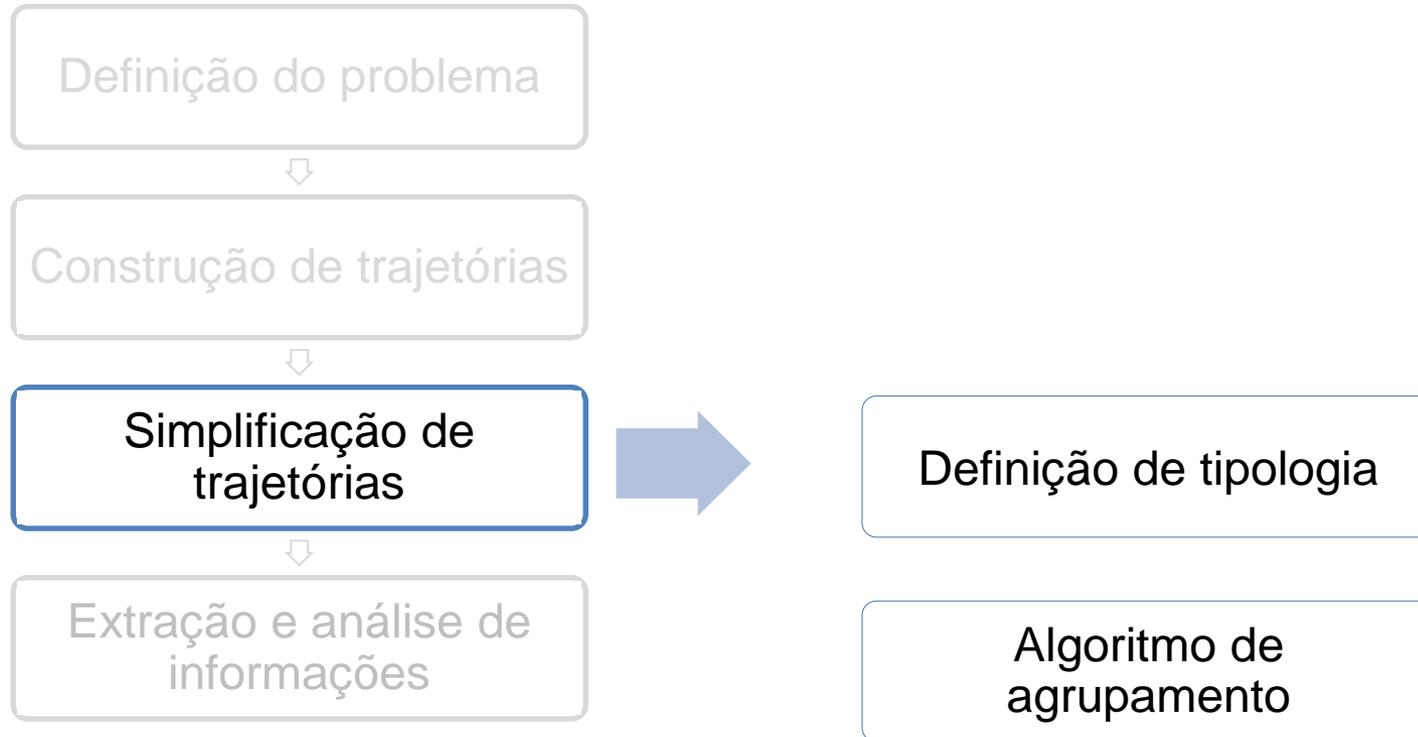
- Não mudança
- Possível e esperada
- Possível mas não esperada
- Impossível

Incerteza



REIS, M. S.; DUTRA, L. V.; SANT'ANNA, S. J. S.; ESCADA, M. I. S. Examining multi-legend change detection in Amazon with pixel and region based methods. **Remote Sensing**, v. 9, n. 1, 2017.

Análise de trajetórias



Definição de tipologia

Trajetória	Transições			Descrição
	tempo inicial	tempo int. t	tempo final	
Persistência de floresta	Floresta	Floresta	Floresta	Floresta inalterada desde 1984
Degradação persistente	Floresta	Degradação florestal	Degradação florestal	Floresta não é convertida em corte raso depois de eventos de degradação
Degradação com corte raso	Floresta	Degradação florestal	Corte raso	evento único ou múltiplo de degradação florestal, seguido por corte raso
Corte raso	Floresta	Corte raso	Corte raso	Conversão da floresta para corte raso, sem evento de degradação floresta
Desmatamento até 1984	Corte raso	Corte raso	Corte raso	Área que em 1984 (tempo inicial) já havia sido desmatada

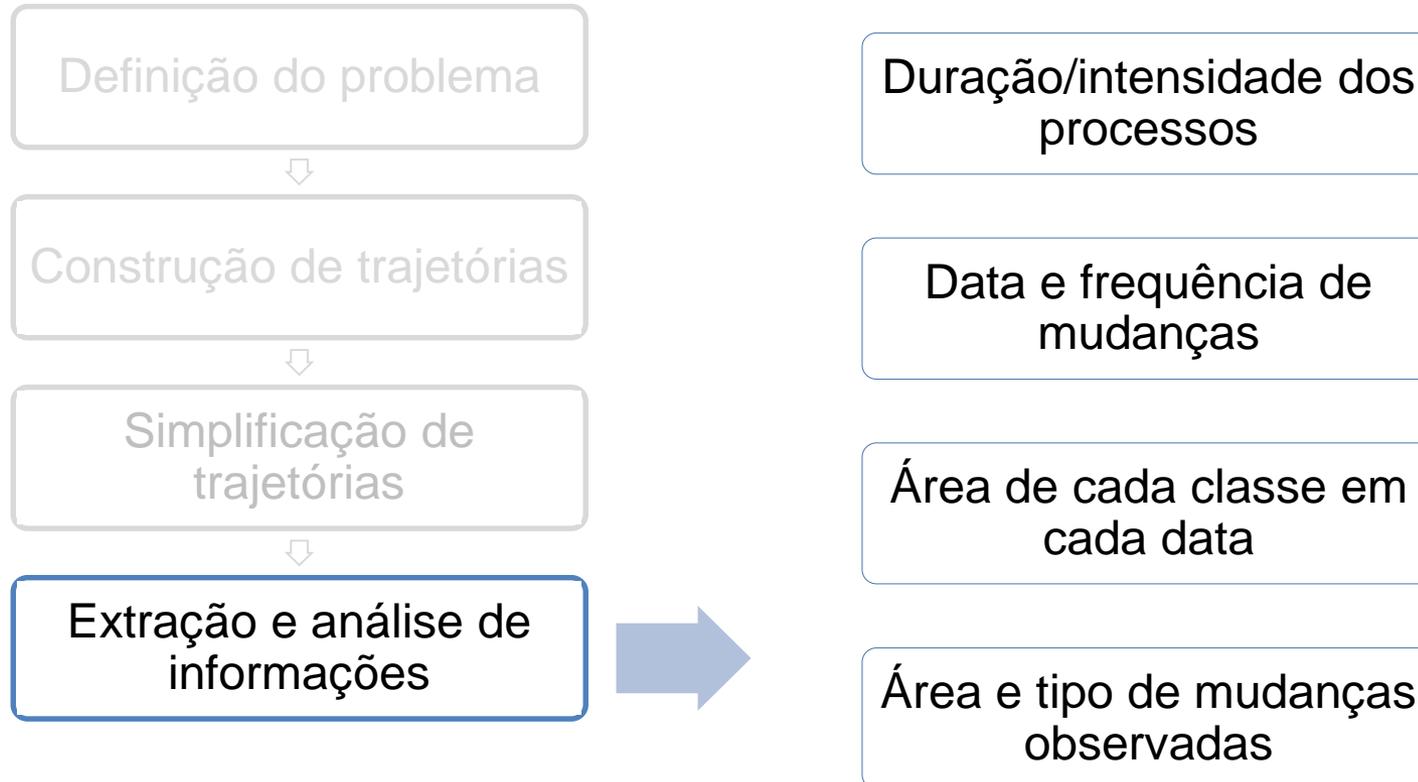
PINHEIRO, T. F. Padrões e trajetórias de degradação florestal em fronteiras madeireiras da Amazônia. 205 p. **Tese (Doutorado)** — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2015 (modificado).

Algoritmo de agrupamento

- *Grouping by Similarity of Temporal Evolution (GSTE)* (AZEREDO, 2017):
 - baseado em *Dynamic Time Warping (DTW)*, *Classical Multidimensional Scaling (CMDS)* e *K-Means Clustering*.

	Gr1	Gr2	Gr3	Gr4	Gr5	Gr6	Gr7	Gr8
Corte raso	13	0	33	0	0	3	0	63
Degradação com corte raso	6	0	29	0	0	2	0	126
Degradação persistente	0	14	0	3	32	0	4	3
Persistência de floresta	0	0	0	0	0	0	69	0

Análise de trajetórias



Grata pela atenção!

Mariane Souza Reis
mariane.reis@inpe.br