

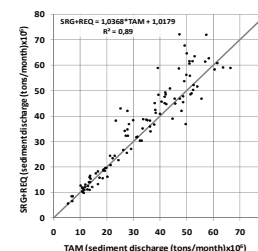
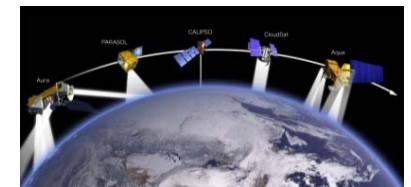
# Tema 1 : Sensoriamento remoto para determinação de processos sedimentares em rios e reservatórios

Medição das propriedades óticas para determinação de curvas de calibração refletância – calibração

Jean-Michel Martinez – IRD  
martinez@ird.fr

# Abordagem

- Vários desafios / questões a responder para provar a robustez do uso do sensoriamento remoto :
- A cor das águas é um estimador confiável da concentração em sedimentos ?
  - Medições de campo intensivas para registrar as propriedades óticas
- É possível desenvolver processamentos automatizados das imagens de satélite ?
- Qual é a precisão do método ?
  - Estudos de casos sobre rios e reservatórios



# PROPRIEDADES ÓTICAS DAS ÁGUAS

- As capacidades de absorção e espalhamento da luz são determinadas pela presença de :
  - Partículas em suspensão : material mineral e orgânico
  - Carbono orgânico dissolvido



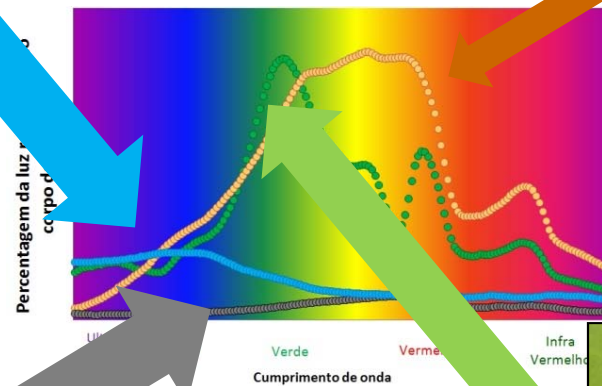
**Azul:**  
Cor natural das águas



**Marrão:**  
Sedimentos em suspensão

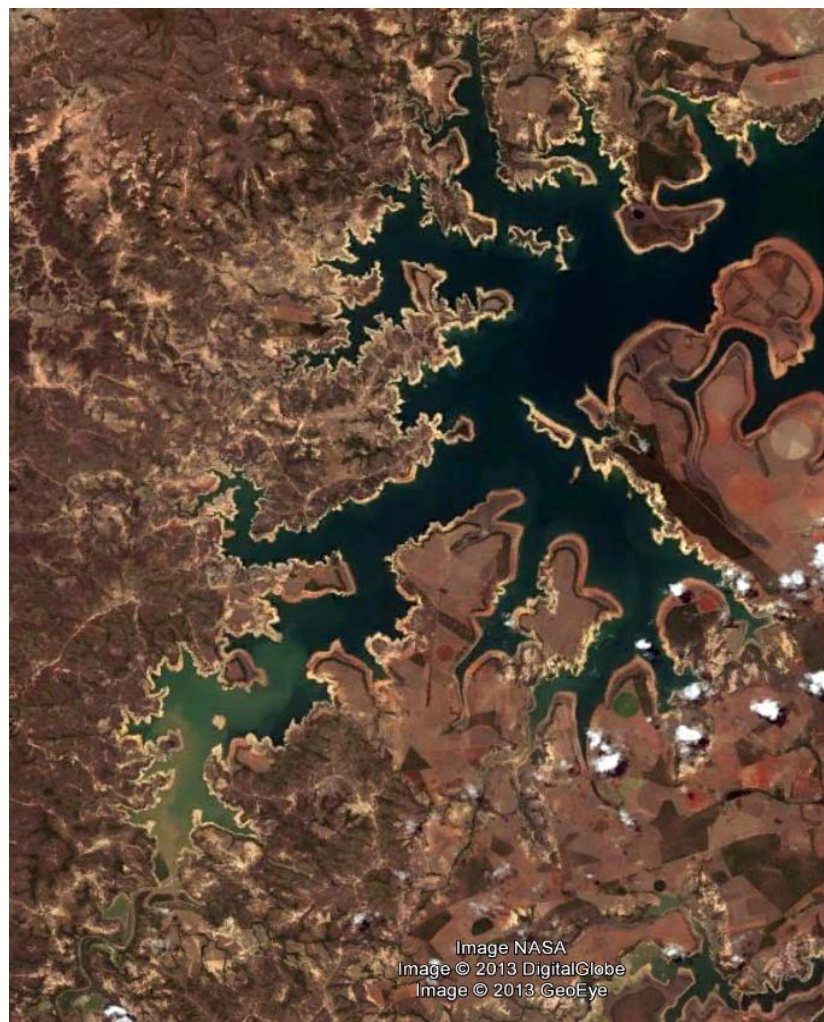


**Preta:**  
Matéria orgânica dissolvida



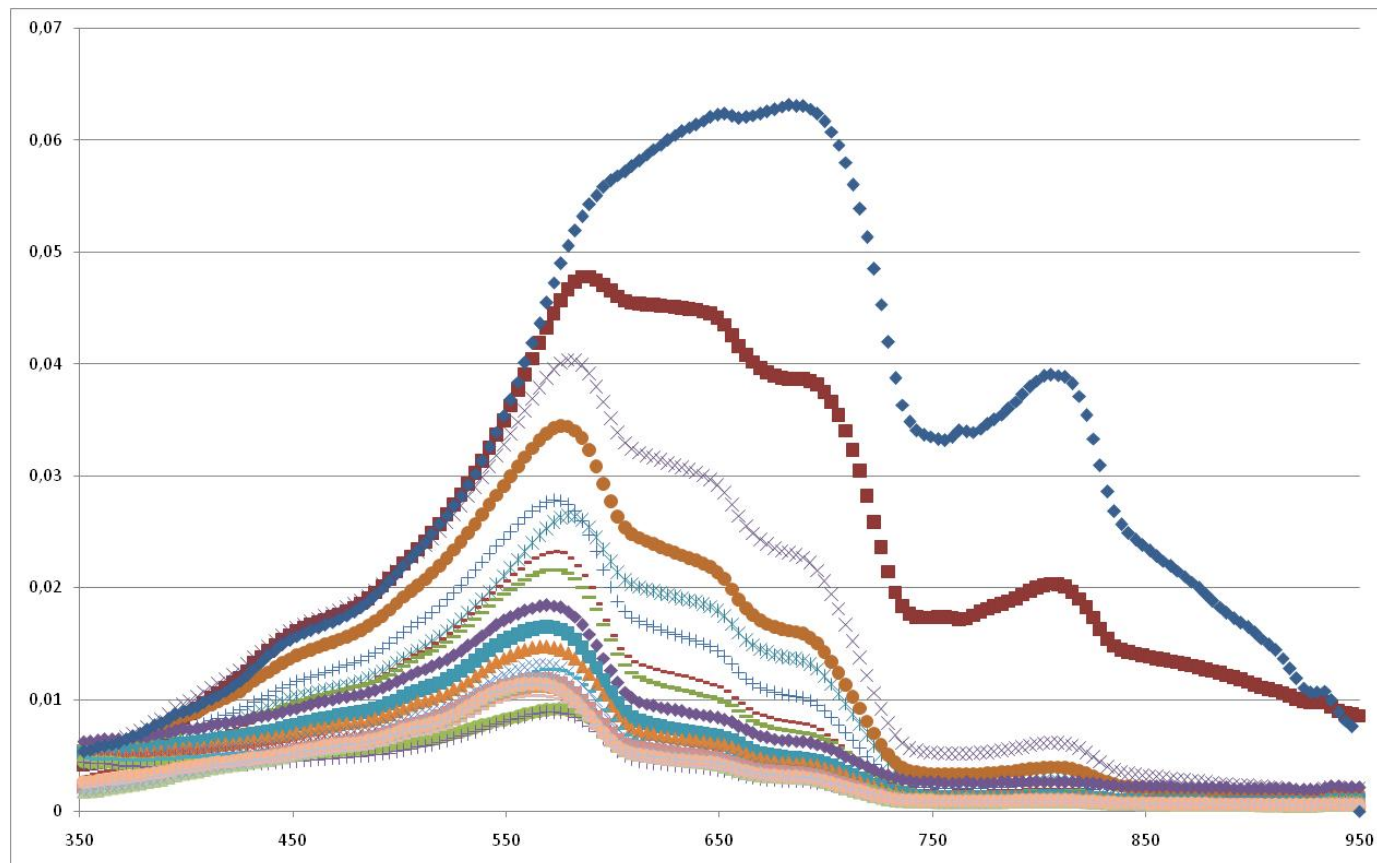
**Verde:**  
Algas

# PROPRIEDADES ÓTICAS DAS AGUAS



# PROPRIEDADES ÓTICAS DAS AGUAS

- Variações espectrais da refletância sob influencia dos processos de sedimentação (medição in situ)





# PROPRIEDADES ÓTICAS DAS AGUAS

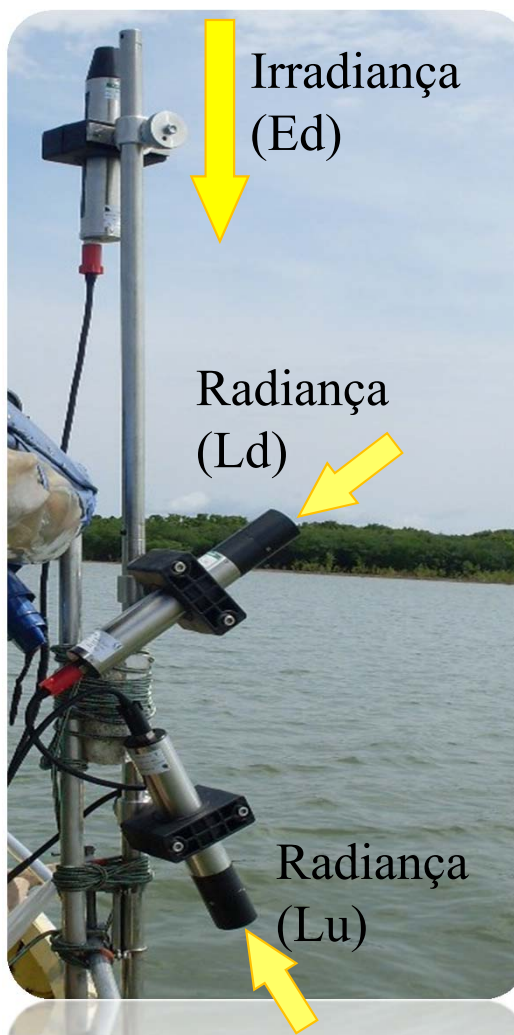
- Registrar a variabilidade das propriedades óticas
- Verificar a robustez da relação entre propriedades óticas e sedimentos em suspensão
- Calibrar relações que serão exploradas para processar imagens de satélite

# Medição das propriedades óticas



Fonte: [www.TriOS.de](http://www.TriOS.de)

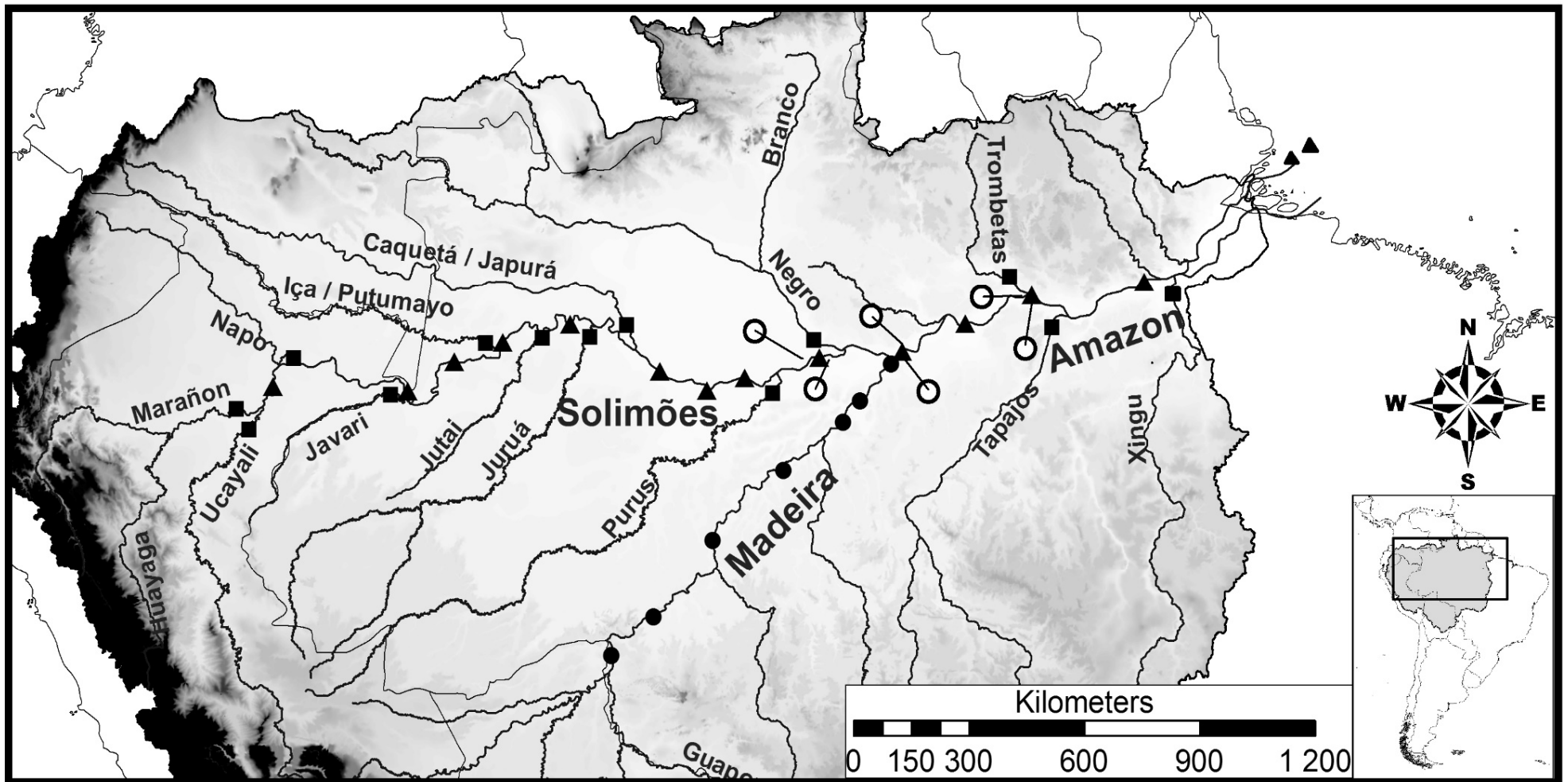
## Reflêctancia



## Coeficiente de atenuação da luz dentro da água



# Caso da bacia Amazônica



▲ Solimões - Amazon Rivers ● Madeira River ■ Tributaries ○ Floodplain lakes



# Medição das propriedades óticas

- Resultado de 16 campanhas realizadas entre 2007 e 2011 : 279 medições
- Demostramos pelo primeira vez na escala de uma grande bacia que a reflêtancia pode ser uma variavel robusta para estimar a concentração em sedimentos (Martinez et al. 2015)

AGU PUBLICATIONS



Journal of Geophysical Research: Earth Surface

RESEARCH ARTICLE

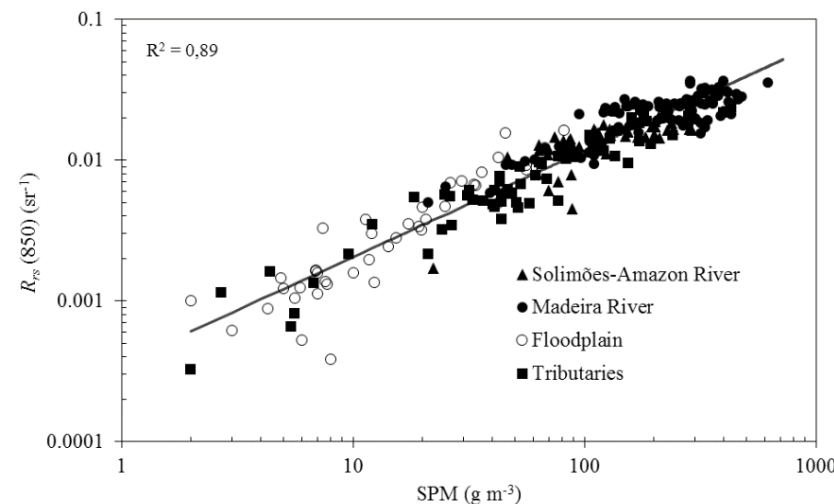
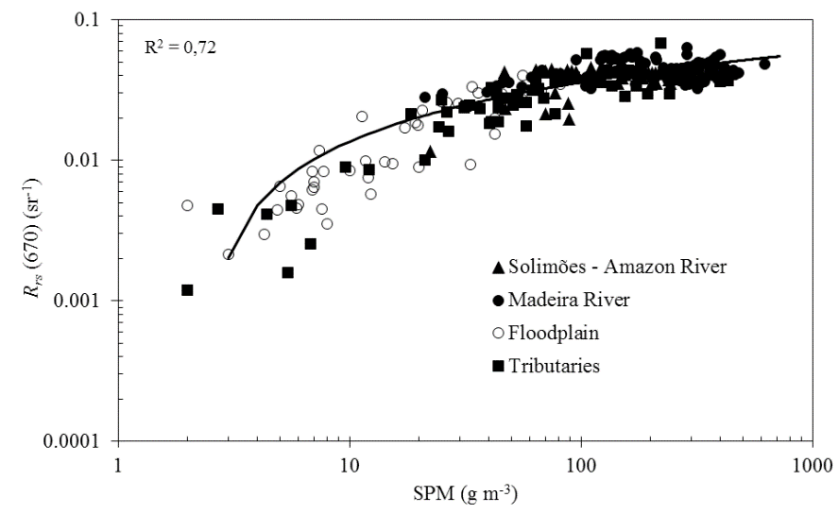
10.1002/2014JF003404

Key Points:

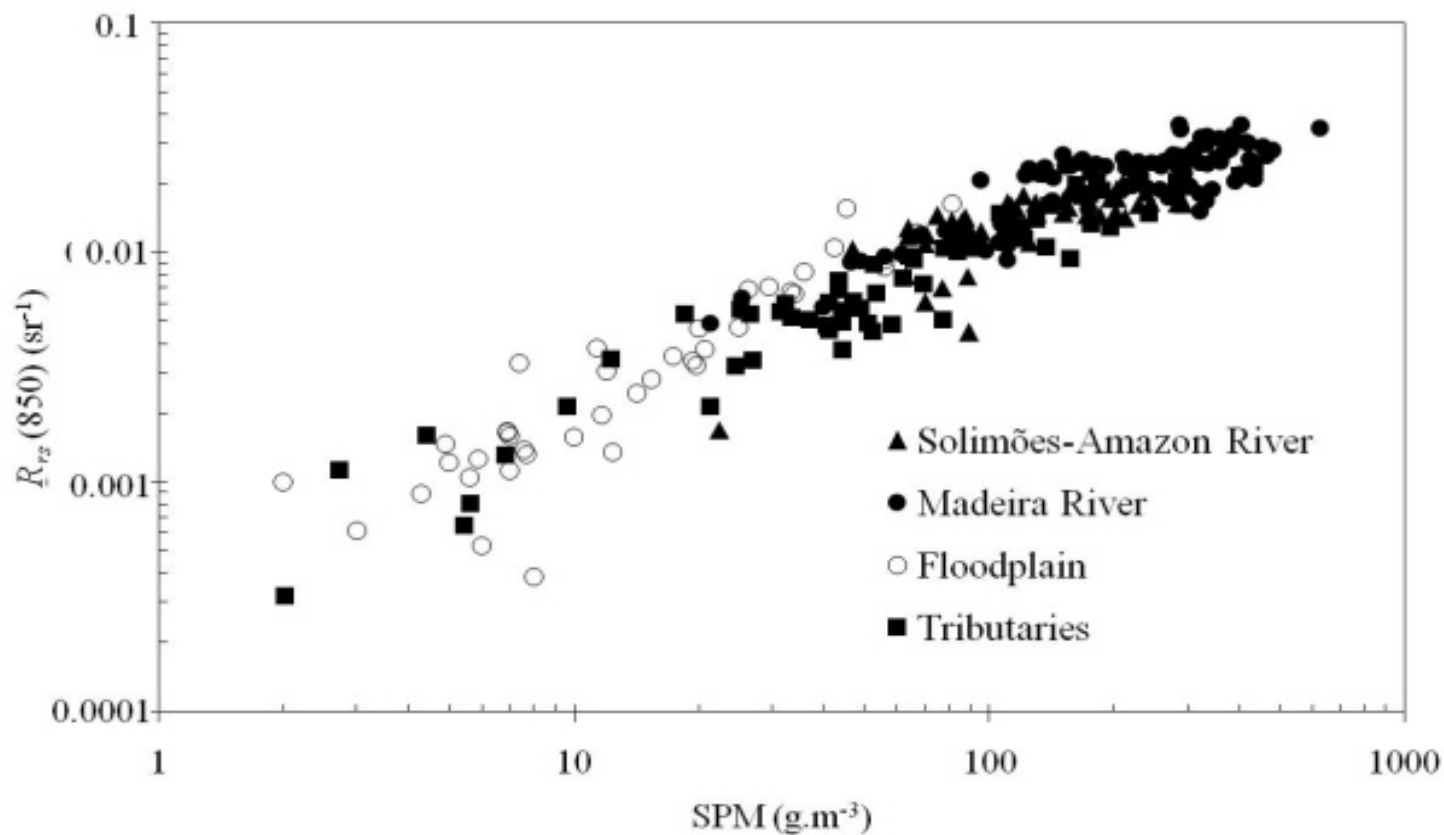
- Water optical properties and characteristics were assessed in the Amazon Basin
- CDOM absorption and SPM show reduced variability (size and type) at

The optical properties of river and floodplain waters in the Amazon River Basin: Implications for satellite-based measurements of suspended particulate matter

Jean-Michel Martinez<sup>1,2</sup>, Raul Espinoza-Villar<sup>1,2</sup>, Elisa Armijos<sup>3</sup>, and Luciane Silva Moreira<sup>4</sup>



# Medição das propriedades óticas

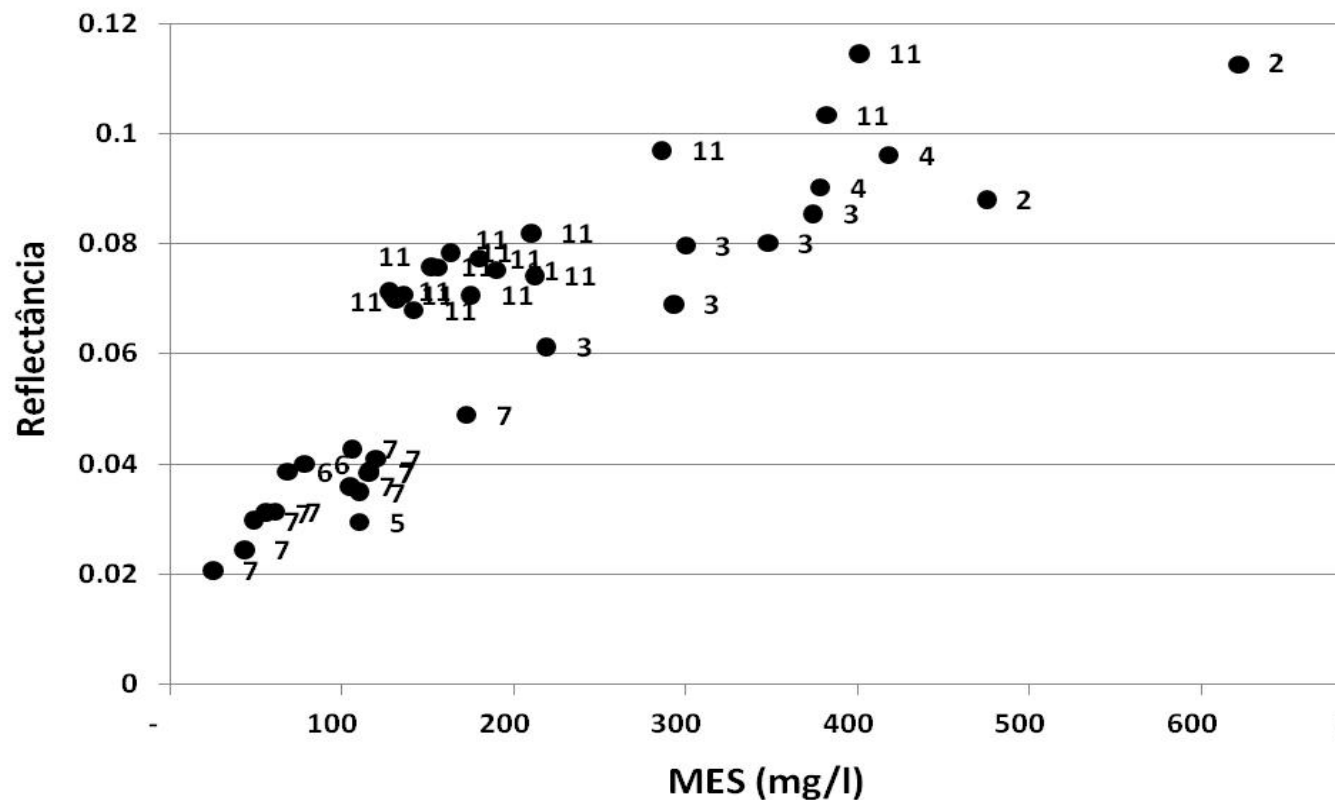


- **279 medições de reflêntacia (16 campanhas),  $R^2(850\text{nm}) = 0,89$**

# Medição das propriedades óticas

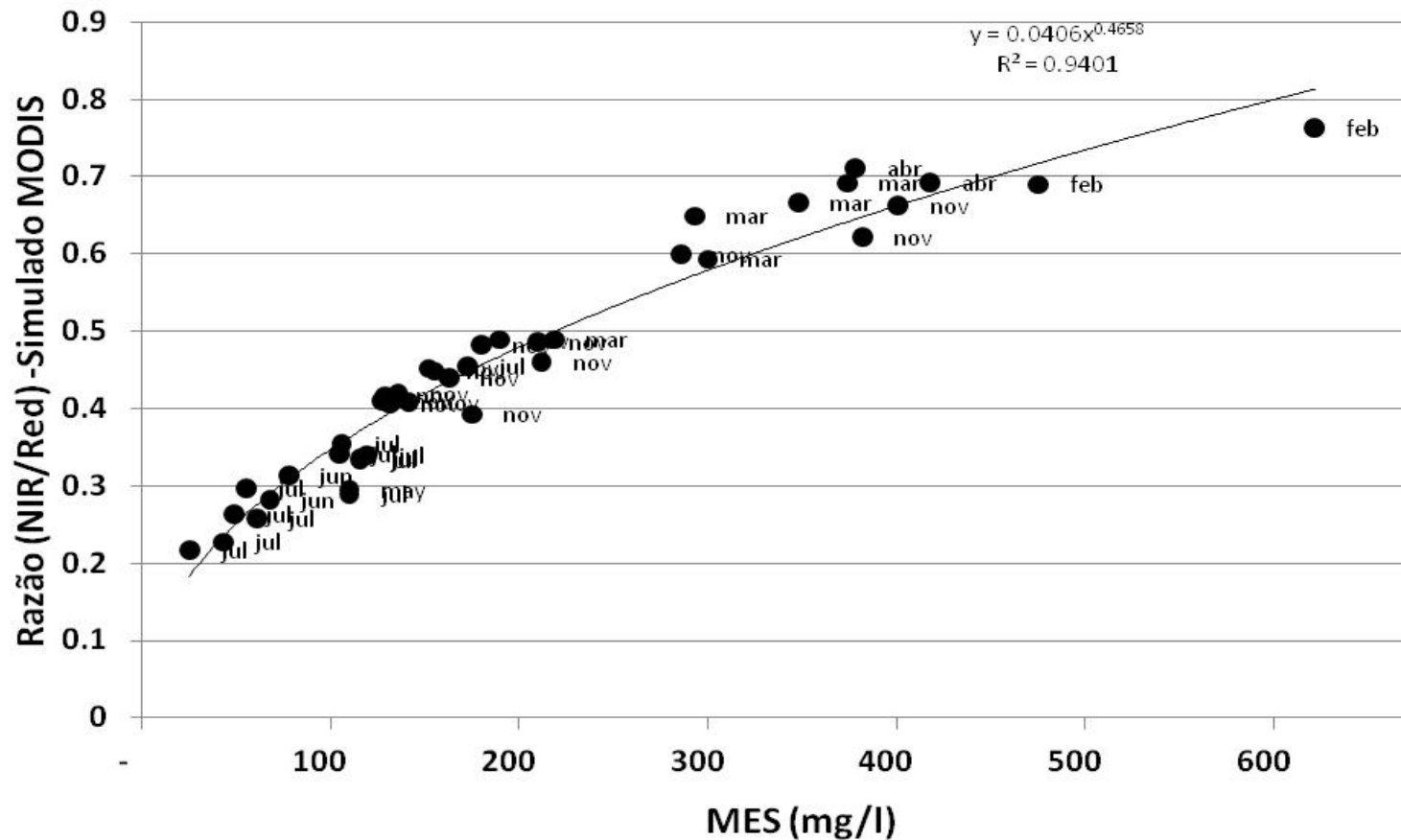
- No caso do rio Madeira foi encontrada uma variação sazonal da relação MES vs reflectância

## DADOS DE ESPECTRORRADIOMETRIA DE CAMPO



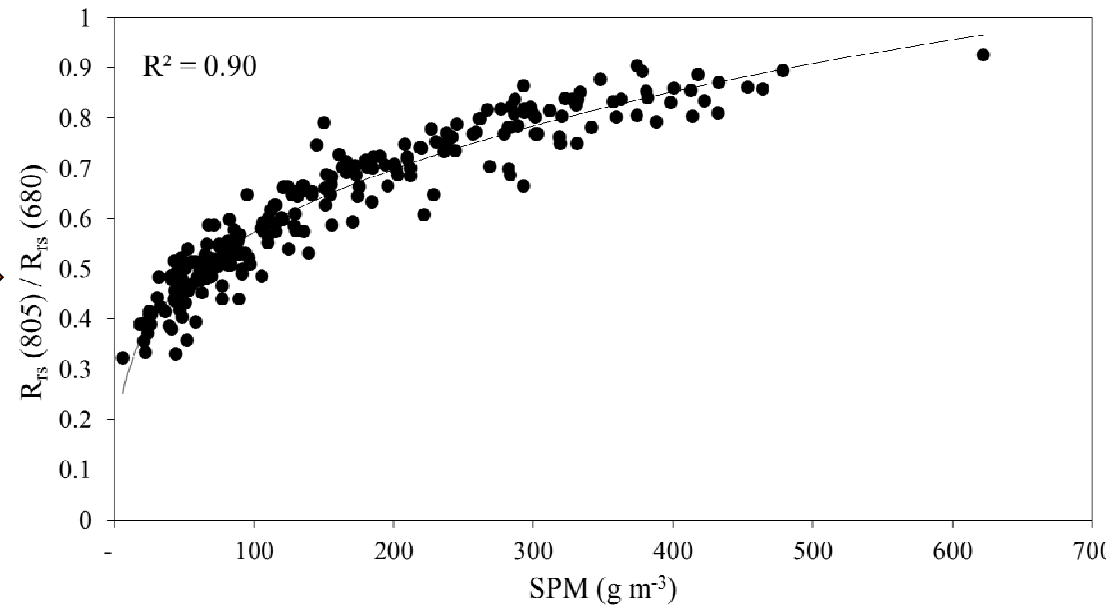
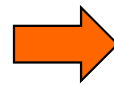
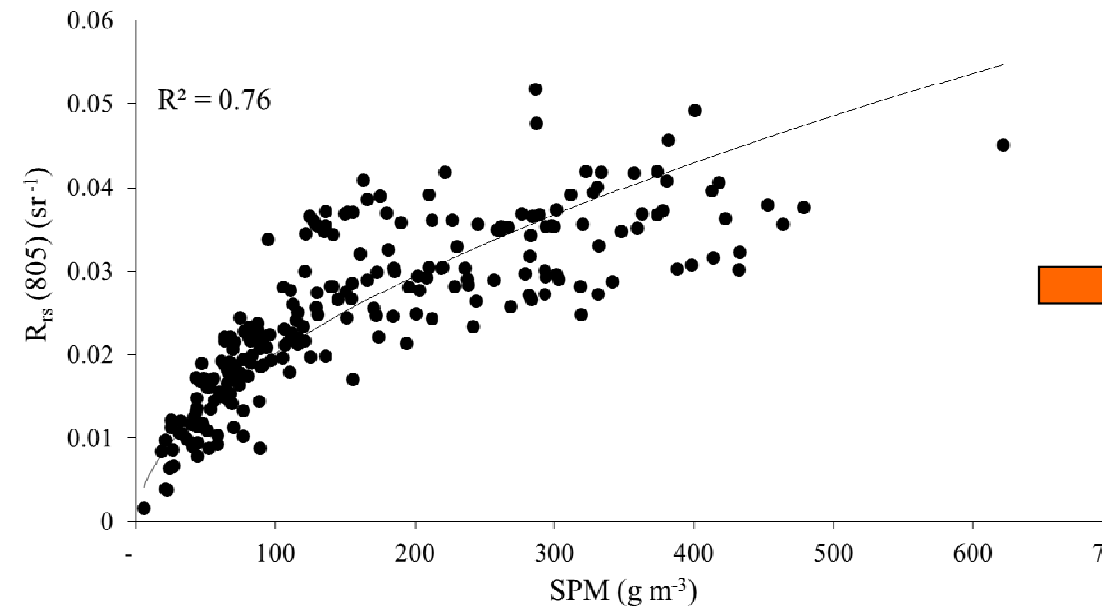
# Medição das propriedades óticas

- Aproveitando da informação espectral é possível eliminar essa dependência, calculando a **razão entre bandas** infravermelho/vermelho :



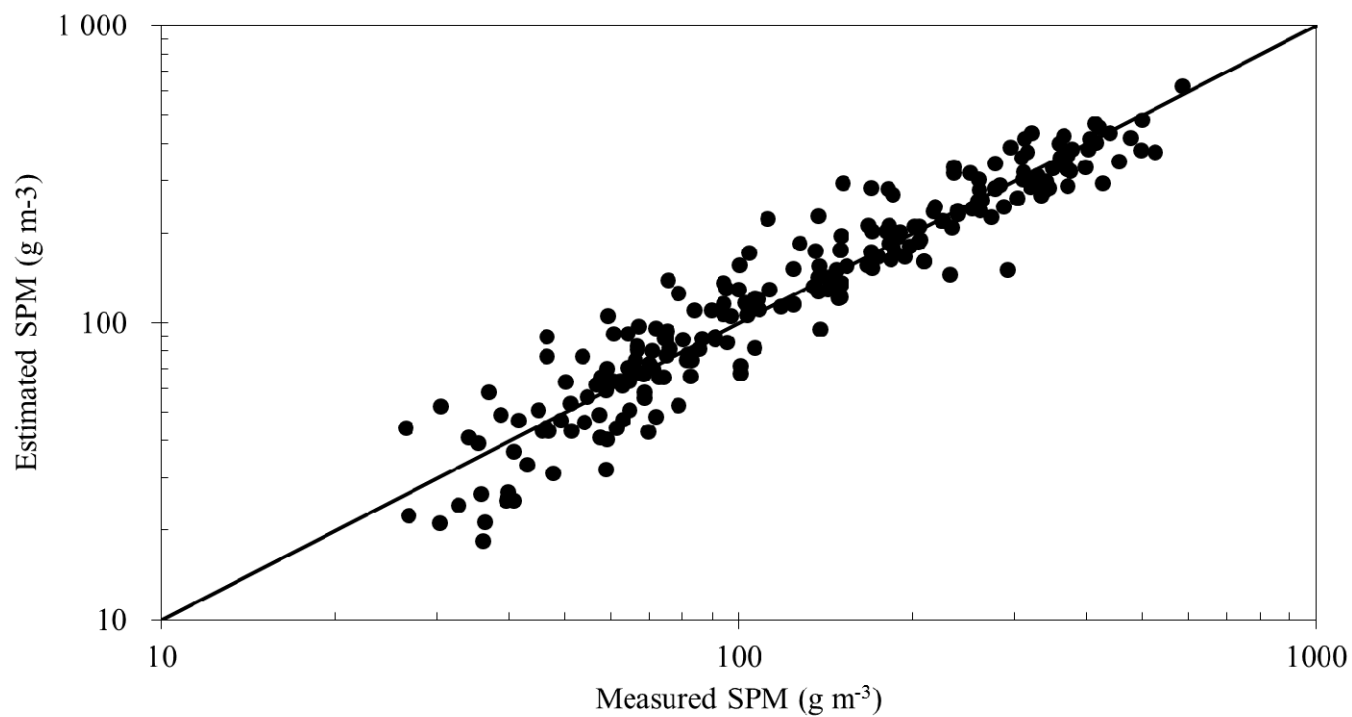
# Medição das propriedades óticas

Foi desenvolvido um modelo de duas bandas radiométricas para melhorar a estimativa da concentração em sedimentos :



# Medição das propriedades óticas

**Performance do modelo de inversão : RMSE de 38 mg/l (N = 229)**

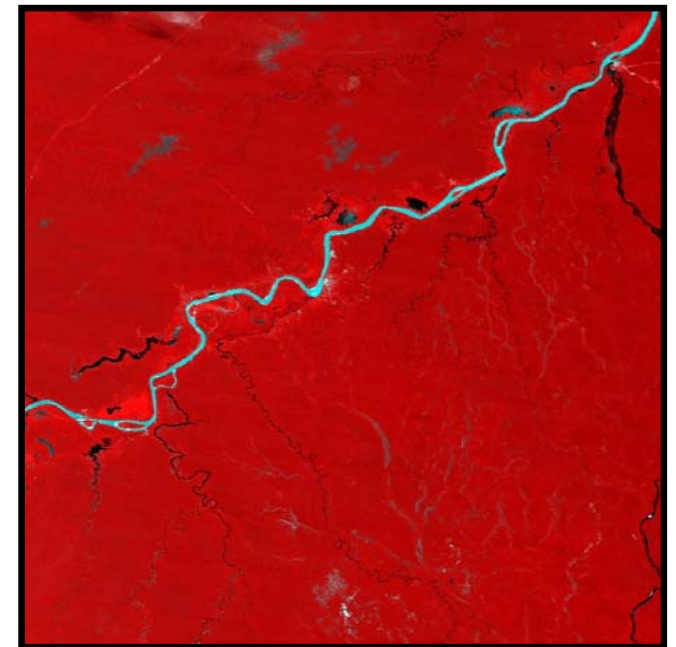


# Sensoriamento remoto

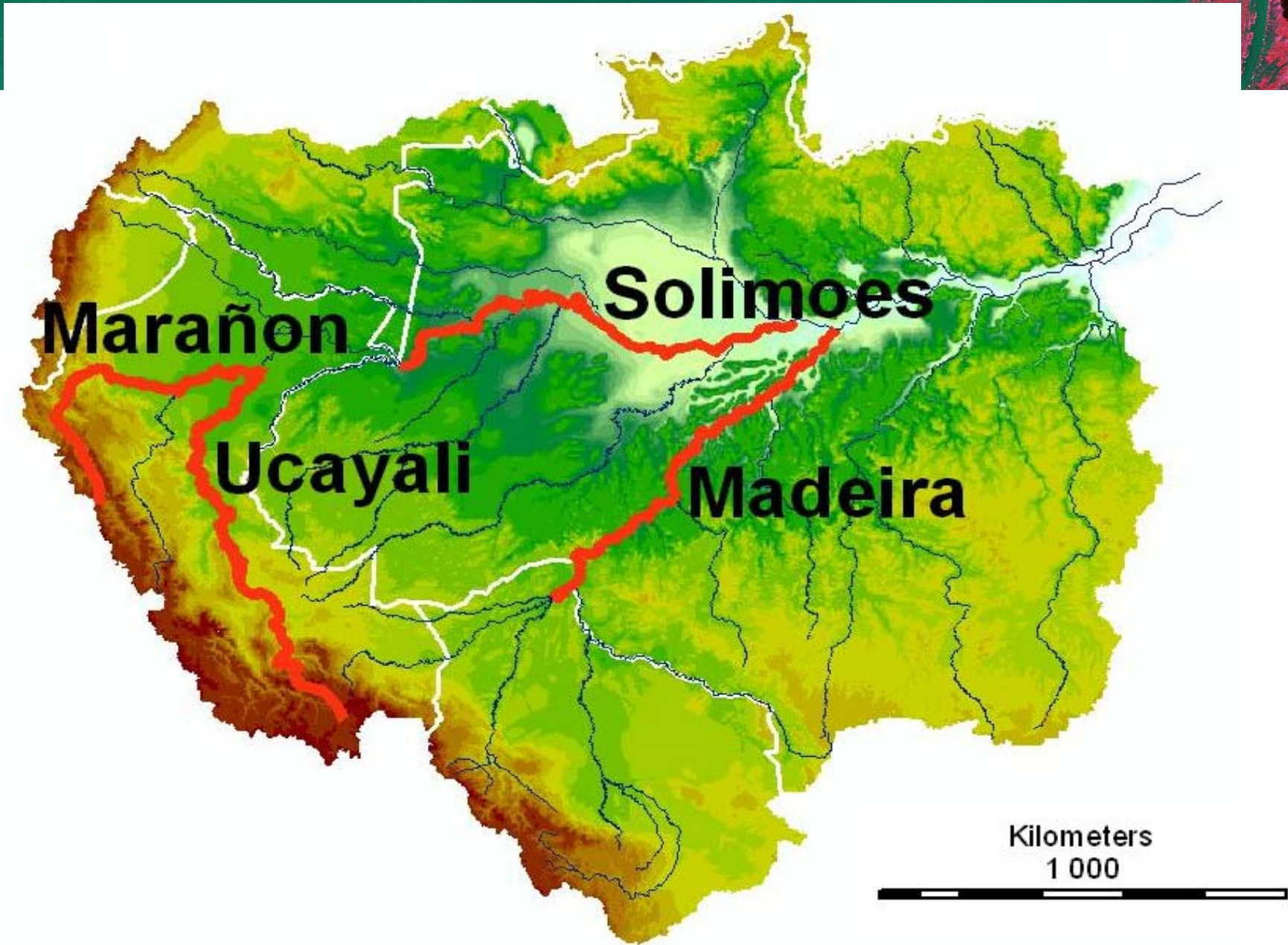
- Satellite data make possible to monitor large areas and with a frequency that depends on each satellite configuration
- Our choice : medium resolution sensors such as **MODIS** (launched in 2000) & **MERIS** (launched in 2002) offer the best **trade off** between **space/radiometric/time resolutions**

MODIS :

- Optimal **Spatial coverage** (global)
- Fine **time revisit** (2 images / day)
- Medium **resolution** : 250 & 500 meters
- Medium radiometric resolution : 2-5 bands

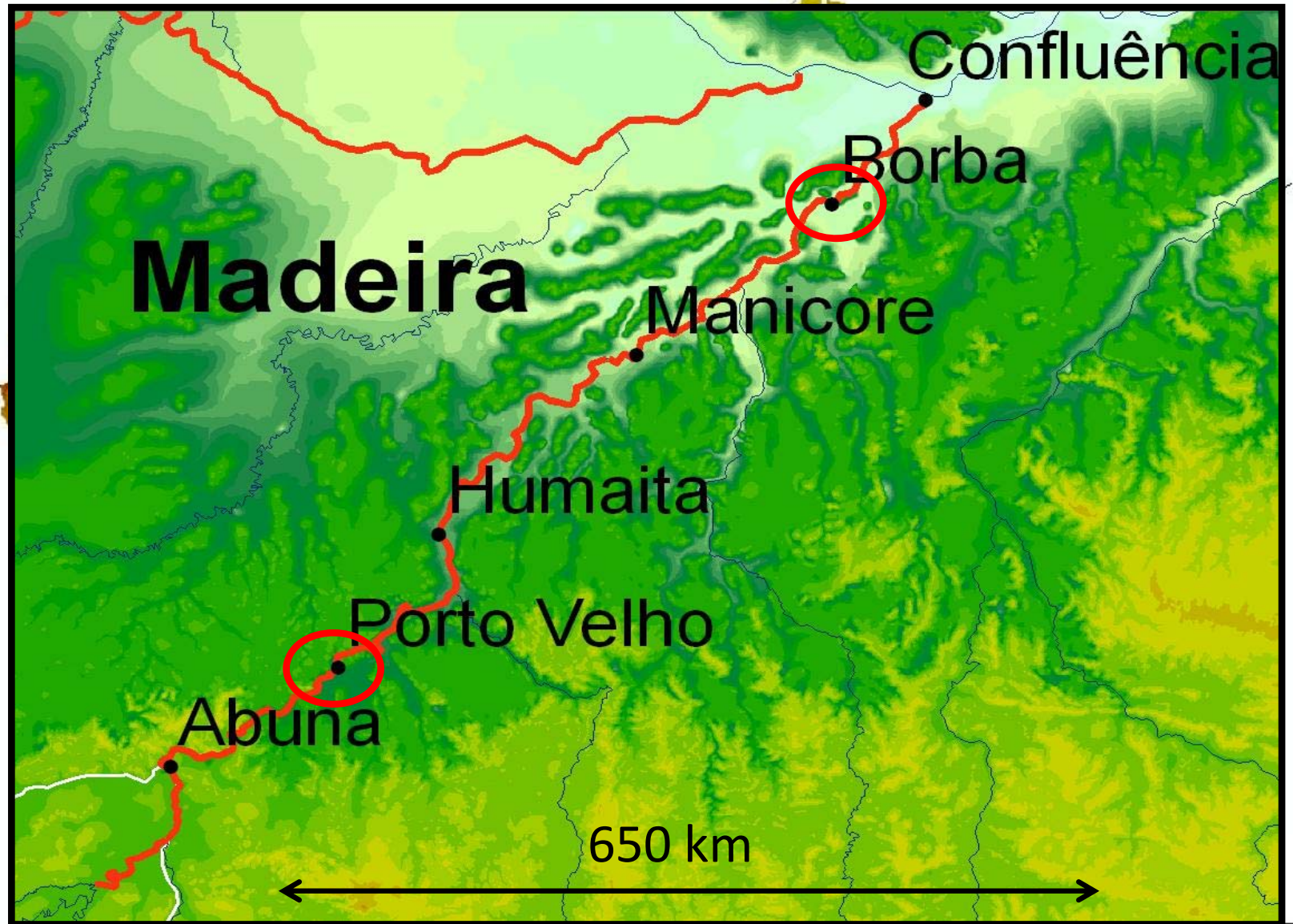


# Rio Madeira

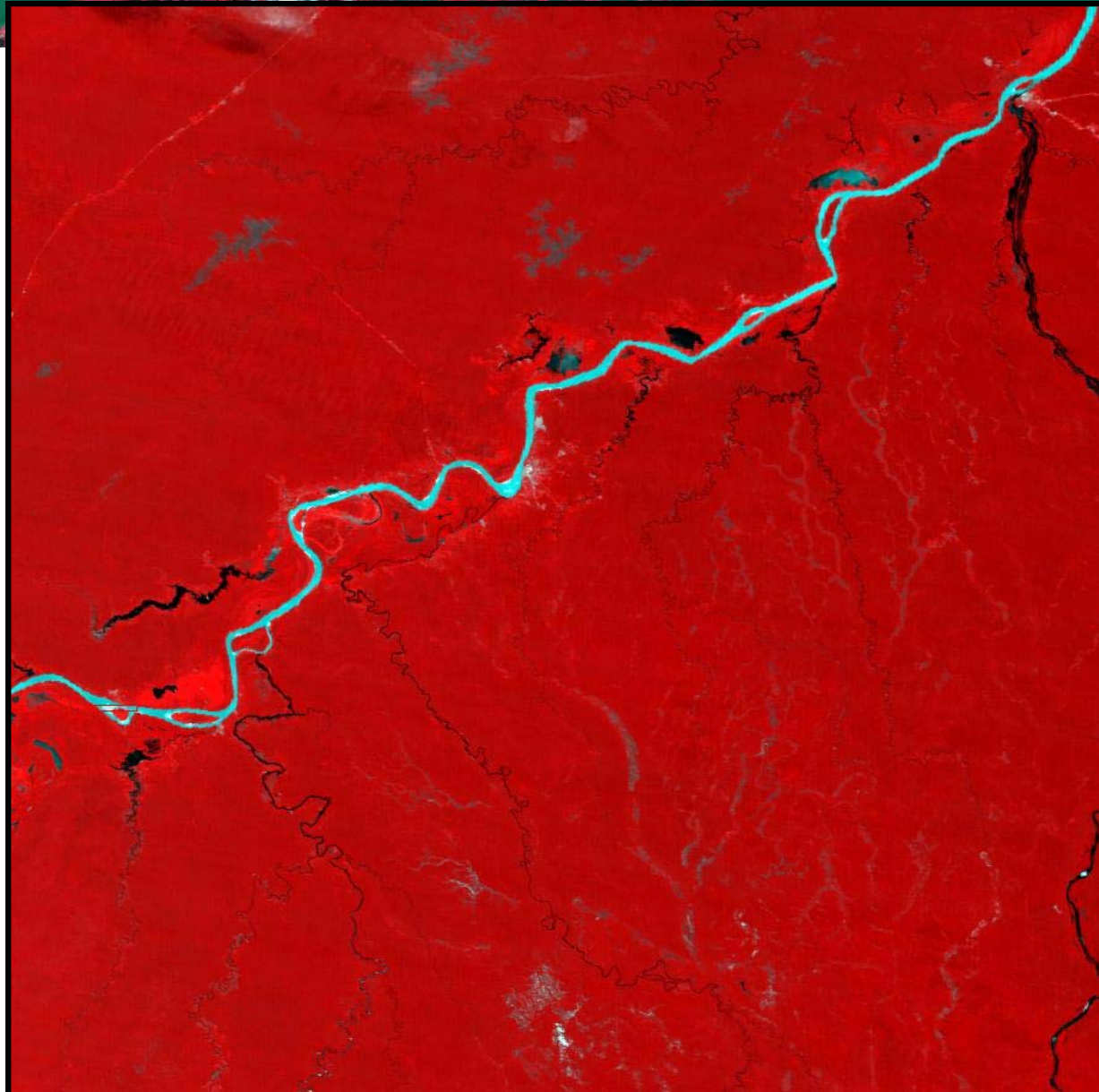




# Rio Madeira

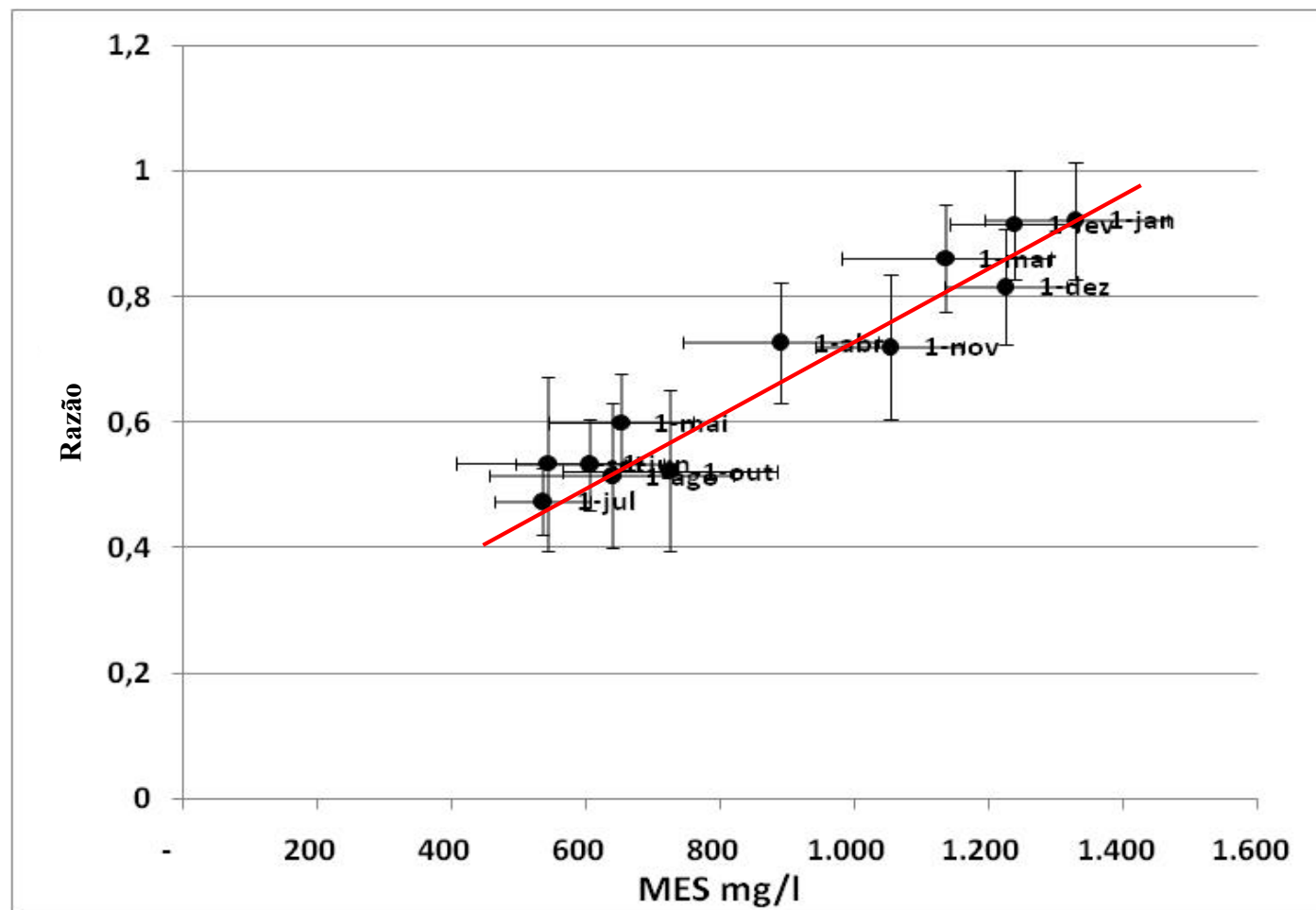


# Imagem MODIS



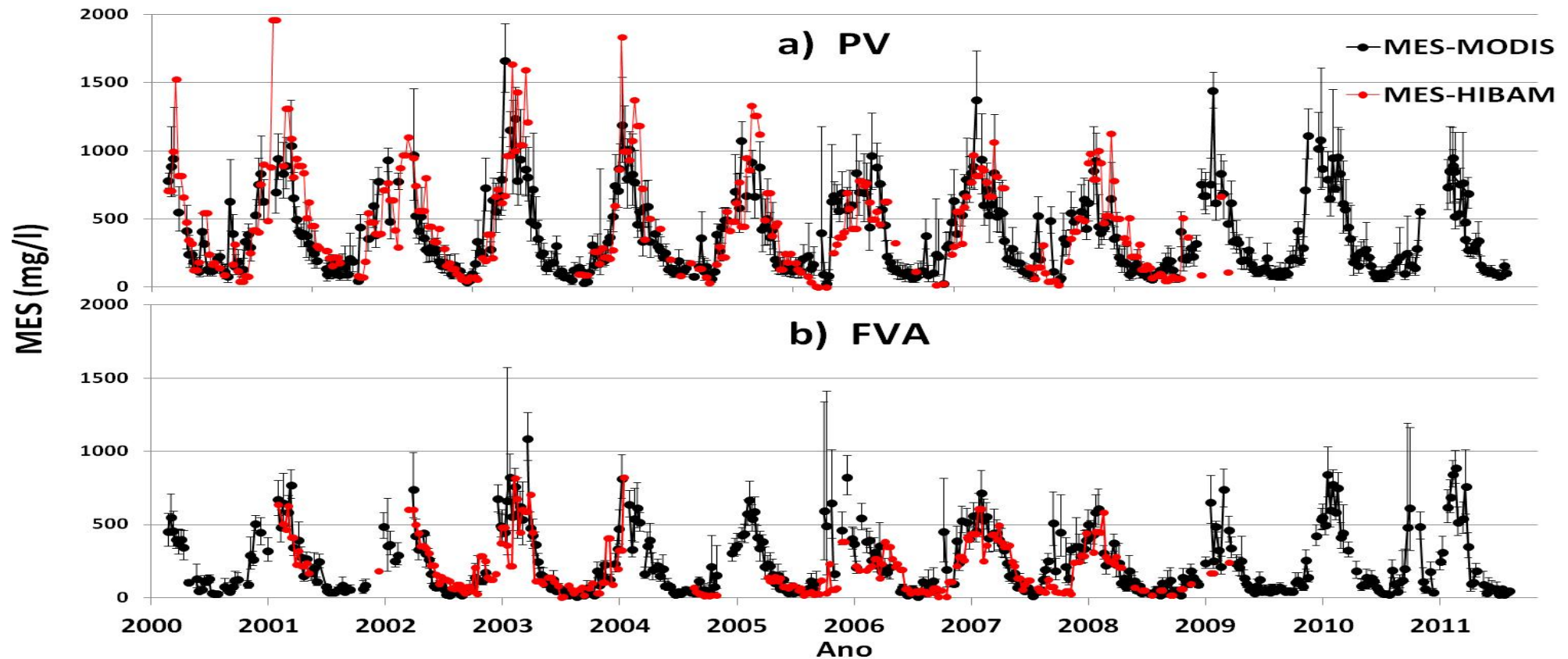
# Medição das propriedades óticas

- Valores médios mensais (2000-2010) MES & reflectância MODIS  
DADOS MODIS

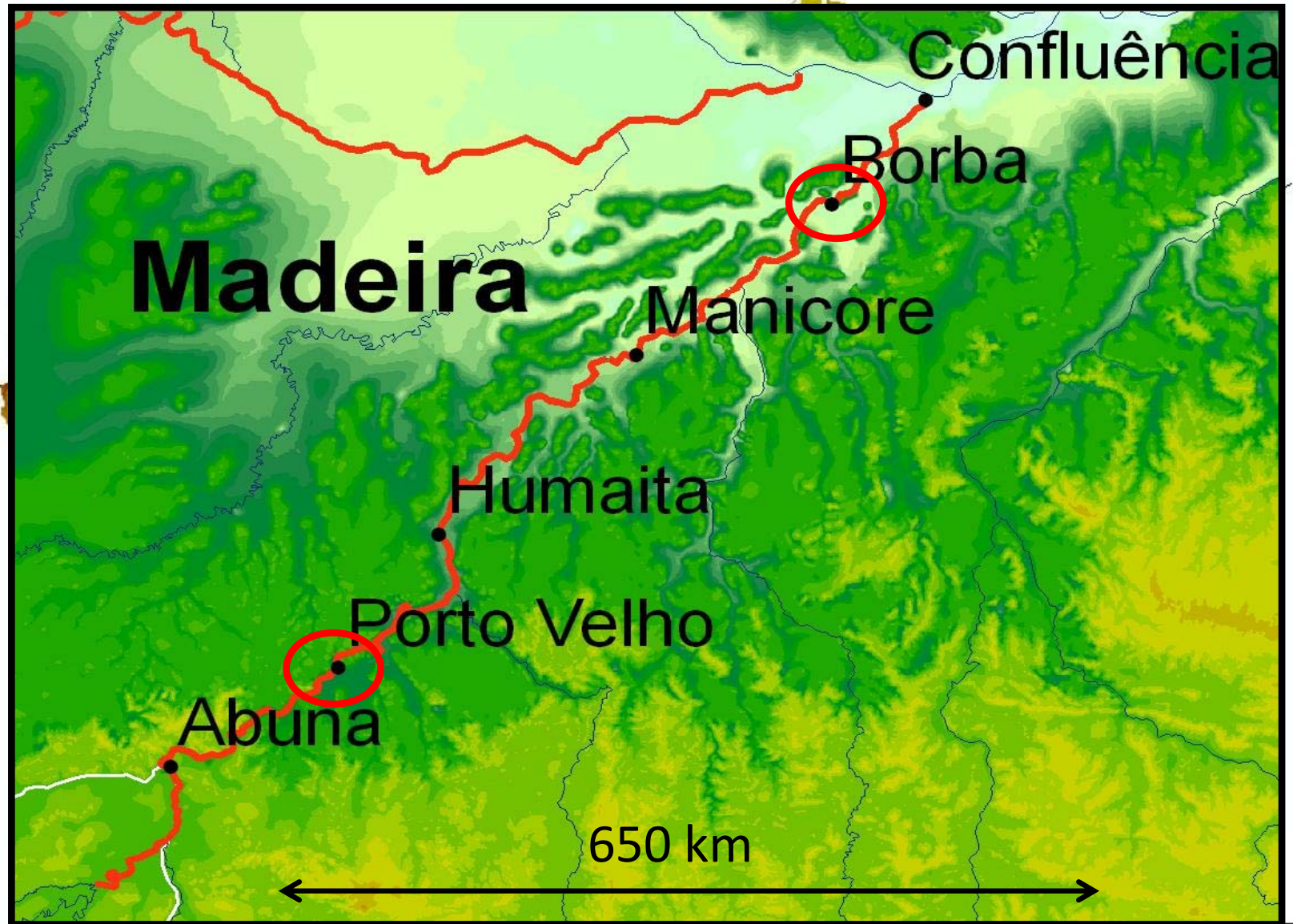


# SPM concentration monitoring

- Satellite-derived vs field sampling measurements over 10 years at 2 stations (Madeira River) ( $r = 0.79$  –  $N = 282$ )

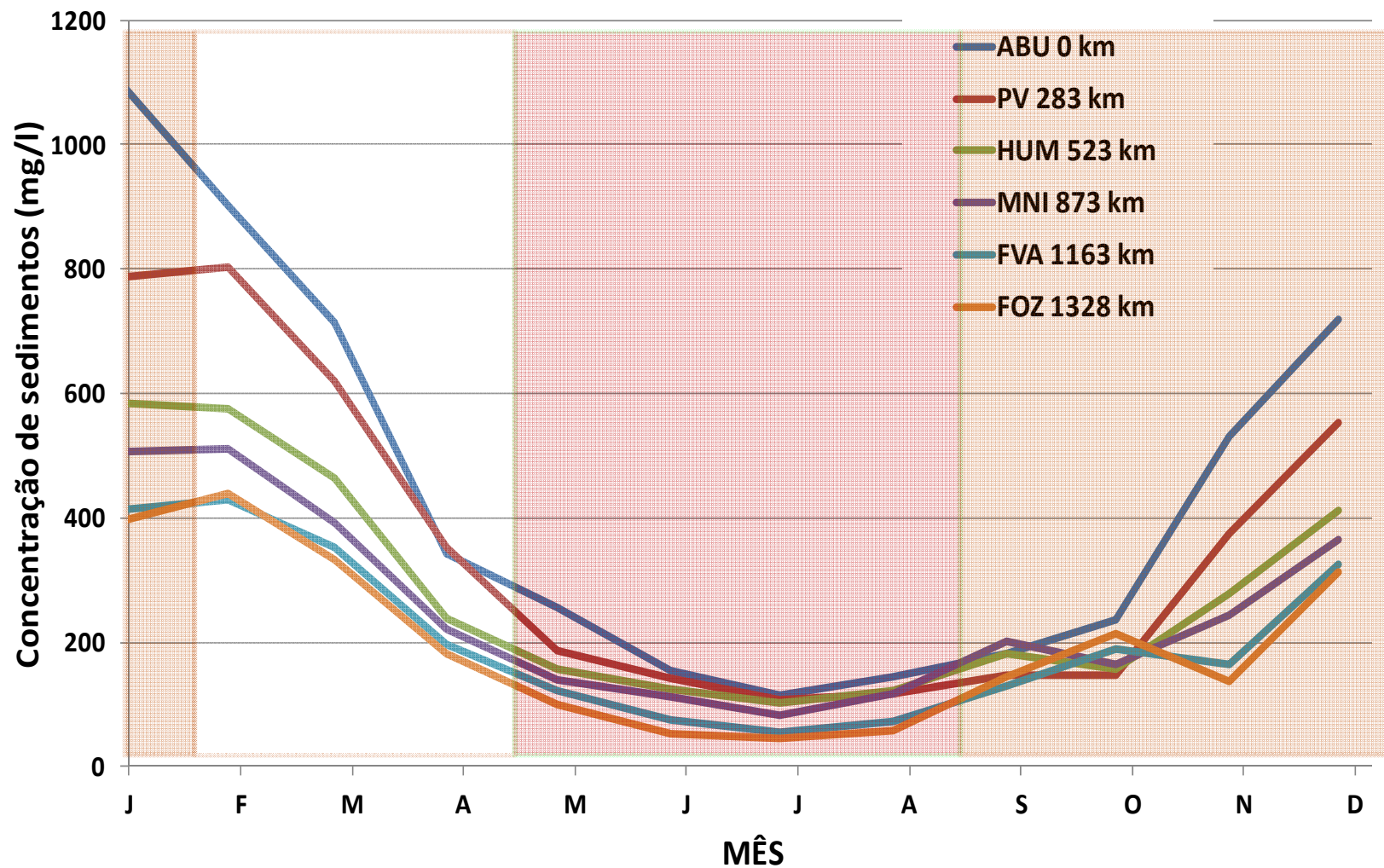


# Rio Madeira



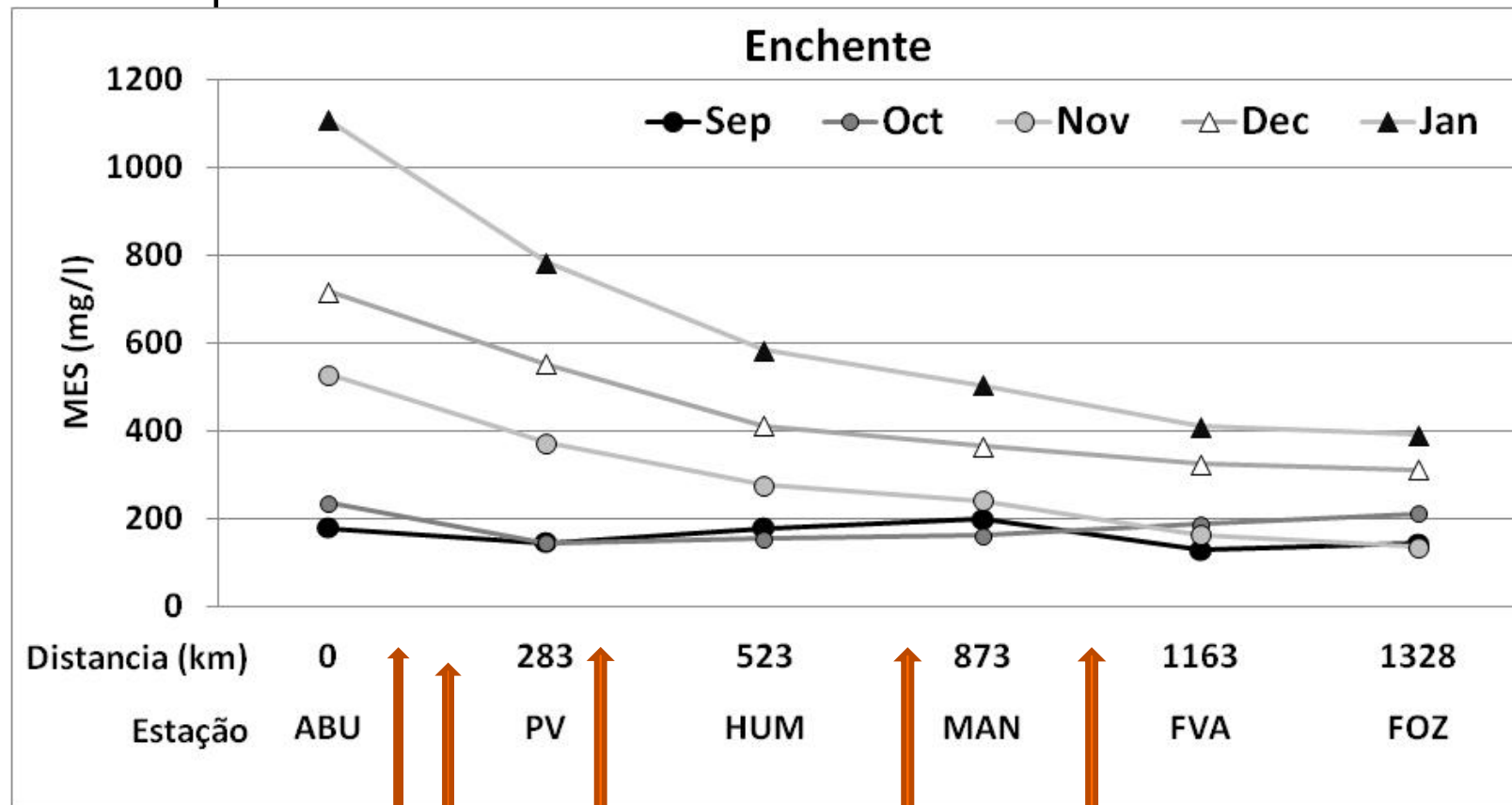
# Dinâmica Temporal dos fluxos de sedimentos

- Dados médios mensais dos 11 anos de estudo



# Dinâmica Espacial dos fluxos de sedimentos

- Dados médios mensais de concentração de sedimentos estimados por MODIS



Abuna  
Jaci-Parana

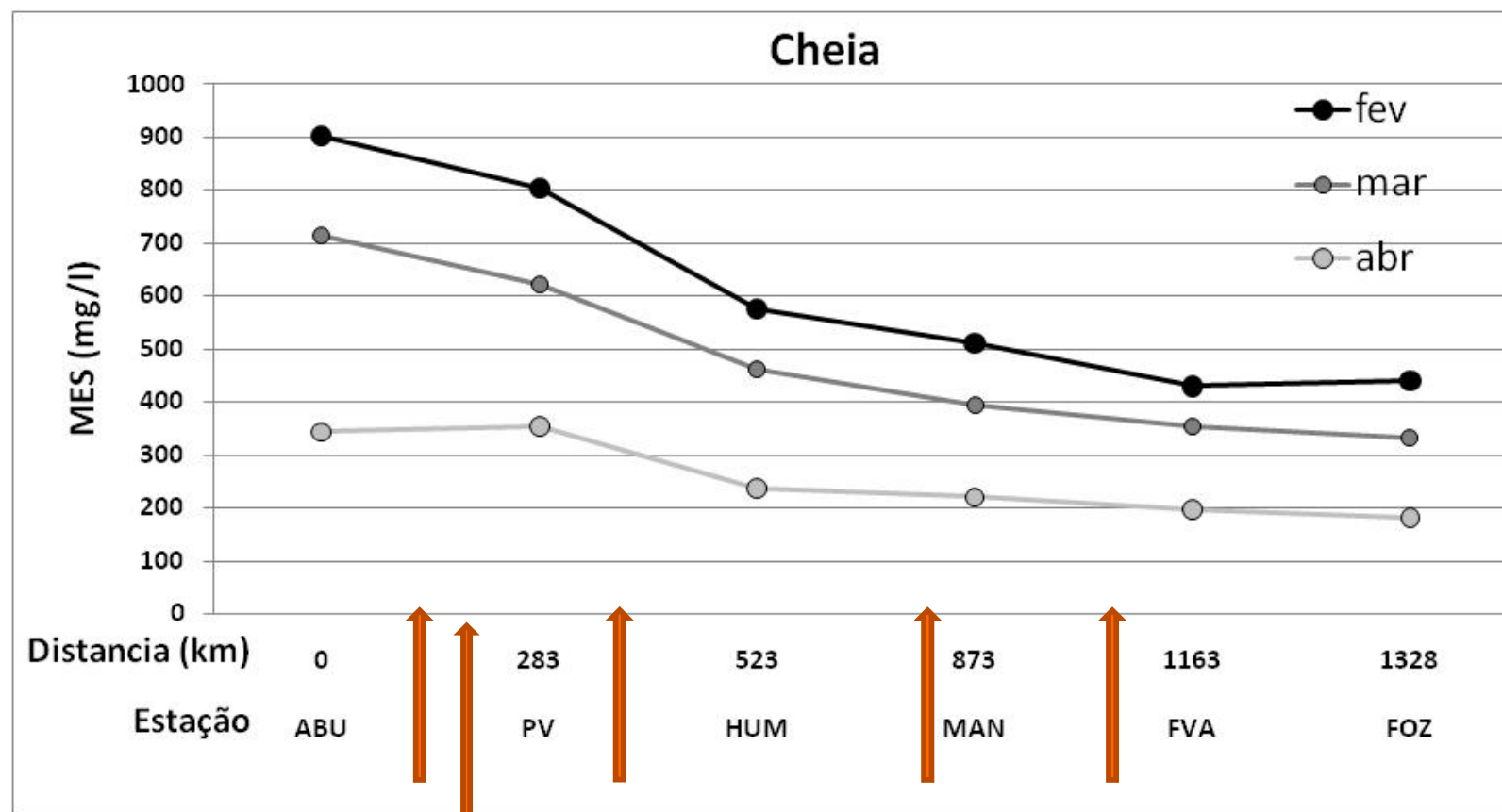
Ji-parana

Marmelos

Aripuanã

# Dinâmica Espacial dos fluxos de sedimentos

- Dados médios mensais de concentração de sedimentos estimados por MODIS



**Abuna**  
**Jaci-Parana**

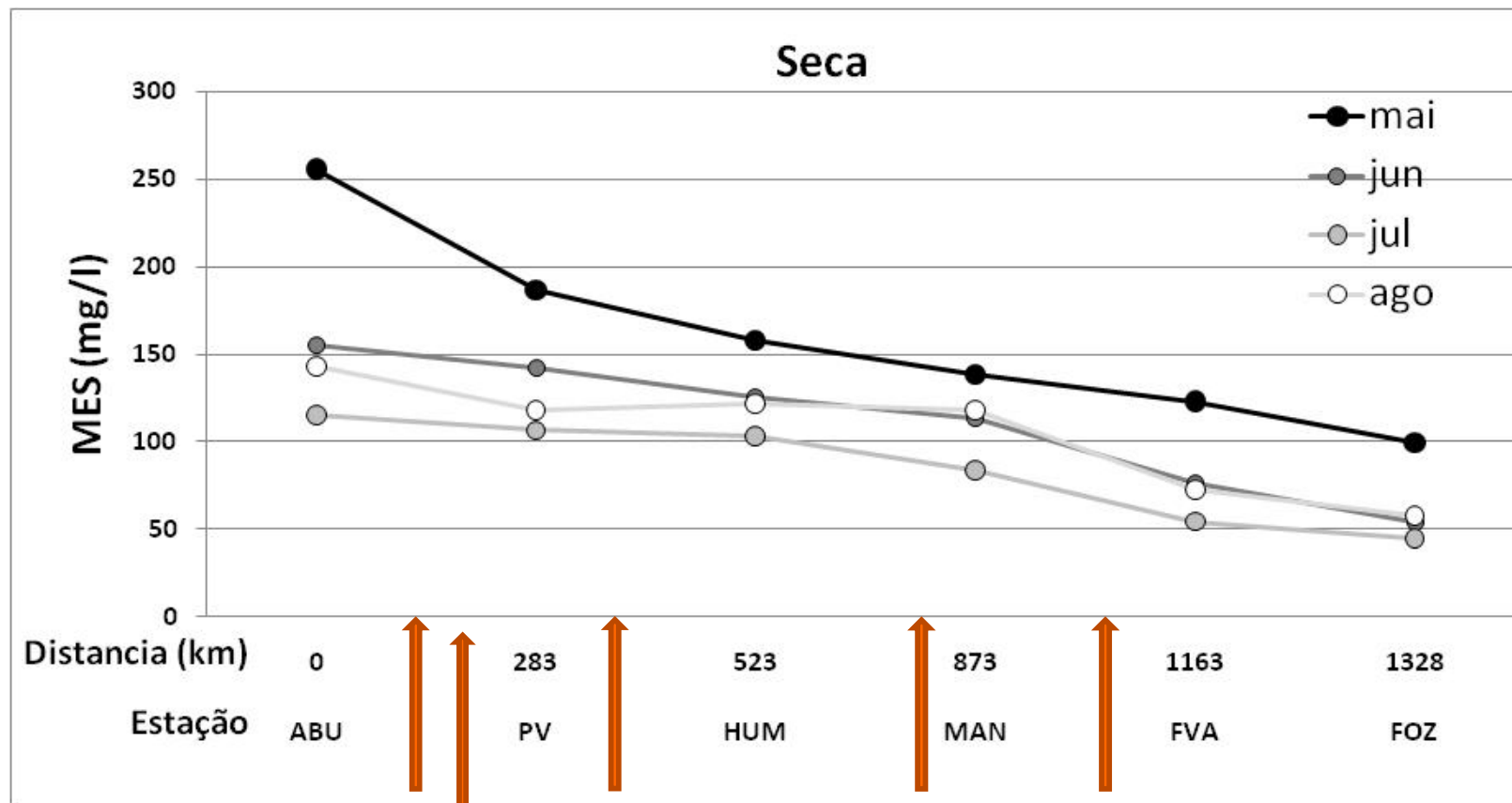
**Marmelos**

**Aripuanã**



# Dinâmica Espacial dos fluxos de sedimentos

- Dados médios mensais de concentração de sedimentos estimados por MODIS



Abuna  
Jaci-Parana

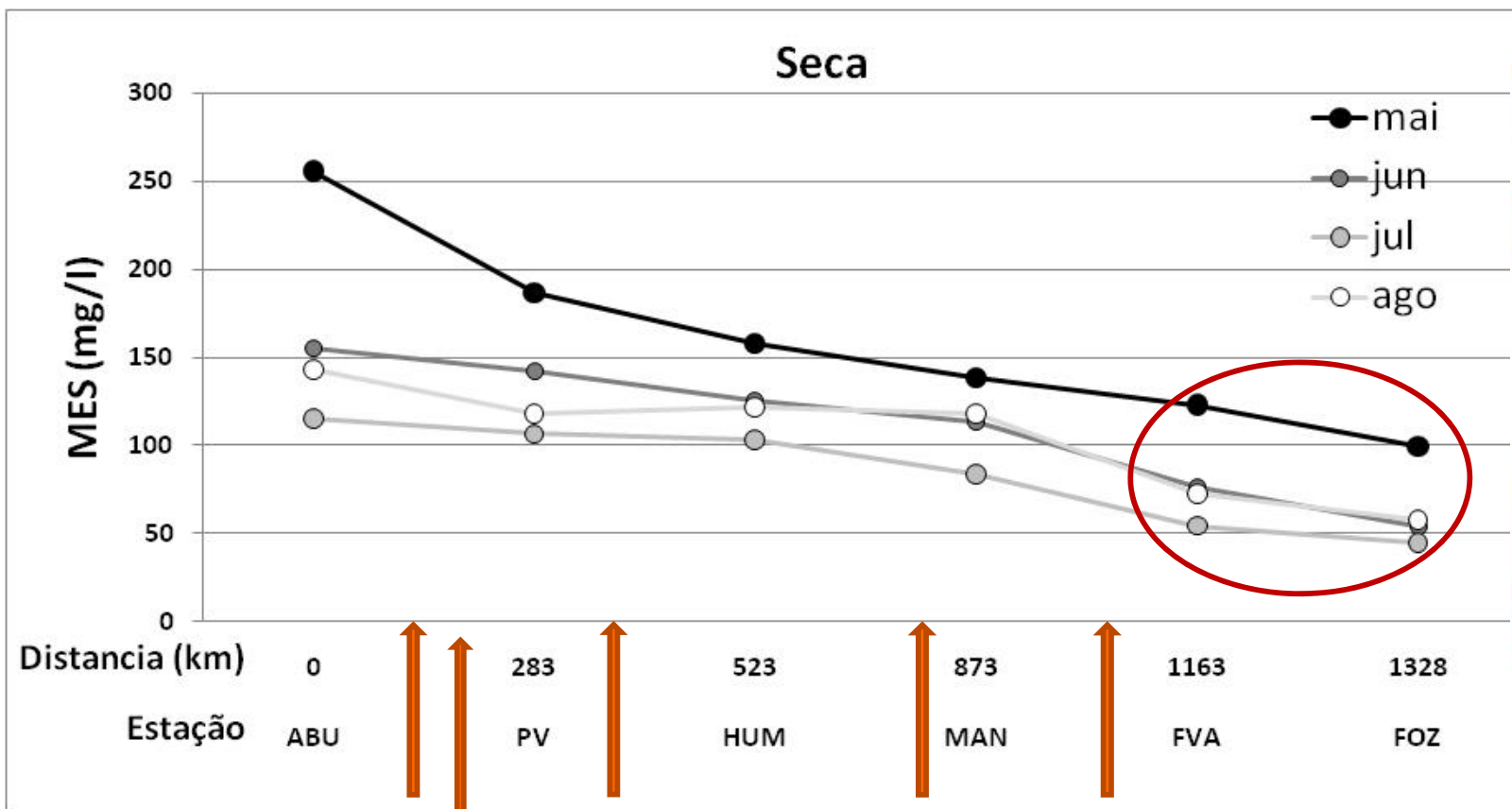
Ji-parana

Marmelos

Aripuanã

# Dinâmica Espacial dos fluxos de sedimentos

- Dados médios mensais de concentração de sedimentos estimados por MODIS

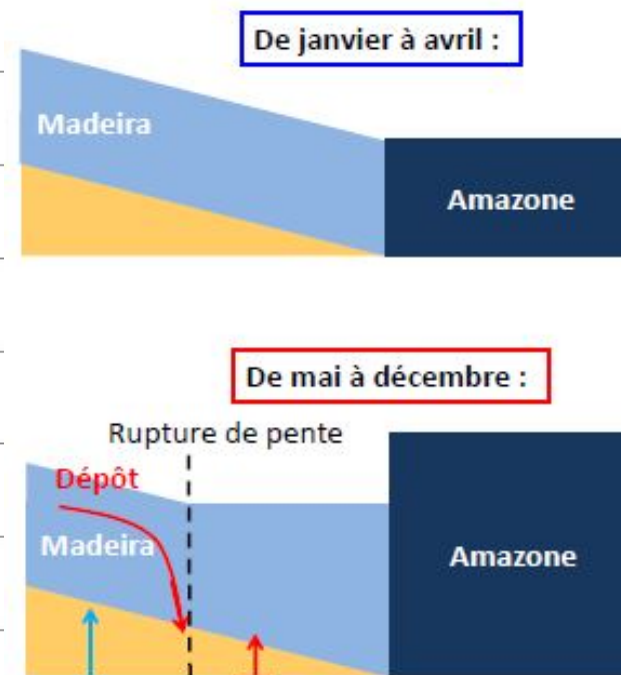


Abuna  
Jaci-Parana

Ji-parana

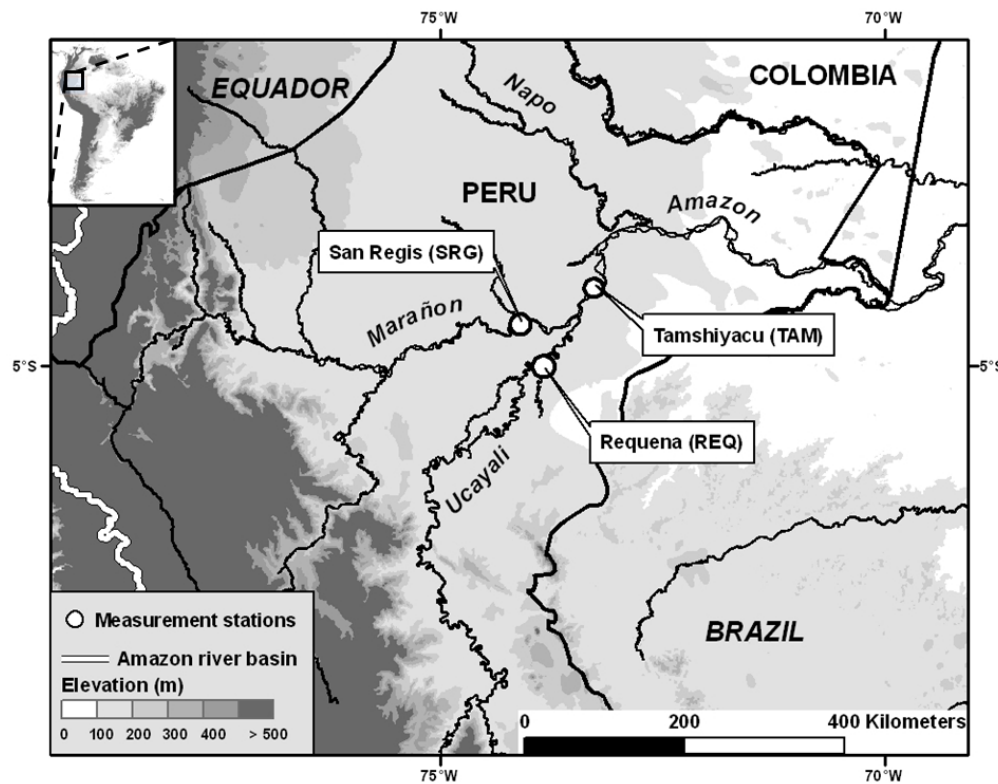
Marmelos

Aripuanã



# Sediment discharge assessed from space

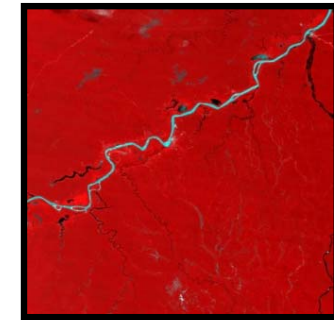
- Consistency of satellite-derived river sediment discharge is checked using upstream / downstream balance
  - Perfect test : 3 gauging stations located at the Ucayali/Marañon/Amazon Rivers confluence



# Sediment discharge assessed from space

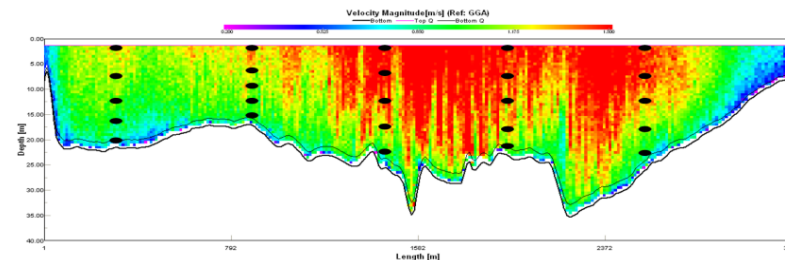
- Integration of satellite data for sediment discharge computation :

→ **Surface concentration** is assessed from space



→ SPM variation in the water column is assessed from field sampling to compute an **average concentration over the river reach**

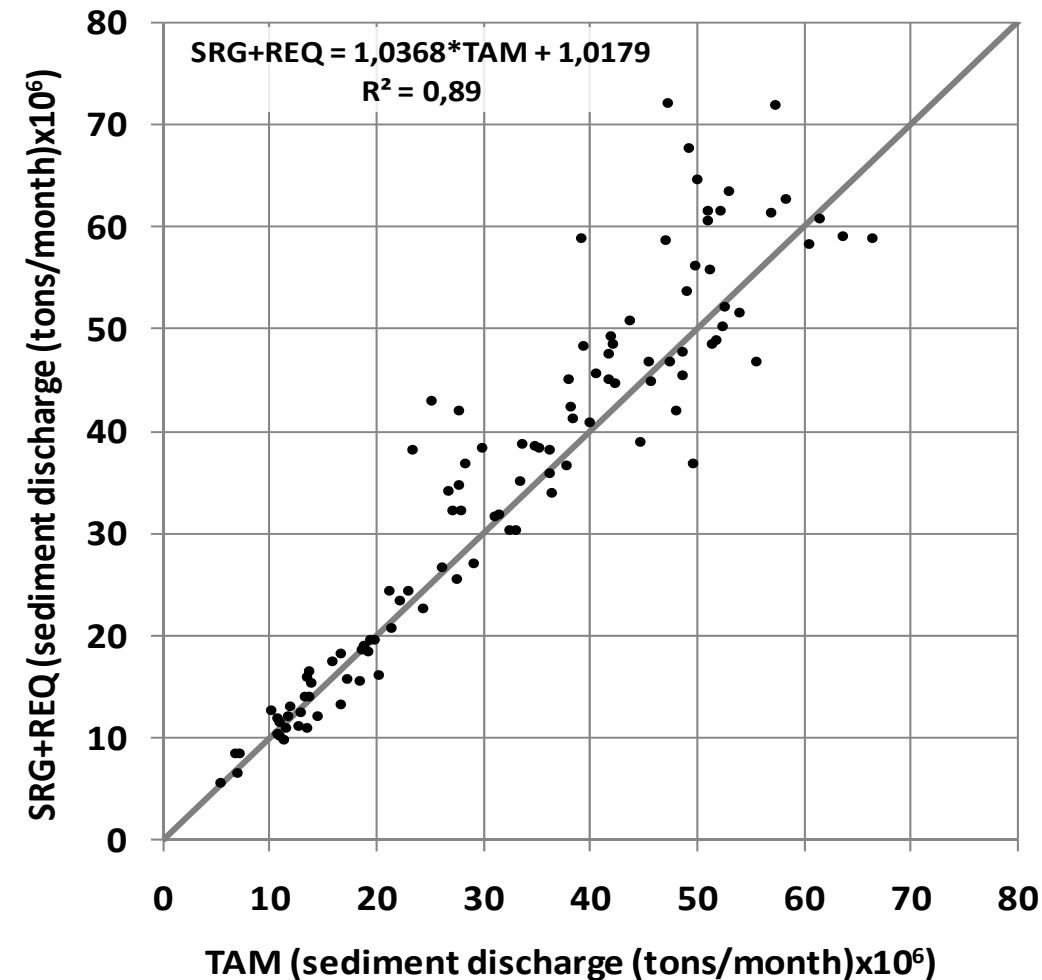
- Field sampling for suspended sediment sampling as a function of depth (HYBAM-SENAMHI network in Peru)



→ **River Sediment discharge** = water discharge x Average concentration

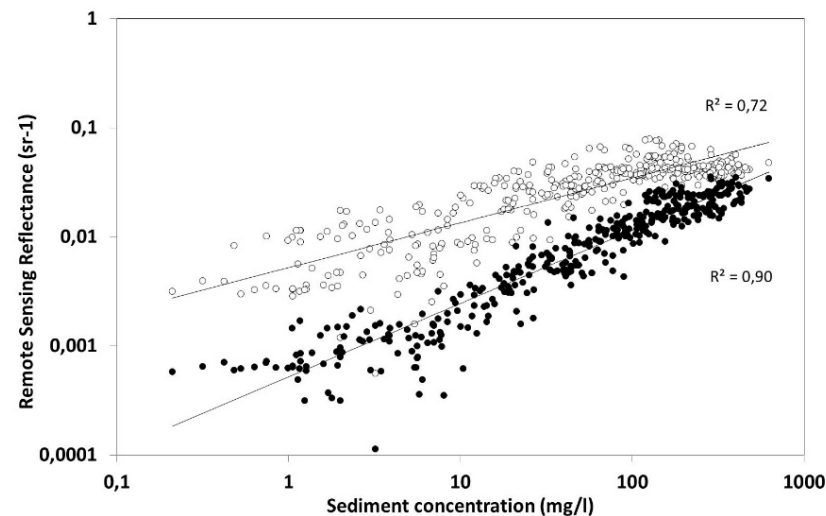
# Accuracy and consistency assessment

- Satellite-derived upstream discharge matches downstream sediment discharge (104 months)
- No bias for small to intermediate flows
- RMSE :  $6 \cdot 10^6$ /month (18 %)



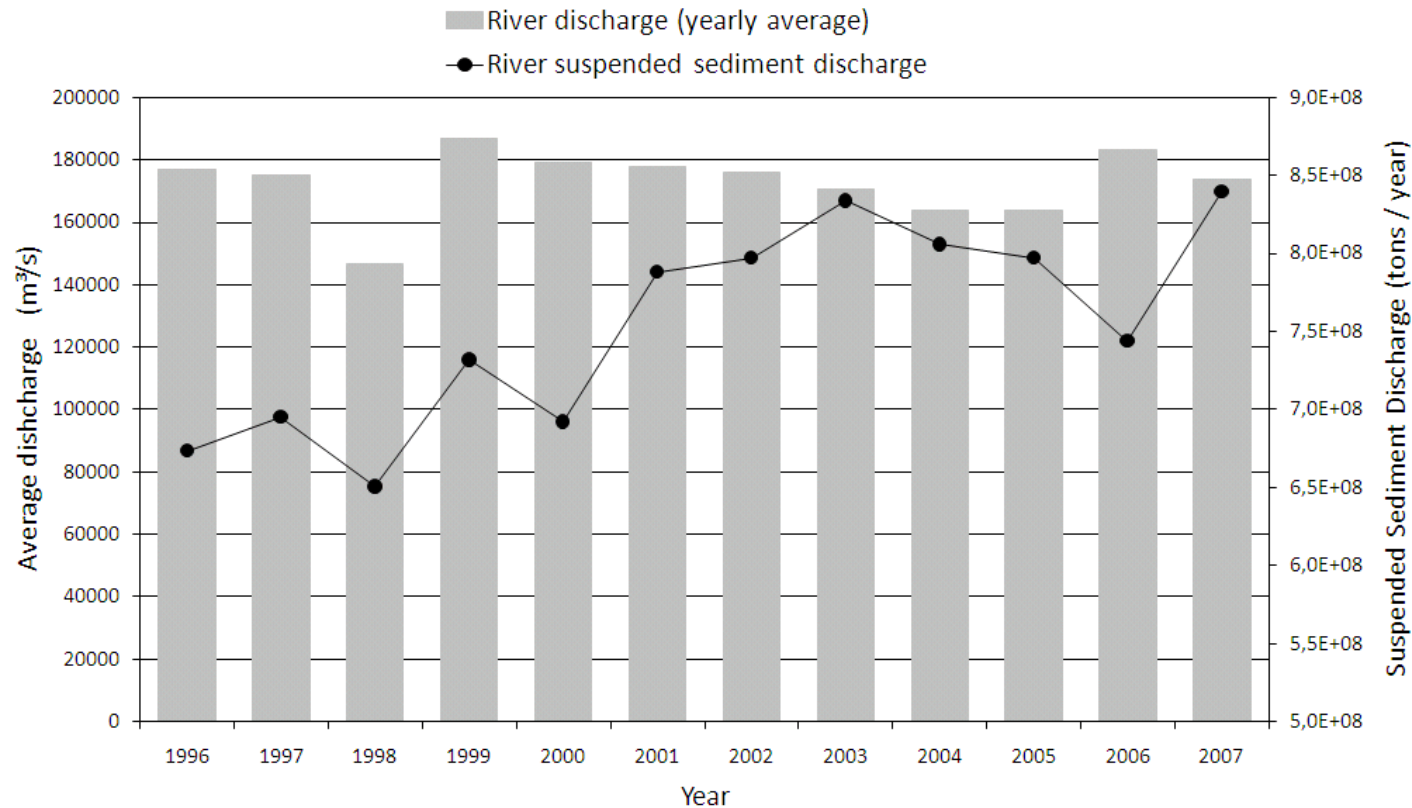
# Conclusão

- Demostramos a possibilidade de **usar a cor da águas para monitorar de maneira operacional** a concentração de sedimentos em rios e reservatórios
- Os próximos trabalhos consideram as comparações entre bacias : Amazonas, São Francisco, Paraná (407 amostras)



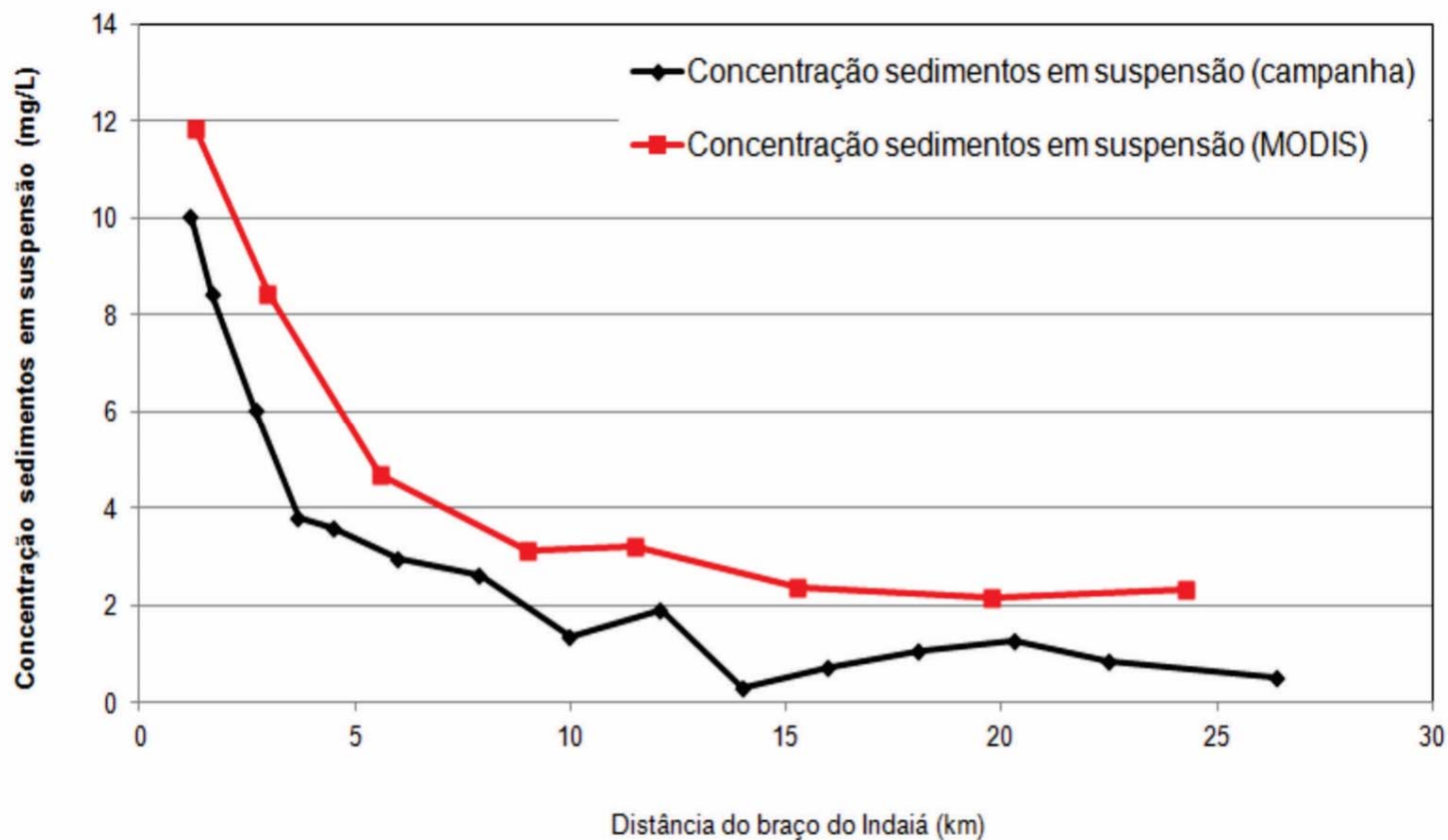
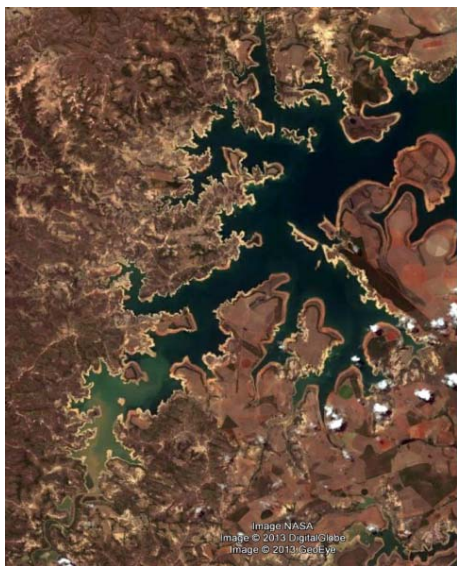
# Augmentation du flux sédimentaire du fleuve Amazone

- L'intégration de données de réseaux terrain (SO HYBAM) et d'observation spatiale démontre une augmentation de + 20 % des flux sédimentaires du fleuve Amazone depuis 1995 (*Martinez et al., 2009*)



# Sedimentation patterns in reservoirs

- Satellite data makes possible to monitor sedimentation across the reservoir and for different seasons Large reservoirs are difficult to monitor form conventional
- Sedimentation :







# Perspectives

- Apport des nouvelles plateformes satellitaires (Sentinel-3, VIIRS) voire de capteurs aéroportées (drone) – projet AQUASENSE
- Vers une intégration des techniques de caractérisation des flux particulières (wash load / bed load) : acoustique, turbidité etc ...
- **Proposition d'un Centre d'Expertise Scientifique** "Couleur des eaux continentales" auprès du pôle interorganismes "Theia" / CNES
  - Production de séries temporelles de concentrations en MES sur des sites en France à proposer

# PROPRIEDADES ÓTICAS DAS AGUAS

- A reflêctancia satelite La lumière diffusée par une colonne d'eau est déterminé par les processus d'absorption et de diffusion de la lumière:

$$R(\lambda) = f \cdot \frac{b_b(\lambda)}{a(\lambda) + b_b(\lambda)}$$

*R réflec tan ce*

*a coefficient d'absorption ( $m^{-1}$ )*

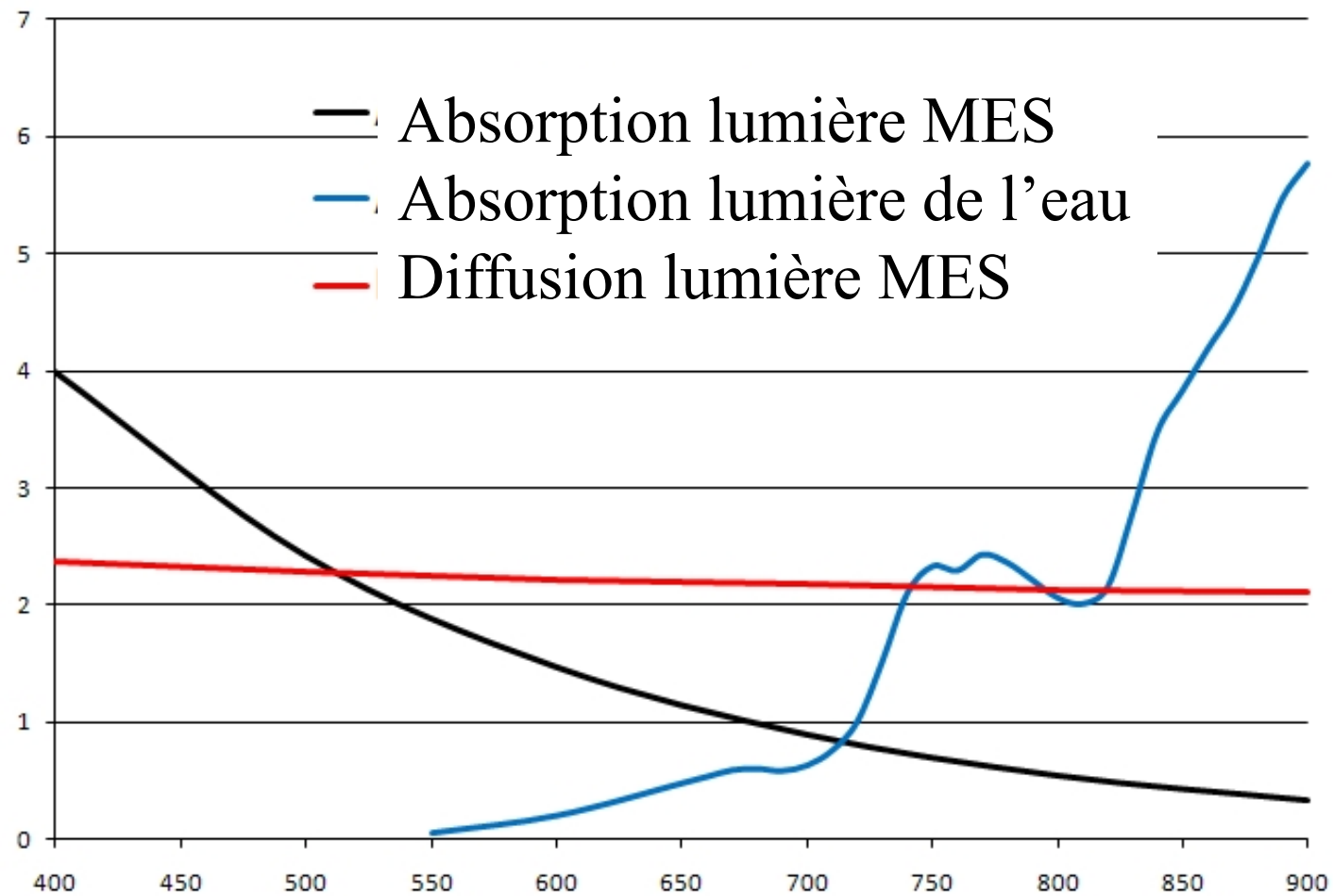
*$b_b$  coefficient de rétrodiffusion ( $m^{-1}$ )*



# Optique hydrologique

- Les capacités d'absorption et de diffusion de la lumière sont déterminées par :
  - **Phase particulaire** : concentration de matière, taille des particules, indice de réfraction, pigments photosynthétiques
  - **Phase dissoute** : fraction « colorée » du carbone organique dissous - CDOM

# Caractéristiques spectrales





# OPTIQUE HYDROLOGIQUE

- La lumière diffusée par une colonne d'eau est déterminé par les processus d'absorption et de diffusion de la lumière:

$$R(\lambda) = f \cdot \frac{b_b(\lambda)}{a(\lambda) + b_b(\lambda)}$$

*R réflectance*

*a coefficient d'absorption ( $m^{-1}$ )*

*$b_b$  coefficient de rétrodiffusion ( $m^{-1}$ )*



# Qualité des eaux continentales par satellite

## Objectif

- **Utiliser l'imagerie satellitaire** dans l'étude des processus de transfert et de transformation de la matière au sein des bassins versants
  - Utiliser le spatial pour densifier/étendre les observations hydrologiques
  - Mieux caractériser la variabilité naturelle des systèmes pour améliorer la connaissance des processus au sein des hydrosystèmes
  - Couplage avec les réseaux d'observation (observatoires) et les modèles de fonctionnements



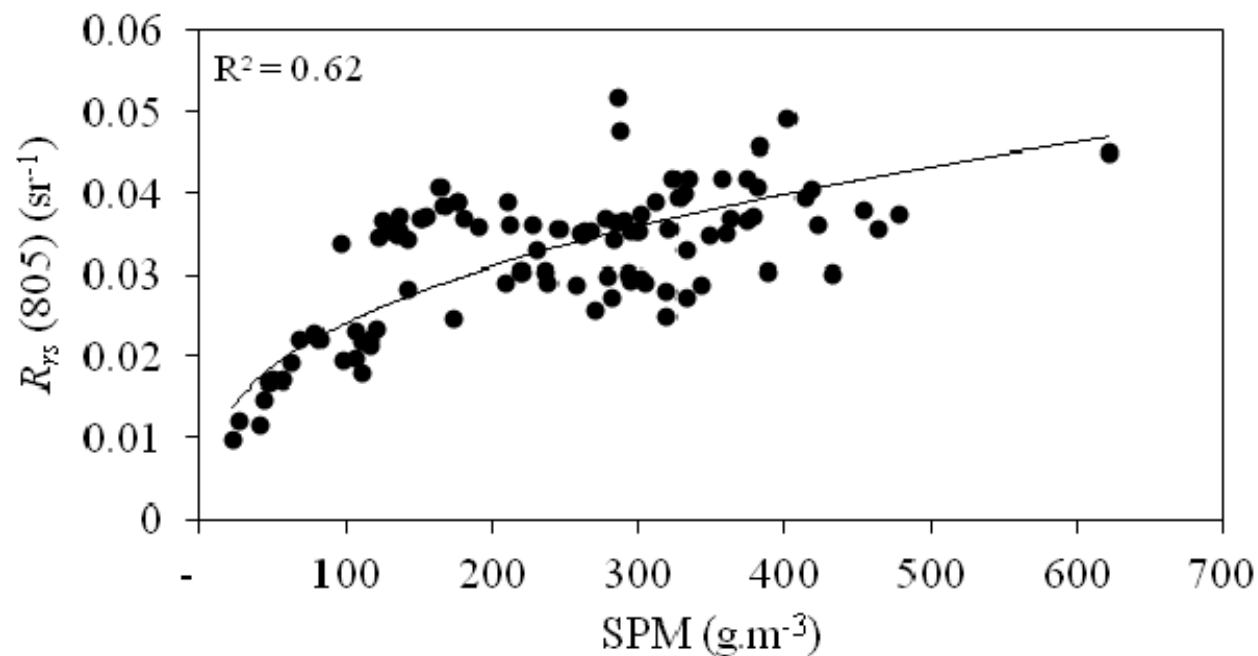
# Sensoriamento remoto para determinação de processos sedimentares em rios e reservatórios

## Abordagem

- Da medição das propriedades óticas até o processamento automatizado de serie de imagens de satélite
  - Usar sensores espaciais de baixas resolução do tipo MODIS que disponibilizam imagens diárias
- **Desafio :**
  - Pouco conhecimento das propriedade óticas das aguas continentais

# SPM concentration monitoring

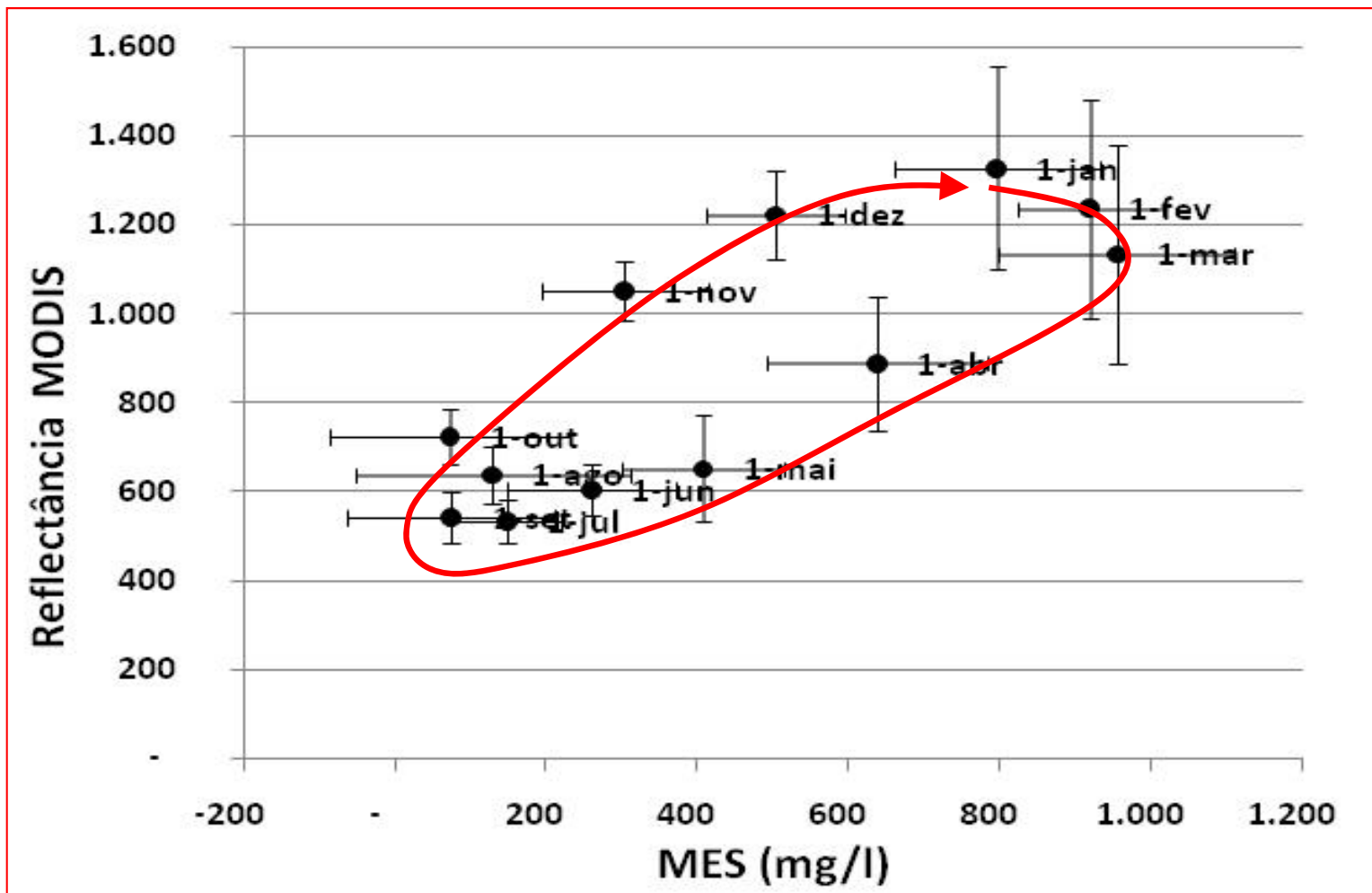
- Une variabilité de la relation réflectance / MES a été mise en évidence par les mesures in situ sur le fleuve Madeira





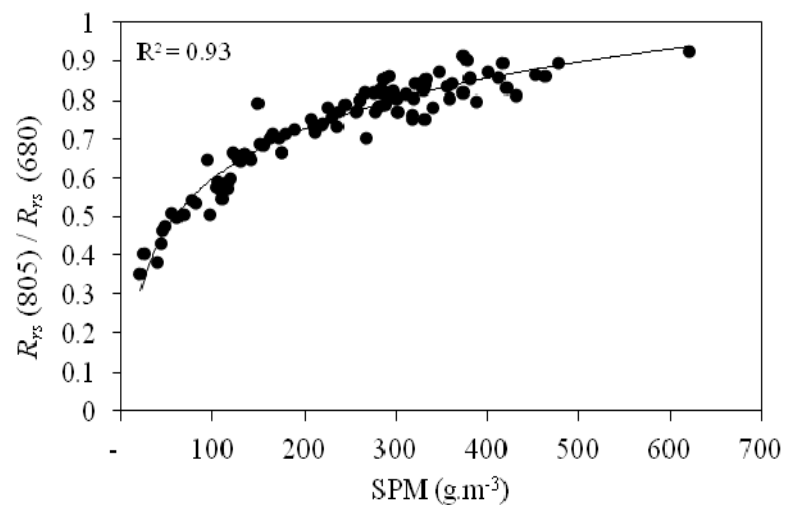
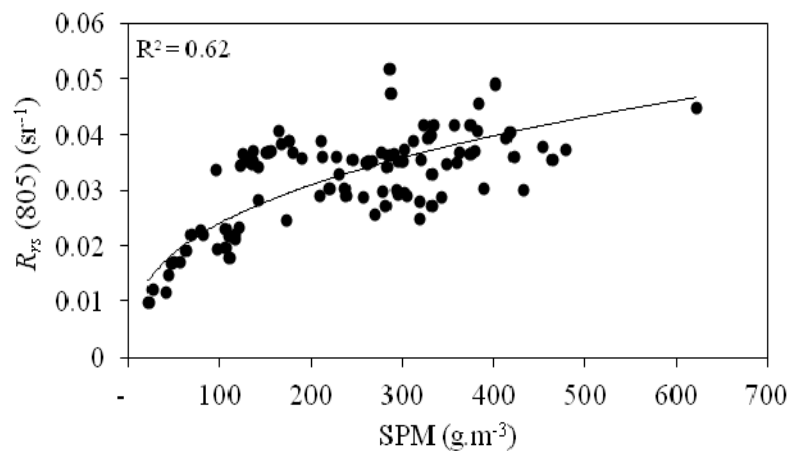
# SPM concentration monitoring

- Cette variabilité a été confirmée par satellite :



# SPM concentration monitoring

- L'information spectrale a été utilisée pour annuler le dépendance



# Results

- Longitudinal gradient of the suspended sediment concentration assessed by satellite:

