



PRINCÍPIOS FÍSICOS DO SENSORIAMENTO REMOTO

Peterson Ricardo Fiorio

Definição:

Sensoriamento Remoto

“ É a ciência ou a arte de se **obterem informações** sobre um objeto, área ou fenômeno, através de dados coletados por aparelhos denominados **sensores**, que não entram em contato direto com os alvos em estudo (Crepani, 1983)”



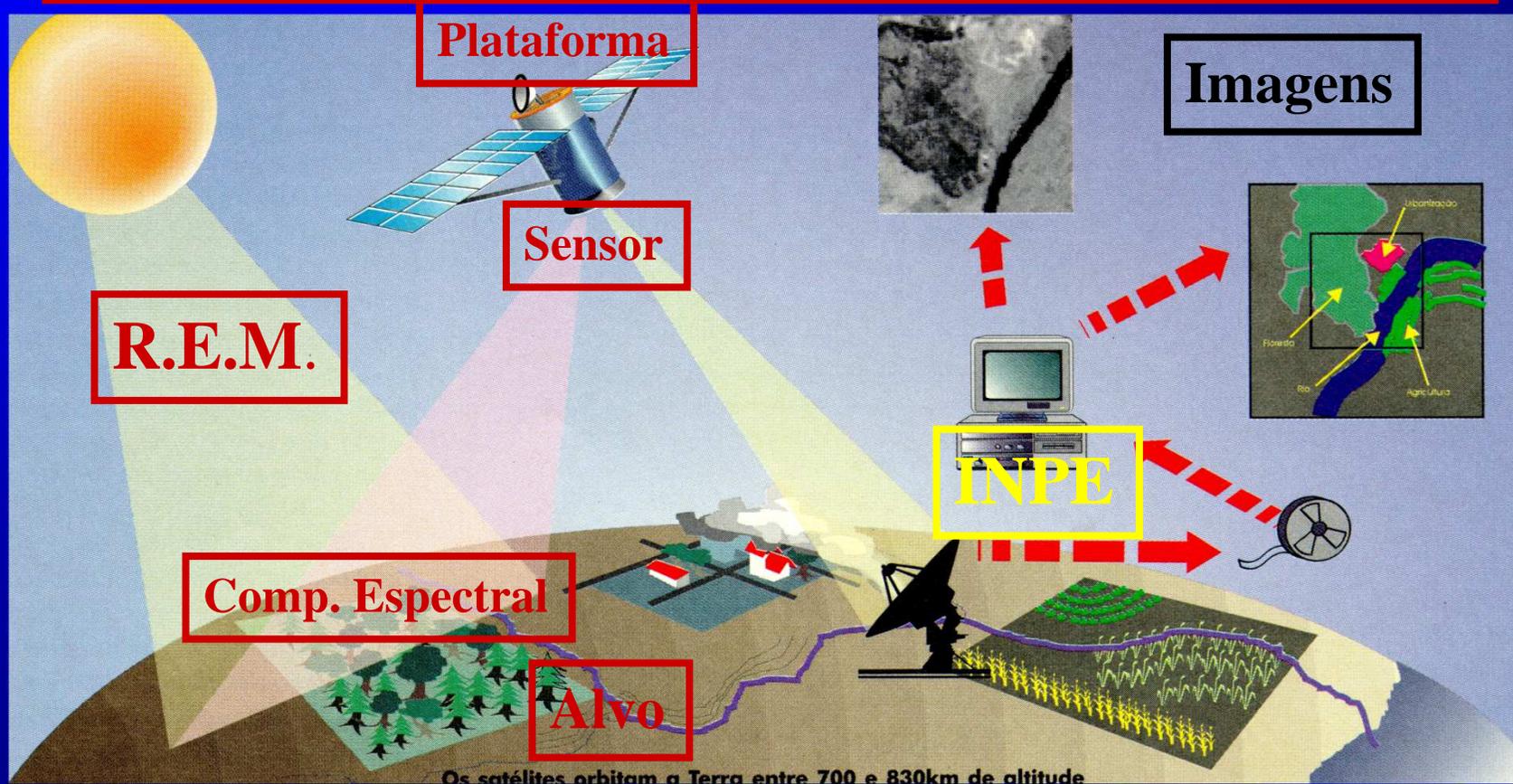
Histórico

- ⇒ Origem vinculada a fotografia aérea
- ⇒ Podemos dividir em dois períodos:
 - 1860 - 1960 (fotografias aéreas)
 - 1960 - hoje (fotografias e imagens)
- ⇒ Desenvolvimento do Sensoriamento Remoto:
 - Matemática; Física; Química
 - Biologia; Ciências da Terra e
 - Computação.



Princípios Físicos do SR

Aquisição/Armazenamento/Processamento



Princípios Físicos do SR

Natureza da Radiação Eletromagnética (REM)

Transferencia de Energia:

⇒ Condução

transferencia de energia cinética de átomos ou moléculas
pelo contato entre elas

⇒ Convecção

é o processo de **deslocamento físico** da matéria em gases ou líquidos

⇒ Radiação

é a energia transferida através do espaço **sem necessitar**
de um meio físico

SR - radiação - emitida por qualquer corpo (0 graus absoluto)



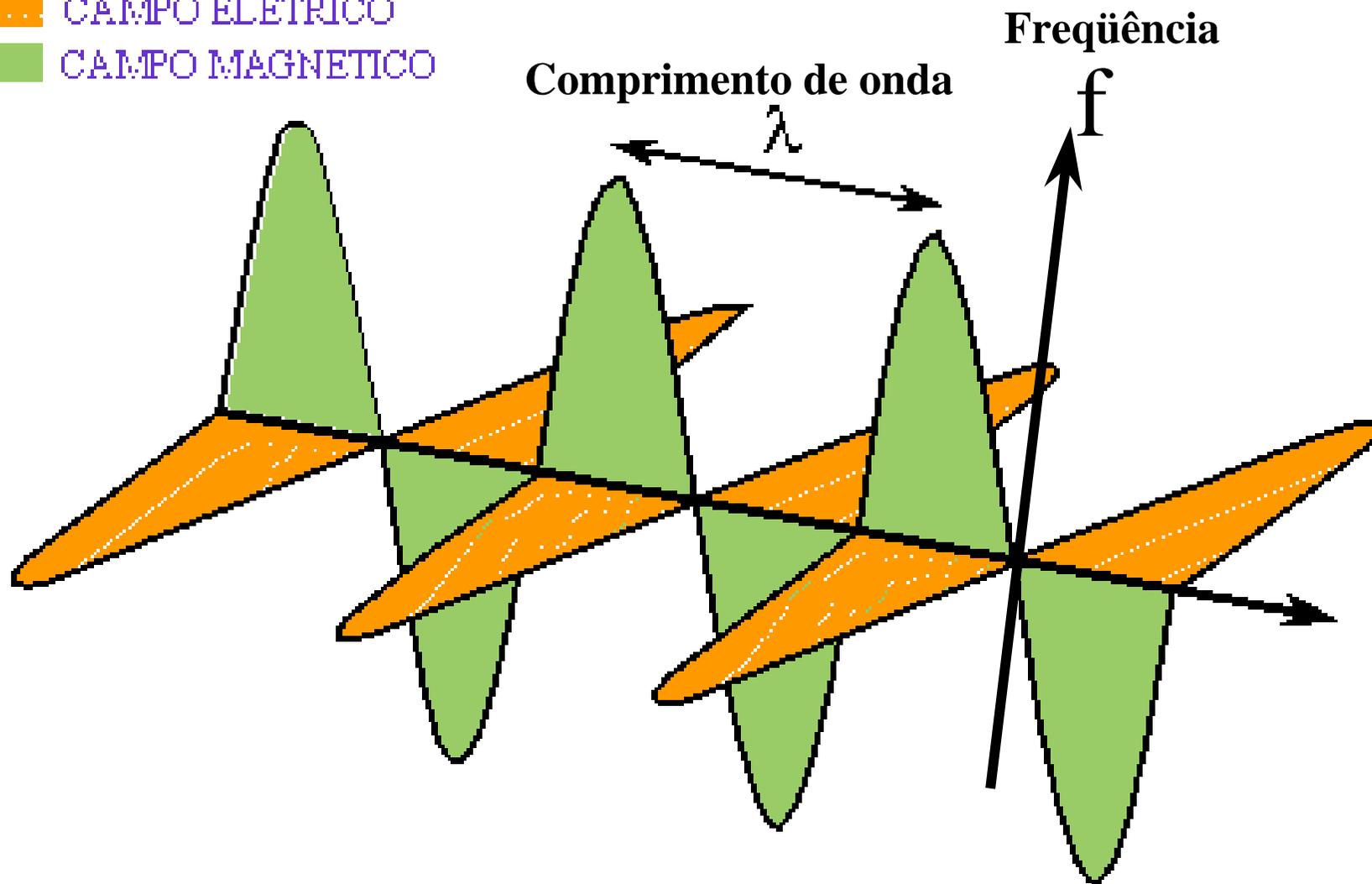
Energia Radiante ou Radiação Eletromagnética (REM)

- ➔ É a energia transportada em forma de ondas eletromagnéticas, sendo de especial importância para o SR pois não necessita de um meio físico para se propagar.
- ➔ É através dela que uma informação é transmitida do objeto ao sensor.
- ➔ Ela é gerada pelas transformações de outras formas de energia tais como: cinética, química, elétrica, magnética e nuclear.
- ➔ Capaz de realizar trabalho, provocar aquecimento e mudança de estado físico



Radiação Eletromagnética (REM)

-  CAMPO ELETRICO
-  CAMPO MAGNETICO



Princípios Físicos do SR

Radiação Eletromagnética (REM)

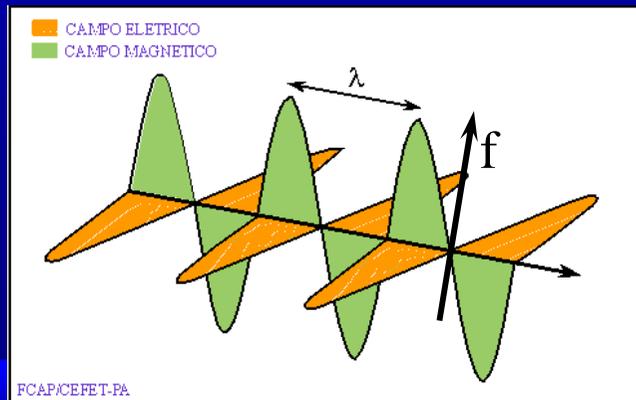
⇒ Modelo Ondulatório (Maxwell, Hooke)

“a propagação da energia se faz através de movimentos ondulatórios, de um ponto a outro no espaço com velocidade $3 \cdot 10^8$ m/s”

λ - **Comprimento de onda:** é a distância entre dois máximos sucessivos (unidade metros)

f - **Frequência:** é o numero de ondas que passam por um ponto do espaço num determinado tempo (unidade Hertz)

C - **velocidade de propagação**



$$\uparrow \downarrow \lambda = \frac{C}{\downarrow \uparrow f}$$

Princípios Físicos do SR

Radiação Eletromagnética (REM)

⇒ Modelo Corpuscular (Planck, Einstein)

“preconiza que a energia se propaga pela emissão de um fluxo de fótons que se movem a velocidade da luz no vácuo ($3 \cdot 10^8$ m/s)”
(processos de **absorção e emissão** da energia radiante)

$$E = h \cdot f$$

E - energia dos fótons

h - constante de Planck (6.626×10^{-34} watts)

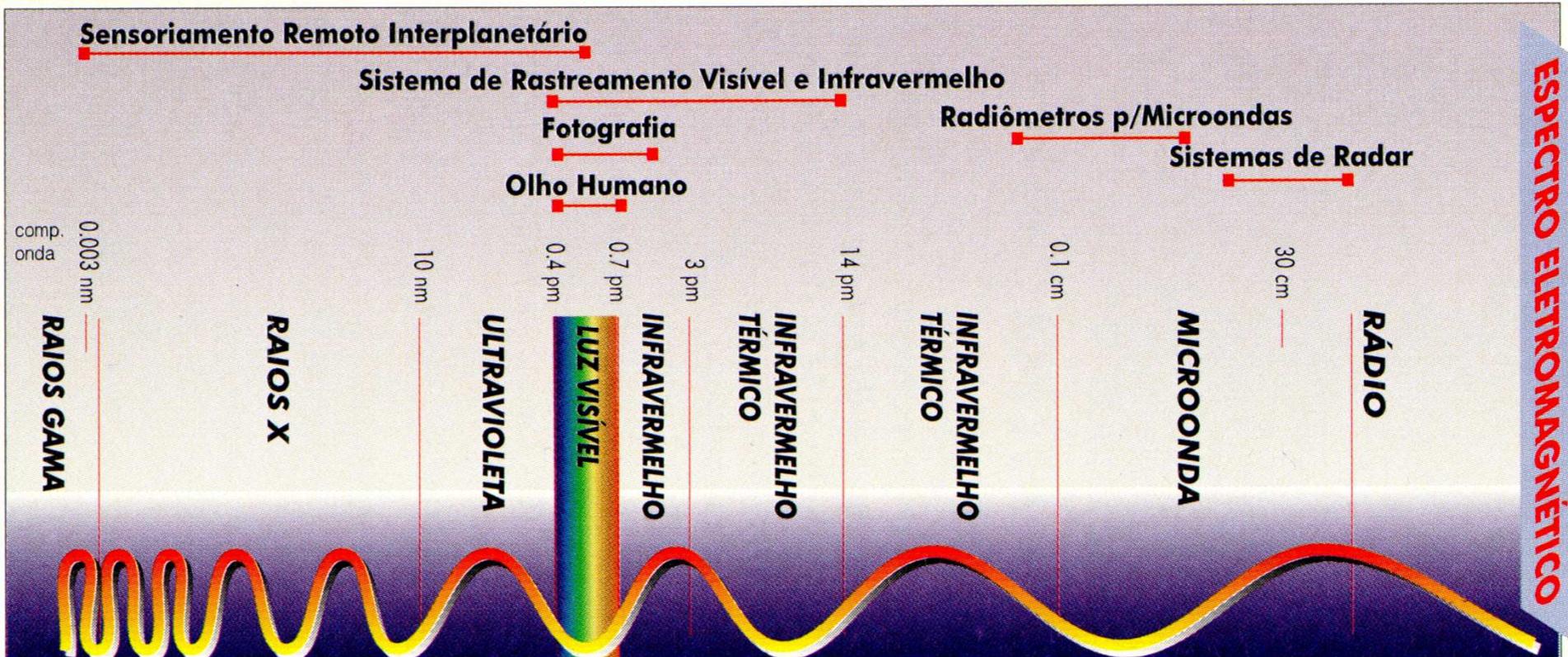
f - frequência

$$\lambda = \frac{h \cdot C}{E}$$

“quando a intensidade da radiação (energia incidente por segundo por unidade de área), de uma dada frequência é aumentada, mais fótons são recebidos por uma superfície, mas a energia de cada um deles não aumenta”



Espectro Eletromagnético



ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

Comportamento espectral de Alvos



Espectro Eletromagnético

- ⇒ **< 0.003 nm** - Raios Gama: Origem nuclear, alto poder de penetração;
- ⇒ **0,003 - 100nm** - Raios X: Altamente penetrante, origem atômica;
- ⇒ **100 - 400nm** - Ultravioleta: Atenuação pela atmosfera (dificulta seu uso - poluição marinha e detecção de minerais);
- ⇒ **400 - 760nm** - Luz visível: Sensação de visão ao olho humano;
- ⇒ **760 - 3.000nm** - Infravermelho: absorvido pela maioria das substâncias produzindo aquecimento, minerais de argila e radicais OH;
- ⇒ **3.000 - 15.000nm** - Infravermelho térmico;
- ⇒ **15.000nm - 0.1 cm** - Infravermelho distante;
- ⇒ **0.1cm - 30 cm** - Microondas: Radar, pouca atenuação da atmosfera;
- ⇒ **> 30cm** - Ondas de Rádio: comunicação, longas distâncias (↑ f; ↓ λ)



Princípios Físicos do SR

Radiação Eletromagnética (REM)

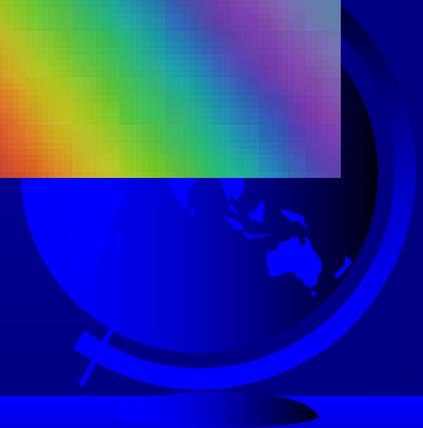
Luz Visível (400nm - 760 nm):

- violeta (400 - 460 nm)
- anil (460 - 475 nm)
- azul (475 - 490 nm)
- verde (490 - 565 nm)
- amarelo (565 - 575 nm)
- laranja (575 - 600 nm)
- vermelho (600 - 760 nm)



Infravermelho (760 nm - 3.000 nm):

- IV Próximo (760 - 1.300 nm)
- IV Médio (1.300 - 3.000 nm)

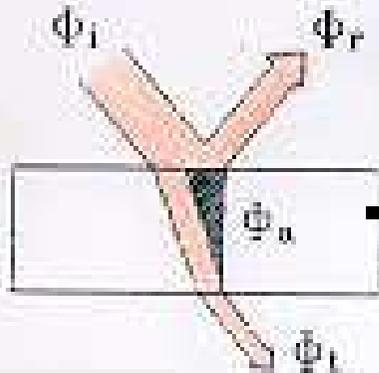


Princípios Físicos do SR

Interação da energia eletromagnética com o objeto terrestre

→ absorção → reflexão → transmissão

Fluxo incidente = fluxo refletido + fluxo absorvido + fluxo transmitido



$$\Phi_i = \Phi_r + \Phi_a + \Phi_t$$

IR R G B



$$\Phi_i = \Phi_i + \Phi_i + \Phi_i$$

Reflectância

Absortância

Transmitância

$$1 = \rho + \alpha + \tau$$

COMPRIMENTO DE ONDA

Reflectância

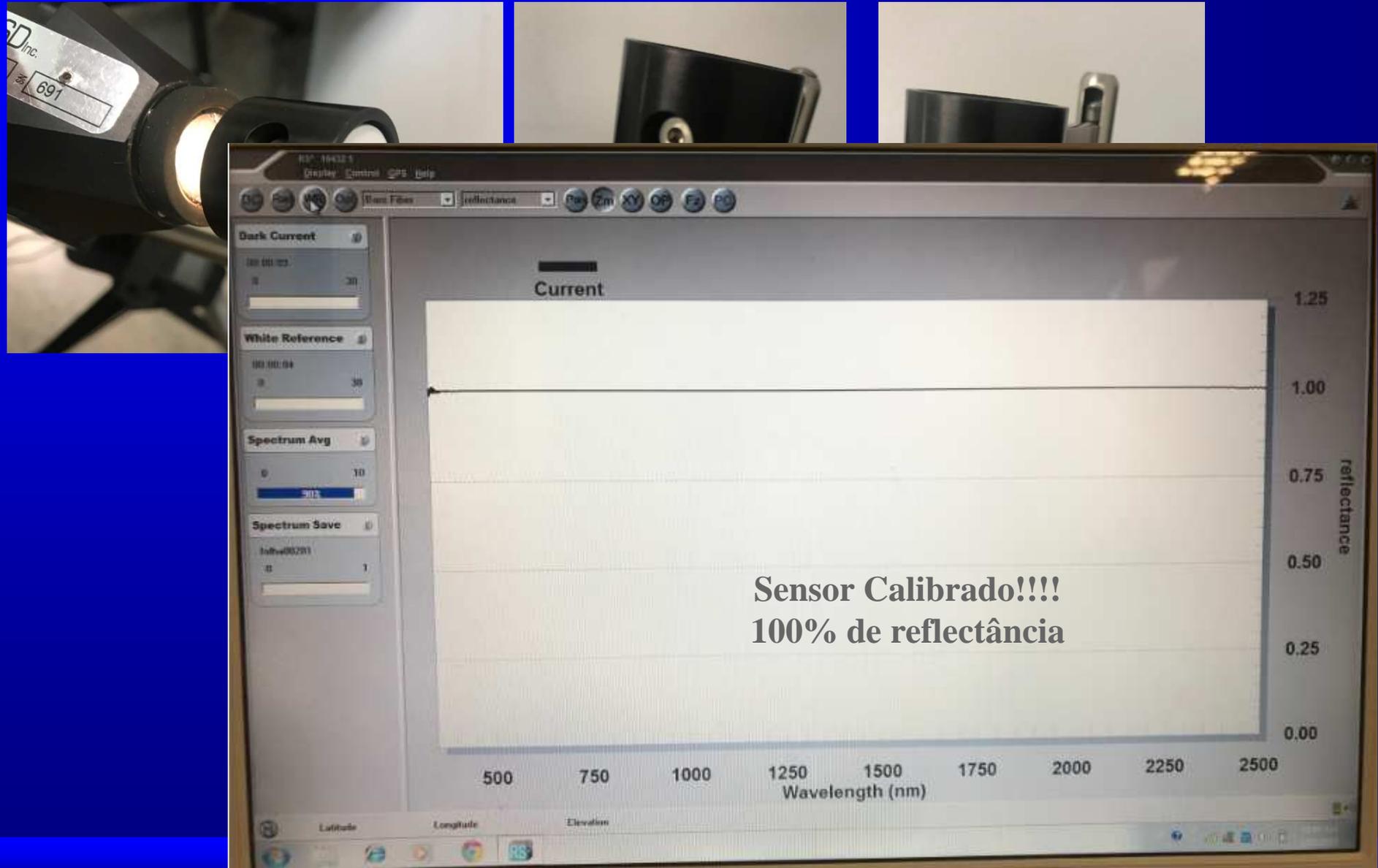
A Reflectância é uma propriedade do alvo, não sendo possível de se medir com equipamentos comuns. Dessa forma, utiliza-se de um artifício matemático, para caracterizar a propriedade de um alvo) conhecido como Fator de Reflectância.

Fator de Reflectância

O fator de reflectância é uma relação existente entre a radiância do alvo e a radiância de uma placa padrão (Superfície Lambertiana - 100 % de reflectância)



Sensor de Laboratório



Princípios Físicos do SR

Fator de Reflectância

$$FR = L_{\text{alvo}} / L_{\text{placa}}$$

L - radiância

$$\frac{\frac{\rho_a \cdot E_i}{\pi}}{\frac{\rho_p \cdot E_i}{\pi}}$$

Para as mesmas condições de (geometria, iluminação e pequeno espaço de tempo) temos:

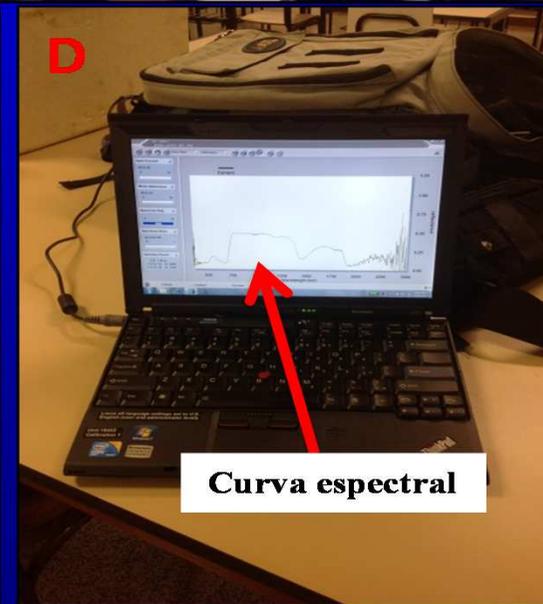
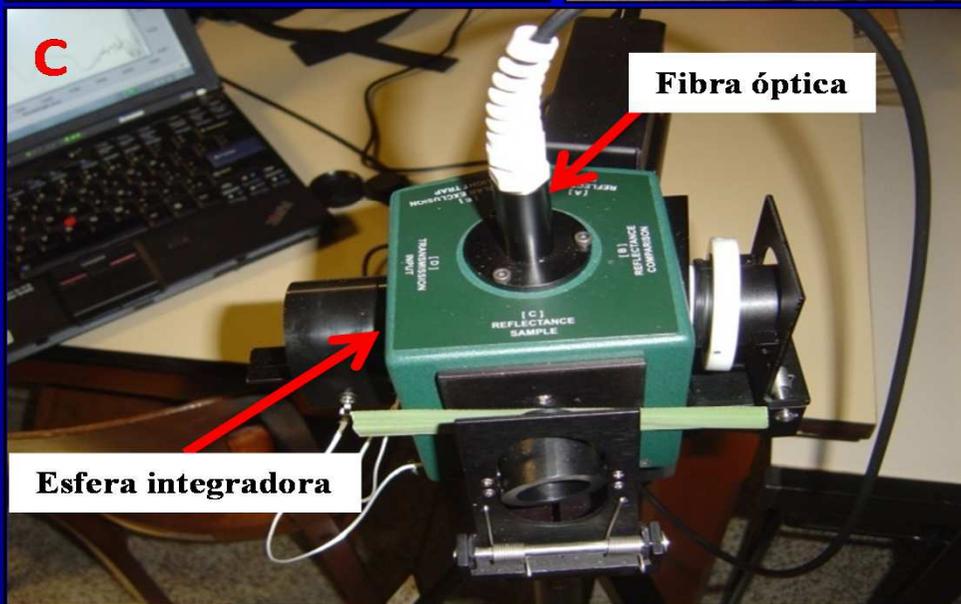
$$FR = \rho_a / \rho_p$$

$$FR \cong \rho_a$$

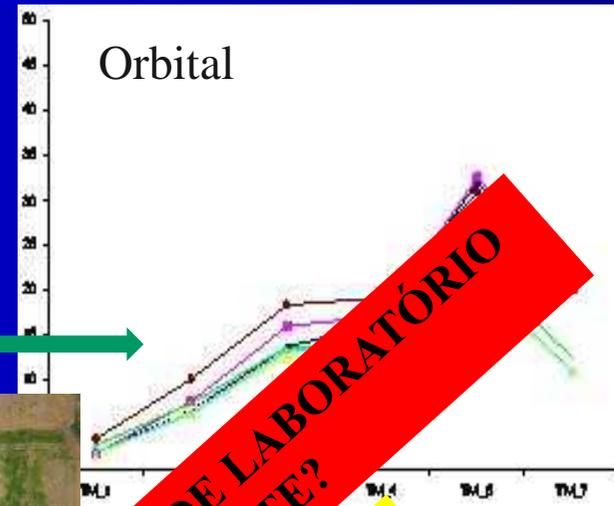
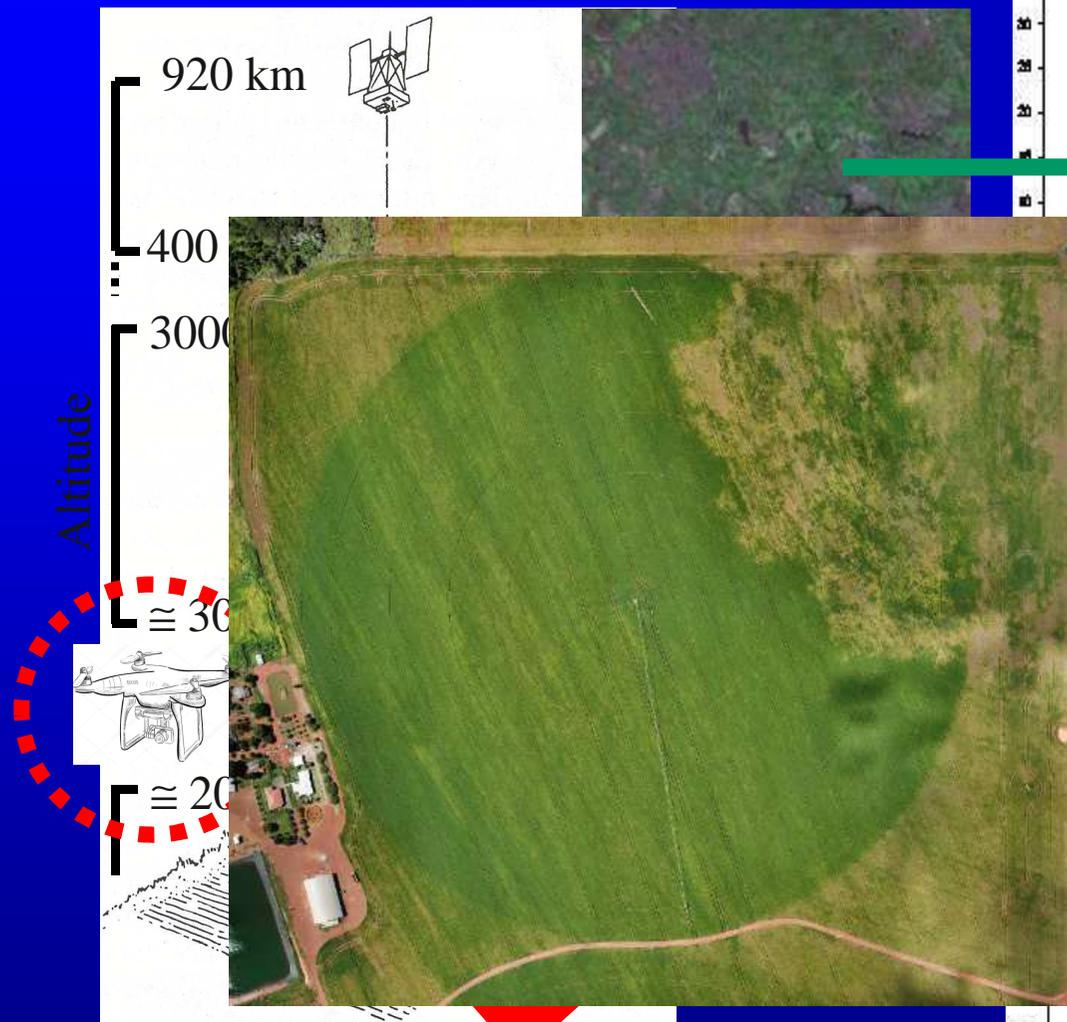
Placa (sup. Lambertiana):
100% reflectância = 1



Aquisição da resposta espectral de folhas

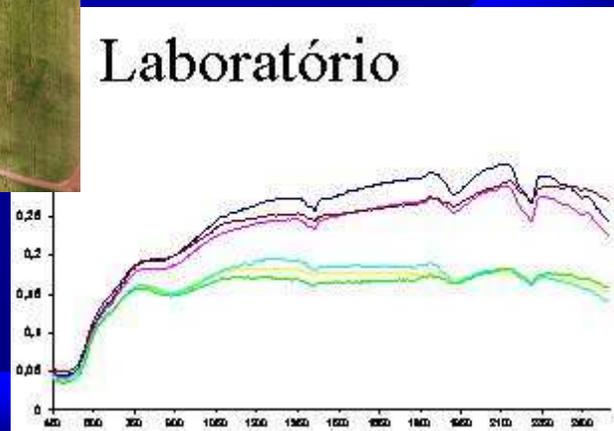
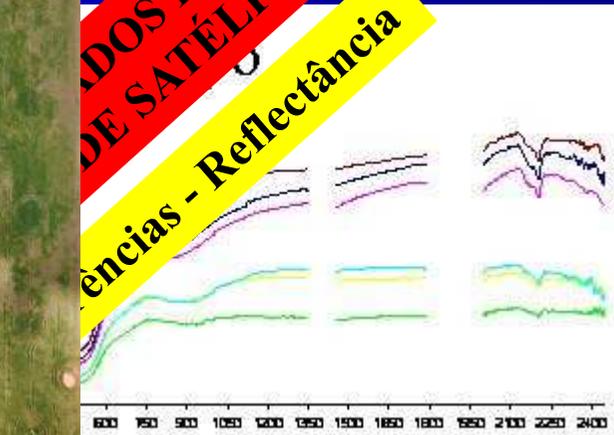


Níveis de aquisição de dados em SR



DADOS DE LABORATÓRIO DE SATELITE?

Refleciências - Reflectância



Atenuação Atmosférica

- A energia eletromagnética ao atravessar a atmosfera é absorvida, refletida e espalhada pelos gases presentes nela.
- Os gases atmosféricos absorve espectralmente a REM.



Processos de Atenuação

- **Absorção:** a REM é seletivamente absorvida pela atmosfera através de seus vários constituintes (ex.: ozônio, no visível) \Rightarrow janelas atmosféricas
- **Espalhamento:** a energia é modificada pela mudança de direção

a) **Espalhamento molecular (ou Rayleigh) = $\lambda \gg d$**

d = diâmetro da partícula

espalhamento $\sim 1/\lambda^4$

b) **Espalhamento Mie:**

$\lambda \sim d$ espalhamento $\sim 1/\lambda^2$ ou $1/\lambda$

c) **Espalhamento não-seletivo:**

$\lambda \ll d \Rightarrow$ todos os λ 's são espalhados igualmente



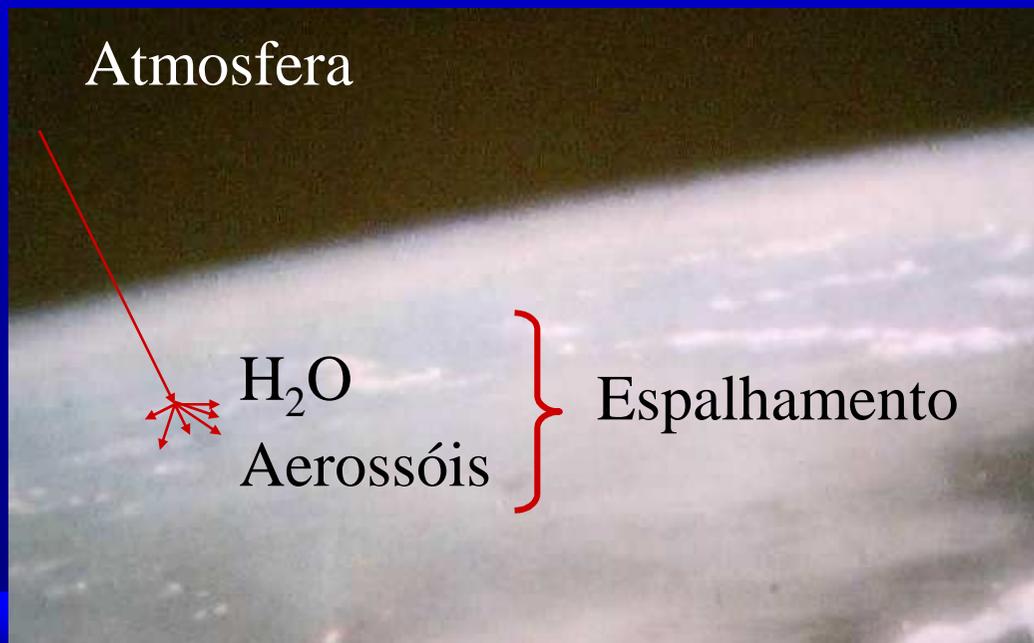
Fatores que interferem no comportamento espectral medido dos alvos

⇒ Parâmetros atmosféricos

Os principais fatores que interferem na energia refletida do alvo que atingem o sensor são:

⇒ **UMIDADE:** relação direta nos fenômenos de absorção e espalhamento de determinado λ pela atmosfera.

⇒ **AEROSSÓIS:** Contribuem para o espalhamento



Molecular (Rayleigh)

$$\lambda > \emptyset$$

Mie

$$\lambda \equiv \emptyset$$

Não Seletivo

$$\lambda < \emptyset$$

Fatores que interferem no comportamento espectral medido dos alvos

➤ Parâmetros atmosféricos - espalhamento

Molecular (Rayleigh)

$$\lambda > \phi$$

Espalhamento devido aos gases que se encontram na atmosfera.

Quando o menor λ maior o espalhamento.



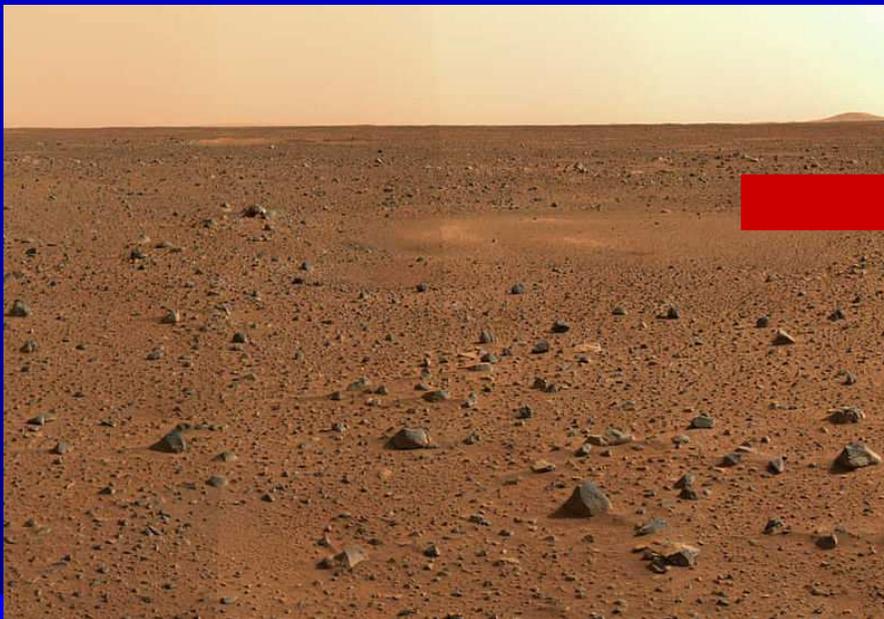
Fatores que interferem no comportamento espectral medido dos alvos

➤ Parâmetros atmosféricos - espalhamento

Mie

$$\lambda \equiv \varnothing$$

O comprimento de onda da radiação é aproximadamente igual ao diâmetro das partículas em suspensão no ar promovendo assim um espalhamento seletivo.



Céu avermelhado em época de seca dando a maior concentração de partículas no ar no tamanho do λ vermelho.



Fatores que interferem no comportamento espectral medido dos alvos

➤ Parâmetros atmosféricos - espalhamento

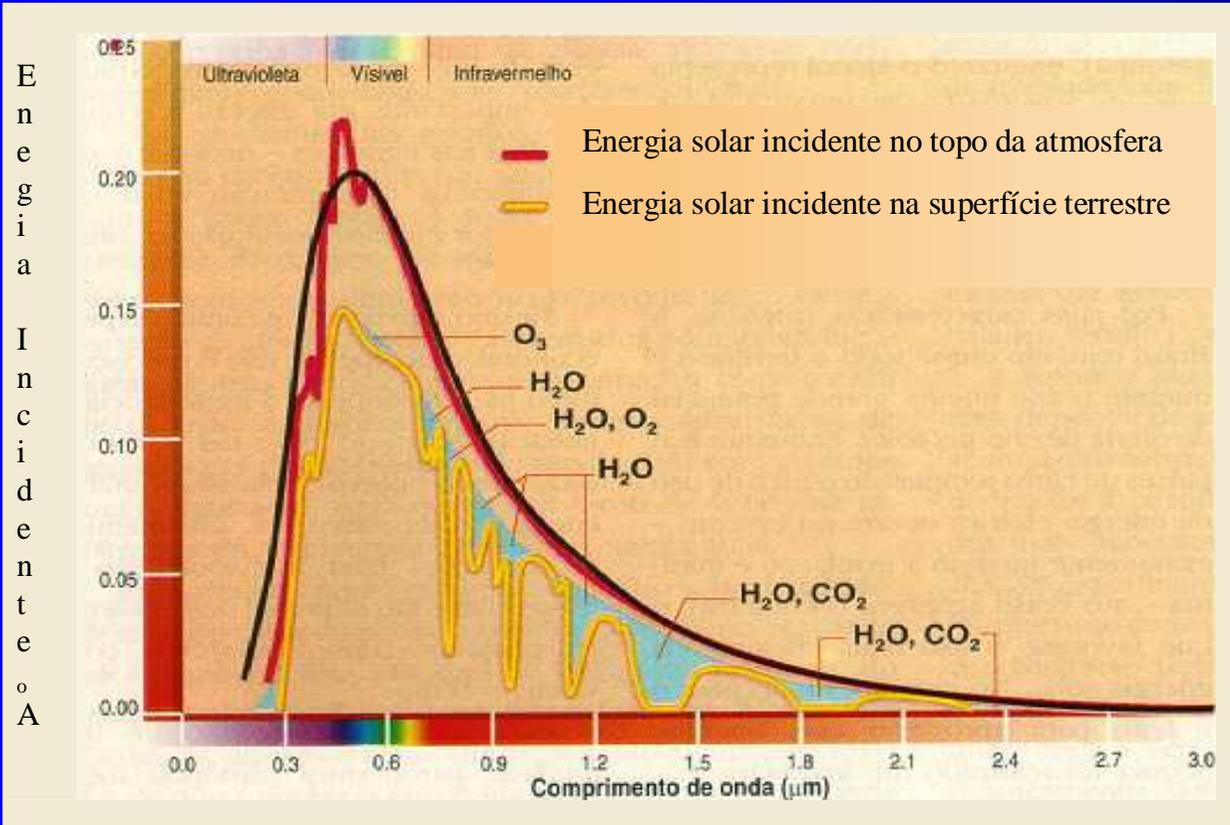
Não Seletivo

$$\lambda < \varnothing$$

Ocorre quando o diâmetro das partículas são maiores que os comprimentos de ondas de qualquer componente da luz solar visível. Neste caso a radiação de diferentes comprimentos de onda serão espalhadas em todas as direções com igual intensidade.



Radiação solar

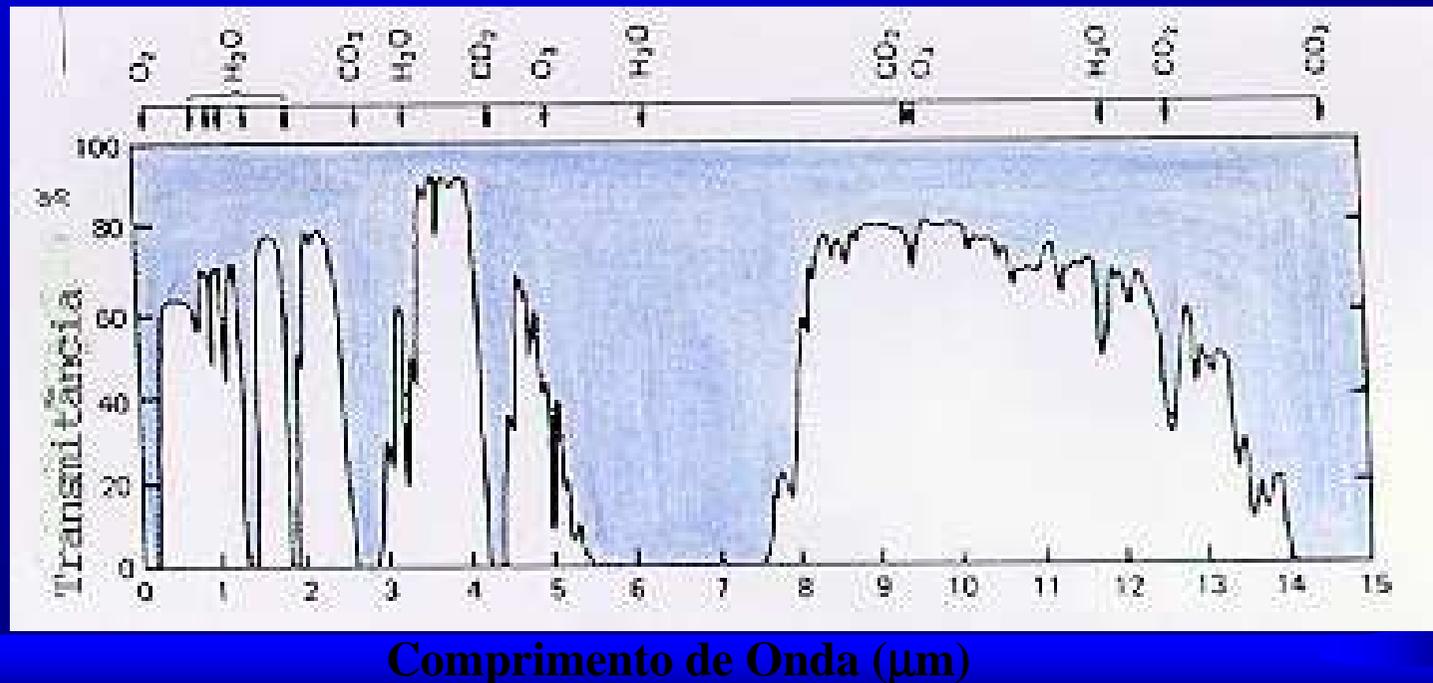


- ➡ 99% da energia solar que atinge a Terra encontra-se na faixa de 0,28 a 4 μm . (70% → 0,3 a 0,7 μm)
- ➡ A máxima irradiância espectral ocorre em 0,55 μm , que corresponde à máxima eficiência visual (cor verde);

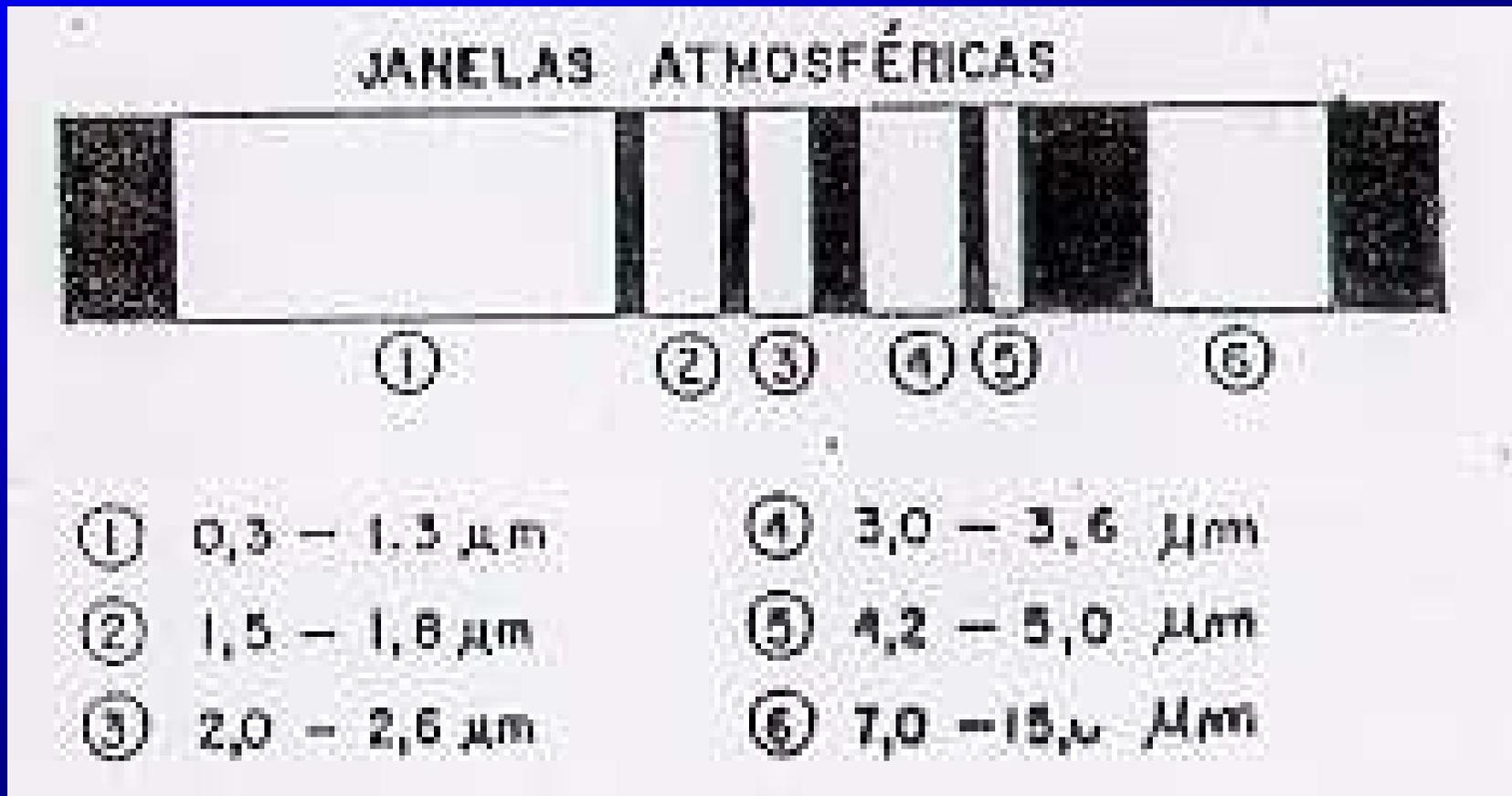
Atenuação Atmosférica

Janelas Atmosféricas: regiões do espectro eletromagnético onde a absorção atmosférica é muito pequena. Nestas regiões a atmosfera é quase transparente à energia eletromagnética.

Transmitância Espectral da Atmosfera Terrestre



Janelas Atmosféricas



Princípios Físicos do Sensoriamento Remoto

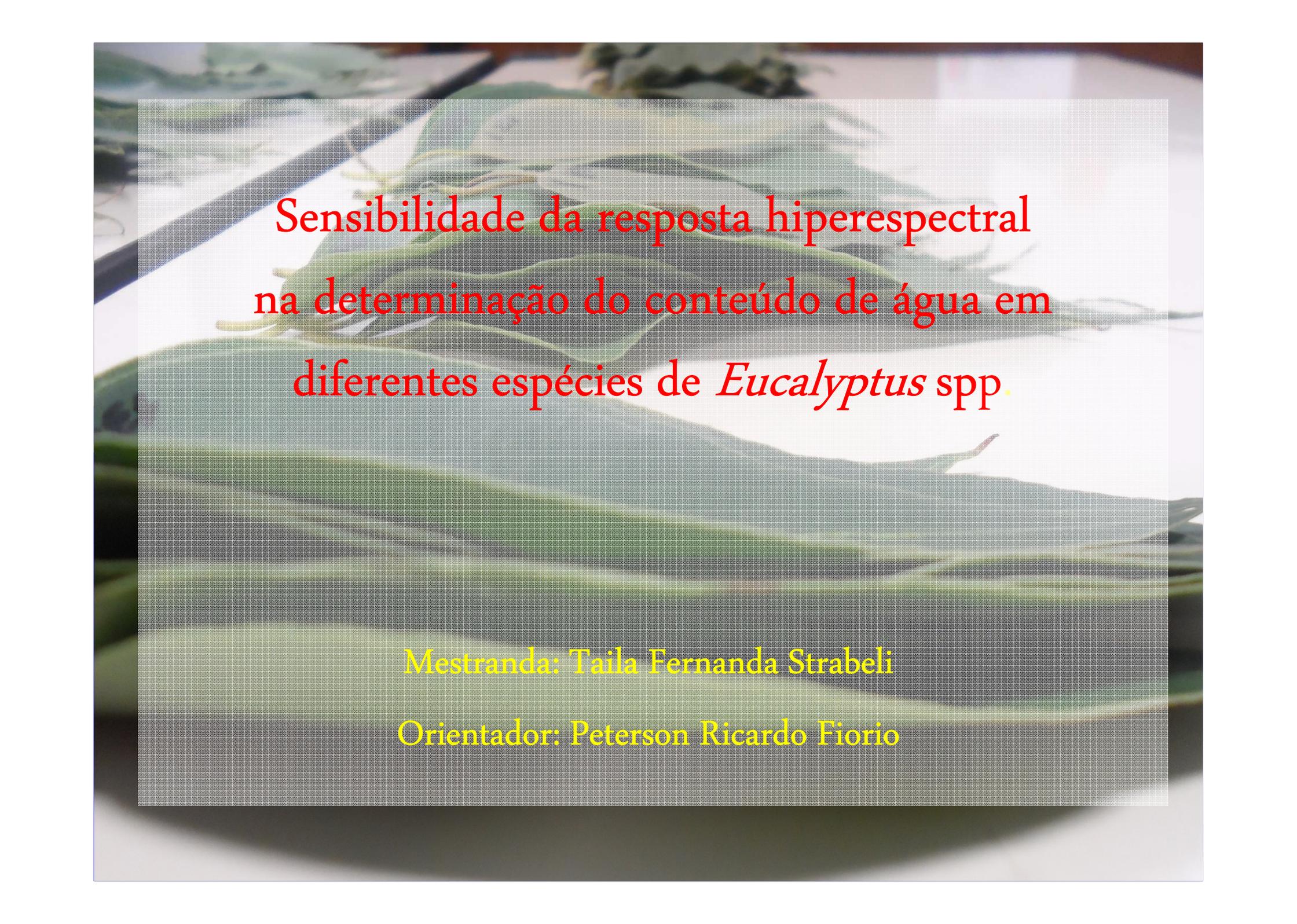
Onde aplicar????
Como usar???



USO DE SENSORES HIPERESPECTRAIS

Laboratório e Campo



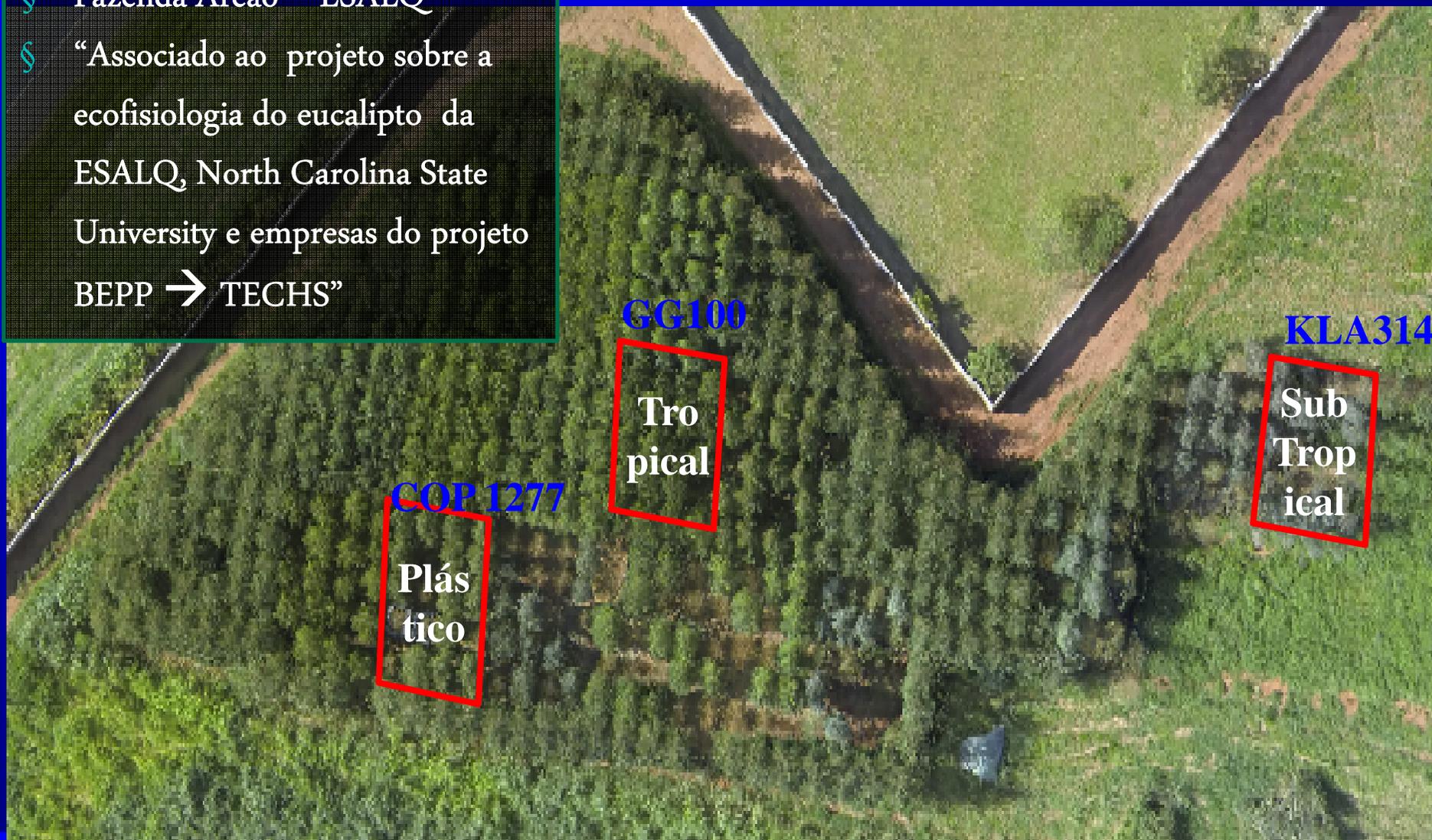


Sensibilidade da resposta hiperespectral
na determinação do conteúdo de água em
diferentes espécies de *Eucalyptus* spp.

Mestranda: Taila Fernanda Strabeli

Orientador: Peterson Ricardo Fiorio

- § 18 espécies de *Eucalyptus* spp.
- § 3 Grupos: Plástico, Tropical e Subtropical.
- § Fazenda Areão – ESALQ
- § “Associado ao projeto sobre a ecofisiologia do eucalipto da ESALQ, North Carolina State University e empresas do projeto BEPP → TECHS”



Material e Métodos

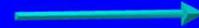
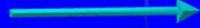
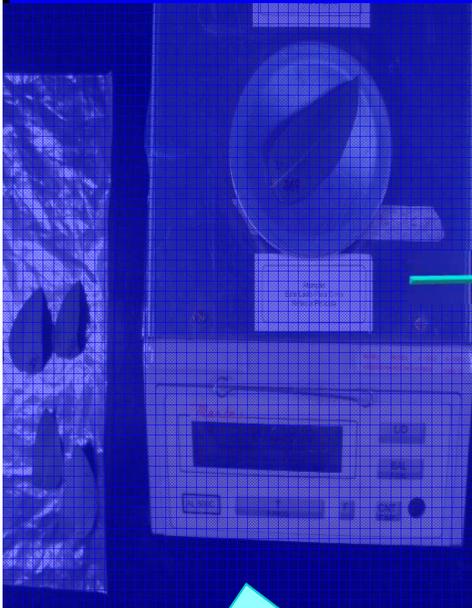
Foram selecionadas e marcadas:
4 árvores/espécie.

Superior →
Médio
Inferior →
4 folhas/terço.



O material coletado foi catalogado e levado para laboratório.

Material e Métodos

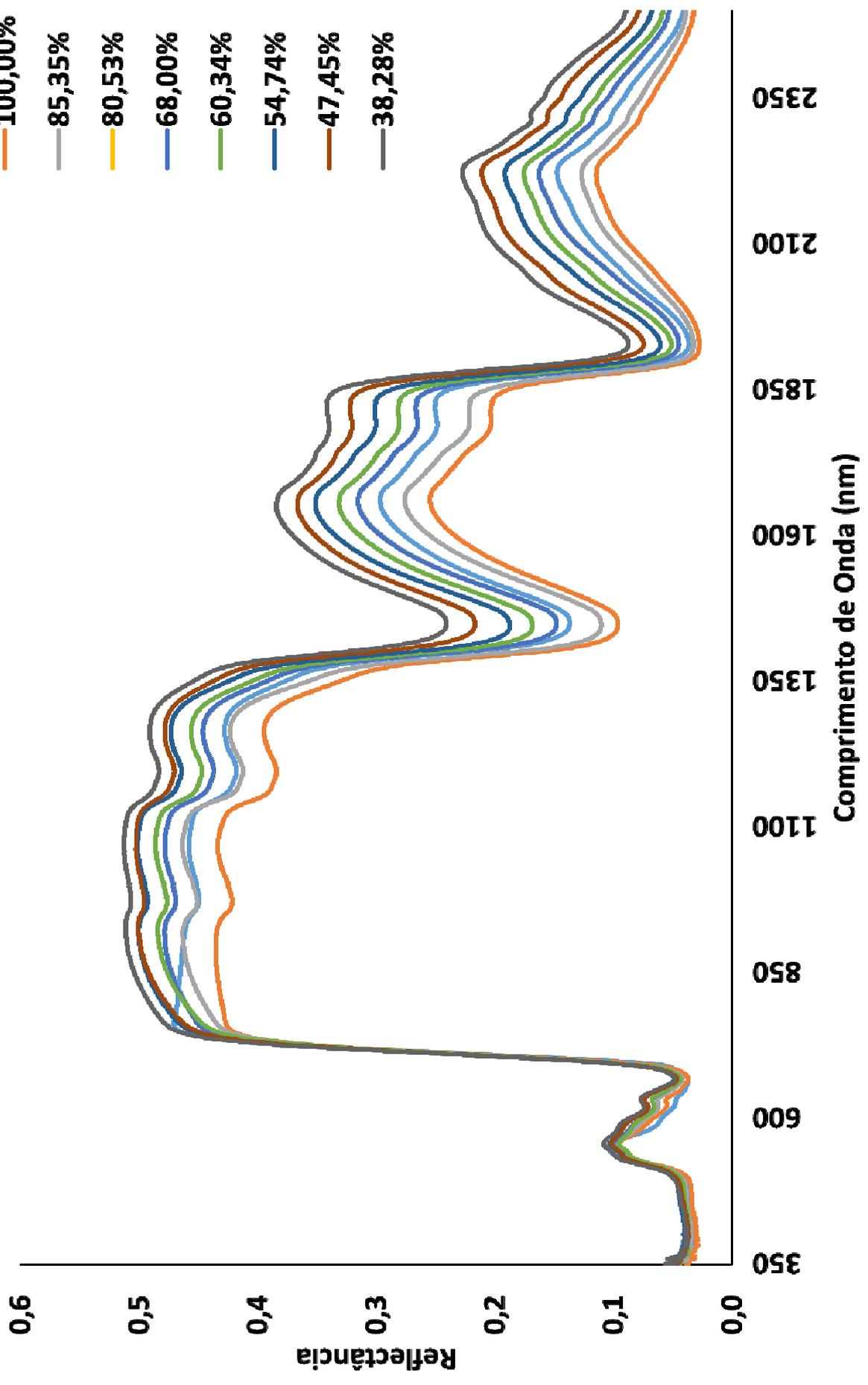


$$\text{CRA} = \frac{\text{PF} - \text{PS}}{\text{PT} - \text{PS}}$$

$$\text{EWT} = \frac{\text{PF} - \text{PS}}{\rho * \text{AF}}$$



Terço Superior- GG100



USO DE SENSORES HIPERESPECTRAIS

PROJETO FAPESP – BIOEN - APTA

Utilização de dados hiperespectrais para predição de nitrogênio foliar em cana-de-açúcar





115 m

B 34 150 kg/ha	A 35 100 kg/ha	C 36 100 kg/ha
B 31 100 kg/ha	A 32 150 kg/ha	C 33 50 kg/ha
B 28 0 kg/ha	A 29 0 kg/ha	C 30 0 kg/ha
B 25 50 kg/ha	A 26 50 kg/ha	C 27 150 kg/ha

B 67 150 kg/ha	A 68 100 kg/ha	C 69 50 kg/ha
B 64 100 kg/ha	A 65 0 kg/ha	C 66 100 kg/ha
B 61 50 kg/ha	A 62 50 kg/ha	C 63 0 kg/ha



Fonte: Google Earth (2015)

Legenda

Área 1 (Jaú - SP)



Fonte: Google Earth (2015)

Legenda

Área 2 (Piracicaba - SP)



Fonte: Google Earth (2015)

Legenda

Área 3 (Santa Maria da Serra - SP)

B 34 150 kg/ha	A 35 100 kg/ha	C 36 100 kg/ha
B 31 100 kg/ha	A 32 150 kg/ha	C 33 50 kg/ha
B 28 0 kg/ha	A 29 0 kg/ha	C 30 0 kg/ha

C 65 0 kg/ha	C 66 100 kg/ha
C 69 50 kg/ha	C 70 100 kg/ha
B 67 150 kg/ha	A 68 100 kg/ha
B 64 100 kg/ha	A 65 0 kg/ha
B 61 100 kg/ha	A 62 0 kg/ha

200 m

B 34 150 kg/ha	A 35 100 kg/ha	C 36 100 kg/ha
B 31 100 kg/ha	A 32 150 kg/ha	C 33 50 kg/ha
B 28 0 kg/ha	A 29 0 kg/ha	C 30 0 kg/ha
B 25 50 kg/ha	A 26 50 kg/ha	C 27 150 kg/ha
BLOCO II		
B 21 0 kg/ha	A 22 150 kg/ha	C 23 150 kg/ha
B 19 0 kg/ha	A 20 150 kg/ha	C 24 150 kg/ha
BLOCO I		
C 13 150 kg/ha	B 14 150 kg/ha	A 15 100 kg/ha
C 10 100 kg/ha	B 11 50 kg/ha	A 12 0 kg/ha
C 7 0 kg/ha	B 8 100 kg/ha	A 9 150 kg/ha
C 4 50 kg/ha	B 5 0 kg/ha	A 6 50 kg/ha
BLOCO III		
A 49 50 kg/ha	C 50 50 kg/ha	B 51 0 kg/ha
A 46 150 kg/ha	C 47 0 kg/ha	B 48 150 kg/ha
A 43 0 kg/ha	C 44 150 kg/ha	B 45 50 kg/ha
A 40 100 kg/ha	C 41 100 kg/ha	B 42 100 kg/ha

B 67 150 kg/ha	A 68 100 kg/ha	C 69 50 kg/ha
B 64 100 kg/ha	A 65 0 kg/ha	C 66 100 kg/ha
B 61 50 kg/ha	A 62 50 kg/ha	C 63 0 kg/ha
BLOCO IV		
B 58 0 kg/ha	A 59 150 kg/ha	C 60 150 kg/ha
B 56 0 kg/ha	A 57 150 kg/ha	C 61 150 kg/ha
A 49 50 kg/ha	C 50 50 kg/ha	B 51 0 kg/ha
A 46 150 kg/ha	C 47 0 kg/ha	B 48 150 kg/ha
A 43 0 kg/ha	C 44 150 kg/ha	B 45 50 kg/ha
A 40 100 kg/ha	C 41 100 kg/ha	B 42 100 kg/ha

■ parcelas descartadas

Variedades

A SP81-3250

B RB 96579

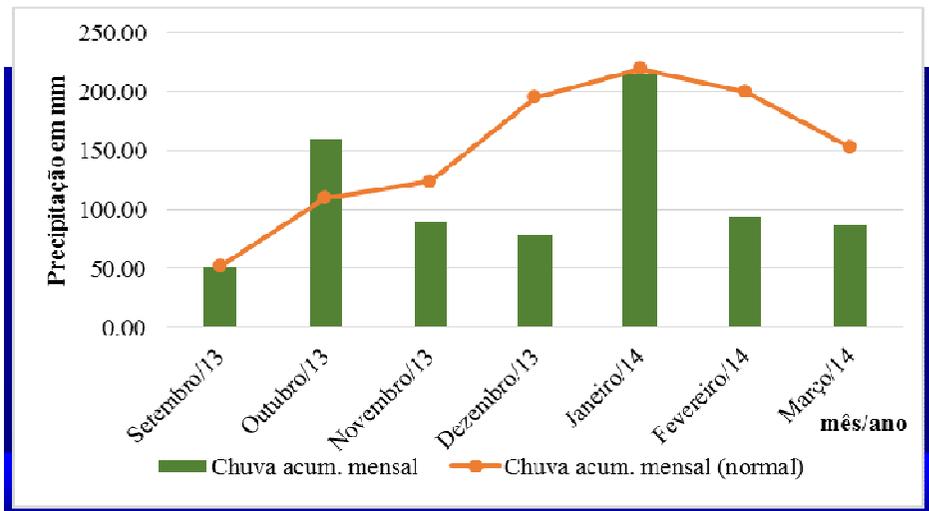
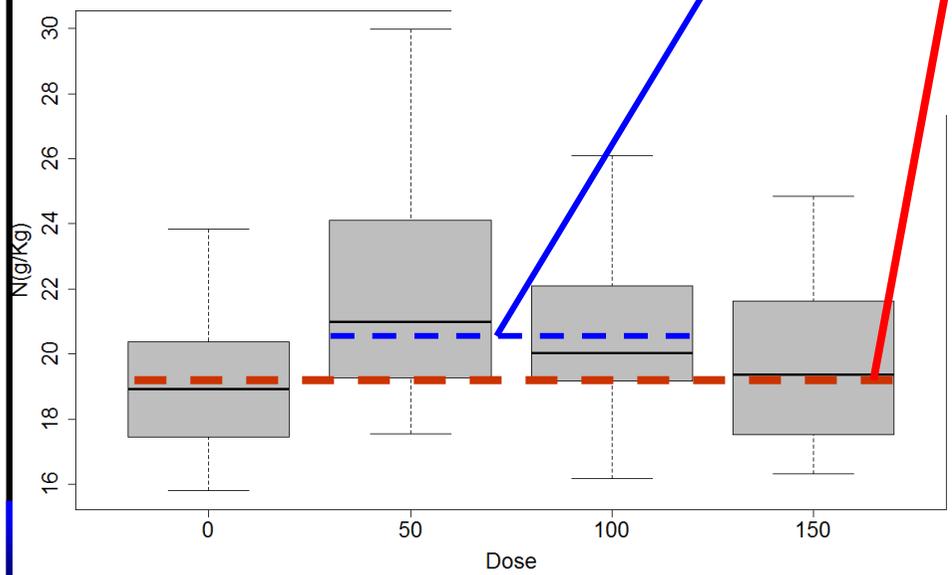
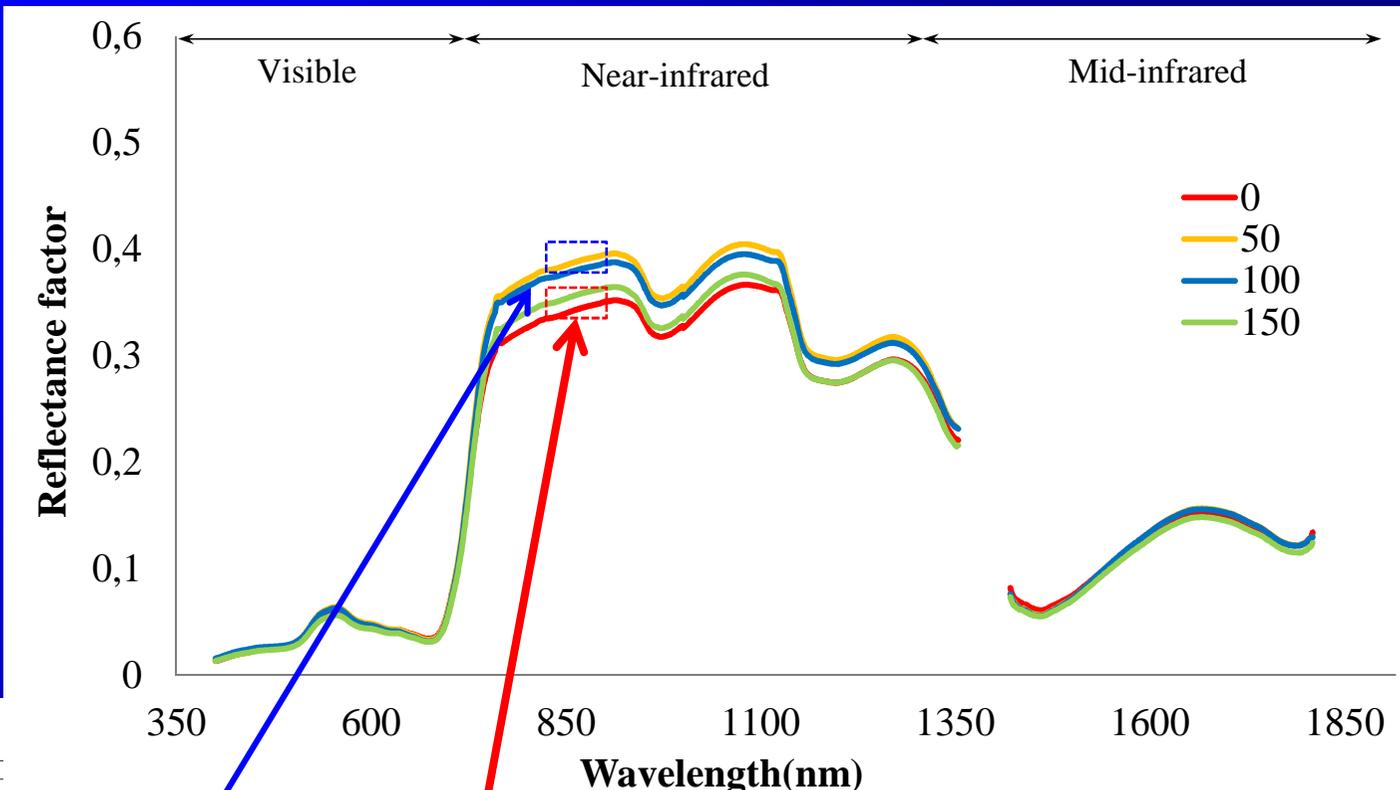
C RB 86-7515

Doses: 0, 50, 100 e 150kg/ha

3- Aquisição da resposta espectral de dossel



5- Resultados preliminares de dossel

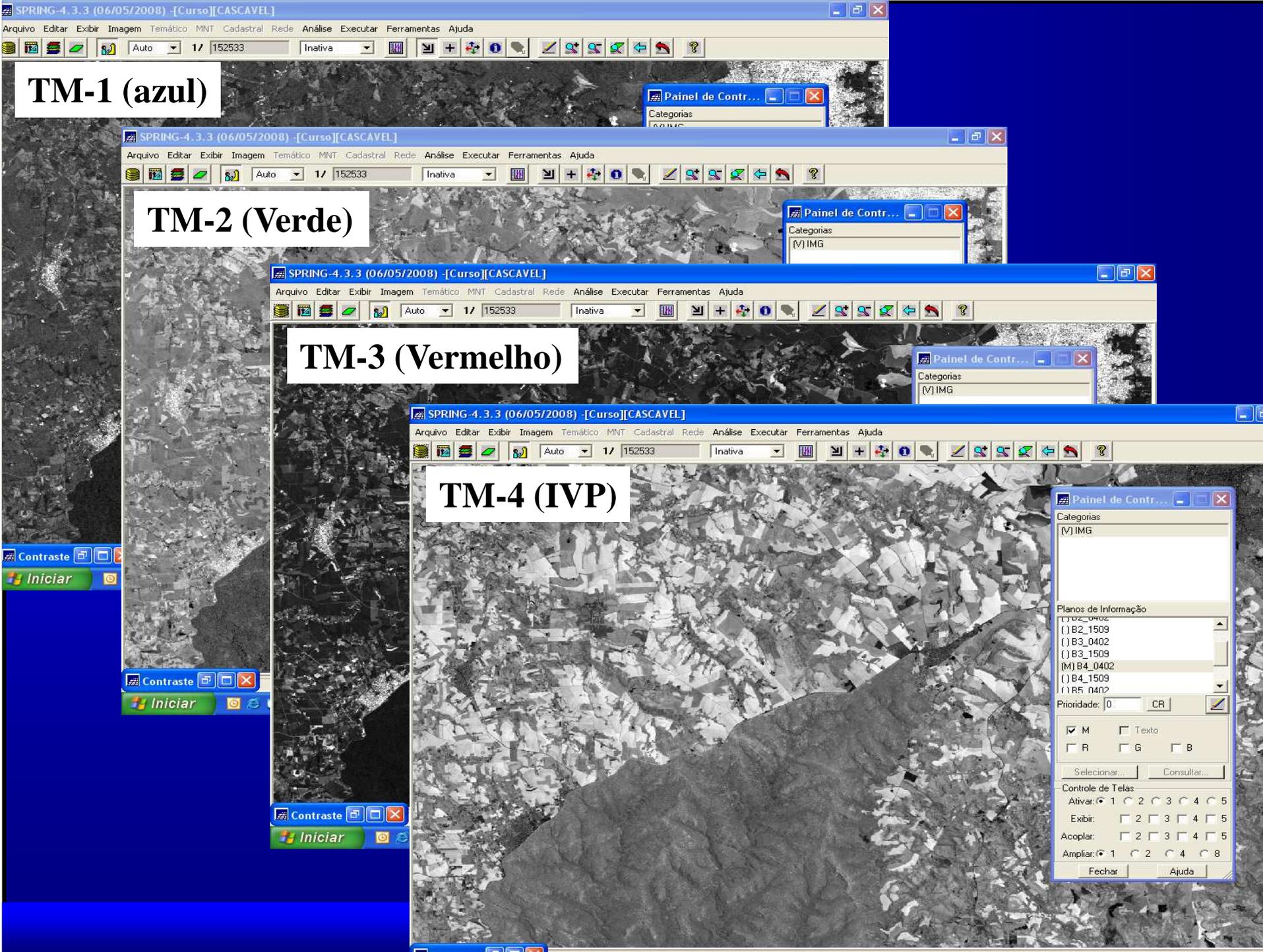


USO DE IMAGENS ORBITAIS



APLICAÇÕES DO SENSORIAMENTO ESPECTRAL

BANDA	FAIXA ESPECTRAL (μm)	APLICAÇÕES
1	0,45-0,52(azul)	MAPEAR ÁGUAS COSTEIRAS DIFERENCIAR: SOLO E VEGETAÇÃO DIFERENCIAR : CONÍFERA E DECÍDUA
2	0,52-0,60(verde)	MAPEAR VEGETAÇÃO QUALIDADE D'ÁGUA
3	0,63-0,69(vermelho)	ABSORÇÃO DA CLOROFILA DIFERENCIAR ESPÉCIES VEGETAIS ÁREAS URBANAS, USO DO SOLO AGRICULTURA QUALIDADE D'ÁGUA
4	0,76-0,90(IR próximo)	DELINEAR CORPOS D'ÁGUA MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO MAPEAMENTO GEOLÓGICO ÁREAS DE QUEIMADAS ÁREAS ÚMIDAS AGRICULTURA VEGETAÇÃO
5	1,55-1,75(IR médio)	USO DO SOLO MEDIDAS DE UMIDADE DE VEGETAÇÃO DIFERENCIAR NUVEM E NEVE AGRICULTURA VEGETAÇÃO
6	10,40-12,50(IR termal)	MAPEAR ESTRESSE TÉRMICO EM PLANTAS CORRENTES MARINHAS PROPRIEDADES TERMAL DO SOLO OUTROS MAPEAMENTOS TÉRMICOS
7	2,08-2,35(IR médio)	IDENTIFICAR MINERAIS MAPEAMENTO HIDROTERMAL



TM-1 (azul)

TM-2 (Verde)

TM-3 (Vermelho)

TM-4 (IVP)

The image is a composite of two satellite photographs of a forest. The top-left portion shows a healthy forest with vibrant green foliage. The bottom-right portion shows the same area after a fire, with a mix of brown, tan, and grey tones indicating charred and dead vegetation. A central horizontal strip shows a transition between the two states. The text 'O QUE MUDOU NESSAS IMAGENS?' is overlaid in a white box with a red border across the middle. Two dates are placed in white boxes: '04/02/2008' at the top and '15/09/2008' on the right side. There are blue rectangular blocks in the top-right and bottom-left corners.

04/02/2008

15/09/2008

O QUE MUDOU NESSAS IMAGENS?

BANDA 1



BANDA 2



RIO DE JANEIRO

Imagem gerada pelo INPE/DGI

BANDA 3



BANDA 4



BANDA 5



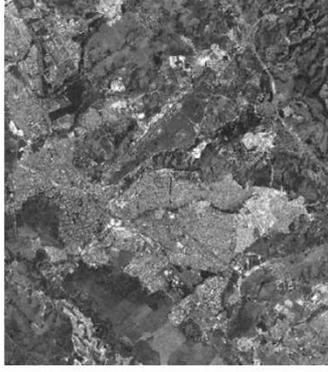
BANDA 6



BANDA 7

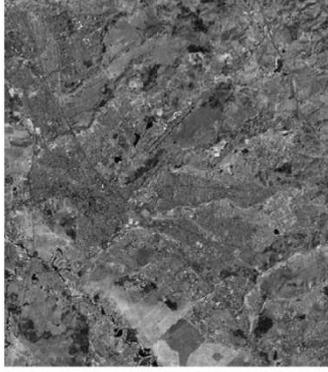


Banda 3
Visível



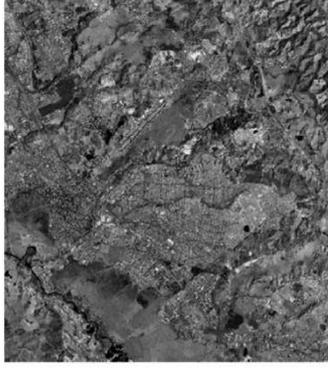
Filtro Azul

Banda 4
Infravermelho



Filtro Verde

Banda 5
Infravermelho



Filtro Vermelho

Banda 3, 4 e 5



Colorida

COMBINAÇÃO DE BANDAS 3, 4, 5

azul, verde, vermelho



RIO DE JANEIRO

Imagem gerada pelo INPE/DGI

Combinação de duas bandas no IR possibilita uma maior diferenciação entre solo e água.

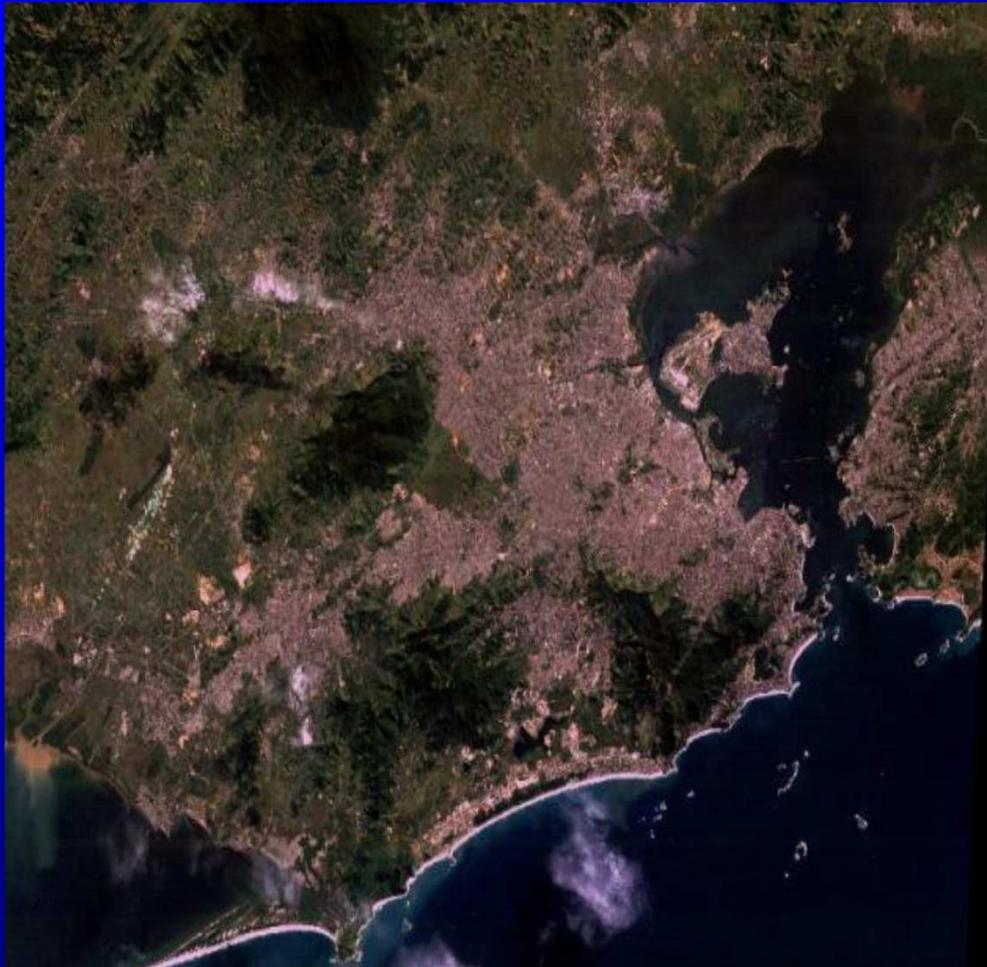
Tipos e condições de vegetações

Áreas urbanas e solos expostos

Água



COMBINAÇÃO DE BANDAS 1, 2, 3 (azul, verde, vermelho)



RIO DE JANEIRO

Imagem gerada no INPE/DGI

Realça informações sobre:

- regiões de águas rasas;
- turbidez;
- correntes; e
- sedimentos em suspensão

Áreas Urbanas

Vegetação



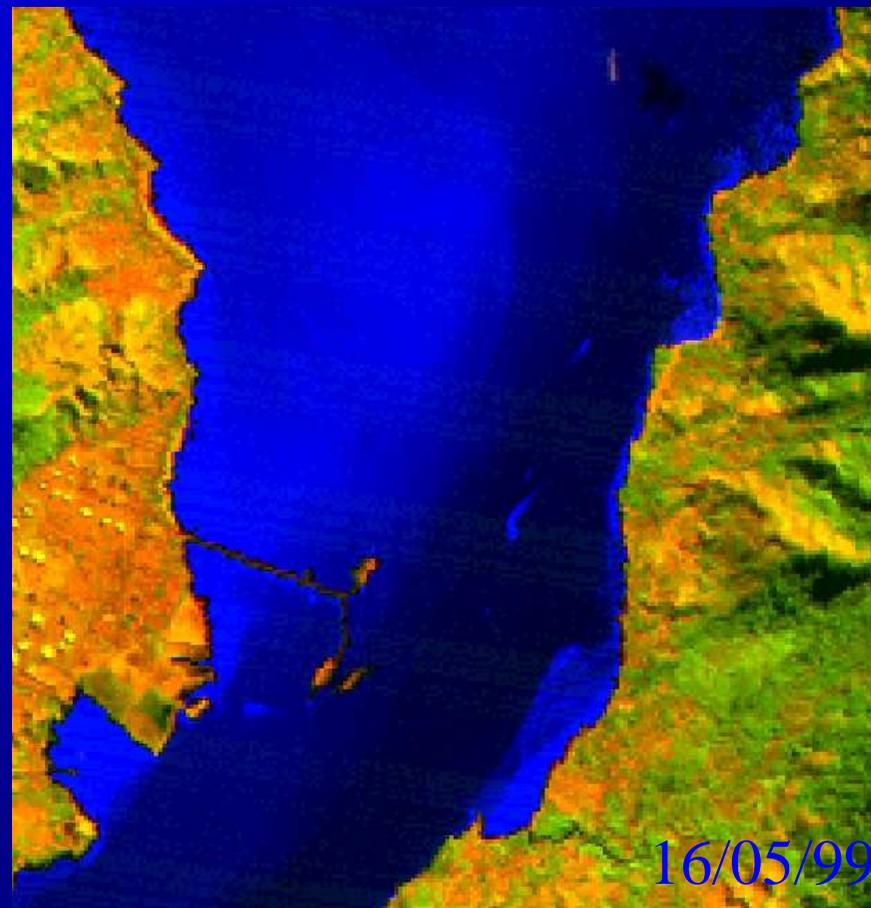
Imagens de Satélite

Canal de São Sebastião

LANDSAT5: TM 45-PAN



SPOT: RGB54-PAN



Imagens geradas no INPE/DGI

Imagens De Satélite

Brasília

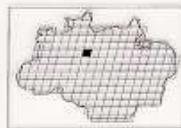


Imagem SPOT PAN+XS da cidade de Brasília/DF

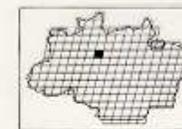
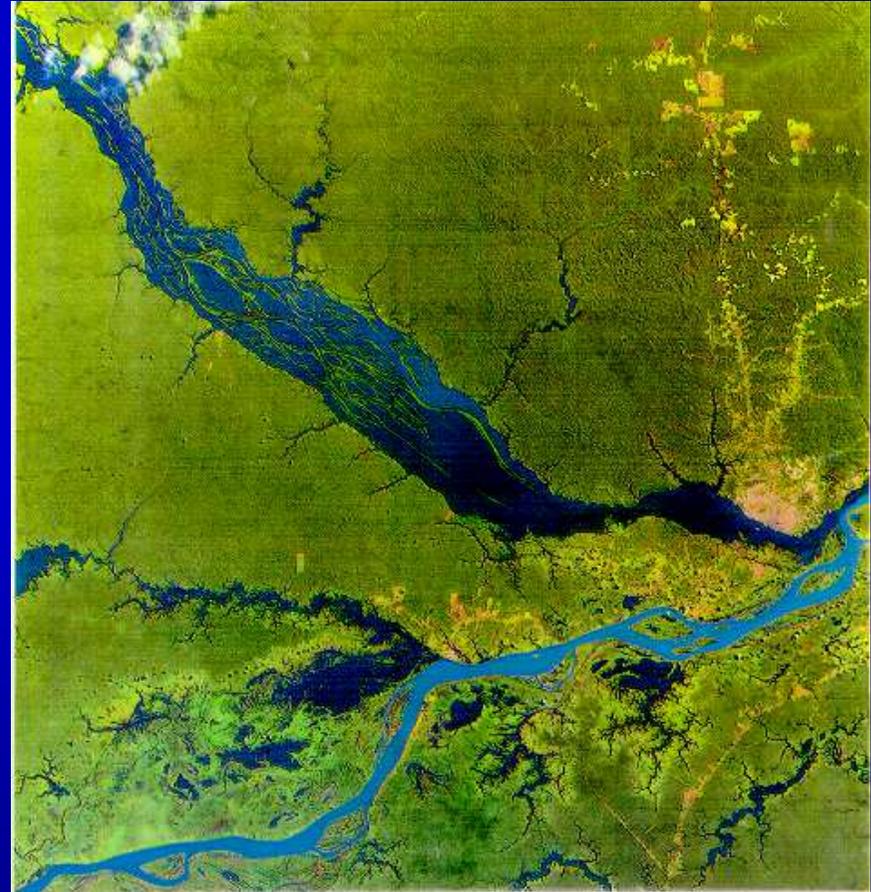


Imagens de Satélite

Encontro dos Rios Negro e Solimões



Landsat 5, TM, bandas 3, 4, 5, de 15 de agosto de 1988, órbita / ponto 231/062
Landsat 5, TM, bandas 3, 4, 5, August 15, 1988, orbit / point 231/062
Landsat 5, TM, bandas 3, 4, 5, 15 août 1988, point orbite 231/062



Landsat 5, TM, bandas 3, 4, 5, de 15 de agosto de 1988, órbita / ponto 231/062
Landsat 5, TM, bandas 3, 4, 5, August 15, 1988, orbit / point 231/062
Landsat 5, TM, bandas 3, 4, 5, 15 août 1988, point orbite 231/062

**USO DE IMAGENS ORBITAIS
X
SENSORES HIPERESPECTRAIS**



Imagem Orbital

Composição RGB
Banda 3 - Vermelho
Banda 4 - Verde
Banda 5 - Azul

TM - LANDSAT 5 -7

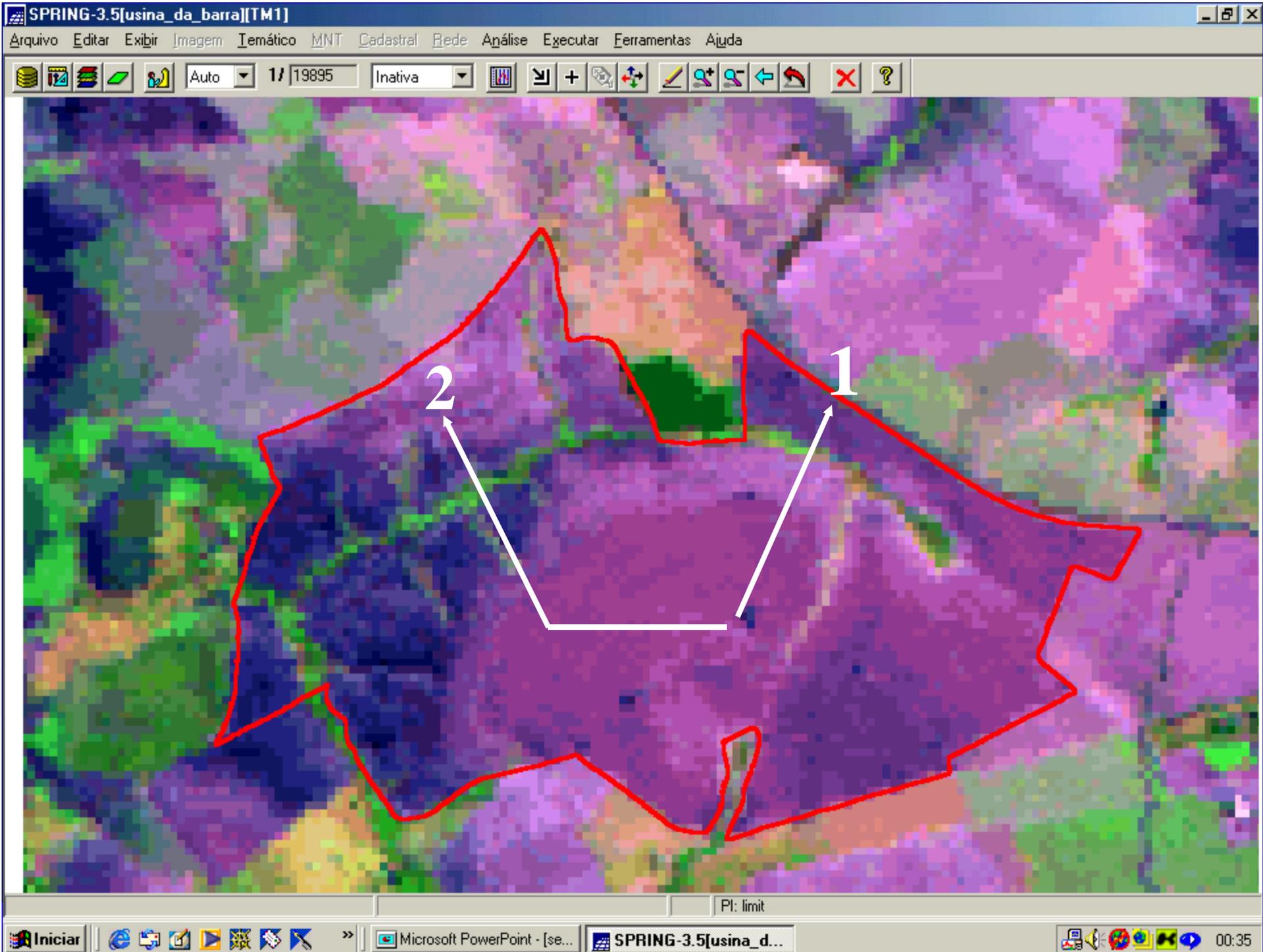
- ➔ Lançamento 05/03/84
- ➔ Altitude 705 km
- ➔ Resolução temporal
 - 16 dias
- ➔ Resolução espacial
 - 30 m (pixel 0,09 ha)
 - 120 m (banda 6)
 - **15 m (pan. Landsat 7)**
- ➔ Imagem inteira
 - 185 km x 185 km
- ➔ Bandas (microns)
 - 1 (0,45-0,52) Azul
 - 2 (0,52-0,60) Verde
 - 3 (0,63-0,69) Vermelho
 - 4 (0,76-0,90) I. Próximo
 - 5 (1,55-1,75) I. Médio
 - 6 (10,4-12,5) I. Termal
 - 7 (2,08-2,35) I. Médio
- **Pancromática (0,52-0,90)**

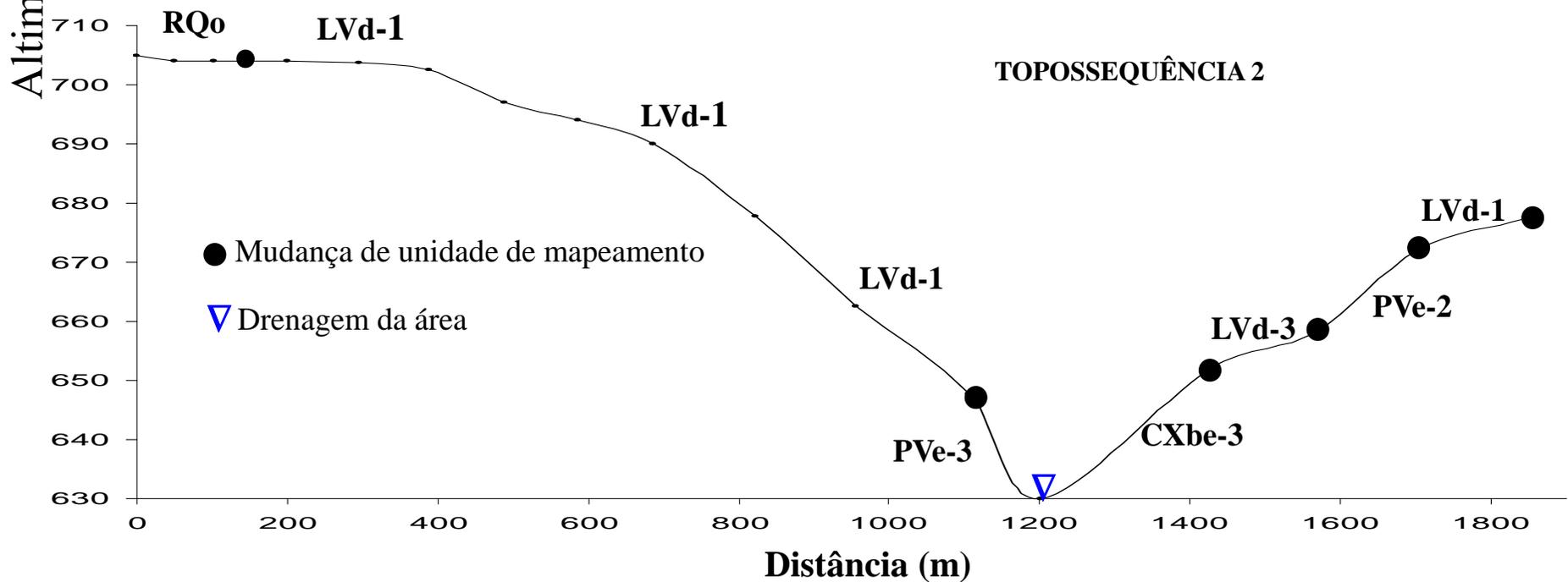
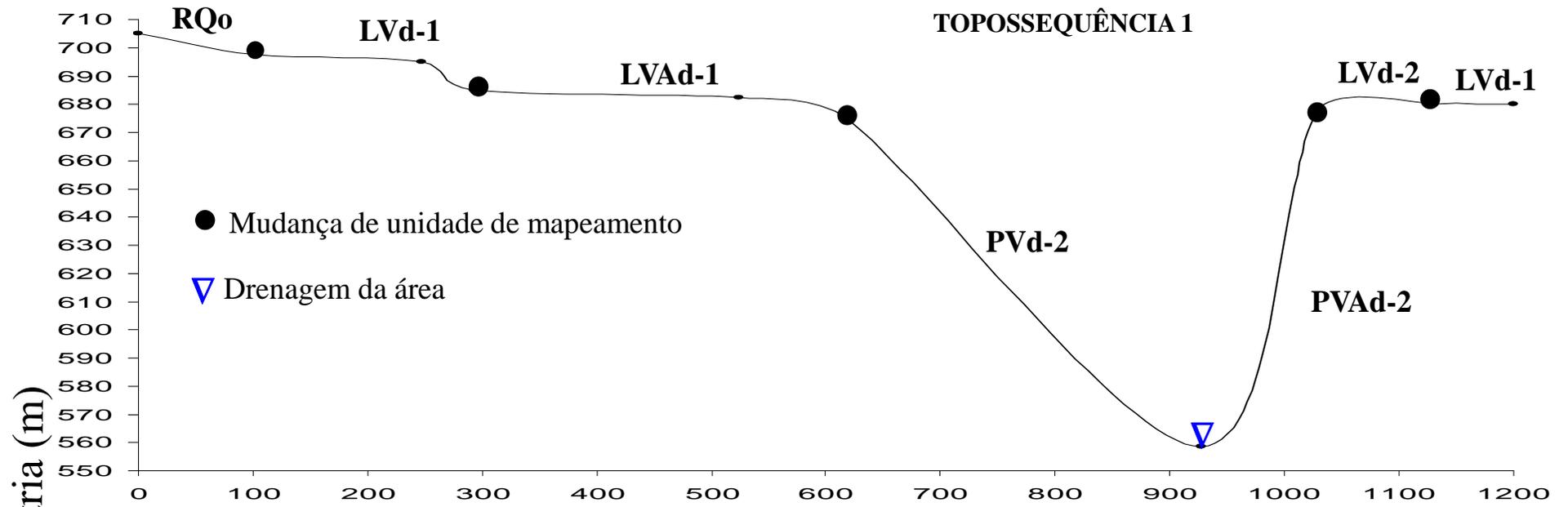
Solos

Reflectância

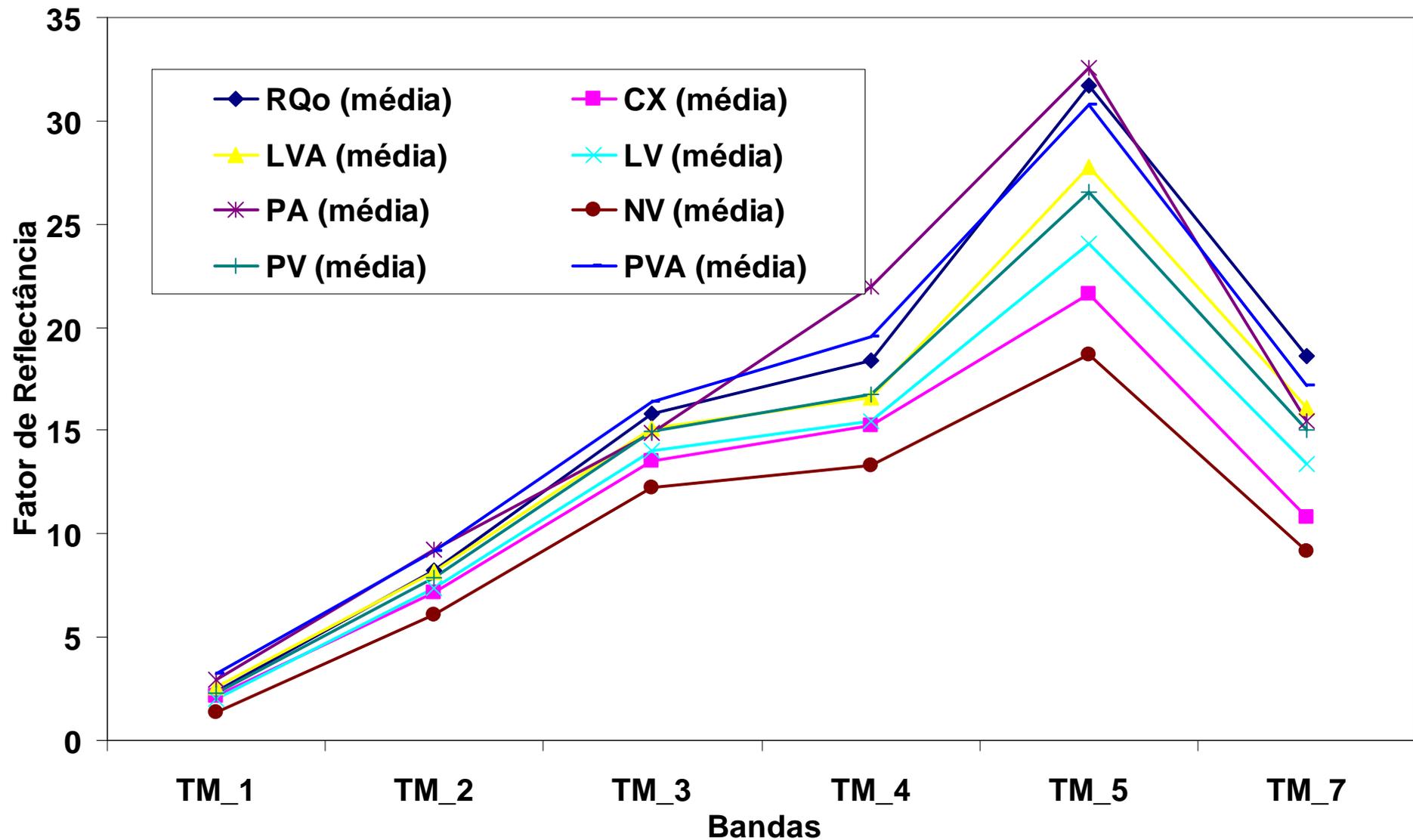
- ➔ **Matéria Orgânica**
- ➔ **Ferro**
- ➔ **Umidade**
- ➔ **Textura**





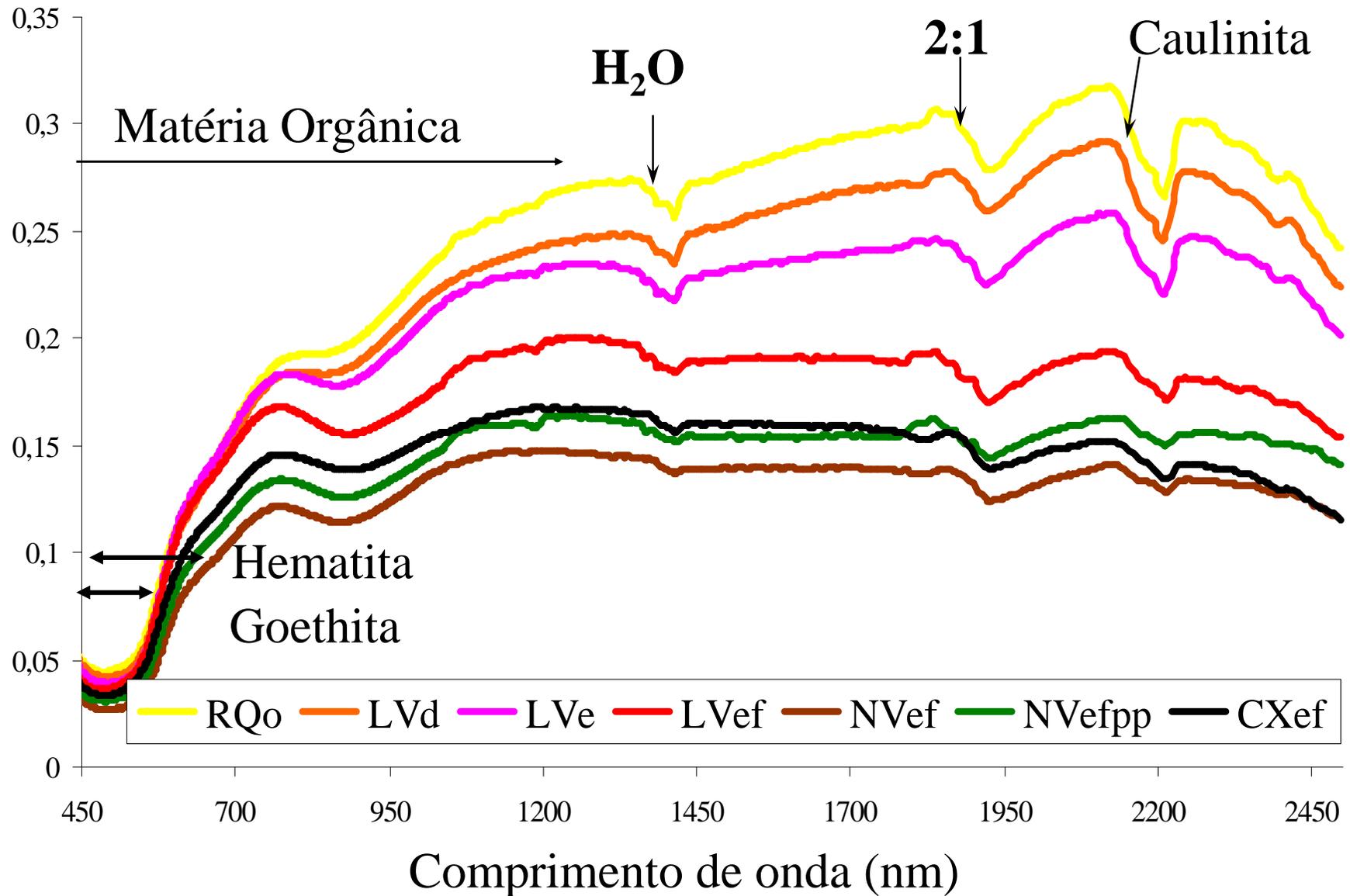


Método de levantamento de solos utilizando curvas espectrais



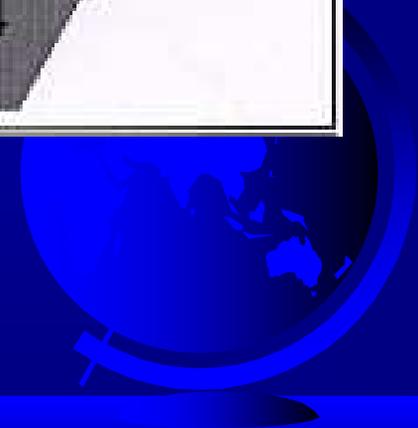
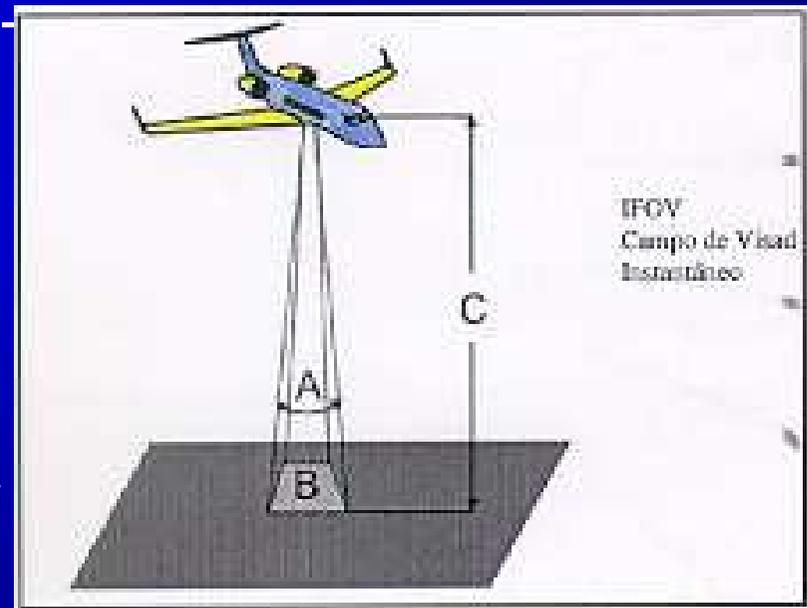
Método de levantamento de solos utilizando curvas espectrais

Fator de Reflectância



Plataforma Aérea

- Aeronaves aéreas estáveis
- Sensores de varredura óptico-eletrônico; fotográficos, e/ou radar
- Possibilidade de:
 - ❑ coleta de dados e imagens muito detalhadas
 - ❑ obtenção de dados de qualquer local
 - ❑ obtenção de dados a qualquer hora
- Problema → custo



PLATAFORMA TERRESTRE

- Campo ou Laboratório
- Sistema Sensor
 - espectroradiômetro
 - radiômetro
- Sistema sensor posicionado próximo ao alvo
 - tripé
 - mastro
 - andaime
 - torres
- Elimina o efeito da atmosfera
- Verdade Terrestre

