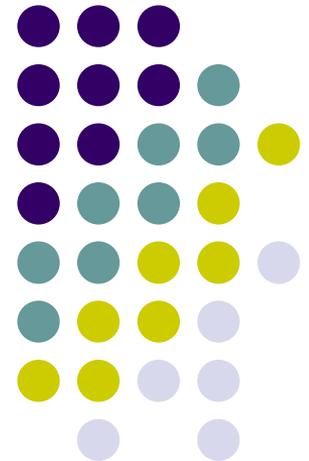


Detecção Remota e Análise de Imagens

José Miguel Cardoso Pereira

Departamento de Engenharia Florestal
Instituto Superior de Agronomia
Universidade Técnica de Lisboa



1. FUNDAMENTOS

1.1 O que é a detecção remota?

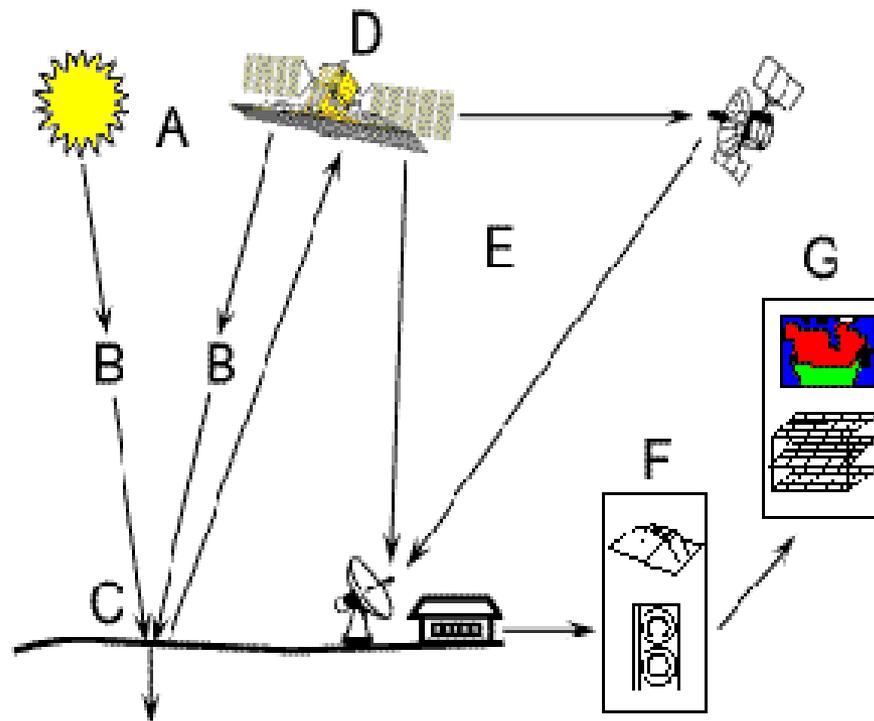


- A detecção remota é a ciência (e, nalguma medida, a arte) de obter informação sobre a superfície da Terra, sem entrar em contacto com ela.
- A informação obtém-se “sensoriando” e registando energia reflectida e/ou emitida e processando, analisando e dando uso a essa informação.

1. FUNDAMENTOS

1.1 O que é a detecção remota?

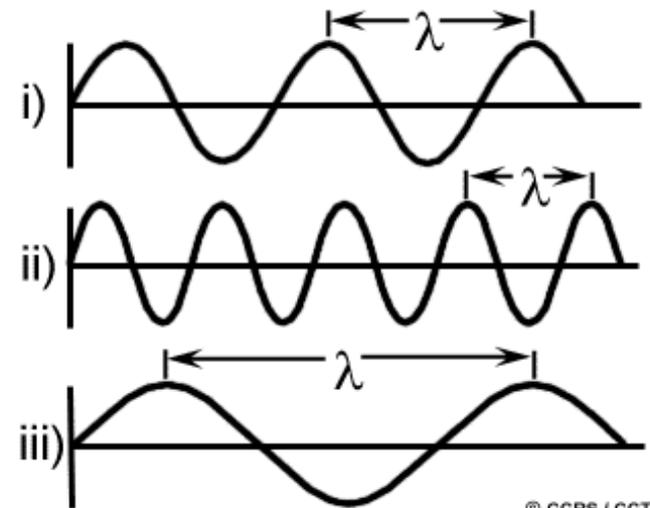
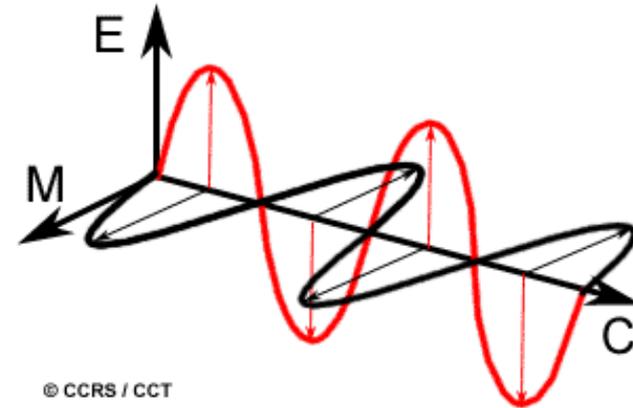
- **E** – a energia gravada pelo sensor é transmitida sob forma electrónica, para uma estação de recepção e processamento, onde são produzidas as imagens.
- **F** – as imagens processadas são interpretadas, visual ou automaticamente, para se extrair informação sobre o alvo observado.
- **G** - O elemento final no processo da DR é a aplicação da informação extraída da imagem, para melhor compreender, revelar nova informação, ou ajudar a resolver um problema.



FUNDAMENTOS

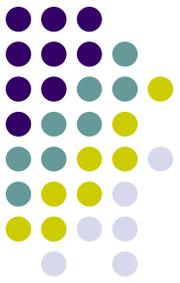
1.2 Radiação electromagnética

- Já vimos que é preciso uma fonte de energia para iluminar o alvo. Esta energia assume a forma de **radiação electromagnética**.
- A radiação electromagnética consiste num **campo eléctrico** (E), cuja magnitude varia numa direcção perpendicular à de propagação da radiação, e num **campo magnético** (M), orientado ortogonalmente ao campo eléctrico. Ambos os campos se deslocam à velocidade da luz, c .
- Há duas características da radiação electromagnética que são especialmente importantes para perceber a detecção remota: o **comprimento de onda** e a **frequência**.



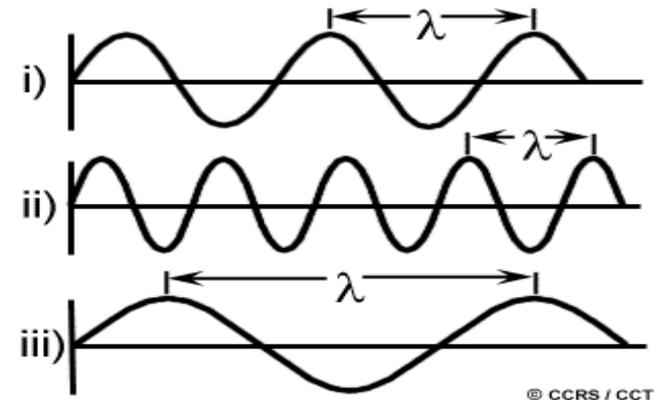
FUNDAMENTOS

1.2 Radiação electromagnética



- O comprimento de onda é o comprimento de um ciclo, ou seja, a distância entre cristas (λ). Costuma medir-se em μm (10^{-6}m) ou em nm (10^{-9}m).
- A frequência refere-se ao nº de ciclos de uma onda que passam sobre um ponto fixo, por unidade de tempo. A frequência mede-se em hertz (Hz), equivalente a 1 ciclo por segundo.
- O comprimento de onda e a frequência relacionam-se por:

$$c = \lambda \cdot \nu$$



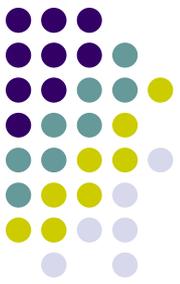
Onde:

λ - c.d.o (m)

ν - frequência (Hz)

c – velocidade da luz ($3 \cdot 10^8 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

$\langle \lambda \Rightarrow \nu$ e vice-versa



1.3 O Sol e a constante solar

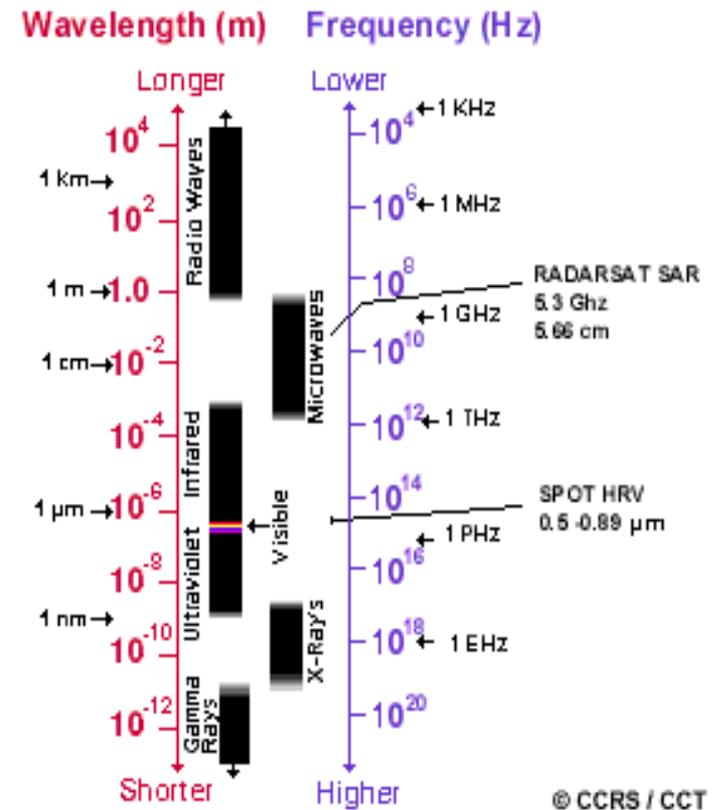
- A superfície aparente do Sol (fotosfera), tem um diâmetro de $1.39 \cdot 10^6$ km e situa-se a uma distância média da Terra de $149.6 \cdot 10^6$ km (1 **unidade astronómica**, UA).
- Chama-se **constante solar** à quantidade de irradiância numa superfície de área unitária, normal à direcção de incidência da radiação, no espaço exterior (ou seja, no topo da atmosfera e à distância de 1 UA).
- O valor da constante solar é da ordem de $1375 \pm 21 \text{ W.m}^{-2}$.
- A radiação directa à superfície, medida normalmente ao ângulo de incidência, raramente excede 75% do valor da constante solar, i.e. Cerca de 1030 W.m^{-2} .
- Esta perda mínima de 25% deve-se a difusão molecular e a absorção, em proporções bastante equilibradas.

FUNDAMENTOS



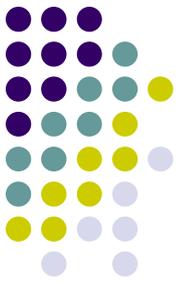
1.4 Espectro electromagnético

- O espectro electromagnético vai desde λ muito curtos (**raios X** e **raios γ**), até comprimentos longos, como as **microondas** e as **ondas de rádio**.
- Há várias regiões do espectro electromagnético que são úteis para a detecção remota.

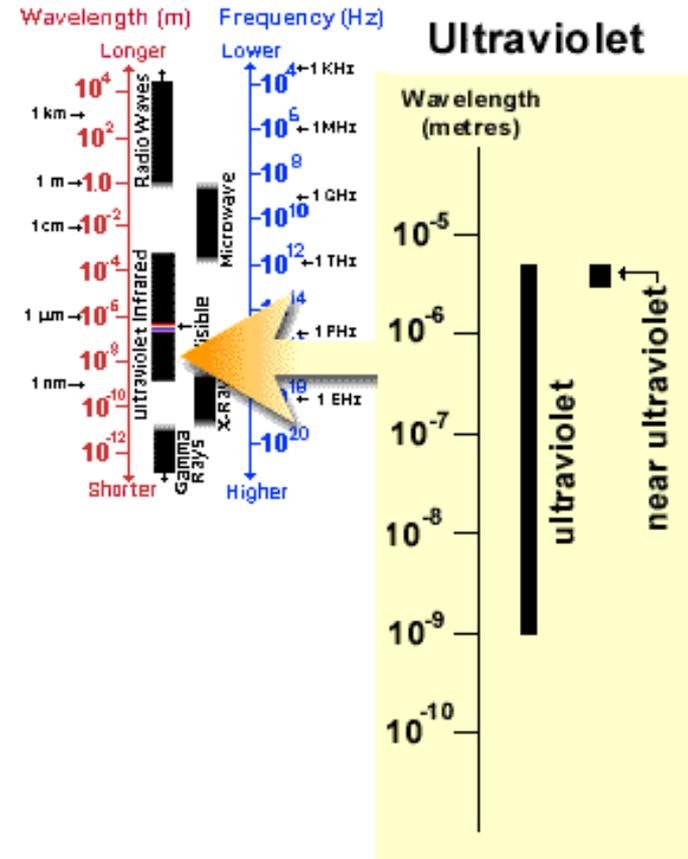


FUNDAMENTOS

1.4 Espectro electromagnético



- O **ultravioleta** (UV) contém a radiação de λ mais curto que é útil na DR.
- Alguns materiais da superfície da Terra, como rochas e minerais, e algumas plantas, **fluorescem** ou emitem luz visível quando iluminados com radiação UV.

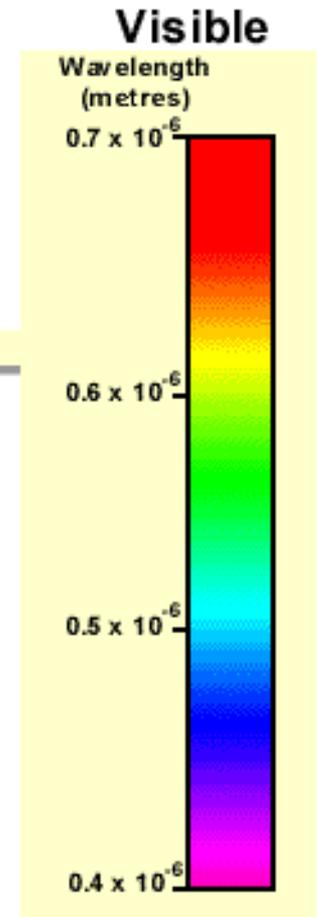
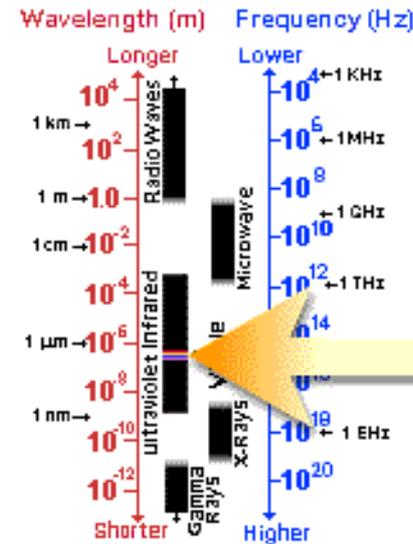


FUNDAMENTOS



1.4 Espectro electromagnético

- A luz que os nossos olhos vêem faz parte da região **visível** do espectro electromagnético, que é uma porção muito pequena do total do espectro.
- Há imensa radiação no ambiente à nossa volta que nos é invisível, mas que pode ser detectada por instrumentos e ser usada em DR.
- A região espectral do visível varia entre os 0.4 – 0.7 λm . A mais curta é o violeta e a mais longa o vermelho.



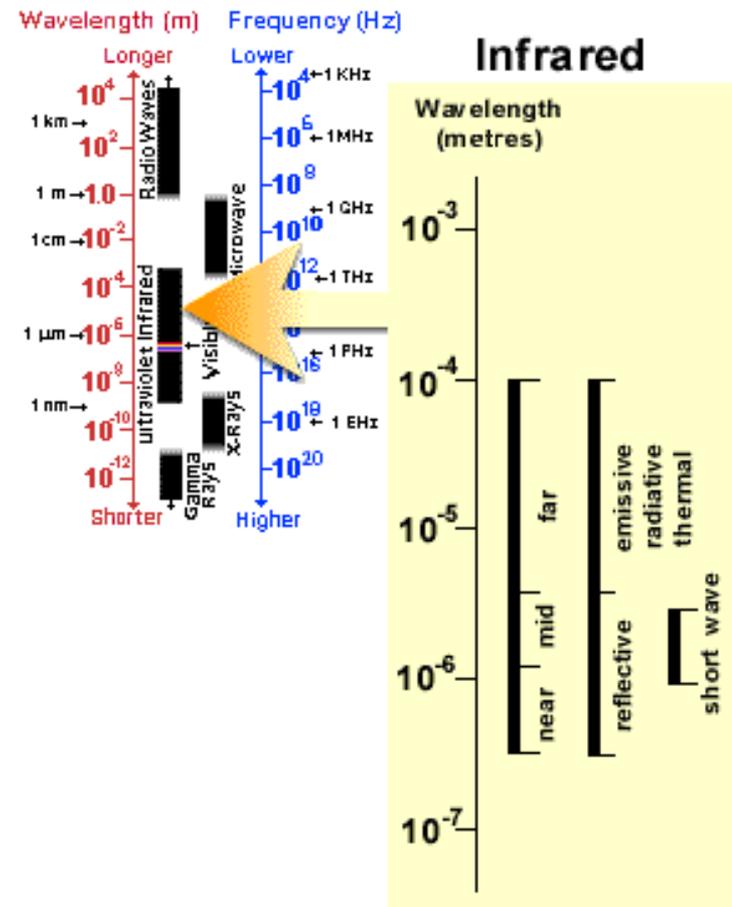
- Violeta: 0.40 – 0.45 μm
- Azul: 0.45 – 0.50 μm
- Verde: 0.50 – 0.58 μm
- Amarelo: 0.58 – 0.59 μm
- Laranja: 0.59 – 0.62 μm
- Vermelho: 0.62 – 0.70 μm

FUNDAMENTOS

1.4 Espectro electromagnético

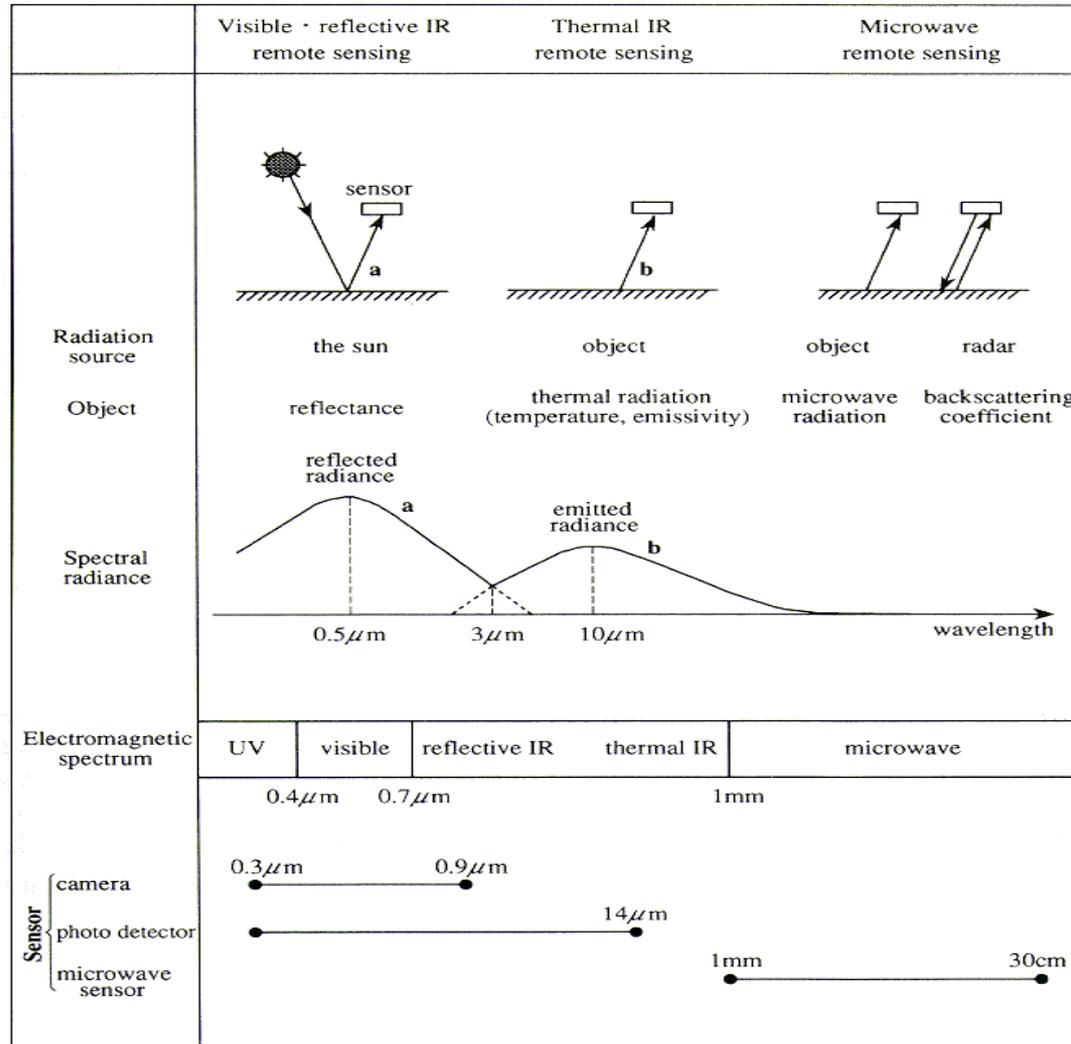


- A região espectral seguinte que nos interessa é o **infravermelho (IV)**, que cobre uma gama desde os $0.7\mu\text{m}$ até aos $100\mu\text{m}$.
- Divide-se em duas zonas, a da **radiação reflectida** e a da **radiação emitida**, ou **térmica**.
- A radiação IR reflectida ($0.7\mu\text{m} - 3.0\mu\text{m}$) usa-se em DR de forma semelhante à radiação visível.
- A radiação térmica é muito diferente, porque não é luz solar reflectida, mas sim radiação emitida sob a forma de calor. A sua gama vai dos $3.0\mu\text{m}$ aos $100\mu\text{m}$.
- Na região entre os $3.0\mu\text{m}$ e os $5.0\mu\text{m}$, a superfície da Terra simultaneamente reflecte e emite radiação.





1.5 Conceitos elementares de radiometria



- 3 tipos de DR e suas relações com λ

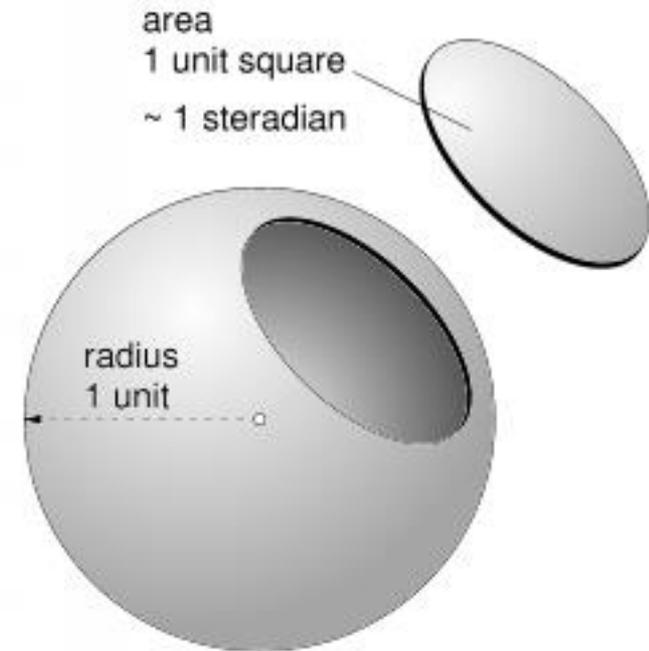


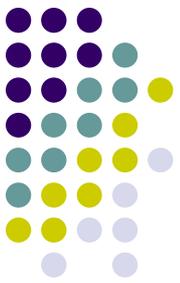
1.5 Conceitos elementares de radiometria

- Ângulo sólido é aquele que, visto do centro duma esfera, inclui uma dada área na superfície dessa esfera. O valor do ângulo sólido é numericamente igual ao tamanho dessa área dividida pelo quadrado do raio da esfera:

$$\Omega = A / r^2$$

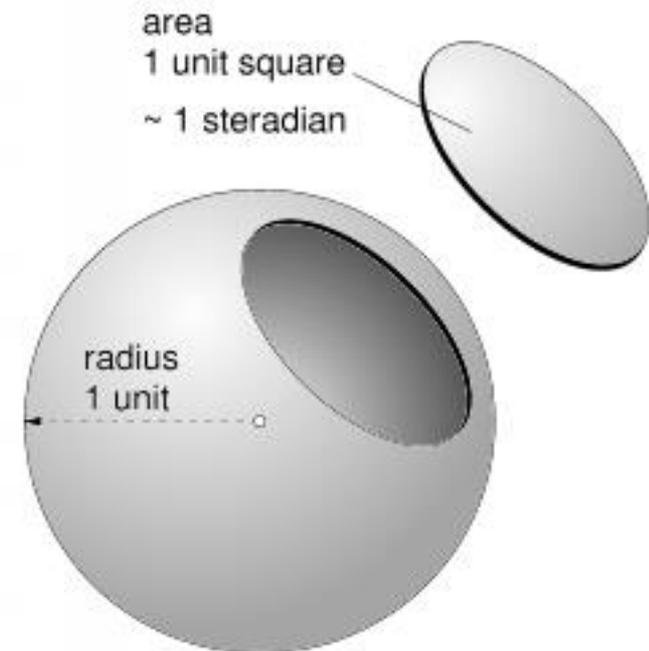
- Ω descreve a convergência ou divergência angular, a 3 dimensões, do fluxo dirigido para ou de um ponto ou superfície.





1.5 Conceitos elementares de radiometria

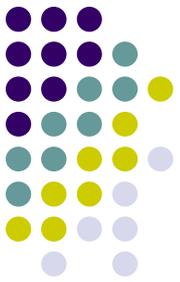
- Se a área da calote esférica, A , for igual a r^2 , então o ângulo sólido tem o valor de um **estereorradiano** (sr).
- $A = r^2 \Rightarrow \Omega = 1\text{sr}$.
- Como a área da esfera é de $4\pi r^2$, há 4π sr subjacentes a uma esfera, no seu centro.
- O estereorradiano (sr) é o equivalente tridimensional do radiano, que se usa para ângulos planos.



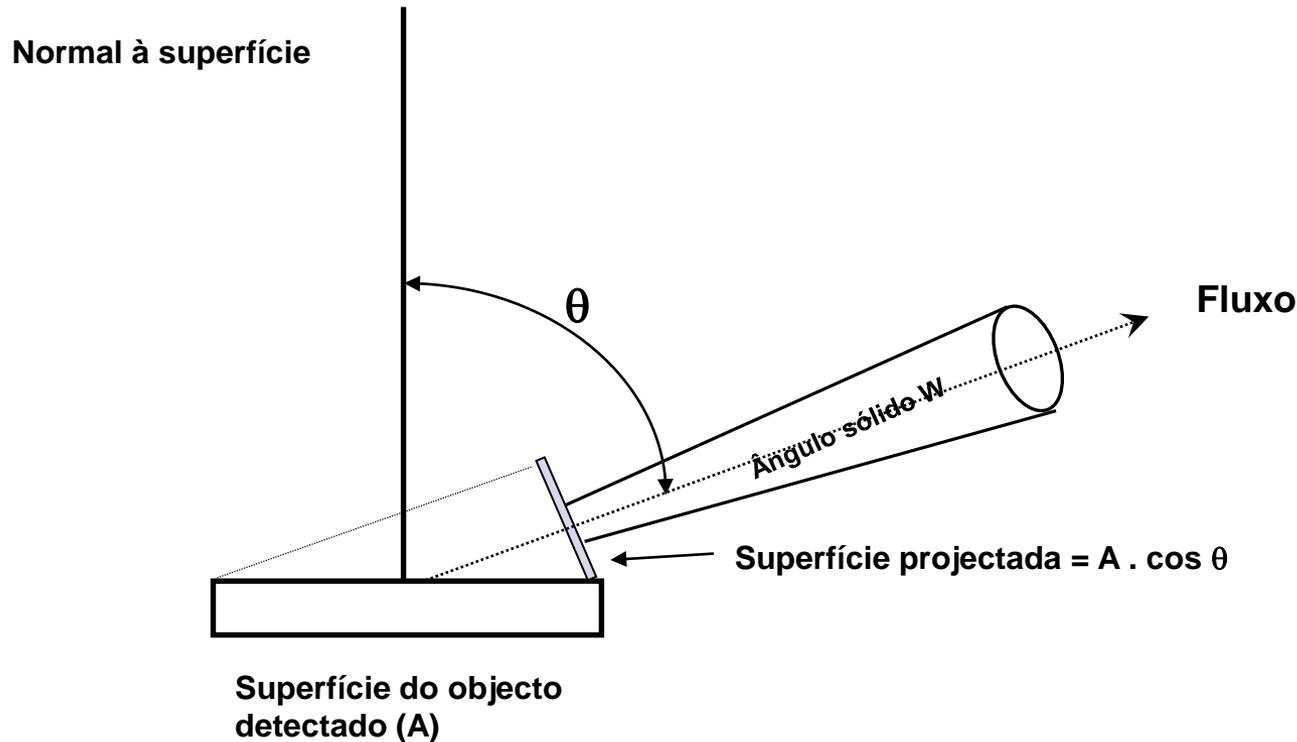


1.5 Conceitos elementares de radiometria

- As grandezas fundamentais da radiometria são:
 - **Energia radiante (Q)**: a totalidade da energia radiada em todas as direcções. Mede-se em Joules (J).
 - **Fluxo radiante (ϕ)**: a totalidade da energia radiada em todas as direcções, **por unidade de tempo**. Mede-se em Watts (W) e é dada por **dQ/dt** .
 - **Intensidade radiante de uma fonte (I)** é o fluxo radiante proveniente da fonte, **por unidade de ângulo sólido**, na direcção considerada. Mede-se em $W.sr^{-1}$ e é dada por **$d\phi/d\Omega$** .
 - **Densidade de fluxo radiante numa superfície (M = E)**: é o fluxo radiante numa superfície, **dividido pela área da superfície**. Quando se refere ao fluxo radiante incidente numa superfície designa-se por **irradiância (E)**, **$d\phi/dA$ (\downarrow)**. Quando se refere ao fluxo radiante emitido a partir, p.ex. de uma superfície aquecida, observada com um sensor térmico), chama-se **emitância radiante (M)**, **$d\phi/dA$ (\uparrow)**. M e E medem-se em $W.m^{-2}$.



1.5 Conceitos elementares de radiometria



- **Radiância** (L) é o **fluxo radiante** proveniente de um elemento da **superfície** em torno de um ponto e propagado em **direcções definidas por um cone elementar** contendo a direcção dada, **dividido pelo produto entre o ângulo sólido do cone e a área da projecção** ortogonal do elemento da superfície, num plano normal à referida direcção. Mede-se em $W.m^{-2}.sr^{-1}$ e é dada por $d^2\phi/d\Omega(dA.\cos\theta)$.



1.5 Conceitos elementares de radiometria

$$L = \frac{d^2\Phi}{dA d\Omega \cos \theta} \simeq \frac{\Phi}{\Omega A \cos \theta}$$

Onde a aproximação é válida para A e Ω pequenos

L é a radiância ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$),

Φ é o fluxo radiante (W),

θ é o ângulo entre a normal à superfície e a direcção especificada

A é a área da fonte (m^2), e

Ω é o ângulo sólido (sr).



1.5 Conceitos elementares de radiometria

- **Emitância espectral** (M_λ) é a emitância referida a uma gama restrita de valores de λ . Mede-se em $W.m^{-2}.\mu m^{-1}$ e é dada por $dM/d\lambda$ (\uparrow).
- **Irradiância espectral** (E_λ), é dada por $dE/d\lambda$ (\downarrow) e mede-se em $W.m^{-2}.\mu m^{-1}$.
- **Radiância espectral** (L_λ), é dada por $dL/d\lambda$ e mede-se em $W.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$.
- Mas não basta conhecer a energia radiante ϕ , ou a emitância M , de uma parte da superfície terrestre para caracterizar um objecto em DR, porque ambas variam em função da irradiância (E) e da temperatura (T).
- Usam-se quocientes adimensionais para descrever ϕ ou M , como fracção da E ou de emissividade de um material de referência.



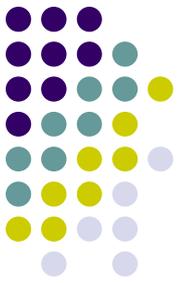
1.5 Conceitos elementares de radiometria

- Os 4 quocientes adimensionais mais comuns são:
 - **emissividade**, $\varepsilon = M / M_{\text{corpo negro}}$, quociente entre a emitância M duma superfície e de um emissor perfeito.
 - **reflectância**, $\rho = \phi_r / \phi_i$, quociente entre of fluxos radiantes reflectido (ϕ_r) e incidente (ϕ_i).
 - **absorvidade**, $\alpha = \phi_a / \phi_i$, o quociente entre os fluxos radiantes absorvido e incidente.
 - **transmitância**, $\tau = \phi_t / \phi_i$, é o quociente entre os fluxos radiantes transmitido, e incidente.



1.5 Conceitos elementares de radiometria

Conceito	Símbolo	Fórmula	Unidade de medida
Energia radiante	Q	-	J
Densidade radiante	W	dQ/dv	$J.m^{-3}$
Fluxo radiante	ϕ	dQ/dt	W
Emitância radiativa	M	$d\phi/dA$	$W.m^{-2}$
Irradiância	E	$d\phi/dA$	$W.m^{-2}$
Intensidade radiativa	I	$d\phi/d\Omega$	$W.sr^{-2}$
Radiância	L	$dI/(dA.\cos\theta)$	$W.m^{-2}.sr^{-1}$
Radiância espectral	L_λ	$dL/d\lambda$	$W.m^{-2}.sr^{-1}$
Emissividade	ε	M/M_n	---
Reflectância	ρ	ϕ_r/ϕ_i	---
Absorvidade	α	ϕ_a/ϕ_i	---
Transmissividade	τ	ϕ_t/ϕ_i	---



1.6 Leis da radiação

- **Leis da radiação**
 - As propriedades das interações da radiação electromagnética com a matéria sistematizam-se num conjunto simples de regras, designadas por **leis da radiação**.
 - Estas leis aplicam-se quando o corpo radiante tem propriedades de **corpo negro**.
 - As principais leis da radiação electromagnética que nos interessa considerar são as de:
 - ✓ Planck
 - ✓ Wien
 - ✓ Stefan-Boltzmann
 - ✓ Kirchoff



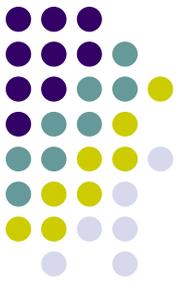
1.6 Leis da radiação

- **Lei de Planck**

- A **distribuição espectral da radiação emitida por um corpo negro** é descrita pela lei de Planck, sob a forma de uma curva contínua e com um único máximo.

$$M(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \times \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \quad \text{onde}$$

- M – emitância radiante espectral, $\text{W.m}^{-2}.\text{m}^{-1}$
- λ - c.d.o. , m
- T – temperatura de corpo negro, K
- h – constante de Planck, $6.6256 \times 10^{-34} \text{ W.s}^2$
- c – velocidade da luz, $2.997925 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
- e – base do logaritmo natural
- k – constante de Boltzmann, $1.38054 \times 10^{-23} \text{ W.s.K}^{-1}$



1.6 Leis da radiação

- Lei de Planck
 - Para a realização de cálculos, usa-se uma versão abreviada desta expressão, dada por:

$$M_{\lambda} = \frac{3.74151 * 10^{-8}}{\lambda^5 \left[e\left(\frac{1.43879 * 10^{-4}}{\lambda T}\right) - 1 \right]}$$

- onde M é de novo em $W \cdot m^{-2} \cdot \mu m^{-1}$, mas λ vem em micrómetros (μm). Estas unidades significam que qualquer valor obtido através da equação acima é um fluxo radiante em W, num intervalo espectral de 1 m, radiado sobre um hemisfério por um corpo negro com uma área de 1 m².

FUNDAMENTOS

1.6 Leis da radiação

- Lei de Planck

- **Distribuição espectral da energia radiada por corpos negros de várias temperaturas.**

- A emitância radiante **espectral** M ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\mu\text{m}^{-1}$) é a energia emitida por unidade de intervalo de λ .

- A emitância radiante **total** M é dada pela área sob as curvas de emitância radiante espectral

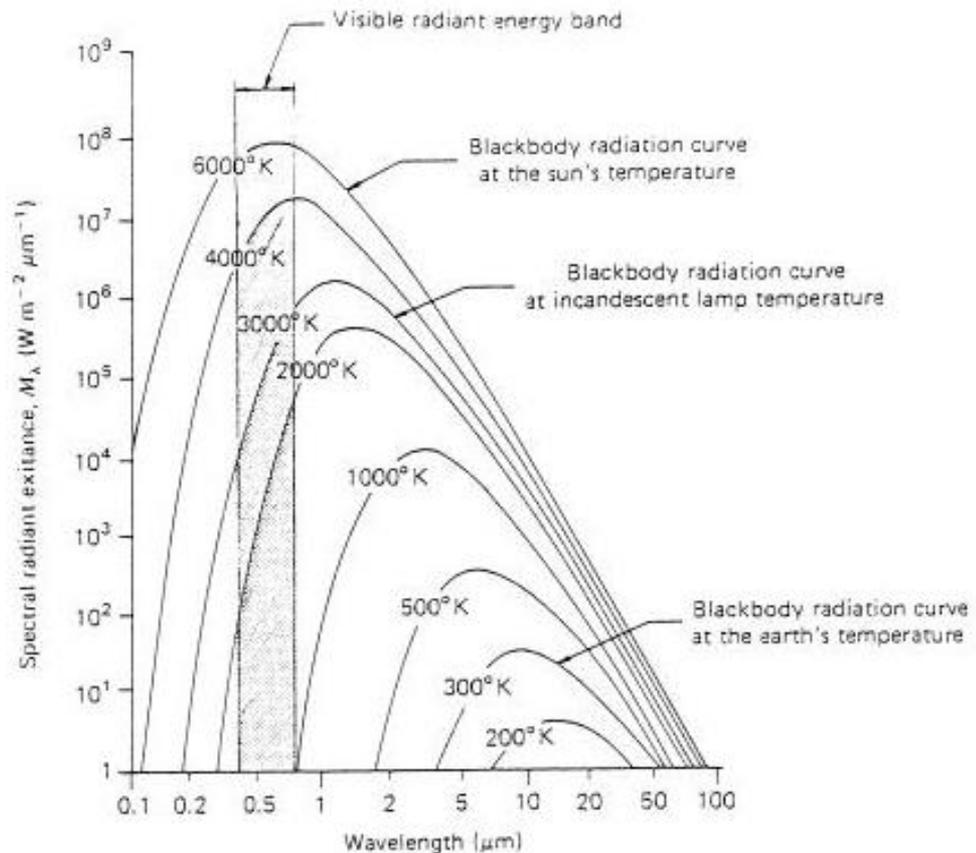


Figure 1.4 Spectral distribution of energy radiated from blackbodies of various temperatures. (Note that spectral radiant exitance M_λ is the energy emitted per unit wavelength interval. Total radiant exitance M is given by the area under the spectral radiant



FUNDAMENTOS



1.6 Leis da radiação

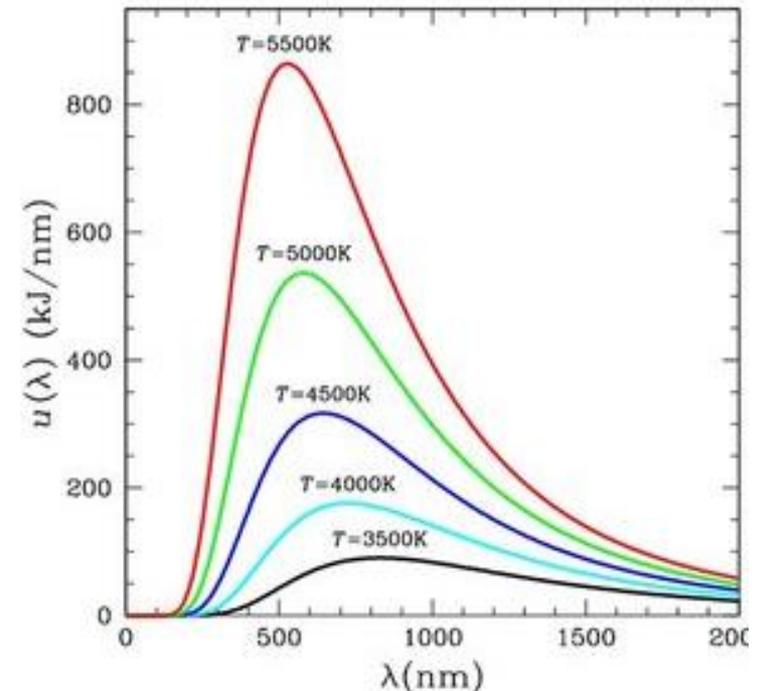
- **Lei de Wien**
- A lei de Wien descreve o **deslocamento, em direcção aos comprimentos de onda mais curtos, do pico de emissão espectral, à medida que um corpo negro é aquecido:**

$$\lambda_{\text{máx}} = a / T, \text{ onde}$$

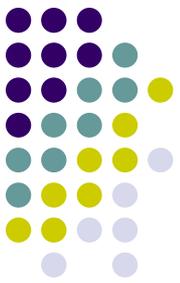
a = constante de Wien = 2898 m.K

T = temperatura em K

- Como a é constante, quanto $> T_{\text{corpo negro}}$, mais curto é o λ a que se atinge o pico de emissão espectral.
- $\lambda_{\text{máx}}=0.48 \mu\text{m}$ para um espectro de radiação emitida pelo Sol ($T=6000 \text{ K}$) e $\lambda_{\text{máx}}=9.7 \mu\text{m}$ para um espectro de radiação emitida pela Terra ($T=300 \text{ K}$).



FUNDAMENTOS



1.6 Leis da radiação

- **Lei de Stefan-Boltzmann**

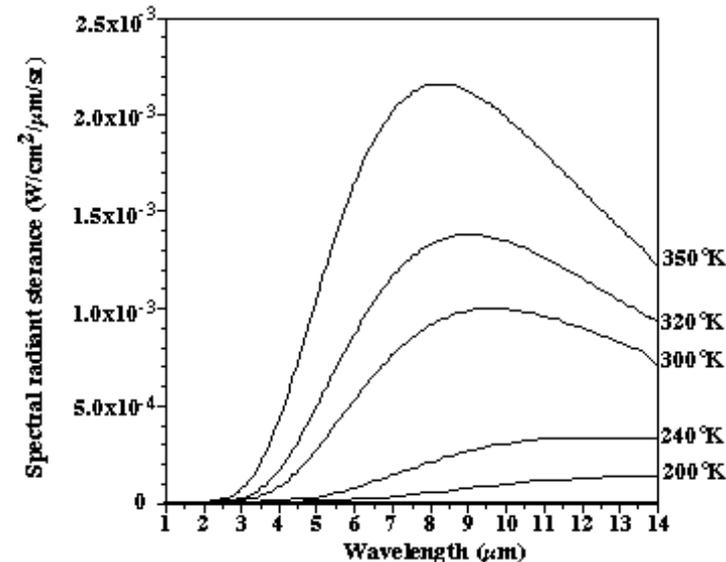
- A lei de Stefan-Boltzmann representa a integração da equação de Planck entre 0 e ∞ define a emitância hemisférica total de um corpo negro com uma área de 1m^2 .

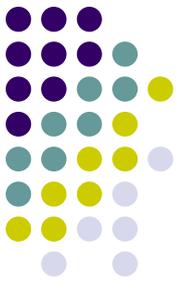
- Na sua forma abreviada, a lei de Stefan-Boltzmann é:

$$M = \sigma \cdot T^4$$

onde σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$). Se o objecto não for um corpo negro, então $M = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$, onde ε é a emissividade.

- **A emitância global de um objecto é função da sua temperatura e pequenas variações desta produzirão grandes alterações de M.** É por isso que se conseguem detectar muito pequenas diferenças de temperatura entre objectos.



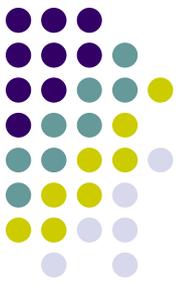


1.6 Leis da radiação

- **Lei de Kirchoff**
- A lei de Kirchoff **relaciona a emissividade com as propriedades de reflectância** de um material:

$$M / M_{\text{corpo negro}} = \varepsilon = 1 - \rho = \alpha$$

- Esta equação exprime matematicamente o facto de que materiais que são bons emissores e absorventes são maus reflectores, e vice-versa.



1.6 Leis da radiação

- **Relações entre reflectância, irradiância e radiância**
- A irradiância (**E**), mede o input energético do sistema de DR. A irradiância tem uma componente **directa** e uma componente **difusa** e varia com a hora do dia, a época do ano, a nebulosidade e as condições atmosféricas, em geral.
- A radiação solar **directa** chega à superfície em linha directa do Sol, sem ter sofrido quaisquer interferências no seu trajecto.
- A radiação solar **difusa** sofreu processos de difusão na sua trajectória entre o Sol e a superfície.



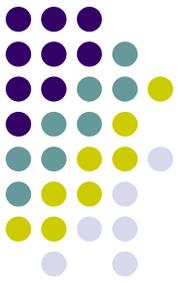
1.6 Leis da radiação

- A energia que atinge uma superfície (**E**) é reflectida, absorvida ou transmitida, de acordo com as propriedades físico-químicas específicas da superfície do material.
- A **energia reflectida** representa o **output energético** do processo de interacção da radiação com a superfície e constitui a emitância (**M**). A relação entre input e output de energia é dada por:

$$\mathbf{M} = \rho \cdot \mathbf{E} , \text{ onde } \rho \text{ é a reflectância.}$$

- Nós estamos mais interessados na energia reflectida **numa determinada direcção e ângulo (a direcção e ângulo de observação do sensor)** e por isso medimos a radiância (**L**).
- A relação entre emitância (**M**) e radiância (**L**), é:

$$\mathbf{M} = \pi \cdot \mathbf{L}$$



1.6 Leis da radiação

- Das duas relações acima, pode deduzir-se a nova relação entre energia observada por DR (radiância), reflectância da superfície e irradiância:

$$L = \rho \cdot E / \pi$$

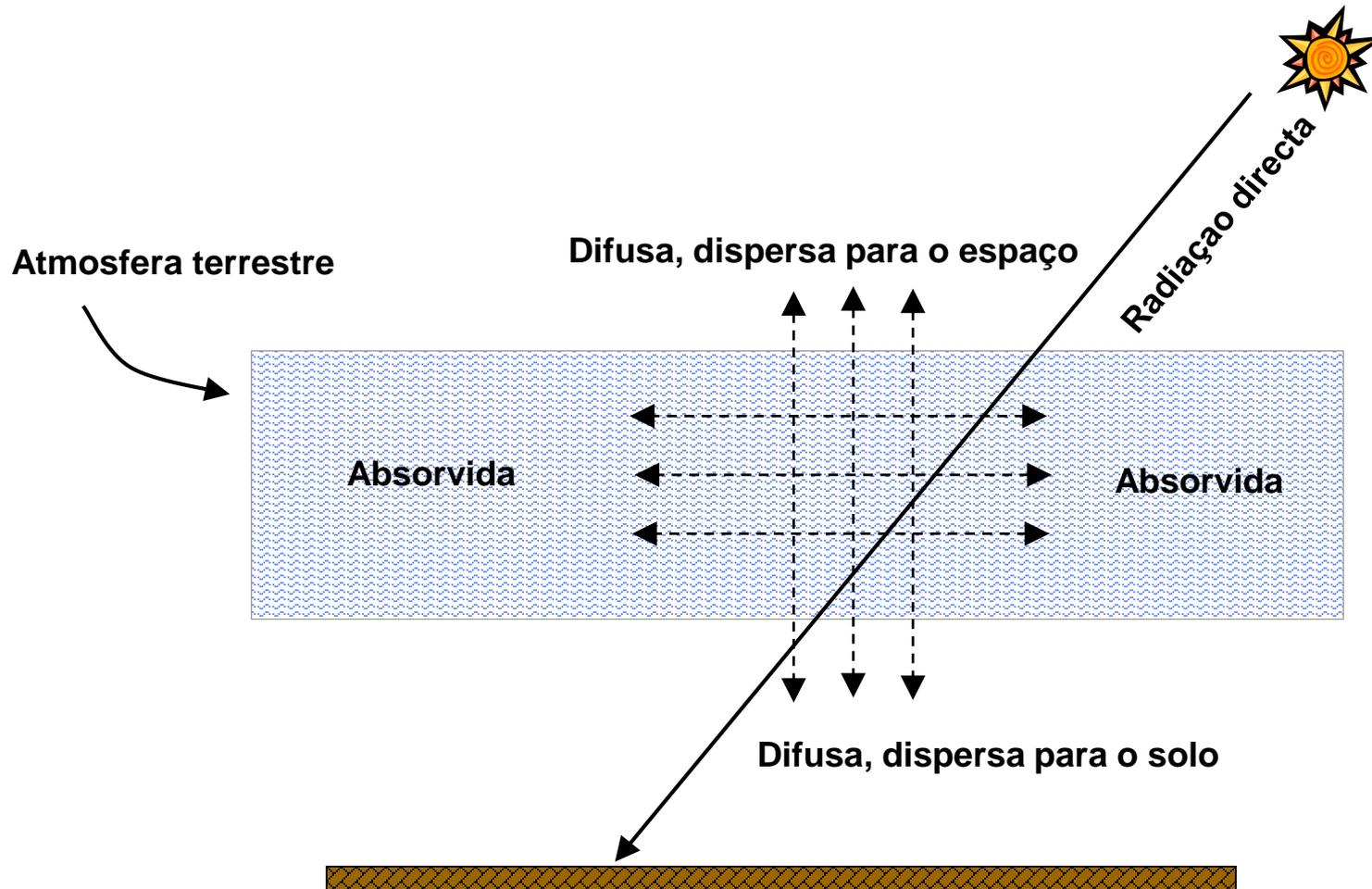
ou

$$\rho = \pi \cdot L / E$$

- Estas relações básicas complicam-se, como veremos adiante, quando se consideram efeitos **atmosféricos** e **topográficos**.

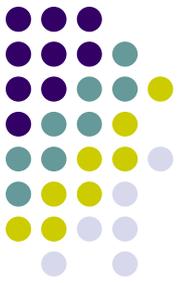
2.1 Interações com a Atmosfera

2.1.1. Difusão e absorção

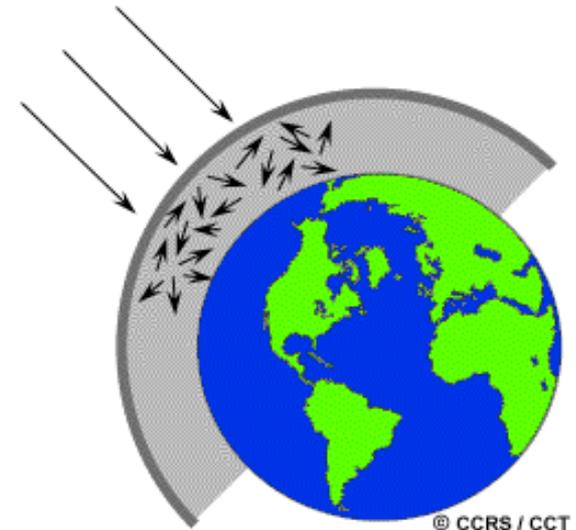


2.1 Interações com a Atmosfera

2.1.1. Difusão e absorção



- A **difusão** ocorre quando **partículas ou grandes moléculas gasosas** presentes na atmosfera interagem com a radiação electromagnética, fazendo com que ela seja **desviada da sua trajectória original**.
- A magnitude da difusão depende de factores como o λ da radiação, a abundância de partículas e gases e a distância que a radiação percorre através da atmosfera.

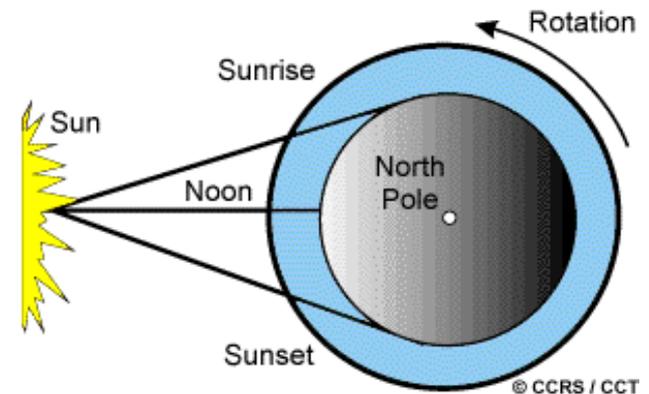


2.1 Interações com a Atmosfera

2.1.1. Difusão e absorção

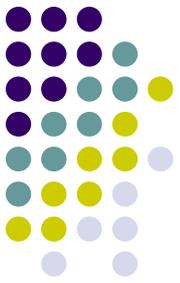


- A **difusão de Rayleigh** ocorre quando as partículas são muito pequenas relativamente ao λ da radiação. O seu efeito é proporcional a λ^{-4} .
- Pode ser causada por pequenas poeiras, ou por moléculas de N e O. É por causa deste fenómeno que o céu parece azul, durante o dia, porque os λ mais curtos do visível (azul) sofrem maior difusão do que os restantes λ .
- Ao nascer e pôr do Sol, a luz percorre uma trajectória mais longa através da atmosfera do que ao meio-dia e a difusão dos λ curtos é mais completa. Sobra uma proporção maior de λ no vermelho, laranja e amarelo para penetrar através da atmosfera, até aos nossos olhos.



2.1 Interações com a Atmosfera

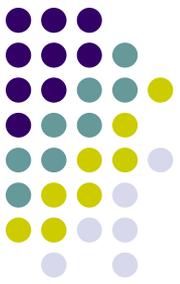
2.1.1. Difusão e absorção



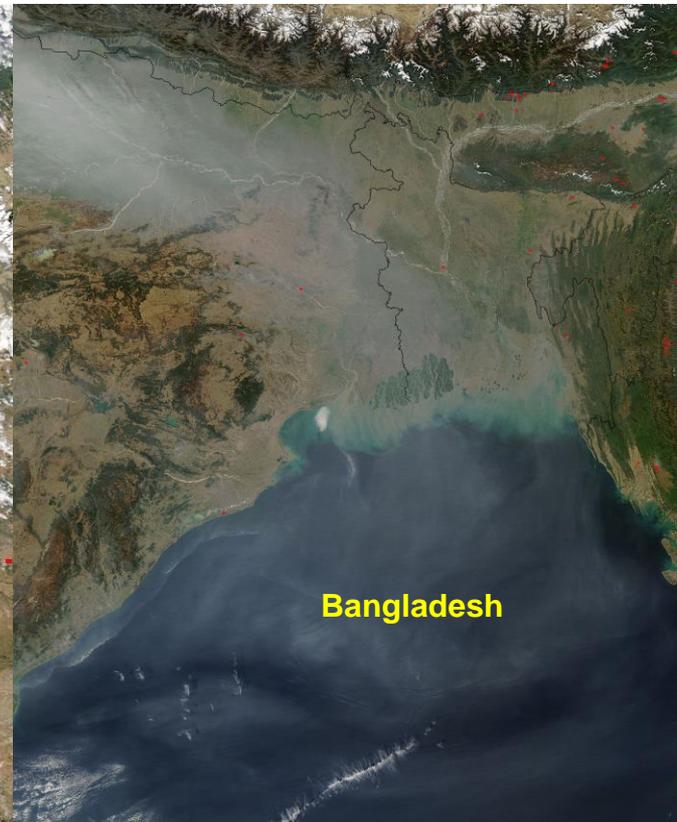
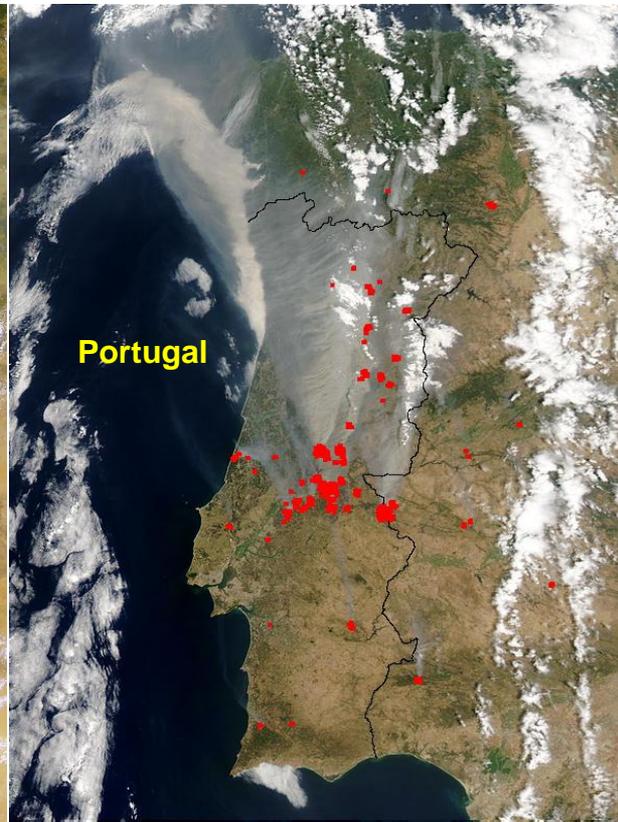
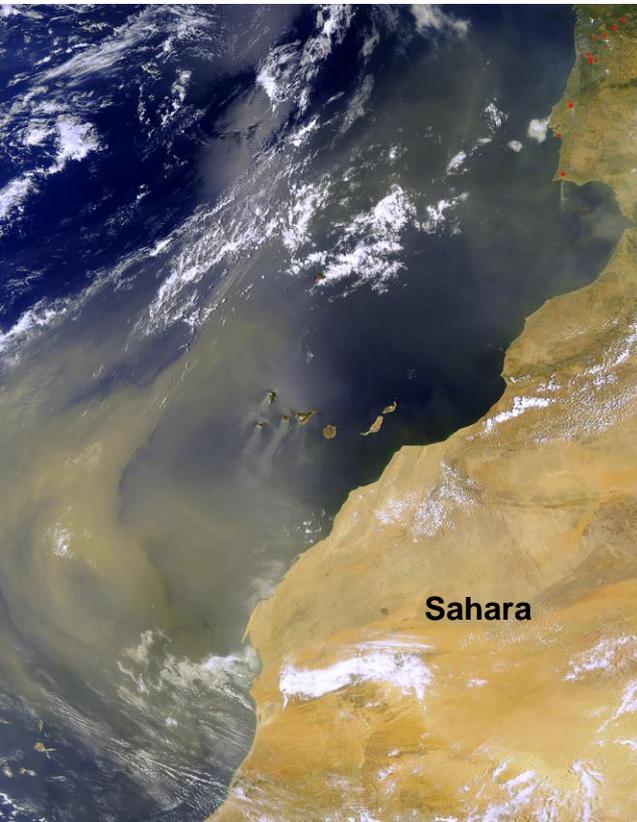
- Os **aerossóis atmosféricos** são suspensões de matéria líquida e gasosa, no ar. Para se poder estimar o seu efeito na DR, é preciso conhecer-lhes as características físicas e químicas, que dependem da sua origem, formação e interações com a atmosfera.
- As **maiores fontes de aerossóis** são:
 - Formação de partículas a partir de superfícies sólidas, por meteorização e removidas pelo vento: poeiras ($\varnothing \approx 1\text{mm}$).
 - Formação oceânica de partículas de sal, por rebentamento de pequenas bolhas de ar, à superfície ($\varnothing \approx 1\text{mm}$).
 - A partir de gases quimicamente activos emitidos por fontes naturais (decomposição vegetal, incêndios, erupções vulcânicas, ou por processos industriais e queima de restos agrícolas).

2.1 Interações com a Atmosfera

2.1.1. Difusão e absorção

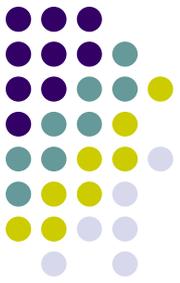


- A **difusão de Mie**, produzida por aerossóis, ocorre quando as partículas são de dimensão aproximada ao λ da radiação: **poeira**, pólen, **fumo**, vapor de água. A difusão de Mie ocorre sobre tudo nas camadas baixas da atmosfera, onde as partículas grandes são mais abundantes e predomina sob céu nublado.



2.1 Interações com a Atmosfera

2.1.1. Difusão e absorção

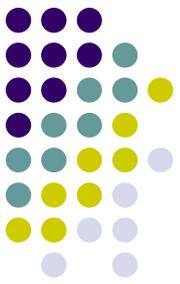


- O 3º mecanismo é a **difusão não-selectiva**, que ocorre quando as **partículas são muito maiores que o λ da radiação**, como gotículas de água e poeiras de grande dimensão.
- A difusão afecta \pm do mesmo modo todos os λ (não-selectiva), fazendo com que as nuvens e o nevoeiro pareçam brancos (luz azul + verde + vermelha = branca).



2.1 Interações com a Atmosfera

2.1.1. Difusão e absorção



The Various Types of Scattering of Visible Light

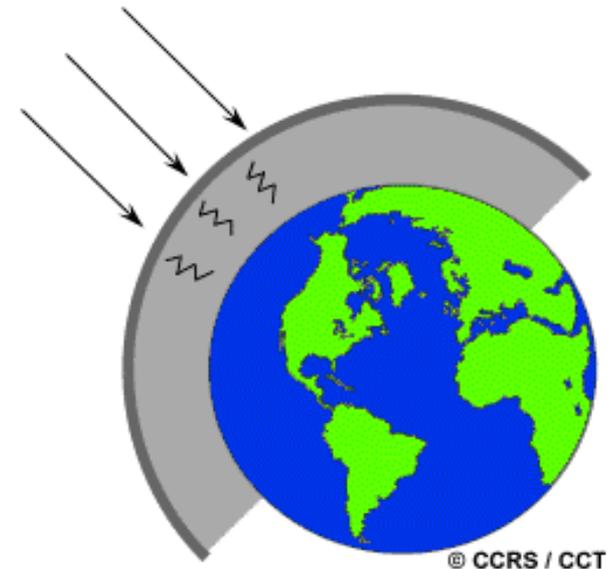
TYPE OF PARTICLE	PARTICLE DIAMETER (MICROMETERS, μm)	TYPE OF SCATTERING	PHENOMENA
Air molecules	0.0001 to 0.001	Rayleigh	Blue sky, red sunsets
Aerosols (pollutants)	0.01 to 1.0	Mie	Brownish smog
Cloud droplets	10 to 100	Geometric	White clouds

2.1 Interações com a Atmosfera

2.1.1. Difusão e absorção



- A **absorção** é o outro grande mecanismo de interação da radiação electromagnética com a atmosfera. Ao contrário da difusão a absorção faz com que **as moléculas da atmosfera absorvam energia a vários λ** .
- O **ozono (O_3)**, o **dióxido de carbono (CO_2)** e o **vapor de água ($H_2O_{(g)}$)** são os três constituintes atmosféricos que **mais radiação absorvem**.
- O O_3 estratosférico absorve radiação UV nociva para a vida na Terra e o CO_2 é um importante gás com efeito de estufa.

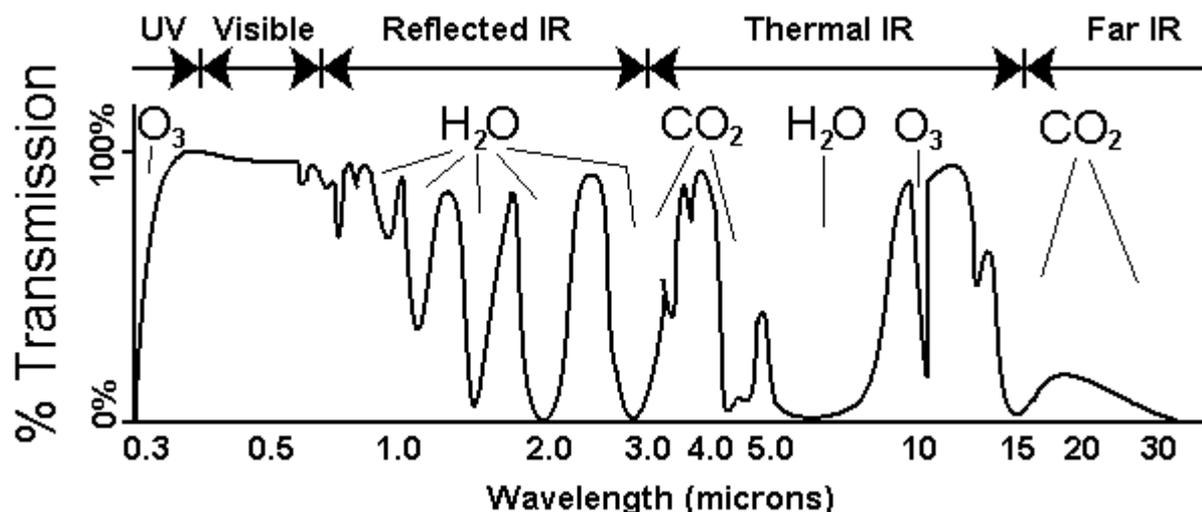


2.1 Interações com a Atmosfera

2.1.1. Difusão e absorção

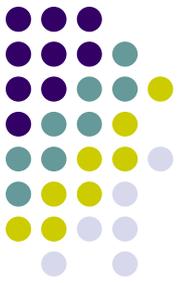


- Como estes gases absorvem a energia electromagnética em regiões muito específicas do espectro, influenciam quais as partes do espectro podemos usar em detecção remota.
- As áreas do espectro que não são severamente influenciadas pela absorção atmosférica e que, portanto, são **úteis para a detecção remota** chamam-se **janelas atmosféricas**.
- A porção visível do espectro à qual os nossos olhos são mais sensíveis, corresponde a uma janela atmosférica e ao pico de irradiação de energia pelo Sol.



2.1 Interações com a Atmosfera

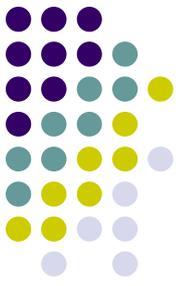
2.1.1. Difusão e absorção



- O **efeito de absorção** da radiação espectral pela atmosfera pode **minimizar-se** simplesmente **escolhendo canais** de observação em zonas do espectro electro-magnético onde a **transmitância atmosférica seja alta**.
- É muito **mais difícil evitar o efeito da difusão atmosférica**, que está presente em maior ou menor grau, em toda e qualquer imagem adquirida por DR.
- Se bem que contenham considerável variabilidade interna, é possível criar climatologias (conjuntos de valores médios de longo prazo e larga escala), para gases como o O_3 e o $H_2O_{(g)}$, porque variam de forma razoavelmente previsível no espaço e no tempo.
- Já o mesmo não é viável, ou se torna muito mais incerto e difícil para aerossóis como as poeiras e o fumo.

2.1 Interações com a Atmosfera

2.1.1. Efeito atmosférico



- O efeito da atmosfera na DR não pode considerar-se um “erro”, mas apenas uma **perturbação** que interfere com a observação de atributos da superfície da Terra.
- De facto, do ponto de vista de um cientista atmosférico, a superfície terrestre, muito heterogénea do ponto de vista espectral e espacial, pode ser considerada como uma fonte de perturbação para o estudo rigoroso do estado da atmosfera.
- Muitos estudos de DR do coberto/uso da Terra têm ignorado a questão das perturbações atmosféricas, porque os atributos da superfície que querem discriminar (e.g. agricultura, floresta, solo nú, água, áreas urbanas) têm sinais espectrais tão fortes e distintos que o “ruído” introduzido pelo **efeito atmosférico é negligenciável**.
- Mas, se quisermos extrair **informação biofísica mais subtil**, como % coberto arbóreo, índice de área foliar, concentração de clorofila na água, teor de humidade no solo, já estaremos a lidar com diferenças mais subtis de reflectância / emitância e aí o **efeito atmosférico torna-se relevante**.

2.1 Interações com a Atmosfera

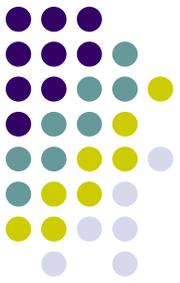
2.1.1. Efeito atmosférico



- A correcção do efeito atmosférico recorre a uma série conceitos radiométricos básicos:
 - E_g : irradiância global incidente na superfície, $W.m^{-2}$
 - $E_{g\lambda}$: irradiância global incidente na superfície, $W.m^{-2}.\mu m^{-1}$
 - E_0 : irradiância solar no topo da atmosfera (TOA), $W.m^{-2}$
 - $E_{0\lambda}$: irradiância solar espectral no topo da atmosfera (TOA). $W.m^{-2}.\mu m^{-1}$
 - E_d : irradiância difusa , $W.m^{-2}$
 - $E_{d\lambda}$: irradiância espectral difusa , $W.m^{-2}.\mu m^{-1}$
 - τ : espessura óptica normal da atmosfera
 - T_θ : transmitância atmosférica para um ângulo zenital θ
 - θ_0 : ângulo zenital solar
 - θ_v : ângulo de observação do sensor, no nadir
 - μ : $\cos\theta$

2.1 Interações com a Atmosfera

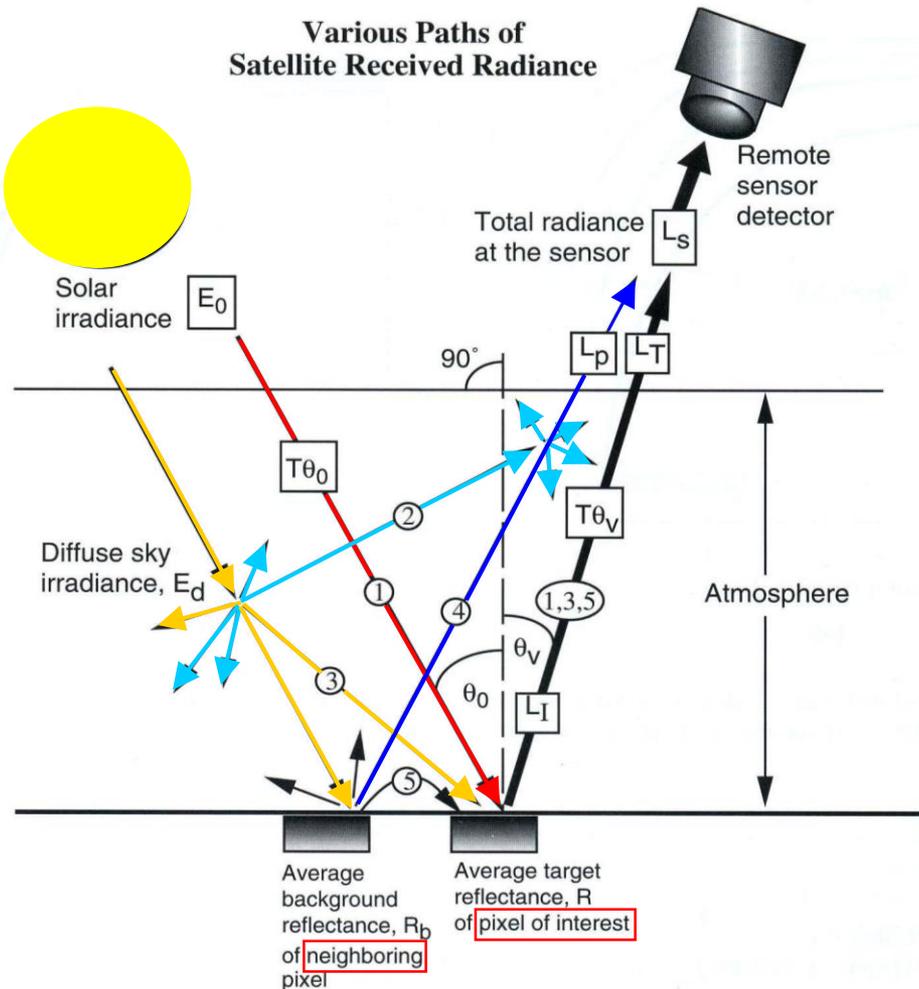
2.1.1. Efeito atmosférico



- $R(\rho)$: reflectância média do alvo
- R_b : reflectância média de um pixel vizinho, de fundo
- L_s : radiância total no sensor , $W.m^{-2}.sr^{-1}$
- L_T : radiância total do alvo de interesse, para o sensor , $W.m^{-2}.sr^{-1}$
- L_l : radiância intrínseca do alvo, como medida no terreno, por um espectrorradiômetro, sem atmosfera interveniente,
- L_p : radiância de percurso, resultante de difusão múltipla, $W.m^{-2}.sr^{-1}$

2.1 Interações com a Atmosfera

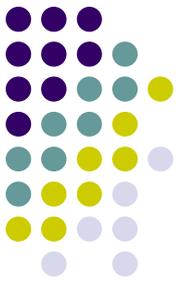
2.1.1. Efeito atmosférico



- **Percurso 1:** Energia solar que sofreu muito pouca atenuação antes de iluminar o alvo.
- **Percurso 2:** Energia solar que pode nunca atingir a superfície da Terra mas, mesmo assim ser desviada para dentro do campo de visão do sensor.
- **Percurso 3:** Energia solar que sofreu difusão de Rayleigh, Mie e/ou não-selectiva. Talvez também absorção e re-emissão, antes de iluminar a área de estudo.
- **Percurso 4:** radiação reflectida ou dispersa por terreno ou vegetação adjacente, para o interior do campo de visão, sem iluminar a área de estudo.
- **Percurso 5:** energia reflectida de terreno adjacente para a atmosfera e depois dispersa ou reflectida para a área de estudo.

2.1 Interações com a Atmosfera

2.1.1. Efeito atmosférico



- A irradiância total à superfície da Terra é dada por:

$$E_g = E_0 T_{\theta_0} \cos \theta_0 + E_d \quad (1)$$

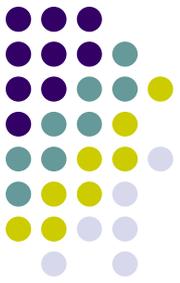
onde E_0 é a irradiância espectral média, assumida no intervalo $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$

$$T_{\theta} = e^{\frac{-\tau}{\cos \theta}} \quad (2)$$

é a transmitância atmosférica e τ a **espessura óptica da atmosfera**, ou seja a espessura da atmosfera na qual a intensidade da luz, para um dado λ é reduzida por um factor de $1 / e$. Grosso modo, 1/3 da luz é absorvida na profundidade de uma espessura óptica. θ pode ser θ_0 ou θ_v .

2.1 Interações com a Atmosfera

2.1.1. Efeito atmosférico



- A radiância total transmitida através da atmosfera até ao sensor é:

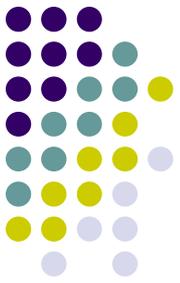
$$L_T = \frac{1}{\pi} \rho T_{\theta_v} (E_0 T_{\theta_0} \cos \theta_0 + E_d) \quad (3)$$

- A equação pode ser re-expressa, em termos da **reflectância do alvo**, como:

$$\rho = \frac{L_T \cdot \pi}{\underbrace{T_{\theta_v} \cdot E_0 \cdot T_{\theta_v} \cdot \cos \theta_0}_{\text{Comp. directa}} + \underbrace{T_{\theta_v} \cdot E_d}_{\text{Comp. difusa}}} \quad (4)$$

2.1 Interações com a Atmosfera

2.1.1. Efeito atmosférico



- e a **radiância total** que atinge o sensor é:

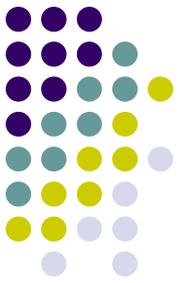
$$L_s = \frac{1}{\pi} \rho T_{\theta_v} (E_0 T_{\theta_0} \cos \theta_0 + E_d) + L_p \quad (5)$$

- A componente L_p corresponde à **radiância dos percursos 2 e 4**, que afectam as medições que pretendemos fazer da superfície e cuja “correção / minimização” serão explicados adiante. A re-expressão em termos da **reflectância do alvo** terrestre vem:

$$\rho = \frac{\pi \cdot (L_s - L_p)}{E_d \cdot T_{\theta_v} + E_0 \cdot T_{\theta_0} \cdot \cos \theta \cdot T_{\theta_v}} \quad (6)$$

2.1 Interações com a Atmosfera

2.1.1. Efeito atmosférico



- repare que numa **atmosfera perfeitamente límpida** ($\tau=0$), a transmitância atmosférica ($T_\theta = e^{-\tau/\cos\theta}$) é igual a 1.
- do mesmo modo não haveria gases e aerossóis difusores da radiação atmosférica: a irradiância difusa à superfície $E_d = 0$ e a radiância de percurso, $L_p = 0$.
- e a eq. 6 viria:

$$\rho = \frac{\pi \cdot L_s}{E_0 \cdot \cos\theta}$$

- que expressa apenas a relação entre reflectância, radiância e irradiância, para um ângulo zenital solar não nulo.

2.1 Interações com a Atmosfera

2.1.1. Efeito atmosférico



- Versão muito simplificada do processo:

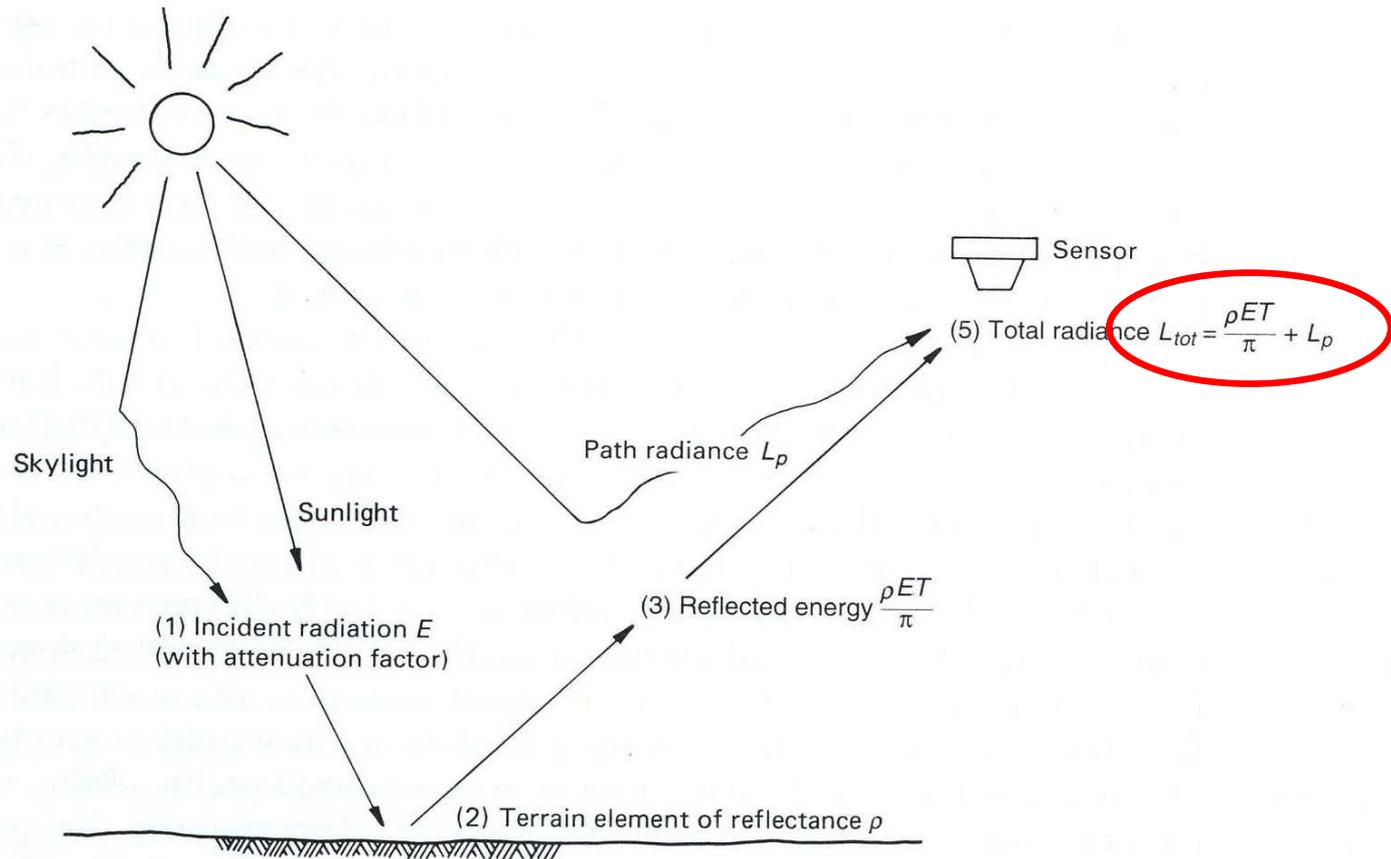
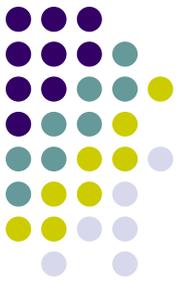


Figure 1.11 Atmospheric effects influencing the measurement of reflected solar energy. Attenuated sunlight and skylight (E) is reflected from a terrain element having reflectance ρ . The attenuated radiance reflected from the terrain element ($\rho ET/\pi$) combines with the path radiance (L_p) to form the total radiance (L_{tot}) recorded by the sensor.

2.1 Interações com a Atmosfera

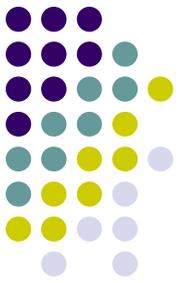
2.1.1. Efeito atmosférico



- na realidade, **o efeito atmosférico pode ser positivo ou negativo**, com a sua direcção e magnitude dependendo de:
 - características do aerosol
 - reflectância da superfície
 - geometrias de iluminação e observação
- o **efeito atmosférico “líquido”** é normalmente **positivo para λ curtos** (i.e. adiciona-se à radiância emergente em direcção ao sensor, e **negativo para λ maiores**.
- isto deve-se aos papéis dominantes da **difusão atmosférica nos λ curtos** e da **absorção gasosa por aerossóis nos λ longos**.
- o efeito atmosférico **aditivo** tende a predominar sobre **superfícies escuras**, enquanto que o efeito **subtractivo** (de facto, multiplicativo), tende a predominar sobre **superfícies mais claras**.

2.2 Interações com a Vegetação

2.2.1. Propriedades espectrais da vegetação



- Quando a luz solar incide sobre elementos da superfície terrestre, dão-se 3 tipos de interacção:

$$I_{\lambda} = R_{\lambda} + A_{\lambda} + T_{\lambda}, \quad \text{em que}$$

I_{λ} = energia incidente

R_{λ} = energia reflectida

A_{λ} = energia absorvida

T_{λ} = energia transmitida

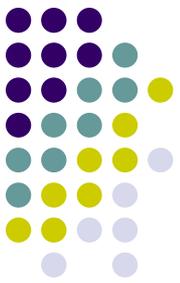


- Como a maior parte dos instrumentos de DR funcionam a $0.3\mu\text{m} - 3.0\mu\text{m}$, só medem **radiação reflectida** e é mais adequado:

$$R_{\lambda} = I_{\lambda} - (A_{\lambda} + T_{\lambda})$$

2.2 Interações com a Vegetação

2.2.1. Propriedades espectrais da vegetação



- A reflectância, ρ , da vegetação verde é muito diferente da dos outros materiais e varia muito com λ , permitindo distinguir 3 regiões espectrais:

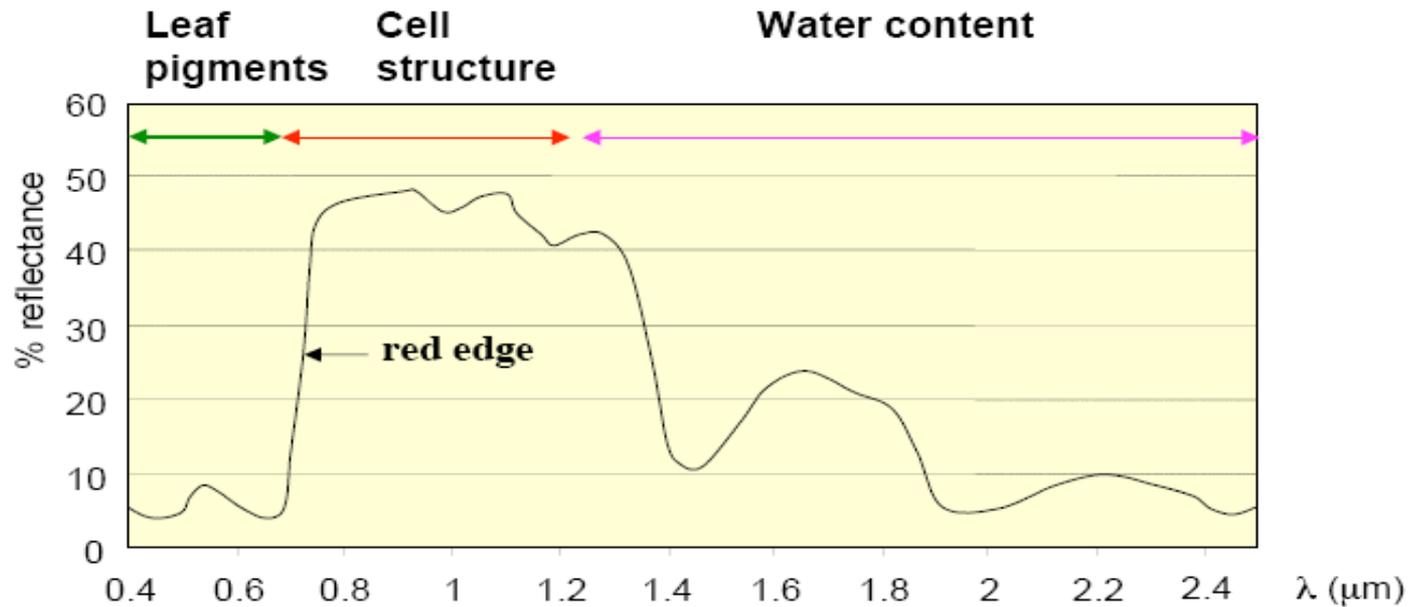
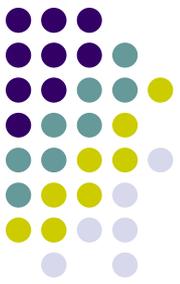


Figure 3.2. Leaf optical properties within the three optical domains.

2.2 Interações com a Vegetação

2.2.1. Propriedades espectrais da vegetação



- No **visível**, a maior parte de radiação é absorvida pelos **pigmentos**, sobretudo **clorofila**. A ρ é muito baixa no azul e vermelho, bandas de absorção pela clorofila, centradas a $0.45\mu\text{m}$ e a $0.65\mu\text{m}$. Entre estas bandas, há um pequeno pico de reflectância ($0.54\mu\text{m}$), que confere a cor verde à vegetação saudável.

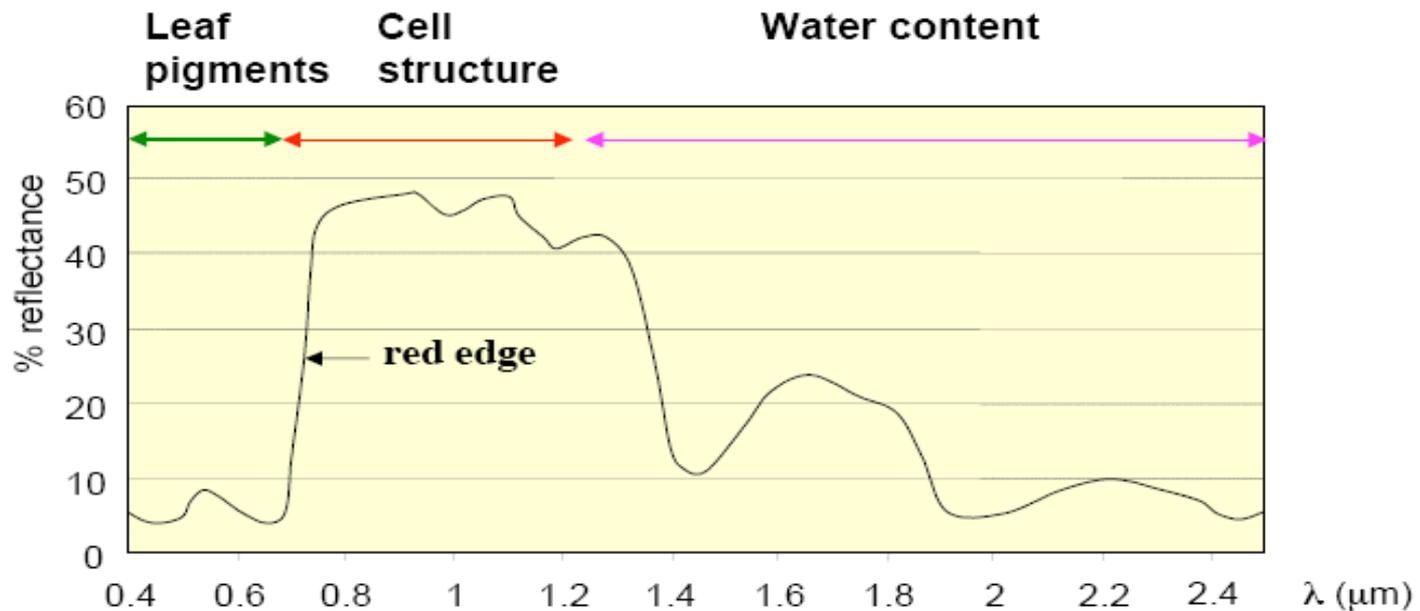
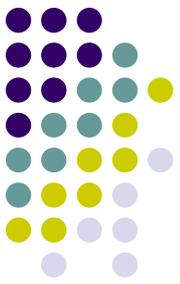


Figure 3.2. Leaf optical properties within the three optical domains.

2.2 Interações com a Vegetação

2.2.1. Propriedades espectrais da vegetação



- As folhas verdes absorvem pouca radiação na gama do **IVP**. A reflectância (e a transmitância) aumentam muito. São típicos $\rho = 45-50\%$, $\tau = 45-50\%$ e $\alpha < 5\%$.

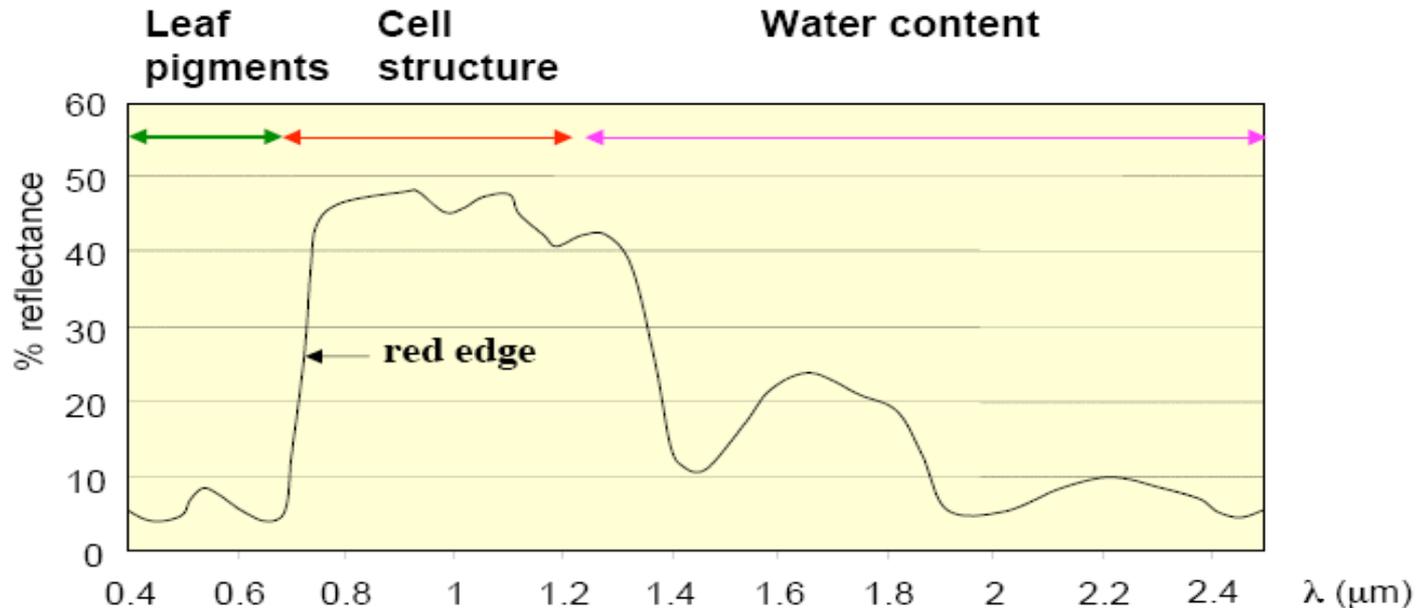
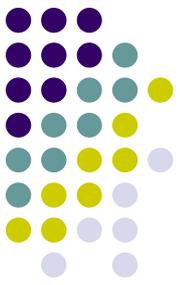


Figure 3.2. Leaf optical properties within the three optical domains.

2.2 Interações com a Vegetação

2.2.1. Propriedades espectrais da vegetação



- No **IVM**, tanto ρ como τ são mais baixos que no IVP. Estão sob controle da estrutura interna da folha e são atenuados pela água dos tecidos foliares. As bandas características de absorção da água situam-se nos $1.43\mu\text{m}$, $1.95\mu\text{m}$ e $2.4\mu\text{m}$. Os picos de reflectância, nesta região, ocorrem a $1.6\mu\text{m}$ e $2.2\mu\text{m}$, entre as bandas de absorção.

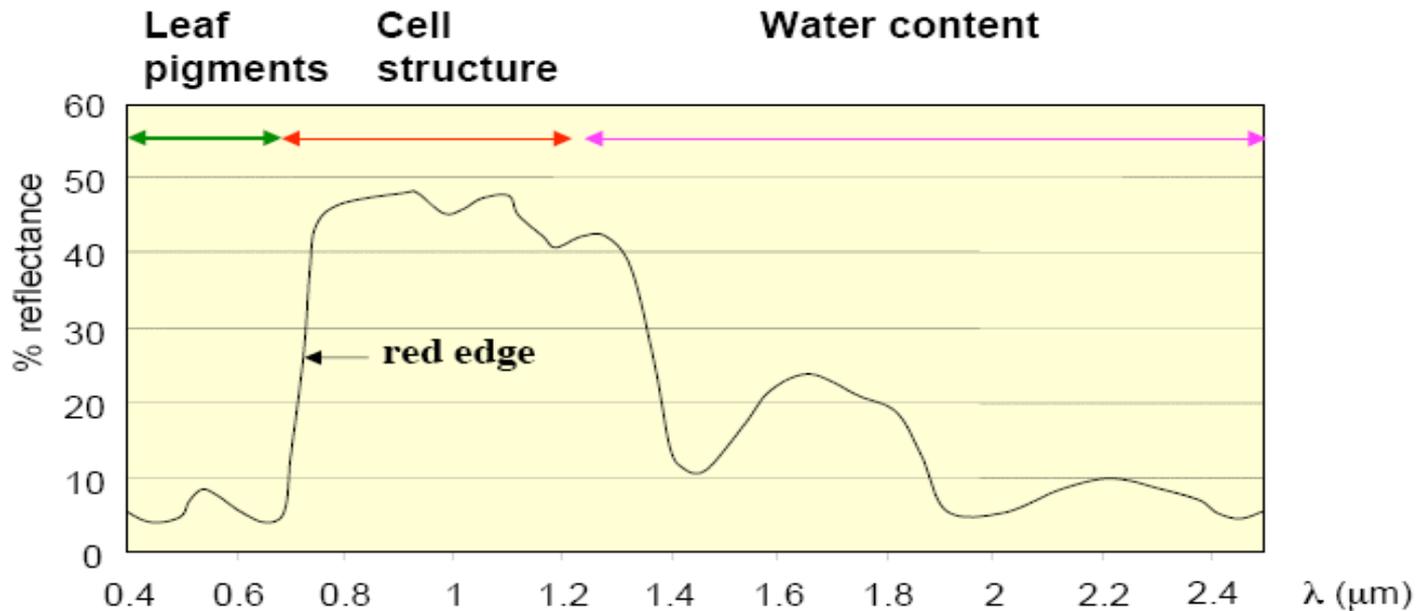
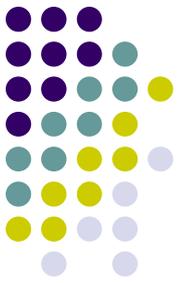


Figure 3.2. Leaf optical properties within the three optical domains.

2.2 Interações com a Vegetação

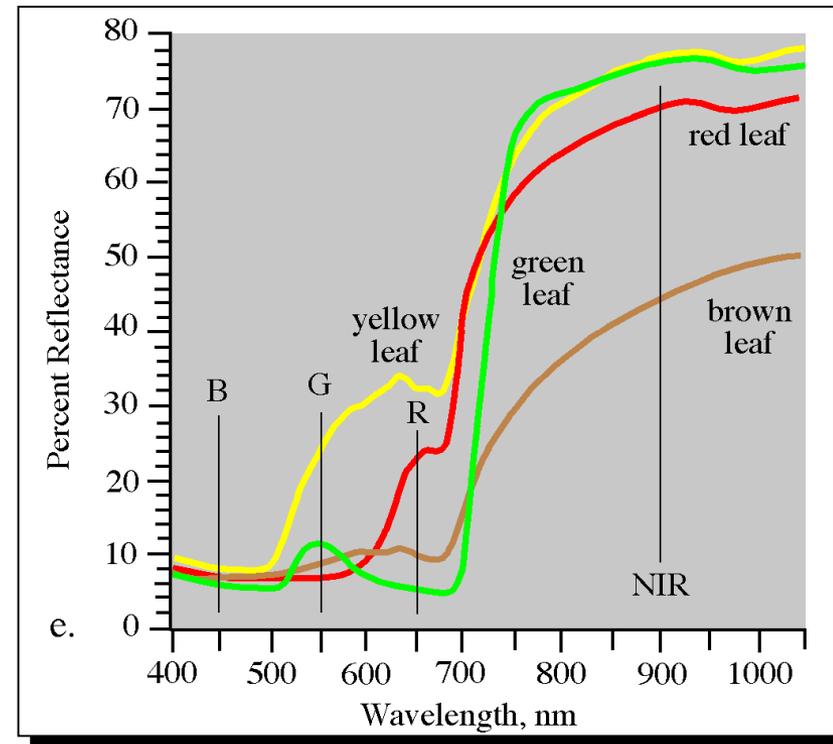
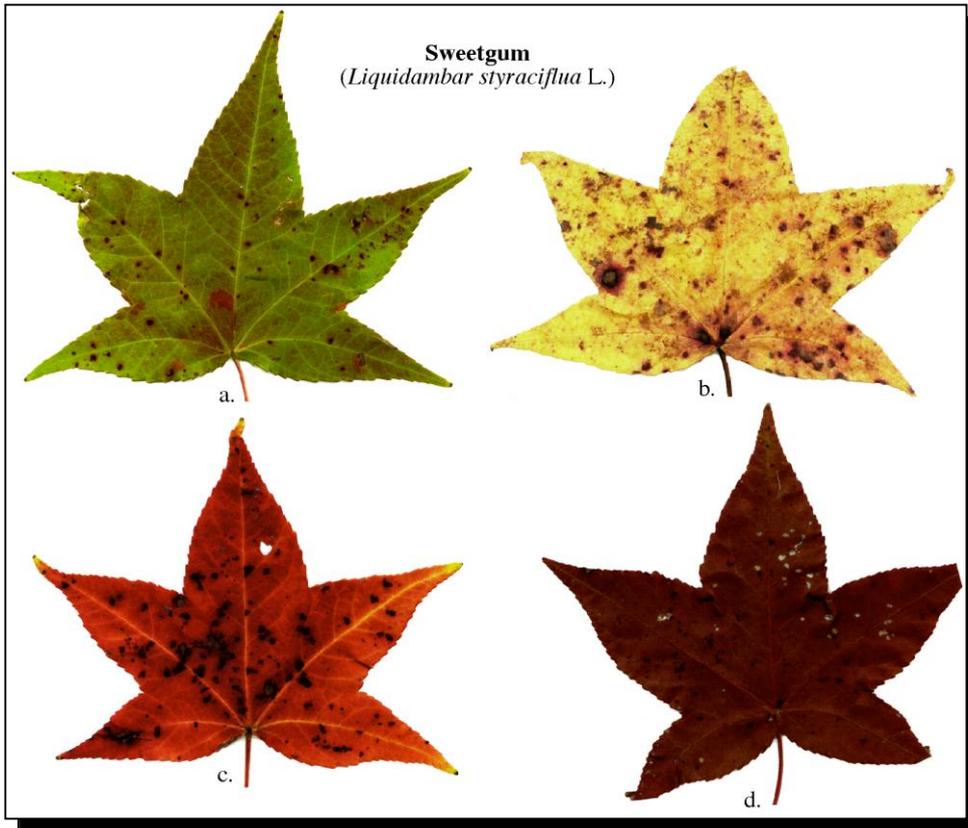
2.2.2. Bases físicas e fisiológicas



- Principais pigmentos responsáveis pela absorção de radiação visível:
 - clorofila
 - carotenóides
 - xantofilas
 - antocianinas
- Todos eles absorvem muito pouco no IVP e IVM. Quando as plantas estão em stress, reduz-se a produção de clorofila e há menor absorção nas suas bandas características.
- Isto implica um aumento de reflectância no vermelho, tornando as folhas amareladas, cloróticas.
- Com o início da senescência foliar, a clorofila perde a capacidade de mascarar os carotenos e xantofilas, que absorvem no azul, dando às folhas cor amarela.
- Nalgumas espécies, a produção de grande quantidade de antocianina faz folhas vermelhas.

2.2 Interações com a Vegetação

2.2.2. Bases físicas e fisiológicas - pigmentos

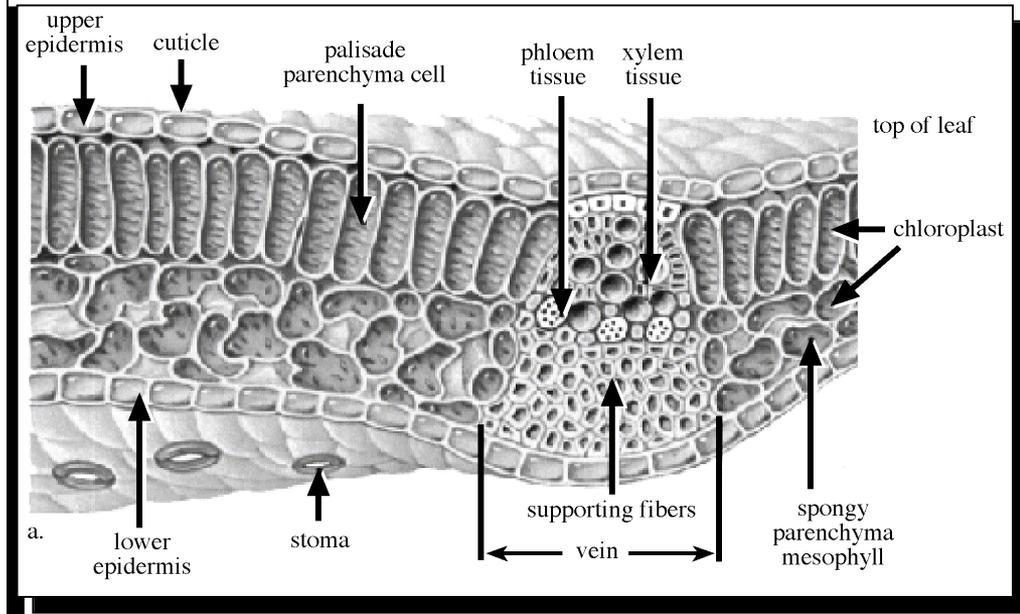
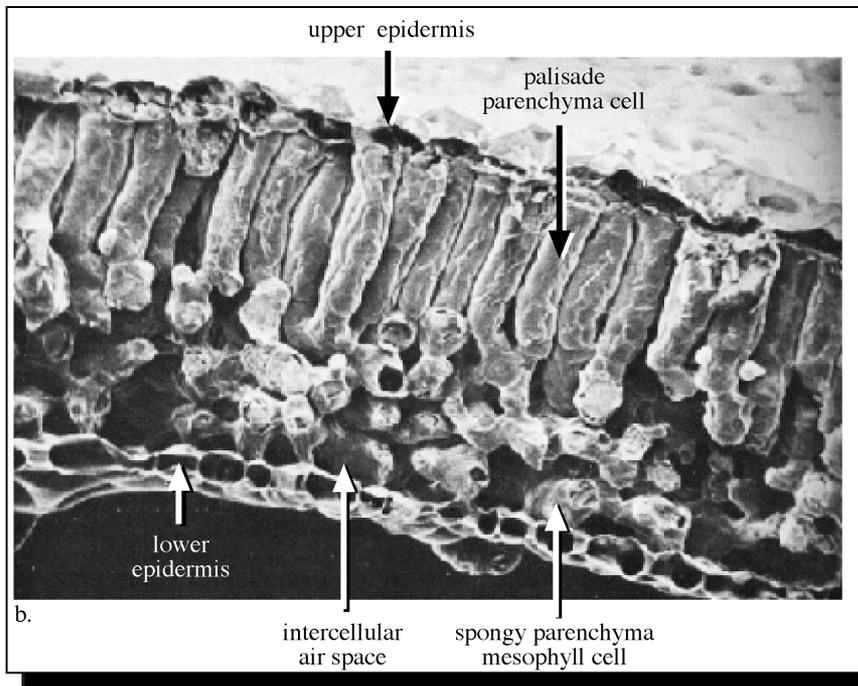


2.2 Interações com a Vegetação

2.2.2. Bases físicas e fisiológicas – estrutura celular



- A estrutura interna das folhas é muito complexa e controla a reflectância no IVP. Dá-se difusão múltipla da luz nos locais de descontinuidade do índice refractivo, sobretudo entre o ar e as paredes celulares.
- O aumento de reflectância e a diminuição de transmitância on IVP de folhas em crescimento deve-se ao desenvolvimento destas descontinuidades, provocadas pela maturação celular.



2.2 Interações com a Vegetação

2.2.2. Bases físicas e fisiológicas – estrutura celular

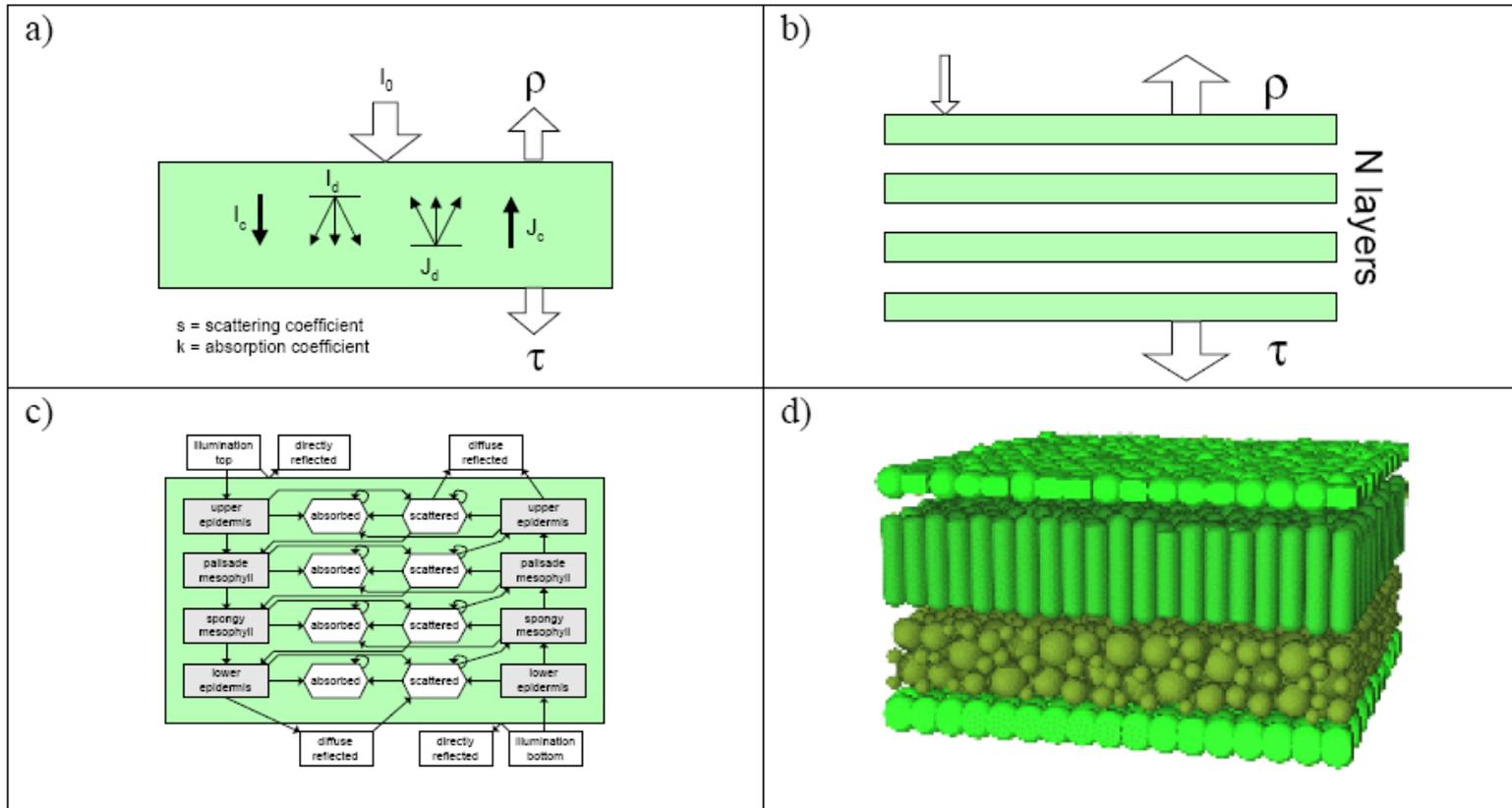
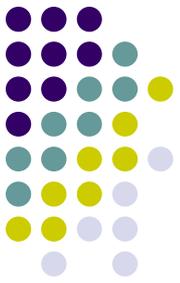
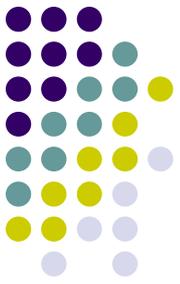


Fig. 6: Different leaf optical properties models:
(a) Plate models, (b) N-flux models, (c) Stochastic models, (d) Ray tracing models

2.2 Interações com a Vegetação

2.2.2. Bases físicas e fisiológicas – teor de água nas folhas



- A redução do teor de água nas folhas pode provocar o aumento da reflectância e da transmitância em todos os λ , de modo variável com a espécie e λ .
- Aumento de ρ de 0.4-1.3 μm não depende directamente do teor de água, mas indirectamente, porque a perda de água pode aumentar os espaços intercelulares ocupados por ar.

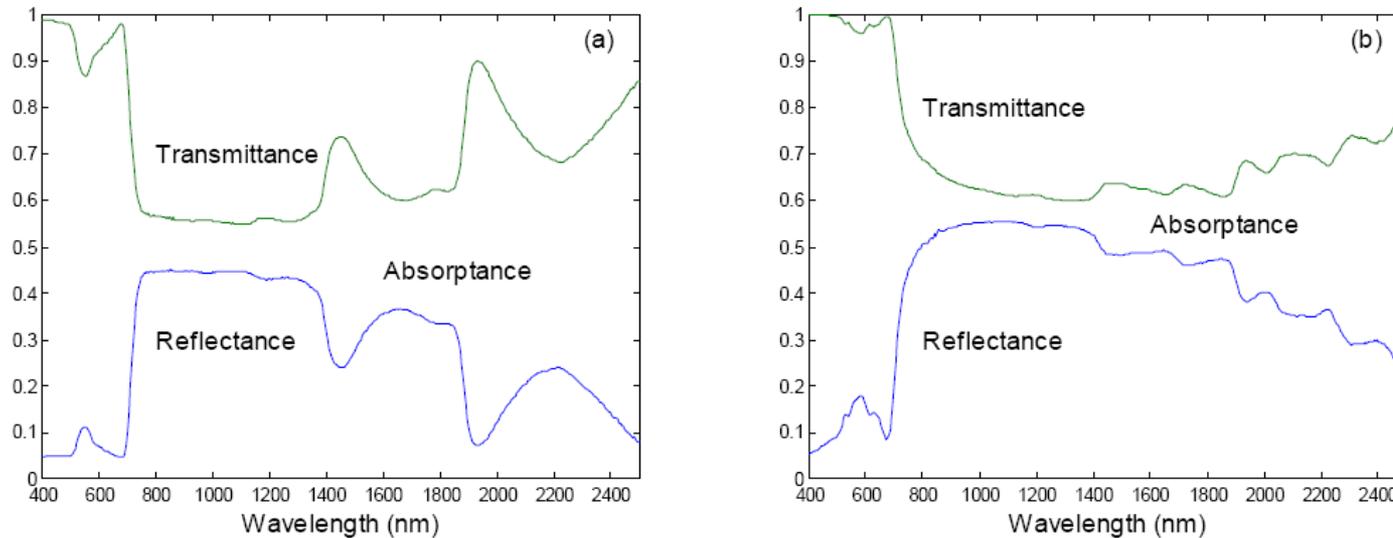
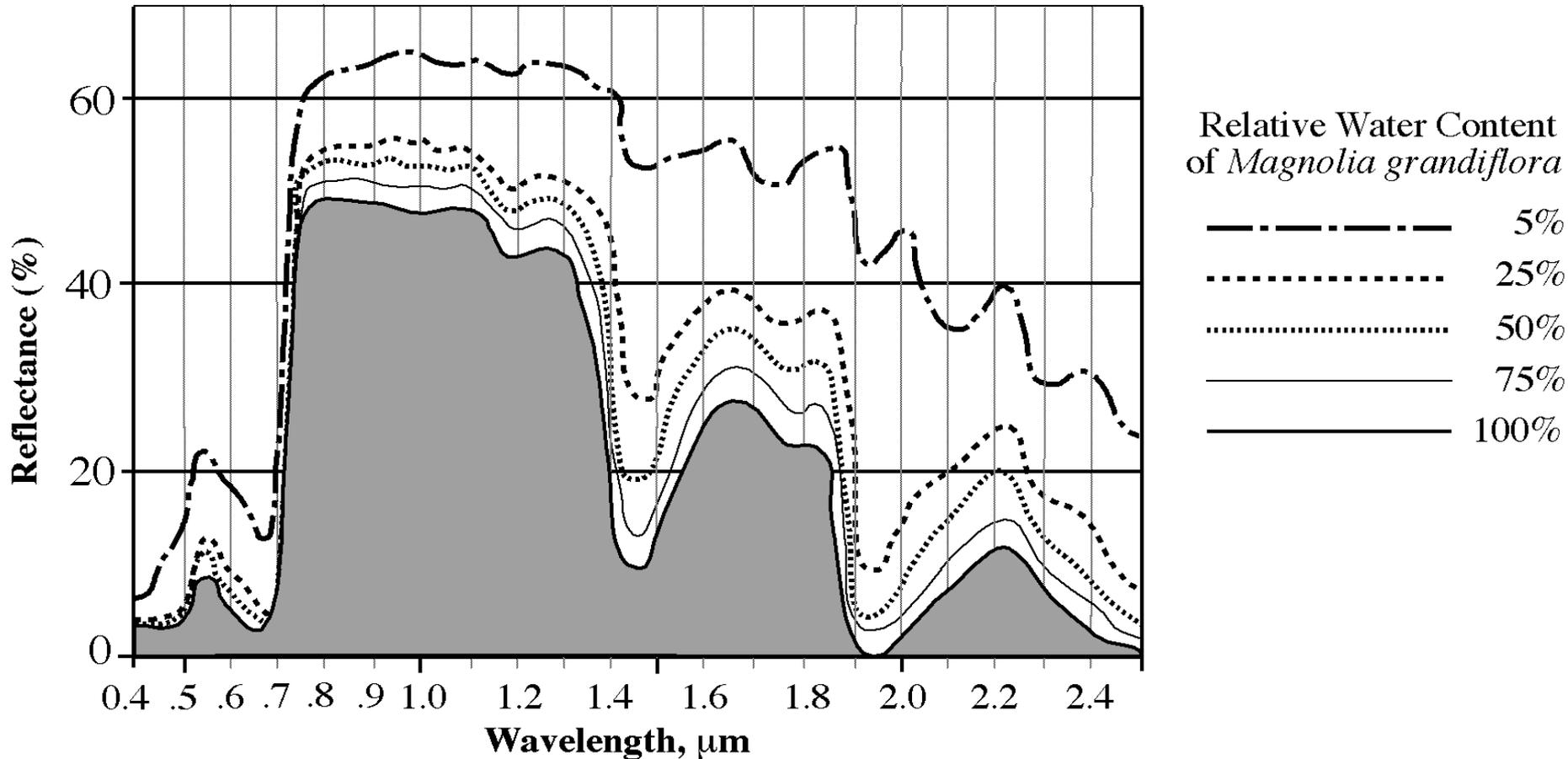
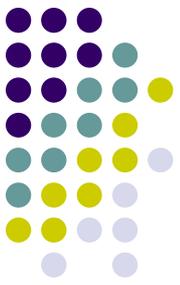


Fig. 2: Reflectance and transmittance spectra of (a) fresh and (b) dry poplar leaves

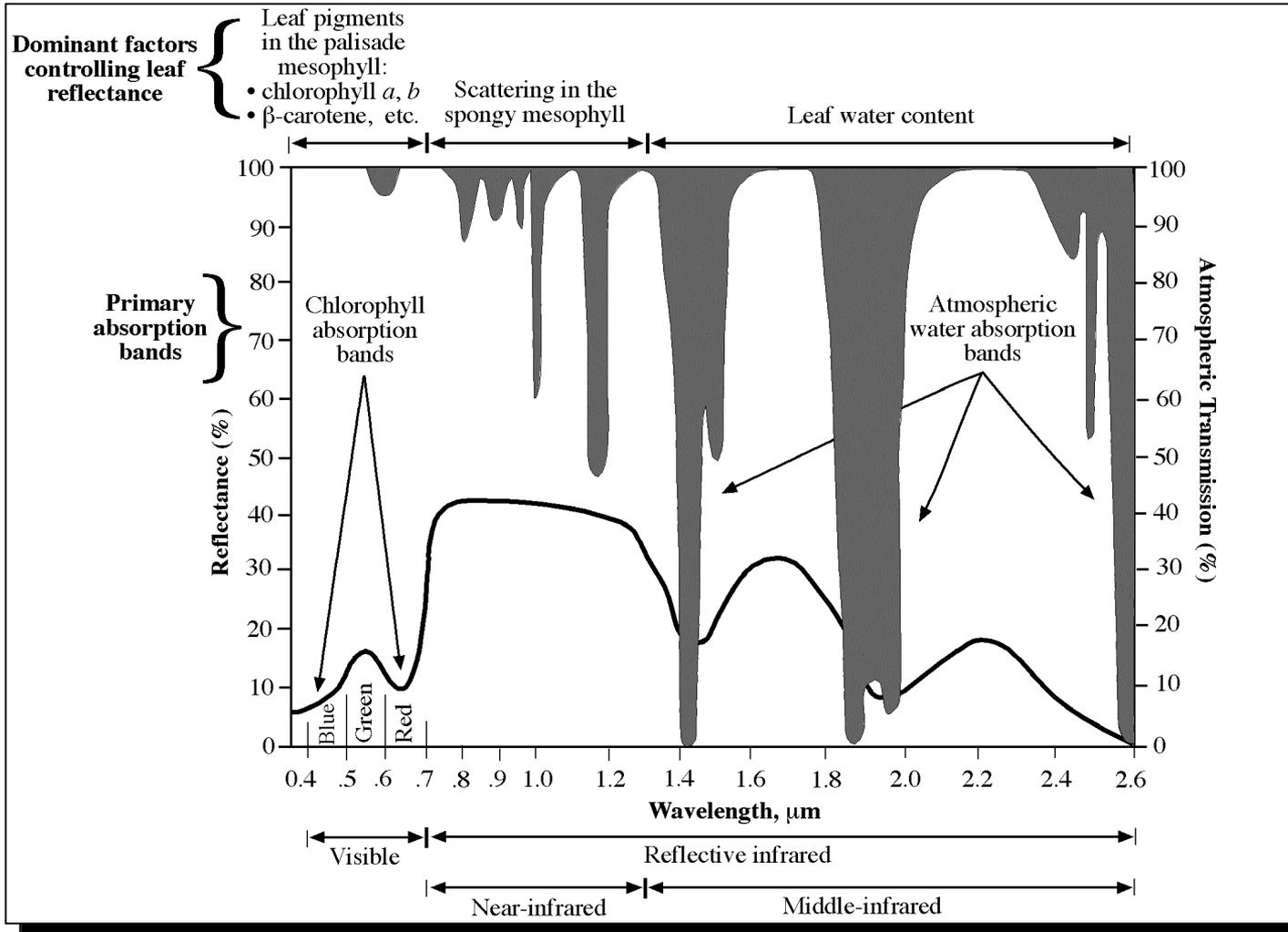
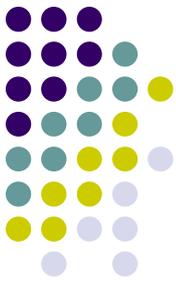
2.2 Interações com a Vegetação

2.2.2. Bases físicas e fisiológicas – teor de água nas folhas



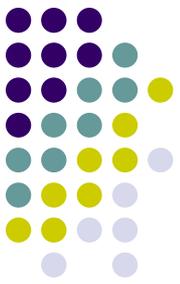
2.2 Interações com a Vegetação

2.2.1. Propriedades espectrais da vegetação – teor de água nas folhas



2.2 Interações com a Vegetação

2.2.1. Propriedades espectrais da vegetação – “red edge”



- O **red edge** é a variação brusca de reflectância que ocorre entre $\approx 0.68\mu\text{m}$ e $\approx 0.75\mu\text{m}$ e é uma característica única da vegetação verde.
- Resulta da elevada difusão interna nas folhas, que causa ρ IVP elevada e da absorção pela clorofila, que causa baixa ρ no vermelho.
- A posição exacta do *red edge* é calculada por espectroscopia derivativa, coincidindo com o máximo da 1ª derivada da curva de reflectância espectral.

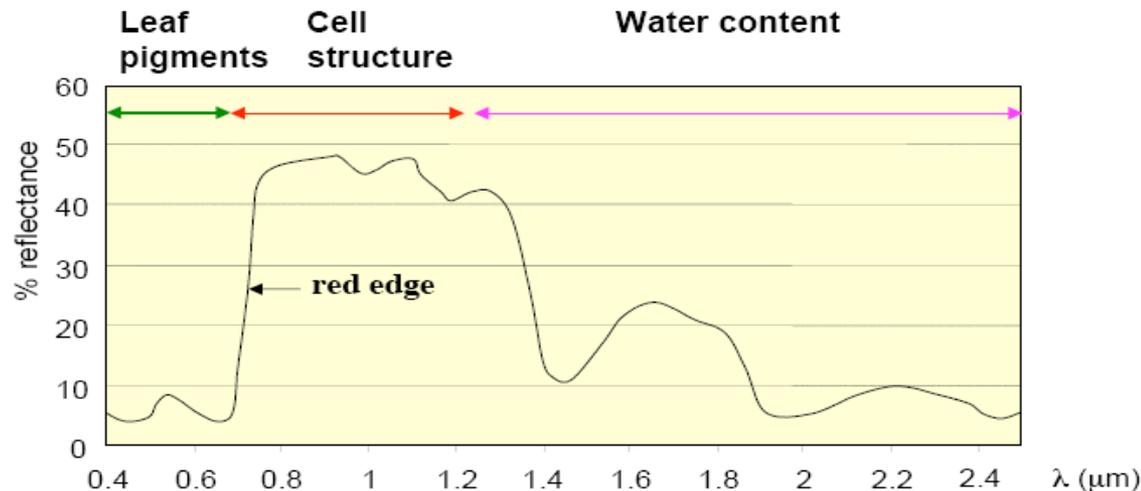
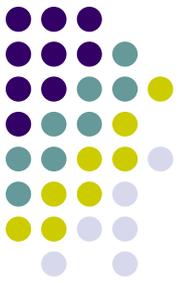


Figure 3.2. Leaf optical properties within the three optical domains.

2.2 Interações com a Vegetação

2.2.1. Propriedades espectrais da vegetação – “red edge”



- Tem-se observado uma deslocação do *red edge* no sentido dos λ mais longos, com o aumento do teor de clorofila das folhas. O contrário, *blue shift*, ocorre quando a clorofila diminui. Tem interesse ecológico pode medir variações do red edge em áreas extensas, para estudos de fenologia, produtividade vegetal e detecção de stresses.
- O uso do máximo da primeira derivada permite eliminar constantes aditivas e reduzir funções lineares a constantes, tornando o red edge um estimador potencialmente mais robusto do teor de clorofila nas plantas do que as combinações de vermelho e IVP tipicamente usadas. Porém, serão necessários dados hiperespectrais.

2.3 Interações com os Solos e a Água

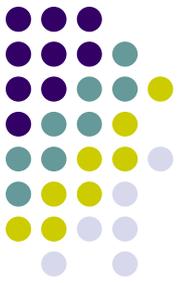
2.3.1. Propriedades espectrais dos solos



- A ρ do solo resulta da mistura de materiais minerais e orgânicos. Os principais factores que influenciam a assinatura espectral de um solo incluem:
 - Mineralogia
 - Teor em matéria orgânica
 - Teor de humidade
 - Dimensão das partículas constituintes
 - Rugosidade da superfície
- Do ponto de vista da DR são importantes padrões espaciais, temporais e espectrais.

2.3 Interações com os Solos e a Água

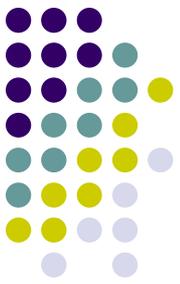
2.3.1. Propriedades espectrais dos solos - padrões



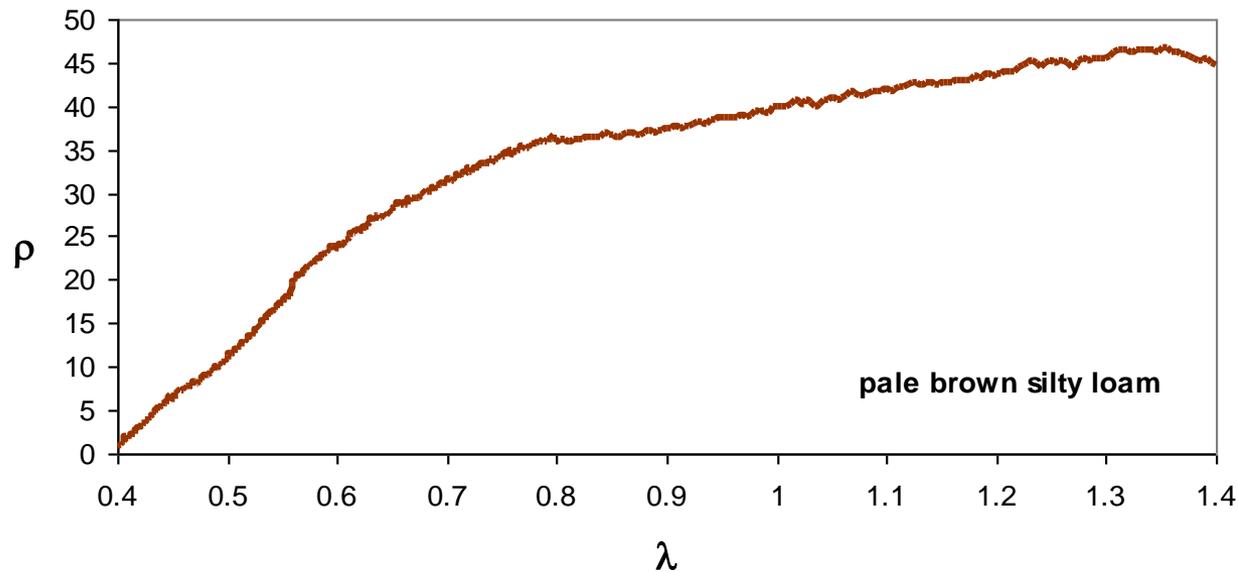
- Os solos estão presentes sobre quase toda a superfície terrestre, pelo que influenciam quase sempre a reflectância da superfície.
- Do ponto de vista espacial, pretende-se caracterizar, classificar e cartografar os solos. Usando a DR, concentramo-nos nos **horizontes superficiais A e O**.
- A cartografia dos solos enfatiza as suas propriedades permanentes, como textura, tipo de mineral argiloso dominante, propriedades hidráulicas, etc., mas já é possível cartografar aspectos dinâmicos dos solos, com sensores adequados.
- Os padrões temporais de reflectância e emitância dos solos dependem de variações de temperatura, humidade, côm/arejamento, e alterações estruturais, mas também com processos mais lentos como erosão e reciclagem da matéria orgânica.

2.3 Interações com os Solos e a Água

2.3.1. Propriedades espectrais dos solos - padrões

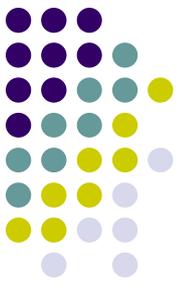


- A radiação incidente no solo é reflectida/dispersada ou absorvida. A dispersão é função das propriedades geométricas macroscópicas da superfície – forma, orientação e tamanho das partículas – enquanto que a absorção é controlada por fenómenos físico-químicos microscópicos.
- Assim, criam-se dois principais tipos de interacção da energia com a superfície do solo, que originam variações de magnitude e forma das curvas de reflectância espectral.
- As variações de magnitude implicam diferenças de “brilho” e são a fonte principal de variação espectral dos solos. Daí que a maior parte das assinaturas espectrais dos solos sejam **proporcionalmente semelhantes** e se caracterizem por um **aumento de ρ com λ , entre $0.4\mu\text{m}$ e $1.4\mu\text{m}$.**

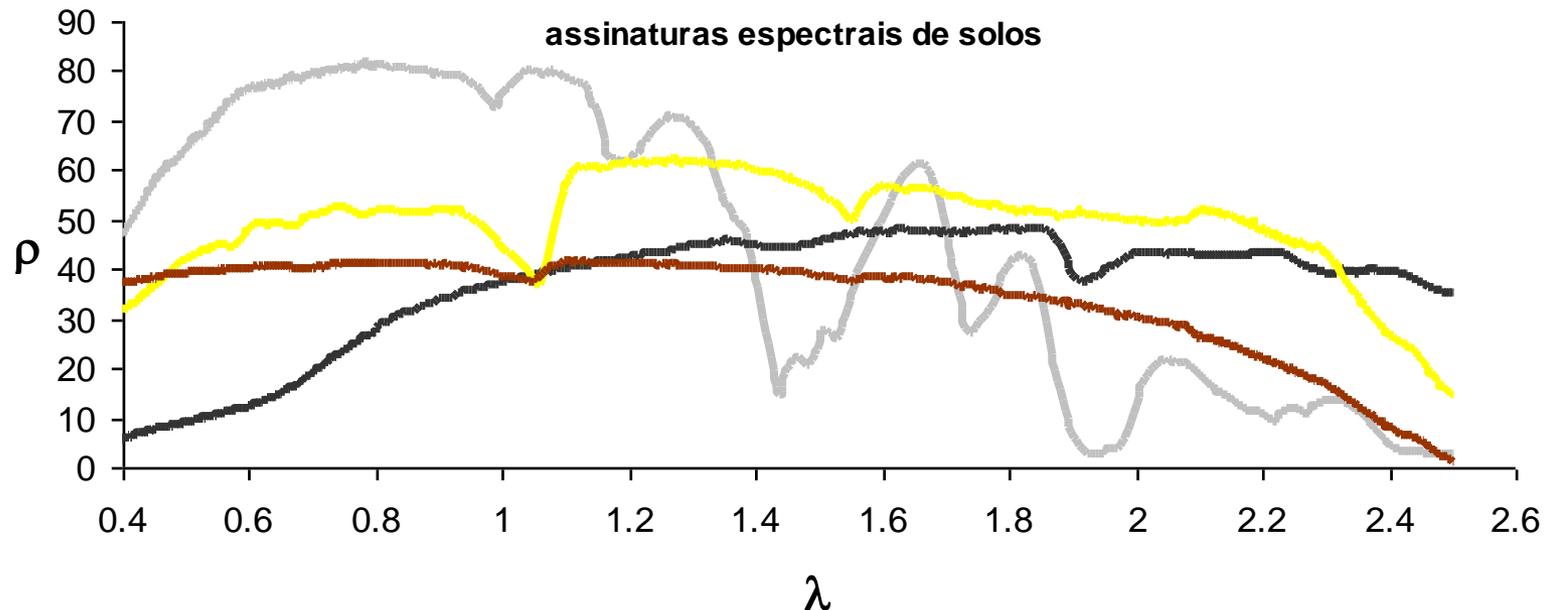


2.3 Interações com os Solos e a Água

2.3.1. Propriedades espectrais dos solos –determinantes biofísicos.



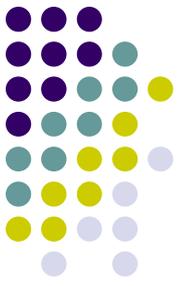
- A rugosidade e o teor de humidade são os principais determinantes da **magnitude** da reflectância.
- A **mineralogia**, a **matéria orgânica** e, nalgumas zonas do espectro, o **teor de humidade**, controlam a **forma** das assinaturas.



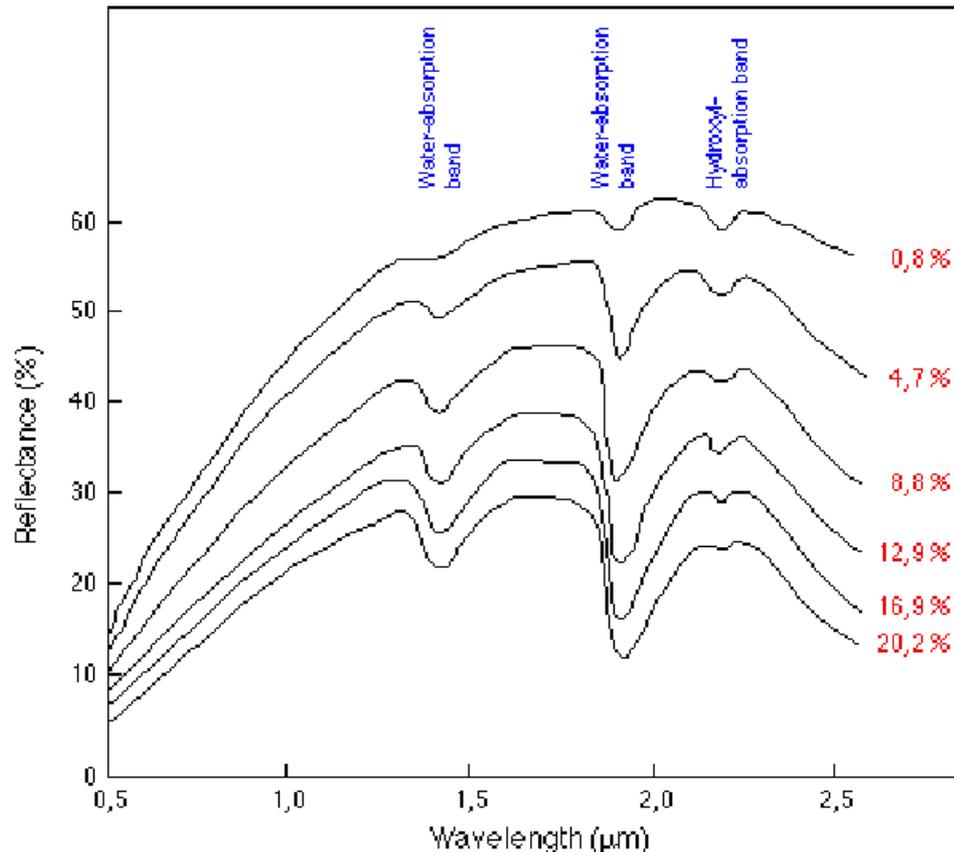
— white gypsum — organic loam — light yellow clay — brown dark-brown sand

2.3 Interações com os Solos e a Água

2.3.1. Propriedades espectrais dos solos –determinantes biofísicos.



- Os solos parecem mais escuros quando molhados do que quando secos, devido a um decréscimo de ρ no visível, mas também por efeito de duas bandas de absorção muito fortes, a $1.4\mu\text{m}$ e $1.9\mu\text{m}$, causada por água de ligação à montmorilonite.



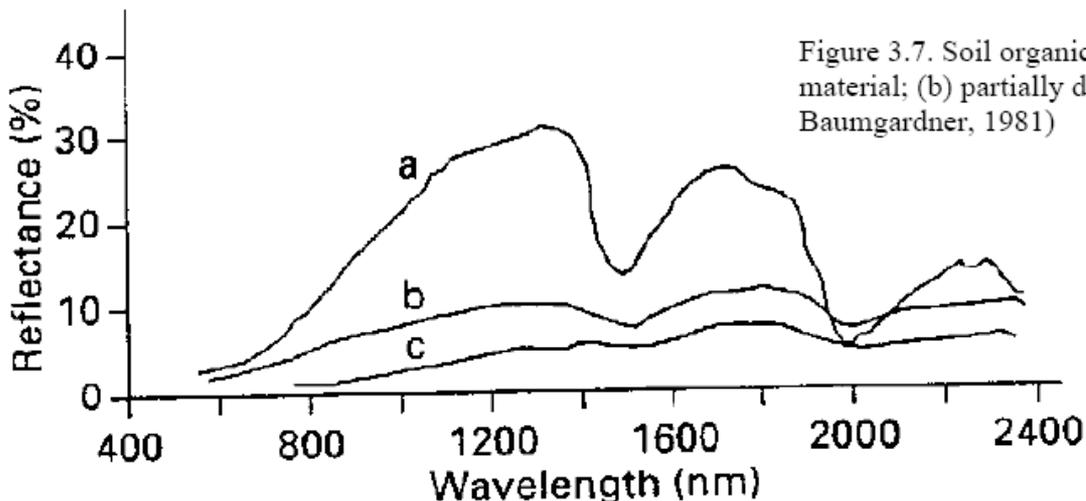
- A região dos $1.95\mu\text{m}$ é muito sensível à presença de água no solo. Portanto, pareceria boa para correlacionar reflectância com teor de humidade. Porém, sobrepõe-se com uma forte banda atmosférica de absorção pelo $\text{H}_2\text{O}_{(g)}$.
- Alternativamente, considera-se a região espectral dos $1.5\mu\text{m}$ a $1.73\mu\text{m}$ como a mais adequada para **cartografar o teor de humidade superficial dos solos.**

2.3 Interações com os Solos e a Água

2.3.1. Propriedades espectrais dos solos –determinantes biofísicos.

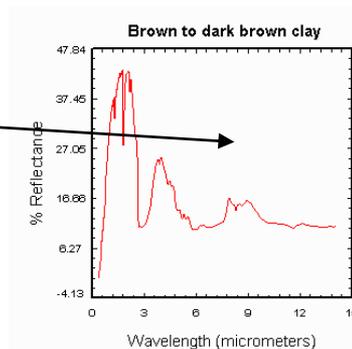
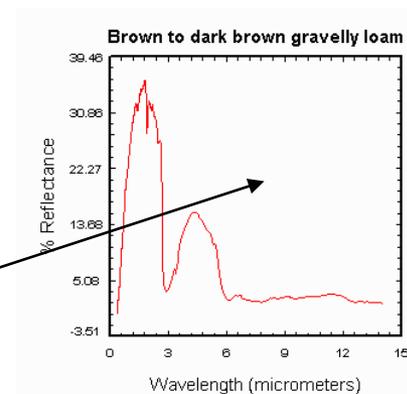
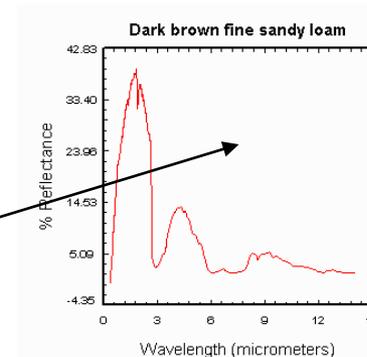
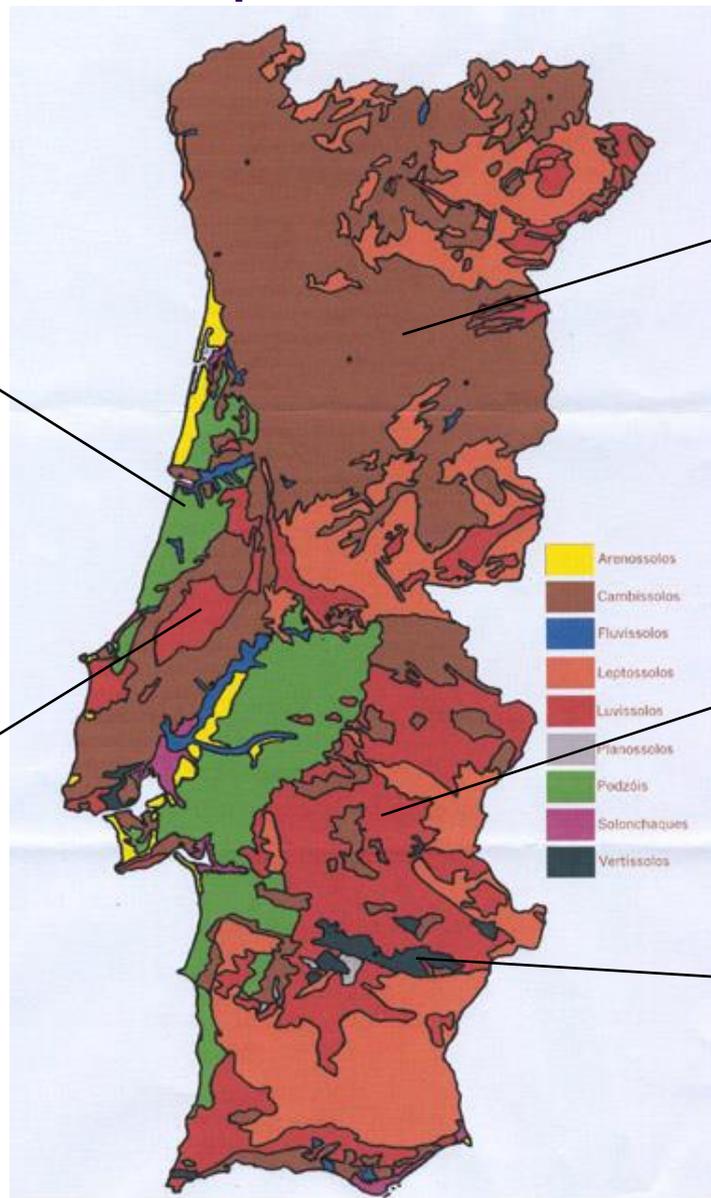
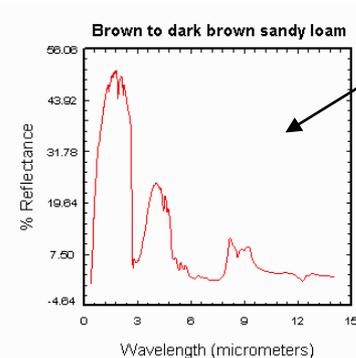
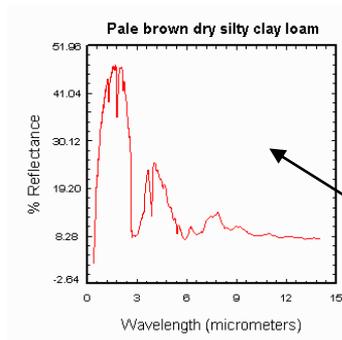


- Em igualdade de circunstâncias, a ρ dos solos diminui com o aumento do teor de **matéria orgânica**, pelo menos no intervalo espectral $0.4\mu\text{m} - 2.5\mu\text{m}$.
- A matéria orgânica é um determinante fundamental das propriedades espectrais dos solos sempre que o seu teor excede 2%.
- O estado de decomposição de solos orgânicos altera muito a ρ no IVP e IVM. As regiões do espectro mais adequadas para correlacionar ρ e teor de matéria orgânica vão dos $0.5\mu\text{m}-1.2\mu\text{m}$ e dos $0.9\mu\text{m}-1.22\mu\text{m}$, portanto parcialmente sobrepostos.



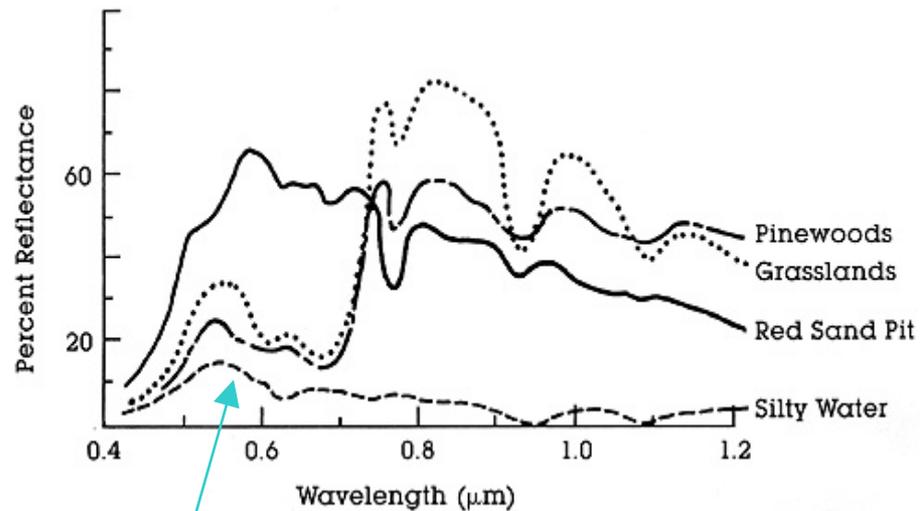
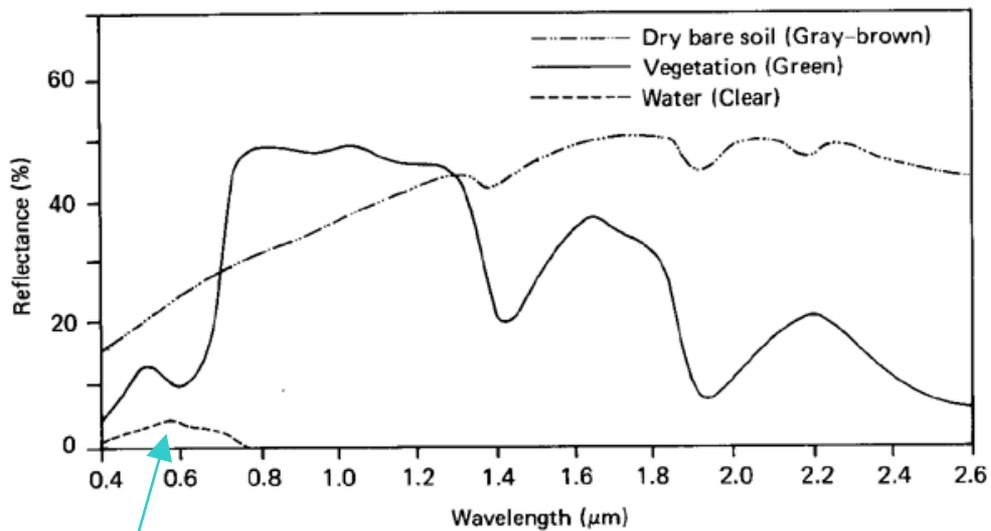
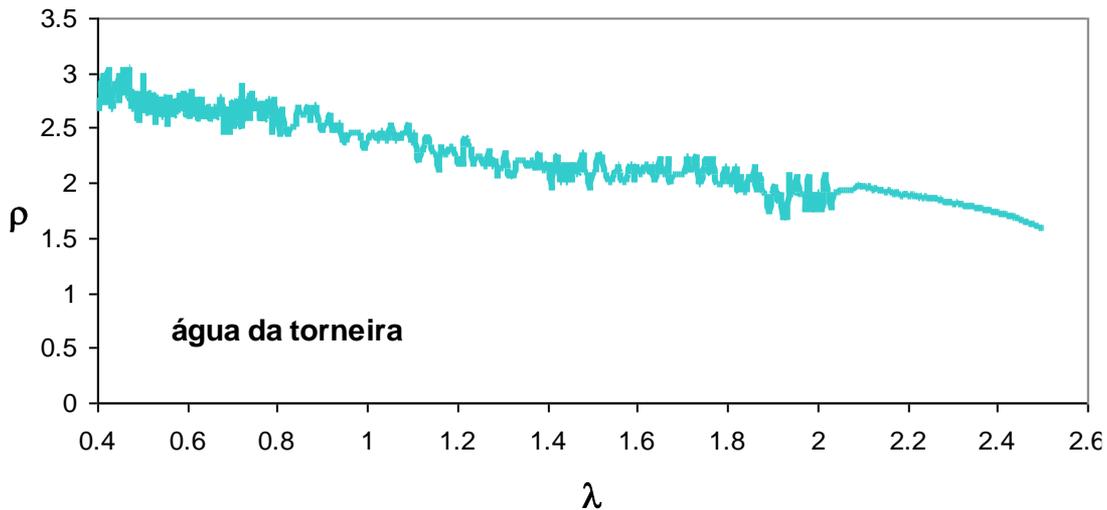
2.3 Interações com os Solos e a Água

2.3.1. Propriedades espectrais dos solos



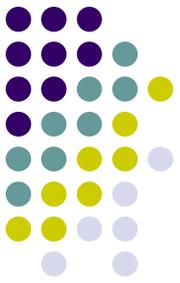
2.3 Interações com os Solos e a Água

2.3.1. Propriedades espectrais da água



2.3 Interações com os Solos e a Água

2.3.1. Propriedades espectrais da água



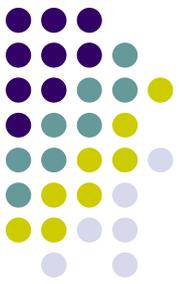
- Em condições naturais, uma massa de água absorve quase toda a radiação incidente no IVP e IVM. A proporção de radiação reflectida é bastante baixa, mesmo que a água seja pouco profunda.
- Isto facilita a distinção entre massas de água, por um lado, e vegetação e solos, por outro, que reflectem mais, sobretudo no IVP. As interações da radiação electromagnética com a água são mais complexas no visível. Embora ainda possam ser descritas pela equação:

$$I_{\lambda} = R_{\lambda} + A_{\lambda} + T_{\lambda}$$

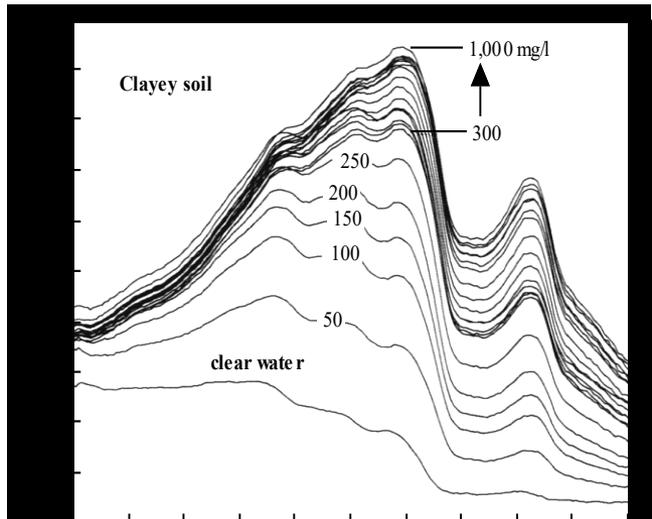
- é difícil determinar os componentes dos diferentes termos. R_{λ} pode envolver a superfície da água, o fundo, ou material em suspensão. A absorção e a transmissão também não são apenas função da água, sofrendo influências de material orgânico e inorgânico misturado na água.

2.3 Interações com os Solos e a Água

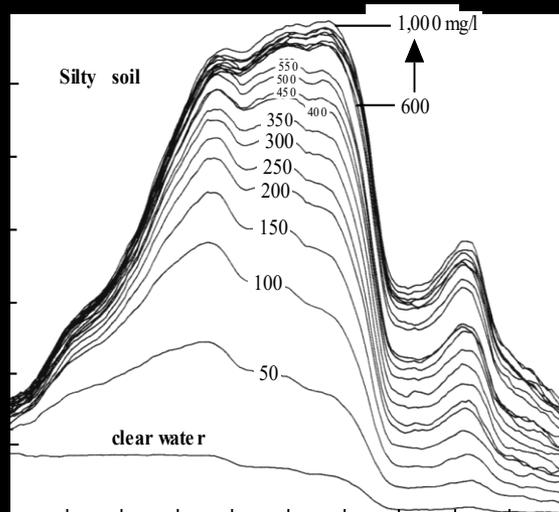
2.3.1. Propriedades espectrais da água



argila



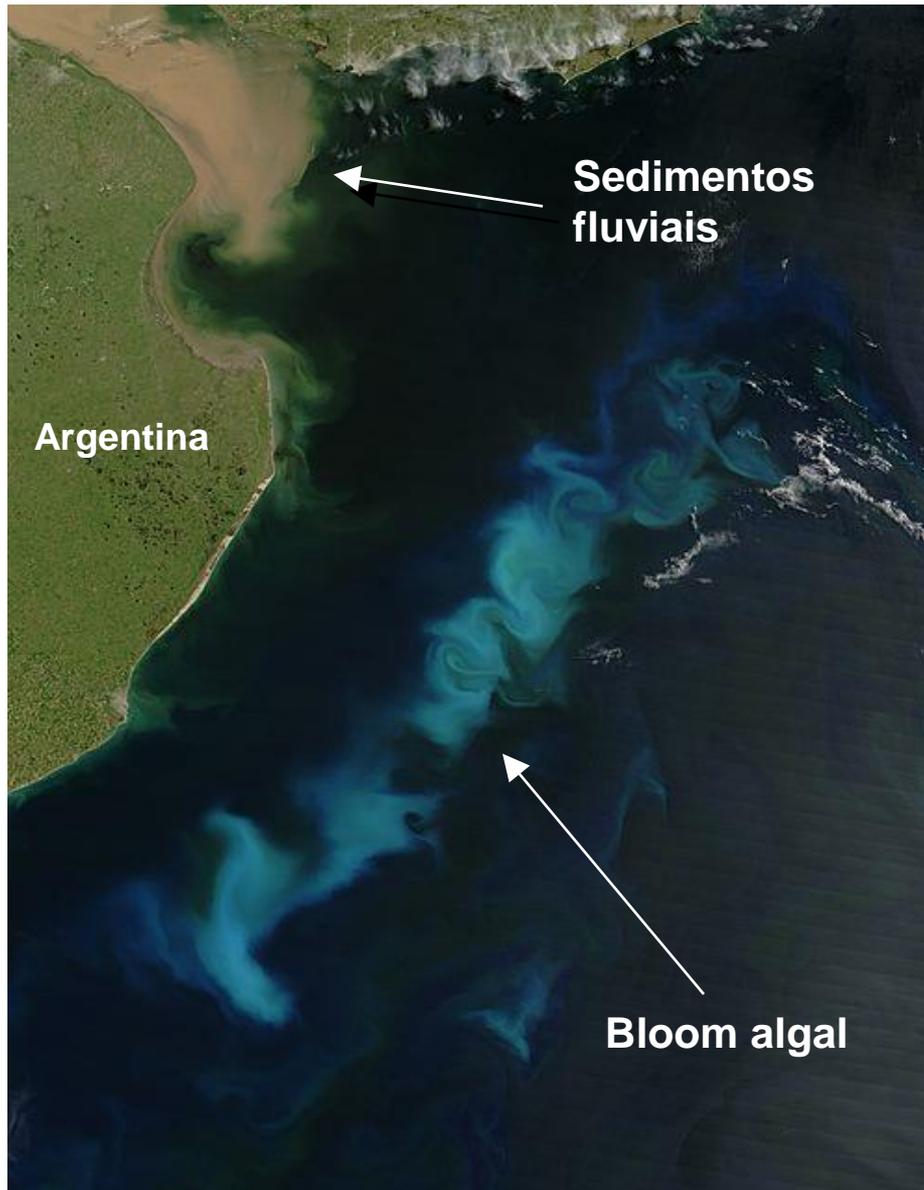
limo



- Medição espectral radiométrica *in situ* de água limpa, com níveis crescentes de concentrações de sedimentos suspensos de solo limoso e argiloso. O pico de reflectância desloca-se para λ mais longos à medida que se adiciona sedimento suspenso.

2.3 Interações com os Solos e a Água

2.3.1. Propriedades espectrais da água



- A concentração de clorofila também afecta a resposta espectral da água. O seu aumento implica redução da ρ no azul e aumento da ρ no verde, permitindo a detecção de blooms de algas

2.3 Interações com os Solos e a Água

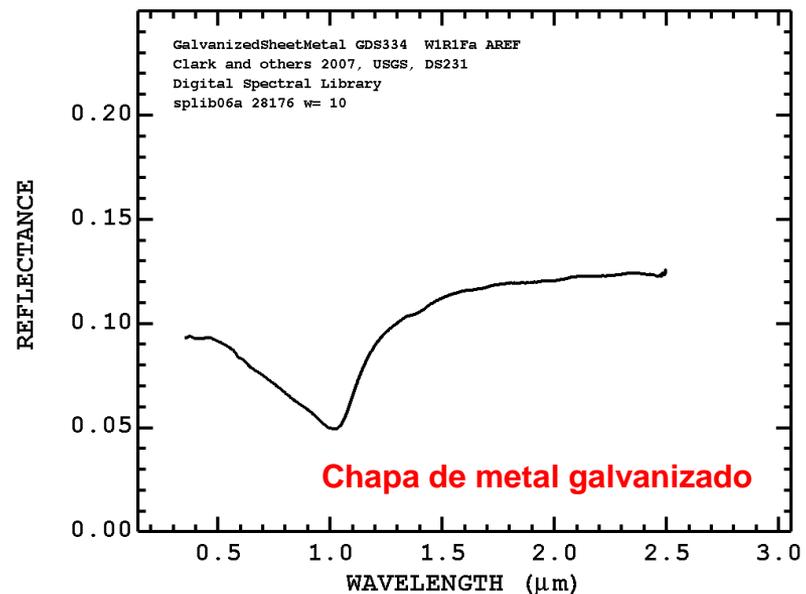
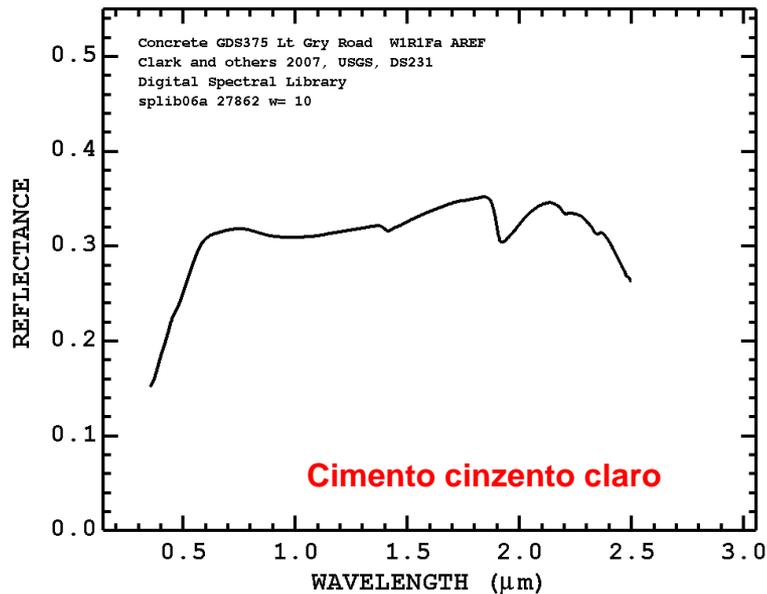
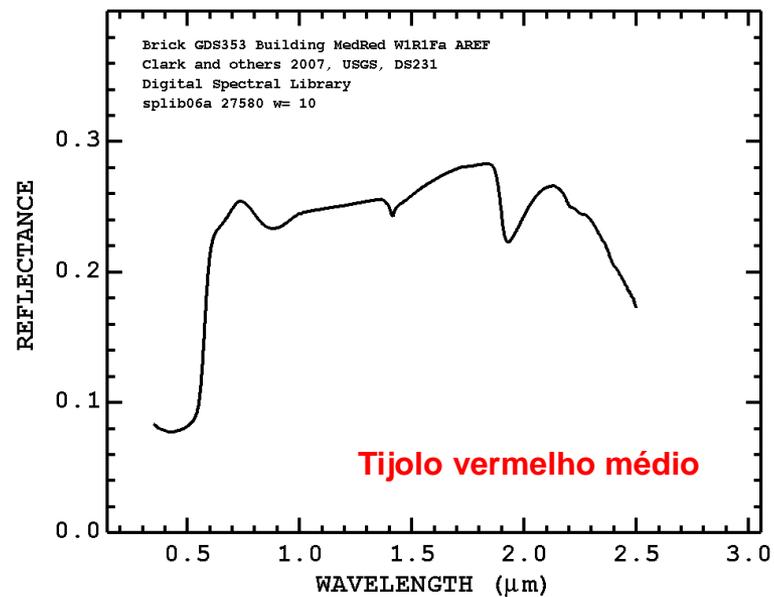
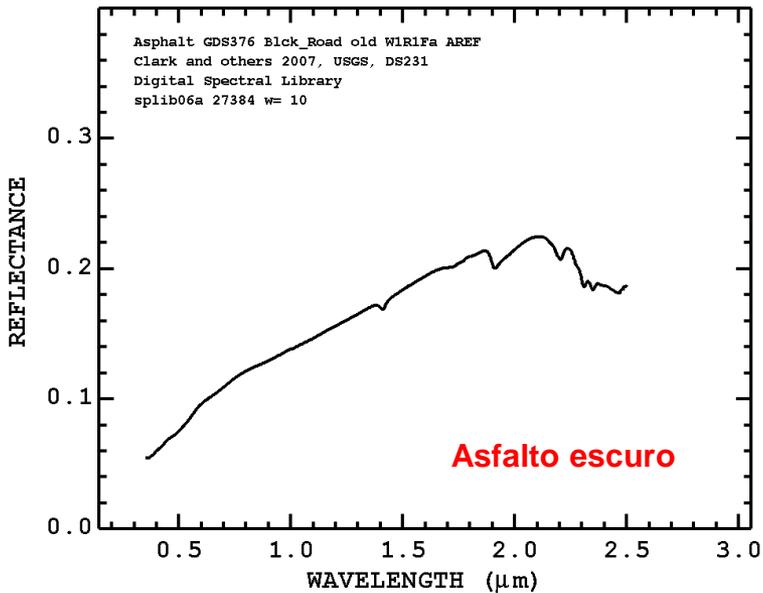
2.3.1. Propriedades espectrais da água



- A turbidez causada por sedimentos em suspensão afecta a resposta espectral de massas de água, aumentando a ρ relativamente à água límpida. Mediu-se que em massas de água com 100 mg.l^{-1} de sólidos em suspensão e profundidade $> 30 \text{ cm}$, a ρ se devia exclusivamente à massa de água e não ao fundo.

2.3 Interações com os Solos e a Água

2.3.1. Propriedades espectrais de materiais sintéticos



2.3 Algoritmos para análise de ecossistemas terrestres

2.3.1. Fundamentos dos índices de vegetação



- Um índice espectral de vegetação, normalmente designado apenas por **índice de vegetação (IV)**, é um valor obtido directamente ou através de um quociente, diferença ou outra transformação de dados espectrais. Este valor pretende-se **representativo de características de copados vegetais** como o índice de área foliar, biomassa, peso verde, peso seco, percentagem de coberto, etc. Os índices de vegetação usam-se portanto, para **correlacionar dados espectrais com parâmetros da vegetação**.
- O ênfase na extracção de informação relativa às características da vegetação leva à definição de alguns **critérios** que um bom índice de vegetação deve satisfazer, nomeadamente:
 - **realçar o sinal da vegetação**.
 - **normalizar o efeito de sinais "não-verdes"** (solo, folhada, água).
 - **minimizar o efeito de variações externas** (devidas à atmosfera e às geometrias de iluminação e observação).
 - ser de **aplicação generalizável** no espaço e no tempo.

2.3 Algoritmos para análise de ecossistemas terrestres

2.3.1. Fundamentos dos índices de vegetação

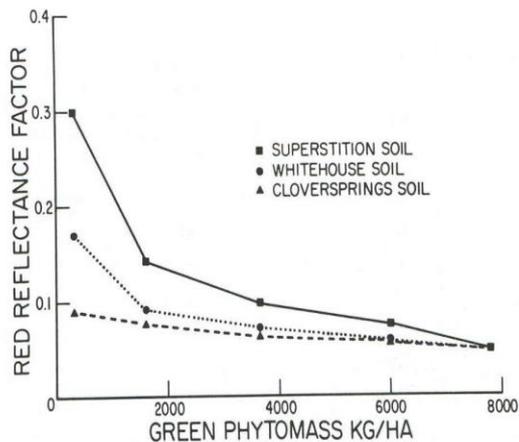
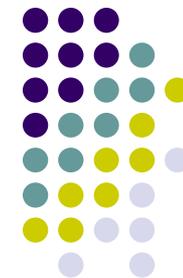


Figure 3 Relationship between red-canopy reflectance and Lehmann lovegrass phytomass for three soil backgrounds. [Reprinted by permission of the publisher from Huete and Jackson (1987). Copyright 1987 by Elsevier Science Publishing Co., Inc.]

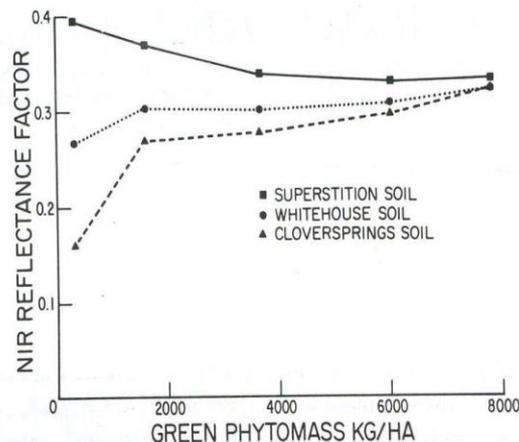


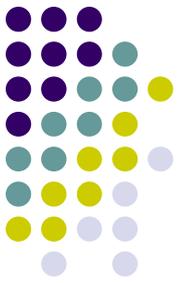
Figure 4 Relationship between NIR-canopy reflectance and Lehmann lovegrass phytomass for three soil backgrounds. [Reprinted by permission of the publisher from Huete and Jackson (1987). Copyright 1987 by Elsevier Science Publishing Co., Inc.]

- A maioria dos índices de vegetação define-se no espaço espectral v-IVP, devido à resposta diferenciada da vegetação nestas duas zonas espectrais.

- A radiância na região espectral do **vermelho** exibe uma relação **inversa e não-linear** com a quantidade de **fitomassa verde**. A relação entre a radiância IVP e a **biomassa verde** é também **não-linear, mas directa**. A figura mostra que ambas as relações têm comportamento assintótico para valores elevados de biomassa.

2.3 Algoritmos para análise de ecossistemas terrestres

2.3.1. Fundamentos dos índices de vegetação



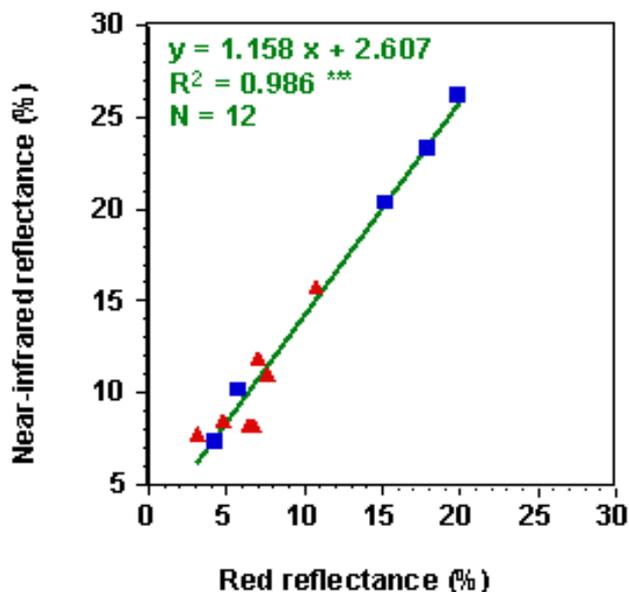
Espectrometria de campo, para recolha de assinaturas espectrais de muito alta resolução, para vários tipos de materiais.

2.3 Algoritmos para análise de ecossistemas terrestres

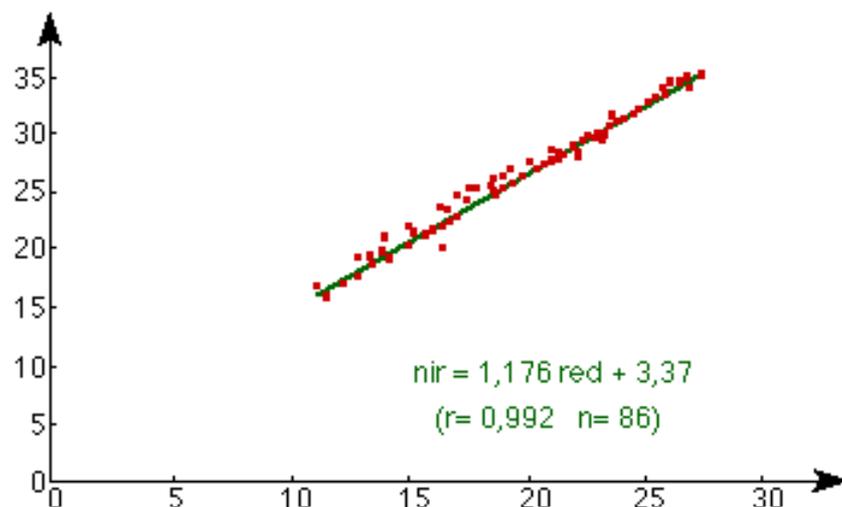
2.3.1. Fundamentos dos índices de vegetação



- Quando se representa a reflectância de solos nús num gráfico (v-IVP) obtém-se uma linha principal de variação espectral, com declive positivo e passando junto à origem do sistema de eixos coordenados. Esta linha, designada **linha de solos**, representa precisamente as variações de magnitude de reflectância espectral, com os solos mais claros ("brilhantes") definindo os pontos da linha mais afastados da origem.



■ Dry soil ▲ Wet soil



Soil line for a silt-loam soil in Avignon-Montfavet (France) (after Baret, 1986).

2.3 Algoritmos para análise de ecossistemas terrestres

2.3.1. Fundamentos dos índices de vegetação

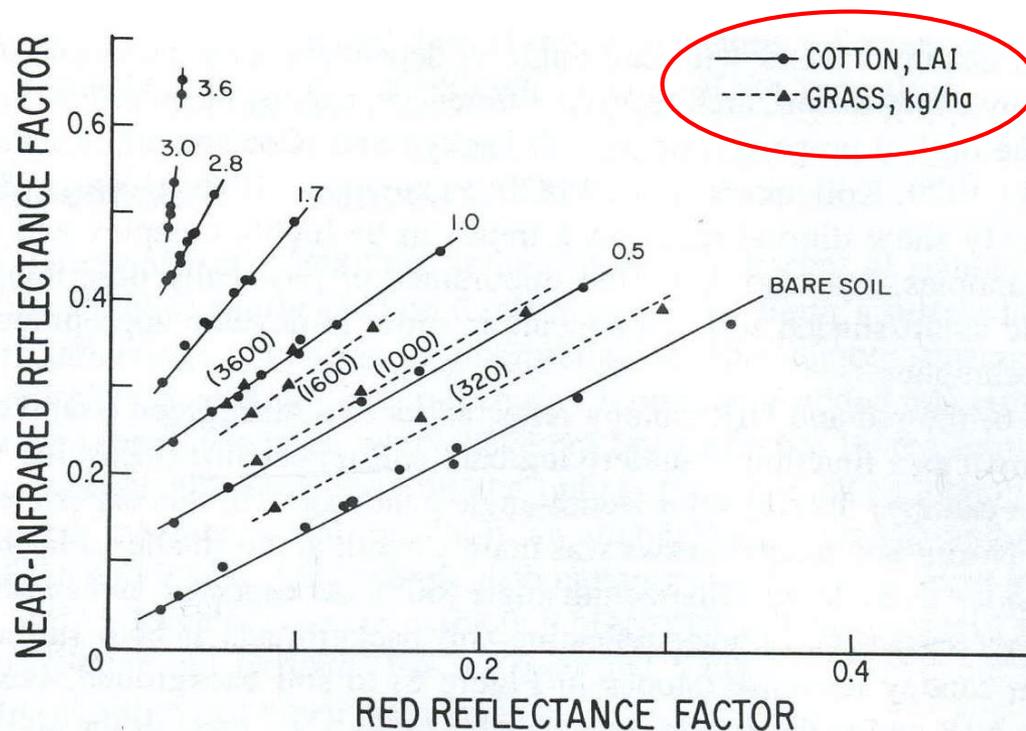


Figure 5 Observed vegetation isolines in NIR-red wavelength space for various canopy densities of cotton and grass with differing soil-background conditions. [Reprinted by permission of the publisher from Huete (1988). Copyright 1988 by Elsevier Science Publishing Co., Inc.]

- num espaço bi-espectral v-IVP, à medida que a vegetação se desenvolve, produz-se uma séria de isolinhas vegetais. Pode discutir-se se elas são predominantemente **paralelas à linha de solo** ou se, pelo contrário, **convergem para a origem**.

2.3 Algoritmos para análise de ecossistemas terrestres

2.3.1. Fundamentos dos índices de vegetação

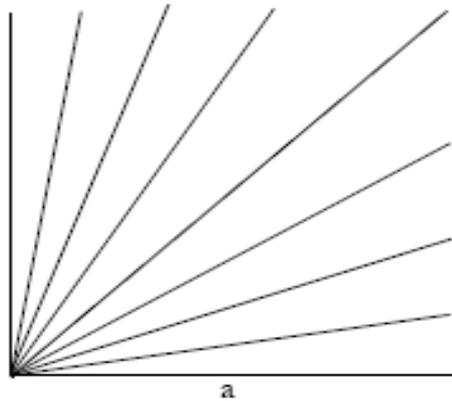
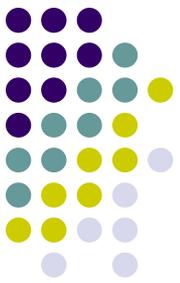
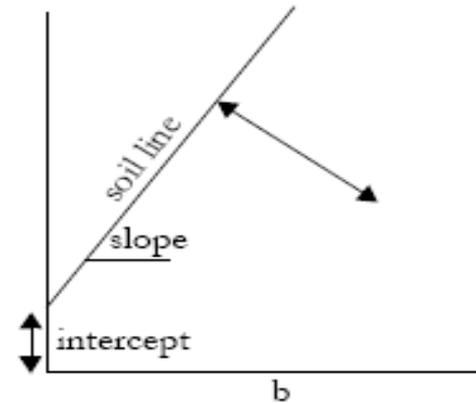


Figure 7-1



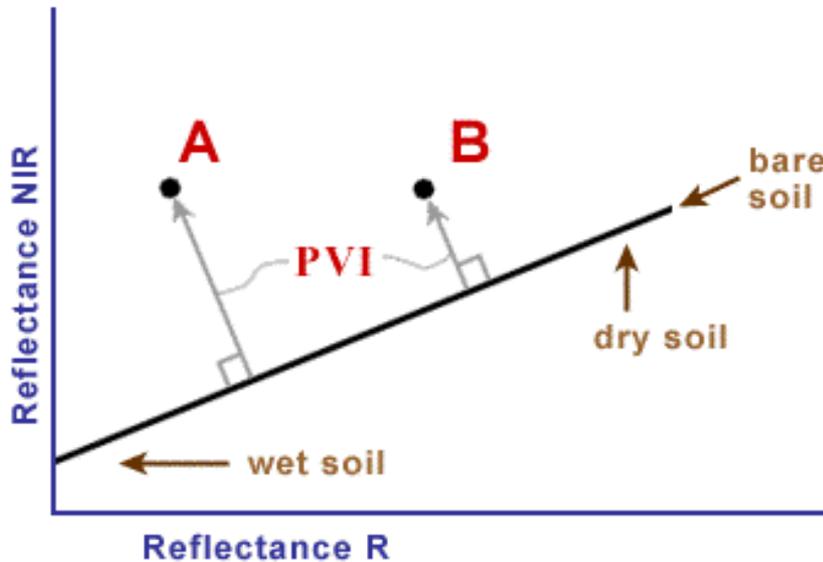
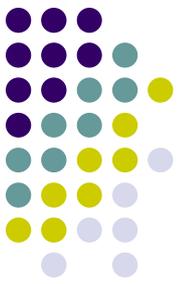
Índice baseado no declive

Índice baseado na distância

- A figura representa esquematicamente as duas grandes famílias de índices de vegetação, que interpretam a trajetória das isolinhas de vegetação segundo as duas possibilidades alternativas.
- Há ainda um 3º grupo, dos **IV ortogonais**, que transformam linearmente os canais espectrais disponíveis, para formar um novo conjunto de canais não-correlacionados (i.e. ortogonais) entre si. A transformação *tasseled-cap* é o mais conhecido destes índices.

2.3 Índices de Vegetação

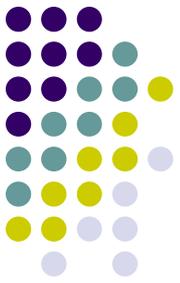
2.3.1. Principais tipos de índices de vegetação - distância



- A segunda grande categoria de índices de vegetação assume que as componentes de cada pixel podem ser representadas por um modelo linear aditivo. Inclui o **índice perpendicular de vegetação (PVI)**.
- o gráfico da reflectância, no v e IVP, de solos nús, mais secos ou mais molhados é a base do cálculo do **PVI**, baseado na **distância**. O PVI é medido ortogonalmente à linha de solo. Portanto, o ponto A tem um PVI maior (+ vegetação) do que o ponto B.

2.3 Índices de Vegetação

2.3.1. Principais tipos de índices de vegetação - distância

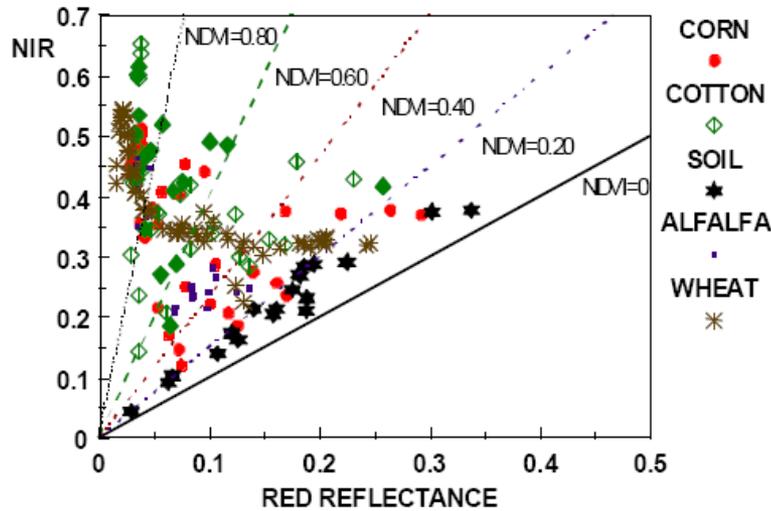


- Os índices de distância distinguem-se dos baseados em declives porque as isolinhas de quantidade de vegetação não convergem para a origem, mantendo-se paralelas à linha de solo. É possível computar um "vector de verdura", ortogonal à linha de solo, o qual maximiza o sinal da vegetação verde, mantendo constante a informação relativa ao solo.
- Matematicamente, o índice representa-se pela distância euclidiana à linha de solos, onde o símbolo r representa a reflectância, **S** refere o **solo**, **V** refere a **vegetação**, **R** indica the **band vermelha** e **NIR** indica o **IVP**.

$$PVI = \sqrt{(\rho_{S,R} - \rho_{V,R})^2 + (\rho_{S,NIR} - \rho_{V,NIR})^2}$$

2.3 Índices de Vegetação

2.3.1. Principais tipos de índices de vegetação - declive



MODIS VI ATBD



Figure 3.1.2a: Cloud of reflectance points in NIR-red waveband space for agricultural crops observed throughout the growing season.

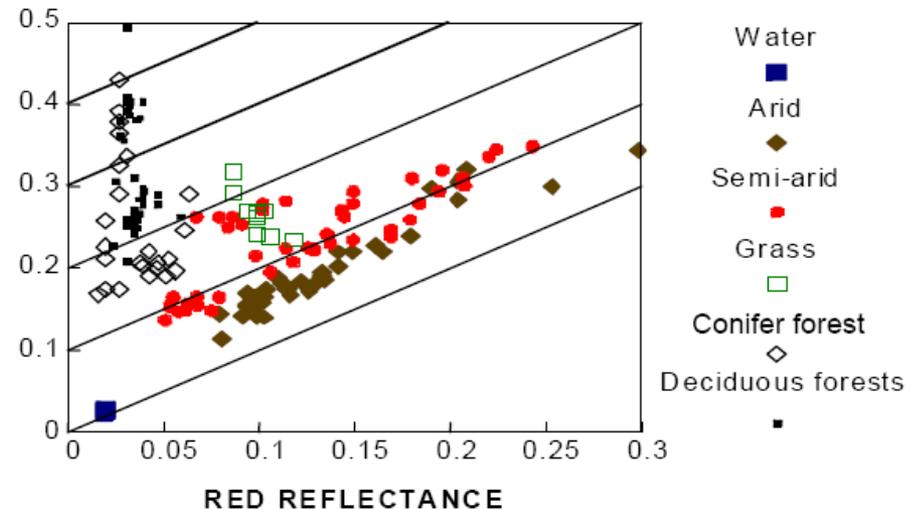
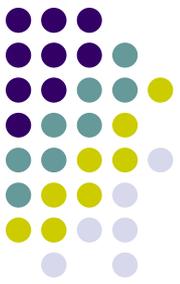


Figure 3.1.2b: Cloud of reflectance points in NIR-red reflectance space from Landsat TM for a wide range of land surface cover types.

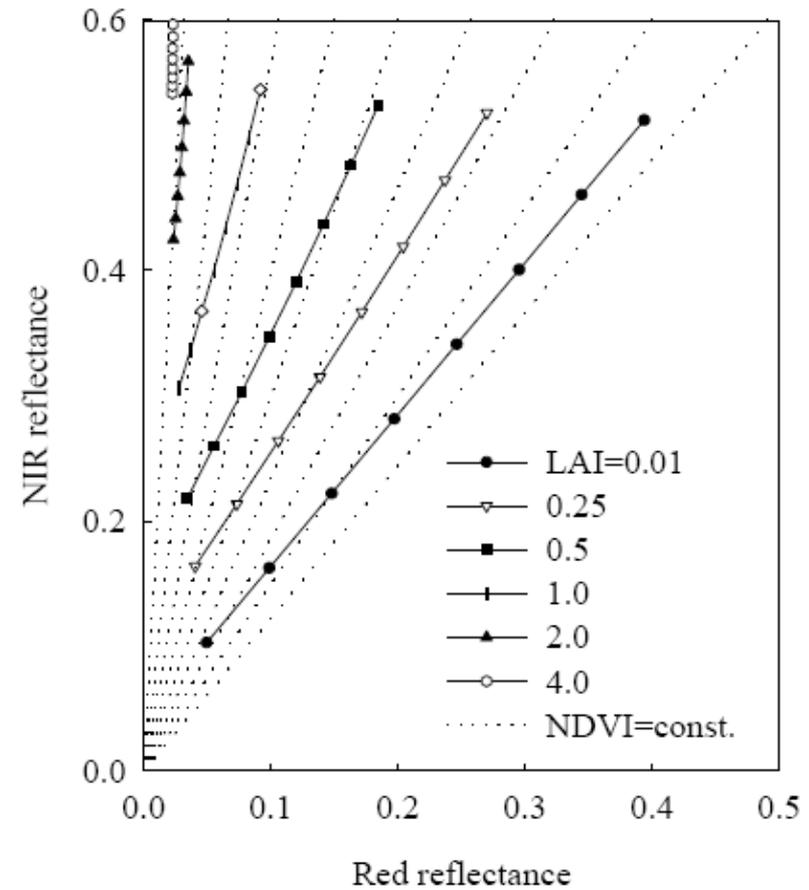
2.3 Índices de Vegetação

2.3.1. Principais tipos de índices de vegetação - declive



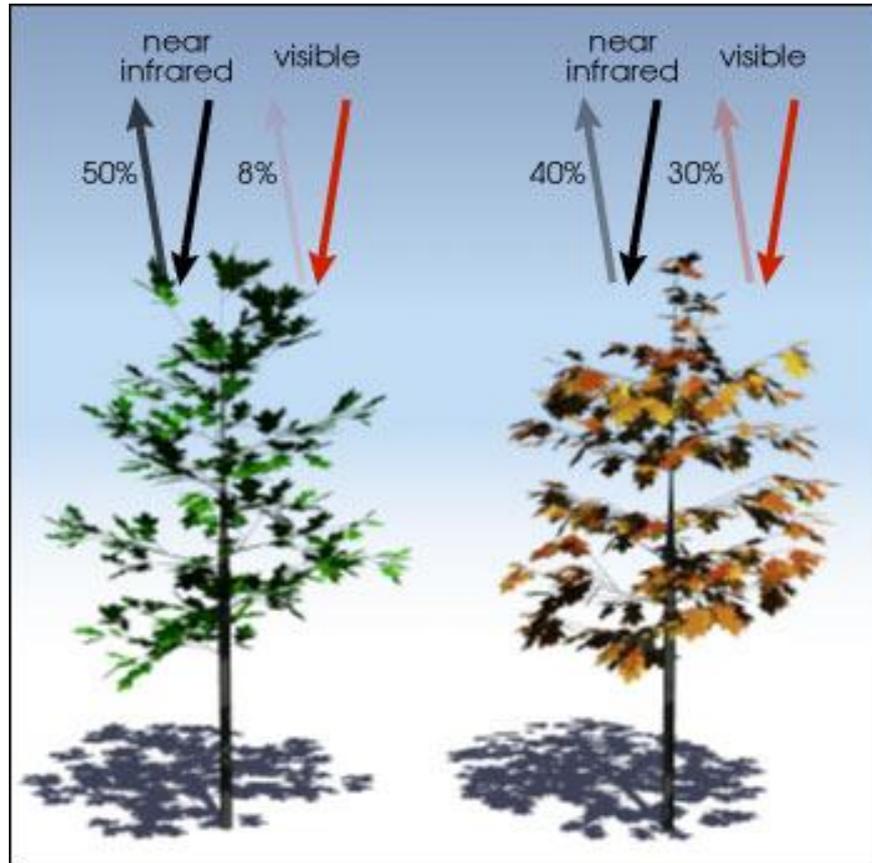
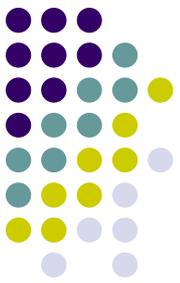
- Num sistema de coordenadas definindo num espaço v-IVP, a representação gráfica dos índices baseados no declive adquire a forma de **isolinhas de vegetação passando pela origem, com declive positivo e tanto mais elevado quanto maior for a quantidade de vegetação presente.**

- Os índices de declive são **úteis para normalizar as diferenças de irradiância devidas à geometria de iluminação e à topografia.** São índices muito simples e os de uso mais divulgado.



2.3 Índices de Vegetação

2.3.1. Principais tipos de índices de vegetação - declive



$$\frac{(0.50 - 0.08)}{(0.50 + 0.08)} = 0.72$$

$$\frac{(0.4 - 0.30)}{(0.4 + 0.30)} = 0.14$$

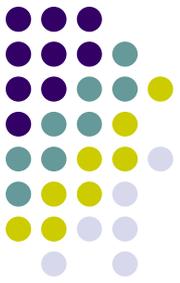
- O NDVI é calculado a partir da radiação reflectida no vermelho e IVP.

$$NDVI = \frac{IVP - v}{IVP + v}$$

- A vegetação saudável (esq) absorve a maior parte da radiação que a atinge e reflecte uma grande parte da IVP.
- Vegetação doente ou esparsa (dir) reflecte mais radiação visível e menos IVP.
- Os valores na figura são representativos de condições reais, mas a vegetação autêntica apresenta uma grande gama de variação.

2.3 Índices de Vegetação

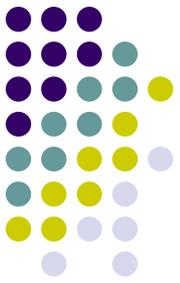
2.3.1. Principais tipos de índices de vegetação - compromisso



- Um outro índice, o índice de vegetação **ajustado para o solo (Soil Adjusted Vegetation Index, SAVI** = $(IVP-V)/(IVP+V+0.5) \times 1.5$) foi desenvolvido por Alfredo Huete (U. Arizona), para descrever observações de isolinhas de vegetação herbácea e de campos de algodão. O SAVI assume uma deslocação (ponto D) intermédia às postuladas pelos índices baseados em distâncias e os de declives.
- A influência da reflectância do solo na assinatura espectral de copados parciais é importante, porque tanto os índices de declives como os de distâncias se revelam incapazes de prever o comportamento de pixels com vegetação, à medida que estes se afastam da linha do solo.

2.3 Índices de Vegetação

2.3.1. Principais tipos de índices de vegetação



- **A:** parcial/ vegetado, solo seco. **A** é molhado, escurece, desloca-se em direcção à origem.
- Segundo isolinha **NDVI:** **A**→**B**. Mas segundo isolinha **PVI:** **A**→**C**.
- **Na realidade, A**→**D**.
- Portanto, PVI do pixel parcial/ vegetado, molhado é < do que quando seco.
- NDVI do pixel parcial/ vegetado, molhado é > do que quando seco.

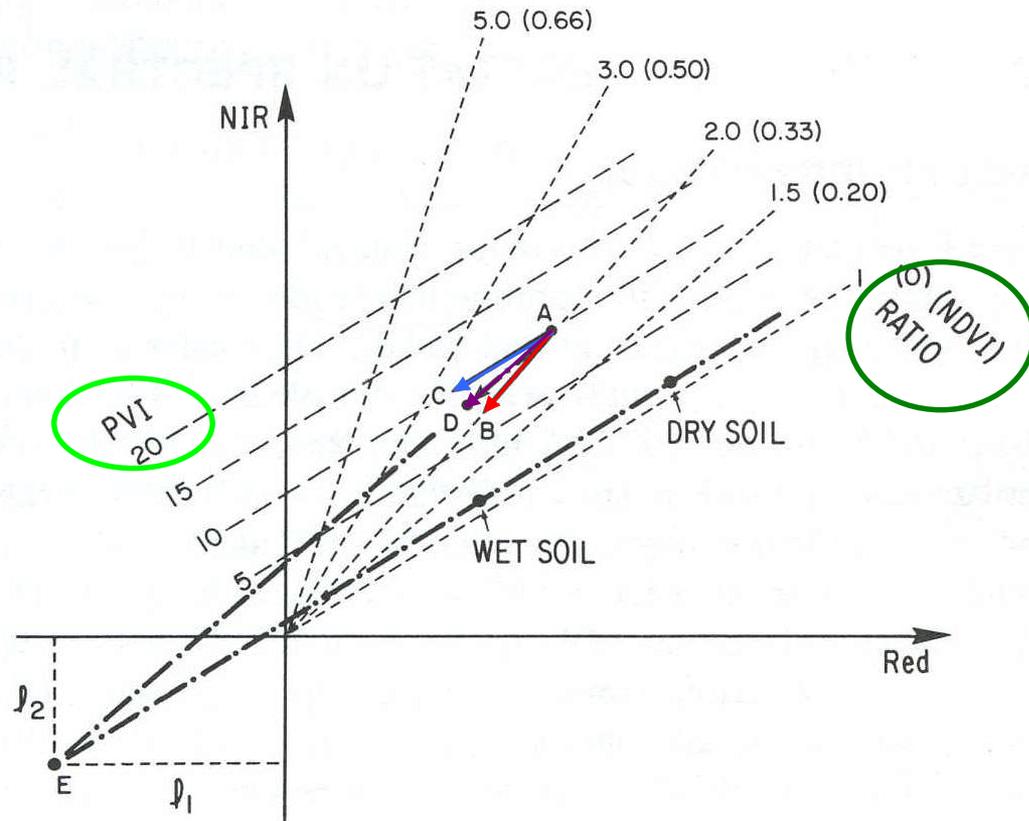
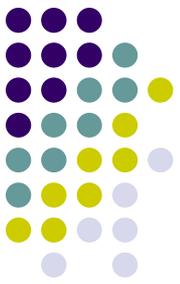


Figure 9 Vegetation spectra isolines and convergence points in NIR–red wavelength space as predicted by the ratio, normalized difference, and perpendicular-vegetation indices. [Reprinted by permission of the publisher from Huete (1988). Copyright 1988 by Elsevier Science Publishing Co., Inc.]

2.3 Índices de Vegetação

2.3.1. Principais tipos de índices de vegetação



- A. Huete desenvolveu um processo para minimizar o efeito do solo subjacente, no índice de declive (i.e. NDVI). Ele prolongou a linha A-D até ao ponto de intersecção com a linha de solo, E e mostrou que, somando as distâncias l_1 e l_2 aos valores de v e IVP respectivamente, o índice de declive resultante seria minimamente afectado pelo solo subjacente.

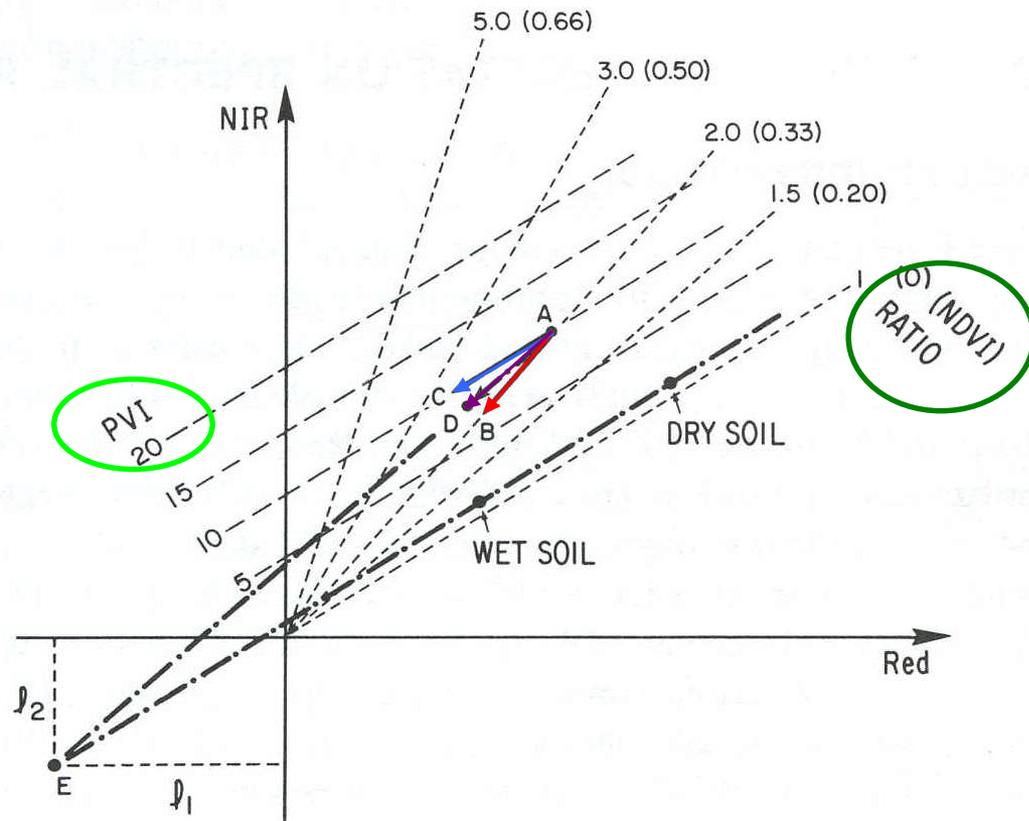


Figure 9 Vegetation spectra isolines and convergence points in NIR–red wavelength space as predicted by the ratio, normalized difference, and perpendicular-vegetation indices. [Reprinted by permission of the publisher from Huete (1988). Copyright 1988 by Elsevier Science Publishing Co., Inc.]

2.3 Índices de Vegetação

2.3.1. Principais tipos de índices de vegetação - SAVI



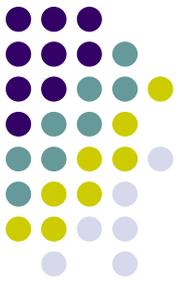
- Uma deslocação da origem do sistema de coordenadas espectrais IVP-v para valores negativos (localizada no 3 quadrante) é equivalente à adição de uma constante, L , aos valores de reflectância v e IVP, de modo que o SAVI (NDVI ajustado) virá:

$$SAVI = \frac{[(IVP - v)]}{[(IVP + v + L)]} \cdot (1 + L)$$

- De maneira geral, **considera-se $L = 0.5$** , (em unidades de **reflectância**) como valor óptimo para uma ampla gama de tipos de solo e condições ambientais.
- O factor multiplicativo $(1+L)$ é necessário para manter o índice dentro dos mesmos limites de $[-1,+1]$, do NDVI

2.3 Índices de Vegetação

2.3.1. Principais tipos de índices de vegetação – outros IV



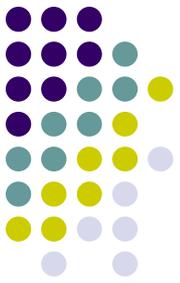
- Existe uma vasta literatura sobre índices de vegetação e sua sensibilidade a diversos factores ambientais, como a atmosfera, o solo e as condições geométricas de observação e iluminação da superfície.
- O NDVI é considerado bastante sensível aos efeitos do solo e da atmosfera e, portanto, pouco fiável. O SAVI é mais resistente aos efeitos do solo, mas é relativamente afectado por algumas condições atmosféricas.
- O **Global Environment Monitoring Index (GEMI)**, de Pinty e Verstraete, é bastante robusto face a perturbações atmosféricas, mas produz valores com pouco sentido sobre solos muito claros.
- Não há um índice ideal, mas vários índices mais recentes, com formulações relativamente sofisticadas, conseguem resistir relativamente bem a uma gama ampla de valores de perturbações externas, fornecendo informação bastante fiável sobre a vegetação: **SARVI**, **MSAVI2**, **EVI** são exemplos desses índices, que podem procurar na literatura.

3.3 Três perspectivas da Detecção Remota - imagem



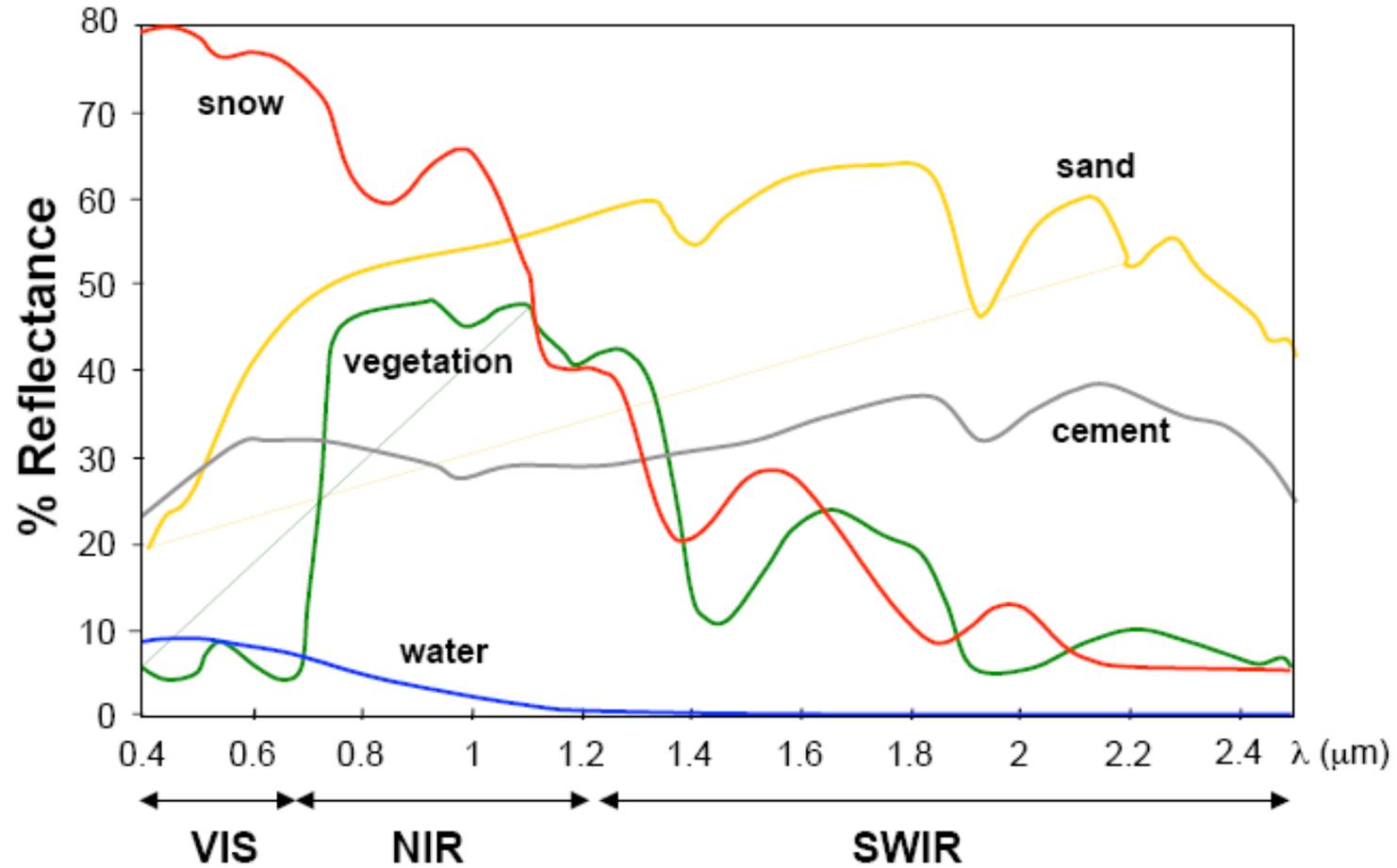
- Durante esta disciplina, olhamos para os dados de DR sob 3 perspectivas diferentes, que se complementam / intercambiam frequentemente:
 - Como assinatura (espaço) espectral
 - Como espaço de atributos
 - Como imagem

3.3 Três perspectivas da Detecção Remota – espaço espectral

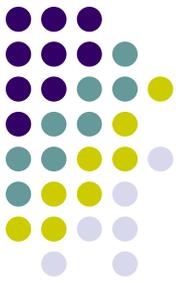


- O aparecimento do conceito multiespectral começou a focar a atenção no modo como a resposta medida em cada pixel varia com λ , como fonte de informação fulcral.
- A ideia é que se a relação entre λ e ρ fornece informação que permite identificar o conteúdo de um pixel individual, isto seria extremamente simples, do ponto de vista da economia do processamento dos dados.
- Desse modo, cada pixel poderia ser processado por sua vez, o que é muito mais simples do que processar toda a complexidade de uma imagem. Seria um esquema extremamente adequado para representação quantitativa e análise digital dos dados.
- Além do mais, comparado com esquemas clássicos de processamento de imagem, a capacidade de qualificar/quantificar cada pixel resultaria em mais alta resolução espacial do que a análise dependente de aglomerados de pixels.

3.3 Três perspectivas da Detecção Remota – espaço espectral

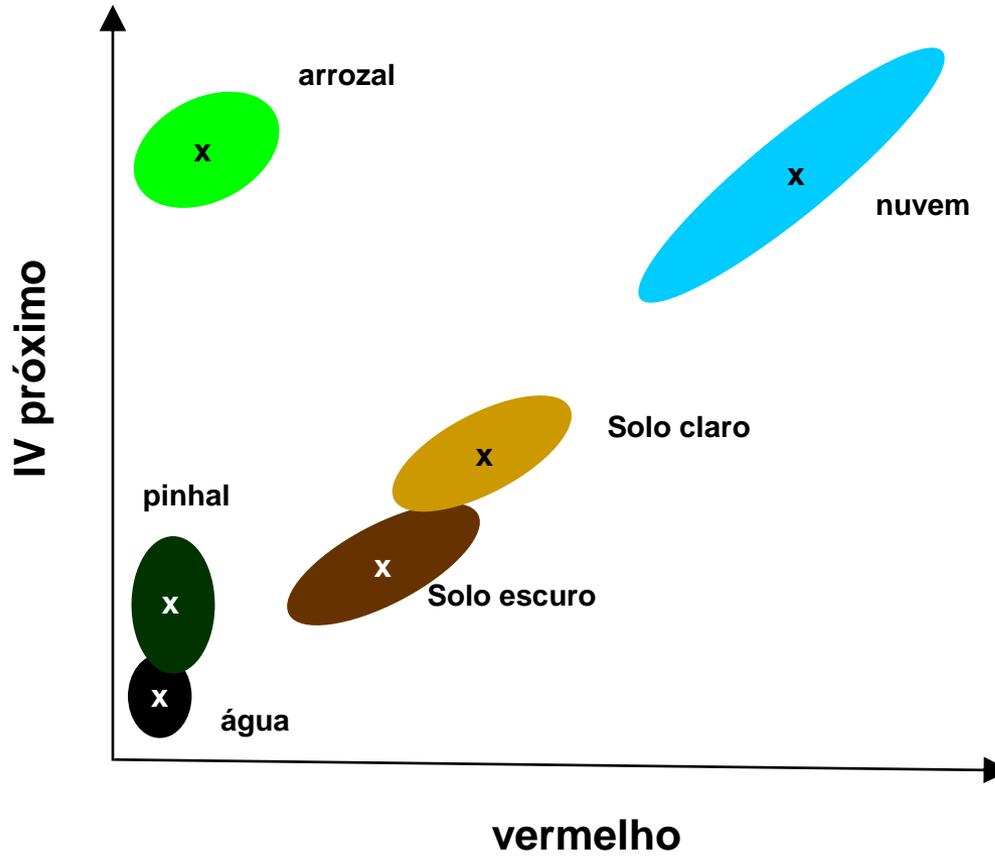
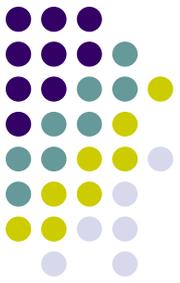


3.3 Três perspectivas da Detecção Remota – espaço de atributos



- Se se recolher uma amostra espectral a dois c.d.o. distintos, λ_1 and λ_2 , os valores resultantes podem ser mostrados num espaço bi-dimensional. Se a amostragem for a mais dimensões, p.ex. 10 valores de λ , teríamos um ponto num espaço 10-dimensional.
- Esta é uma forma muito útil de representar respostas espectrais. Se o espectro for amostrado em muitos valores de λ , de modo que se reconstrua a assinatura espectral, a sua informação é preservada e pode ser representada como um vector. Embora não possamos mostrar graficamente um tal ponto, o computador manipula-o mais facilmente do que a um gráfico.
- Além disso, isto é uma representação matemática do que um sensor multiespectral faz, ou seja amostrar a resposta espectral em cada uma de N bandas. O resultado é um vector N-dimensional com toda a informação espectral disponível sobre esse pixel.
- A vantagem desta representação é que é uma forma quantitativa de representar não só os valores numéricos de pixels individuais, mas também como os valores de um dado material variam em torno do valor central.

3.3 Três perspectivas da Detecção Remota – espaço de atributos

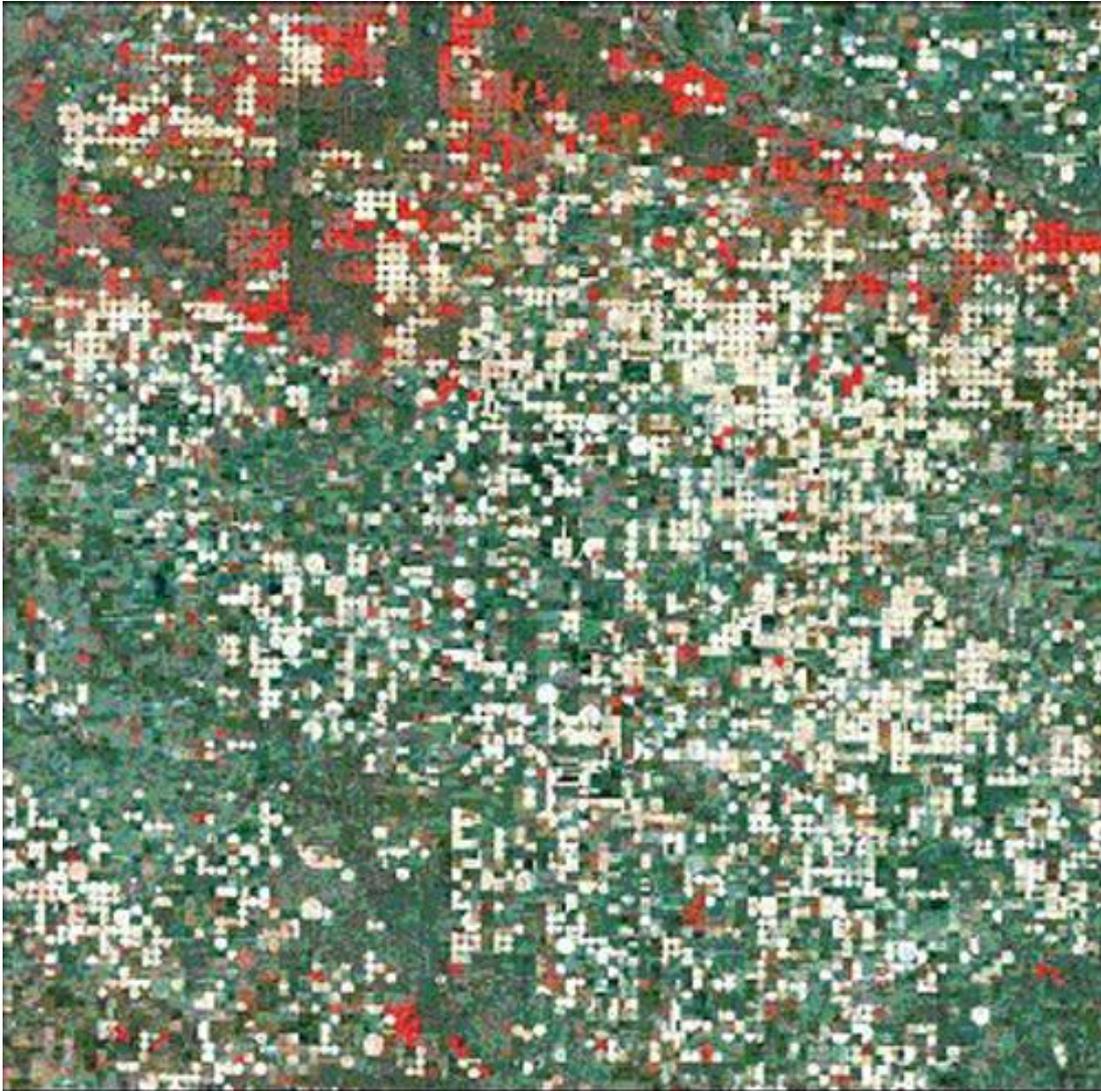
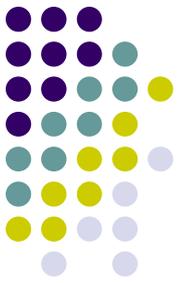


3.3 Três perspectivas da Detecção Remota – imagem



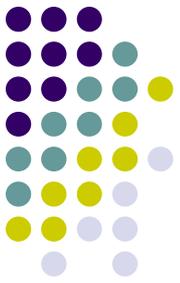
- O conceito é representar cada observação em relação com as outras de uma forma geométrica produzindo, portanto, uma “**pintura**” de uma secção de terreno, para observação visual. O **modo espacial como os pixels se relacionam é portador de informação** sobre a cena observada.
- Porém, dado o modo como é adquirida esta informação, a representação dos dados como imagem **desperdiça muita da informação obtível como um sensor multiespectral**. Podemos observar a imagem em tons de cinzento, ou em combinações coloridas de três canais de cada vez, mas as relações entre os valores nos vários canais poderão não ser muito aparentes.
- Por outro lado, as imagens são muito úteis a dar uma **visão panorâmica**, global dos dados e também podem **facilitar a detecção de certos tipos de erros**.

3.3 Três perspectivas da Detecção Remota – imagem



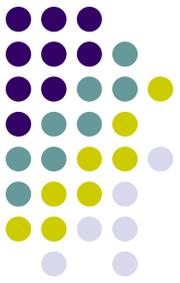
Garden City, Kansas,
Setembro 2000

3.3 Três perspectivas da Detecção Remota – imagem



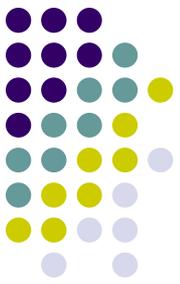
Guiné-Bissau, Dezembro
2000

3.3 Três perspectivas da Detecção Remota – imagem



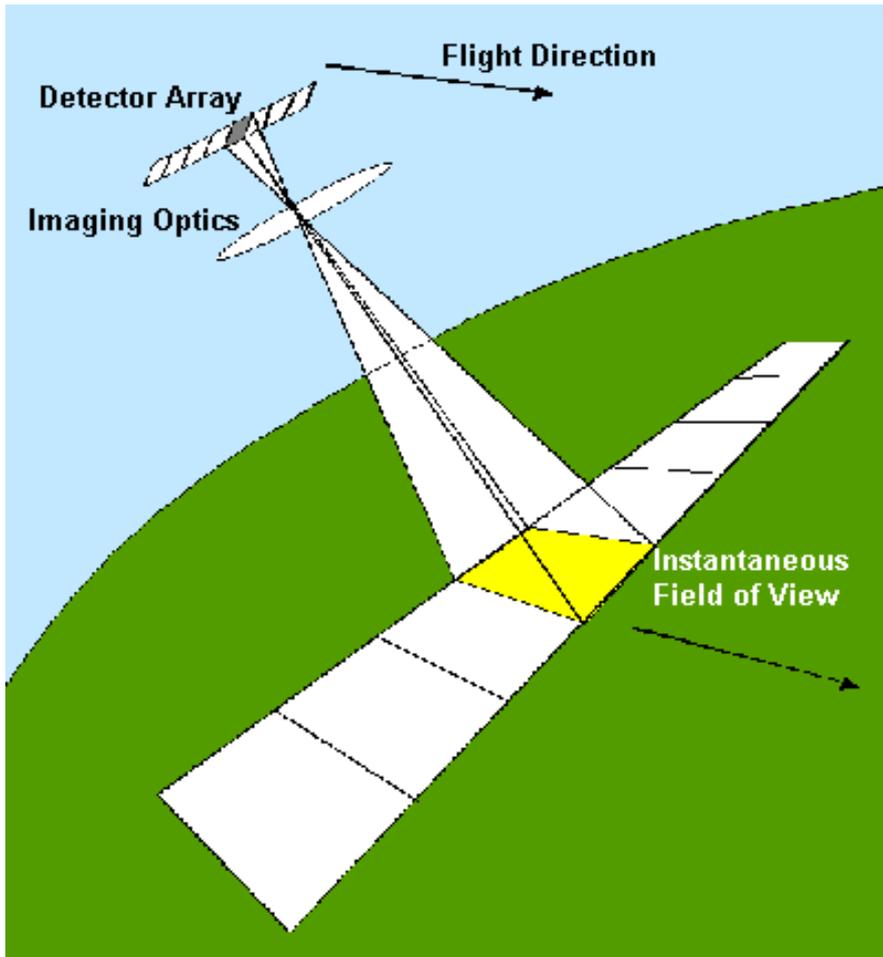
Deserto do Namib,
Agosto 2000

4.1 Conceitos de resolução dos dados de detecção remota – resolução espacial.



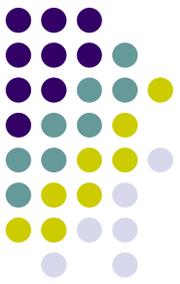
- A quantidade de informação contida numa imagem depende em grande parte da sua resolução. Esta pode definir-se segundo 4 dimensões: **espacial, espectral, radiométrica e temporal**.
- Na sua aceção mais simples, o conceito de **resolução espacial** refere-se à área de terreno observada por um radiómetro, em cada instante e define a distância mínima entre dois objectos que um sensor consegue registar distintamente.
- Um conceito associado com a resolução espacial é o de **campo instantâneo de observação** (CIO, *IFOV*, em inglês). O CIO de um radiómetro é determinado pelo seu sistema óptico e dimensão do elemento detector, e exprime-se como o ângulo cónico no interior do qual a energia incidente converge sobre o detector. Toda a radiação que se propaga na direcção do instrumento, no interior do seu CIO, contribui para a resposta do detector, em cada instante.
- Na imagem que o sistema de DR produz, a partir da cena observada, estas unidades elementares designam-se por **pixels** (do inglês *picture elements*).

4.1 Conceitos de resolução dos dados de detecção remota – resolução espacial.



- Porém, um valor de CIO não é sempre um indicador verdadeiro da dimensão do menor objecto detectável. Um objecto que contraste fortemente com o fundo no qual se insere, sendo mais claro ou escuro, pode modificar a radiância global da célula de resolução de modo a tornar-se detectável. Por exemplo, é possível detectar fontes de altas temperaturas, de origem industrial (refinarias de petróleo, siderurgias, etc.) ou mesmo incêndios florestais, cobrindo áreas de aproximadamente 100 m².

4.1 Conceitos de resolução dos dados de detecção remota – resolução espacial.



- A resolução espacial adequada a uma tarefa concreta é determinada, em parte, por necessidades específicas da aplicação em causa:

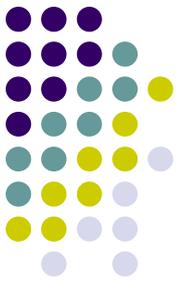
- a) detecção de objectos.
- b) identificação de objectos.
- c) sua análise.

- A **detecção** determina apenas a presença ou ausência de algo. Por exemplo, numa imagem de uma área agrícola ocupada por campos de cereais, pode detectar-se a presença de objectos inconsistentes com o aspecto deste tipo de vegetação.

- A **identificação** ocorre quando está disponível informação suficiente para se perceber que esses objectos são, por exemplo, árvores.

- A **análise**, se tiver informação suficiente, p.ex. consegue detectar que são sobreiros, ou até mesmo qual o seu estado fisiológico ou fitossanitário. Grosseiramente, pode dizer-se que para se passar da detecção à identificação, é preciso triplicar a resolução espacial, e desta para a análise, melhorá-la dez ou mais vezes.

4.1 Conceitos de resolução dos dados de detecção remota – resolução espacial.



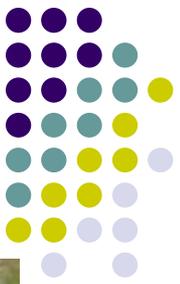
Ikonos color image of Cuernavaca, Mexico, 1m de resolução espacial

4.1 Conceitos de resolução dos dados de detecção remota – resolução espacial.



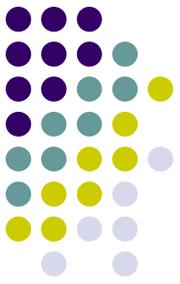
Imagem Landsat 7 (bandas 7-4-1) dos Himalaias no Norte da Índia a, 15m de resolução espacial,

4.1 Conceitos de resolução dos dados de detecção remota – resolução espacial.



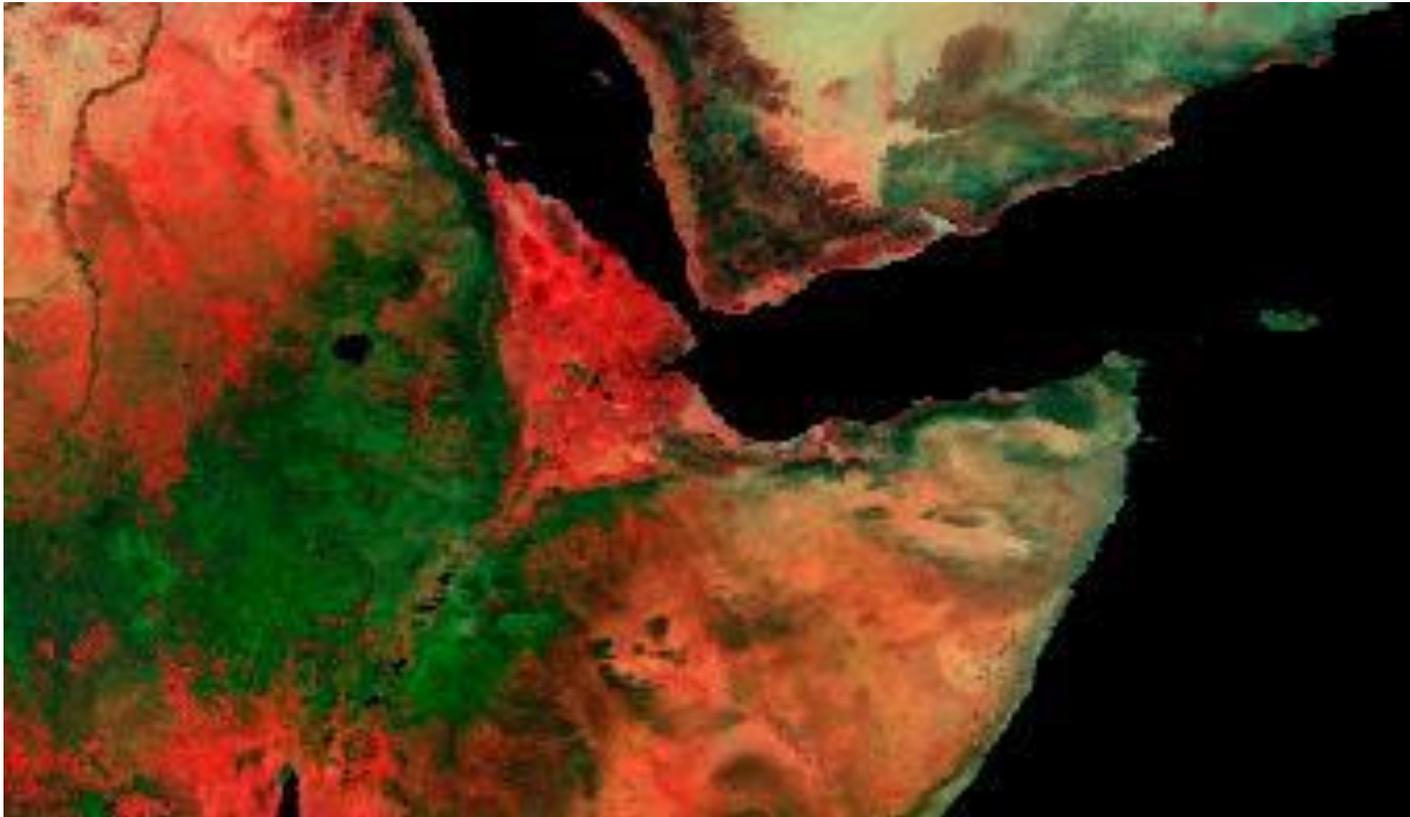
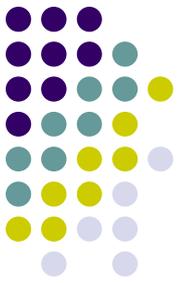
Portugal, entre Peniche e o Alqueva. Imagem MODIS AQUA, 5.9.2007, 250m de resolução espacial

4.1 Conceitos de resolução dos dados de detecção remota – resolução espacial.



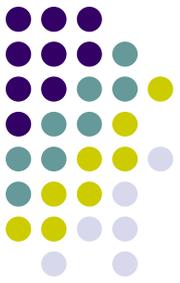
Portugal, entre Peniche e o Alqueva. Imagem MODIS AQUA, 5.9.2007, 1000m de resolução espacial.

4.1 Conceitos de resolução dos dados de detecção remota – resolução espacial.



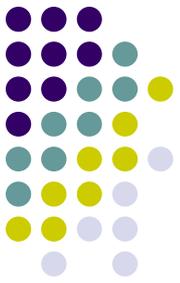
O “Corno de África”, Dezembro de 1998, imagem AVHRR PAL, 8km de resolução espacial.

4.2 Conceitos de resolução dos dados de detecção remota – resolução espectral e radiométrica.



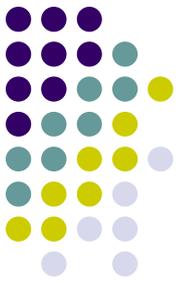
- A **resolução espectral** dum instrumento de DR é determinada pela **largura das bandas usadas pelos vários canais**. Elevada resolução espectral corresponde, portanto, ao uso de numerosas bandas estreitas, que representam uma amostragem mais densa da função contínua de reflectividade dum alvo. Deste modo consegue-se produzir uma assinatura espectral mais rigorosa de objectos discretos do que recorrendo a bandas mais largas.
- A **resolução radiométrica** é o número de níveis distintos, ou discretos, em que um sinal pode ser dividido. A amplitude dinâmica dum sensor é a diferença entre o valor digital correspondente ao nível de radiância que satura o sensor e o número digital correspondente à ausência de sinal. Em termos de imagem, a resolução radiométrica é **o número de tons de cinzento discerníveis entre o preto e o branco**, correspondentes aos casos extremos.

4.2 Conceitos de resolução dos dados de detecção remota – resolução espectral e radiométrica.



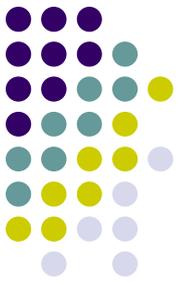
- O limite prático da resolução radiométrica é ditado pela **razão sinal / ruído** do instrumento e pelo nível de confiança que se pode atribuir à discriminação entre níveis discretos. Em engenharia, o termo razão sinal-ruído (**SNR**) descreve o quociente entre a potência do sinal (a informação com significado) e o ruído de fundo do funcionamento de um instrumento.
- Daqui resultam compromissos inevitáveis no design dos instrumentos. Por exemplo, o uso de bandas espectrais muito estreitas implica que o sensor vai receber uma quantidade muito pequena de energia, com baixo quociente sinal/ruído, o que impõe uma redução de resolução radiométrica do sistema.
- O mesmo acontecerá para uma resolução espacial muito fina, porque um pixel muito pequeno implica de igual modo que foi recolhida apenas uma reduzida quantidade de energia, e logo o quociente sinal/ruído é baixo.

4.2 Conceitos de resolução dos dados de detecção remota – resolução espectral e radiométrica.



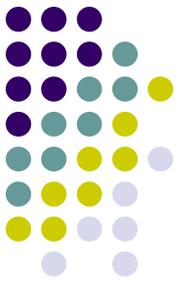
- Em termos práticos: **não podemos ter todas as resoluções simultaneamente altas**, porque o **sensor necessita de uma quantidade mínima de energia** para produzir uma observação fiável da superfície.
- Por exemplo, se queremos um pixel muito pequeno, para observação espacial muito detalhada, provém pouca energia desse pequena área e, portanto, não a vamos poder subdividir num grande nº de tons de cinzento, i.e. perdemos resolução radiométrica, ou então vamos precisar de um canal espectral largo, com pouca resolução.
- Ou, se quisermos grande resolução espectral, isto é um grande nº de canais distintivos, cada um deles cobrindo uma gama muito estreita de λ , estamos a observar um segmento muito restrito do espectro electromagnético, do qual provém muito pouca energia. Por isso, ou precisamos de pixels relativamente grandes, ou de um baixo nº de tons de cinzento, para compensar.

4.2 Conceitos de resolução dos dados de detecção remota – resolução temporal.



- A **resolução temporal** é a frequência com que cada sensor observa o mesmo ponto na superfície. Todos os objectos e fenómenos naturais mudam com o tempo, e muitos dos atributos físicos e culturais das paisagens têm períodos especialmente apropriados para ser observados.
- Isto verifica-se com a fenologia da vegetação terrestre, os "blooms" de algas, as variações de temperatura das correntes oceânicas, ou mesmo acidentes como incêndios florestais e derrames de petróleo. A duração destes períodos pode ser sazonal, ou de apenas alguns dias ou horas mas, em qualquer caso a dimensão temporal pode constituir um discriminante essencial no estudo destes objectos ou processos.
- Como um dos principais objectivos da DR é a **monitorização de alterações** das paisagens, a **resolução temporal é uma consideração importante no design de um sistema de DR**. São especialmente importantes os compromissos entre a dimensão temporal e as outras três dimensões da resolução, que têm levado à construção de sistemas com frequências temporais de cobertura bastante diversas e que se adequam a diferentes tipos de aplicação.

5. Os instrumentos da detecção remota: satélites e sensores.



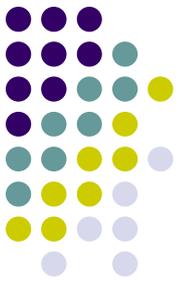
- O veículo transportador dos sensores que fazem a detecção remota chama-se **plataforma**.
- As plataformas típicas são satélites ou aviões, mas podem incluir aviões radio-controlados, balões, escadas de bombeiros, etc, no caso de estudos com base no solo.
- Um satélite com sensores para observar a Terra chama-se satélite de detecção remota, ou de **observação da Terra**. Por vezes, distinguem-se os **satélites meteorológicos** dos outros satélites de observação da Terra.
- Um mesmo satélite pode transportar numerosos sensores, com finalidades muito distintas, como a observação da superfície terrestre, da química da atmosfera, ou de variados aspectos meteorológicos.
- Por isso, é importante não confundir um satélite, com o sensor ou sensores que ele possa transportar. É frequente usar-se uma dupla designação, como **Landsat / Thematic Mapper**, referindo primeiro o satélite e depois um sensor em particular.

5. Os instrumentos da detecção remota: satélites e sensores.



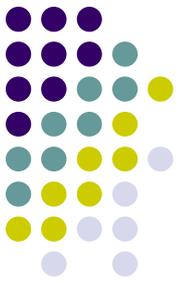
- Actualmente, há numerosos satélites de observação da Terra, incluindo meteorológicos, em uso, de facto demasiados para serem todos aqui referidos.
- A título de exemplo refiro alguns satélites/sensores, ordenados por resolução espacial. Seguidamente, descreverei com mais pormenor alguns destes instrumentos. A **negrito** estão indicados instrumentos com os quais há alguma **experiência de trabalho no DEF/ISA**. Nos coloridos a azul-claro, essa experiência é bastante limitada.
- Quick Bird (< 1m)
- IKONOS (1-4m)
- **SPOT (2.5 – 20m)**
- Landsat (15 – 60m)
- MODIS Terra/Aqua (250m – 1000m)
- ENVISAT / AATSR (1000m)
- SPOT / VEGETATION (1000m)
- NOAA / AVHRR (1100 – 8000m)
- **METEOSAT (2500 – 5000m)**
- **METEOSAT 2nd Generation / SEVIRI (1000 – 5000m)**

5. Os instrumentos da detecção remota: satélites e sensores.



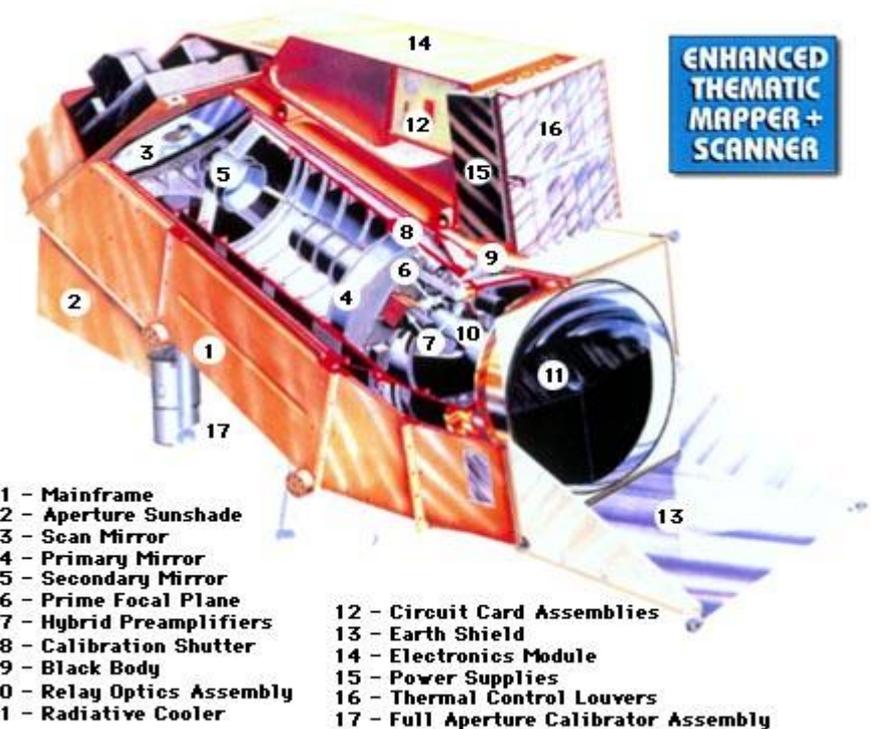
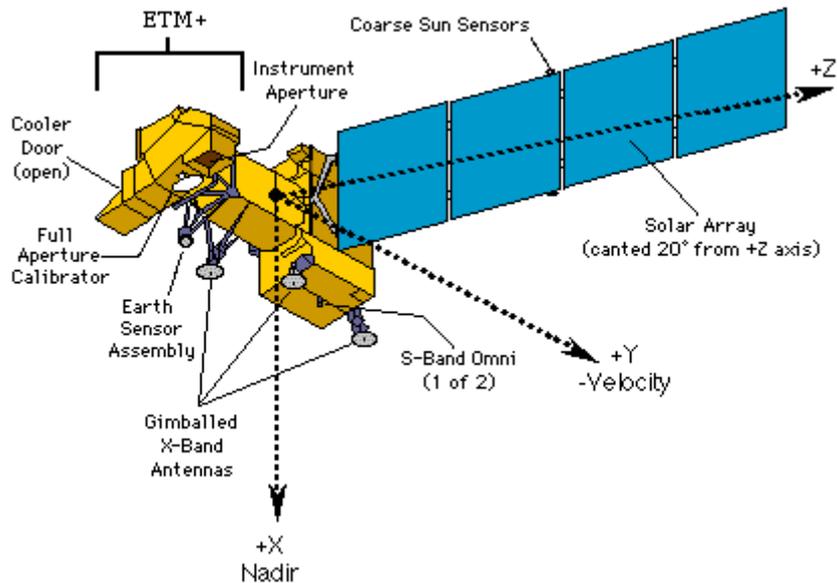
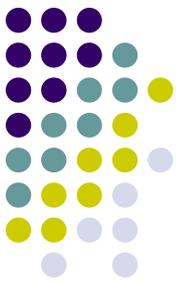
- Destacarei dois instrumentos de relativamente alta resolução espacial, um americano (**Landsat**) e um europeu (**SPOT**).
- Referirei também com algum pormenor dois instrumentos de baixa resolução espacial, também um americano (**MODIS**) e um europeu (**ENVISAT**).
- Estas escolhas reflectem não só a importância intrínseca dos instrumentos, mas também a experiência existente no DEF/ISA no seu uso.
- Mencionarei brevemente uma série de outros instrumentos, sobre os quais podem encontrar muita documentação na WWW.

5.1 Os instrumentos da detecção remota: Landsat

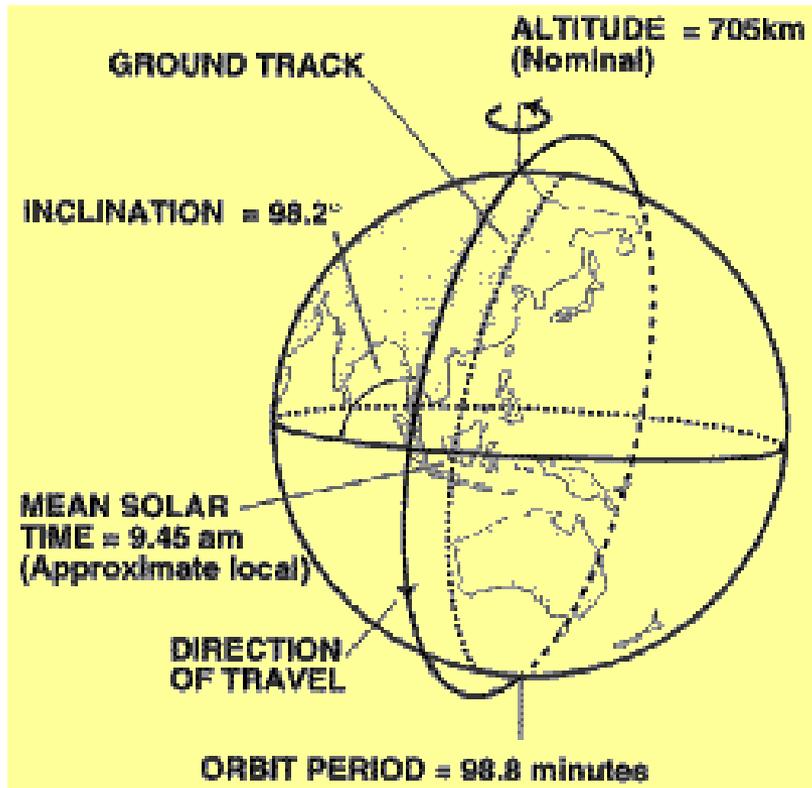


- A origem do programa **LANDSAT** recua a **1967**, quando a National Aeronautics and Space Administration (**NASA**) iniciou o estudo conceptual da viabilidade de uma série de satélites para observação de recursos terrestres, designada por **Earth Resources Technology Satellites (ERTS)**. O satélite ERTS-1 foi lançado em 1972 e manteve-se em funcionamento até 1978.
- Pouco antes do lançamento do segundo aparelho desta série, a NASA alterou a designação do programa para LANDSAT e o ERTS-1 foi rebaptizado retrospectivamente como LANDSAT-1. A totalidade do programa LANDSAT inclui, até ao presente, seis satélites que se costumam classificar em três grupos, os LANDSAT 1-3, os LANDSAT 4 e 5, e o Landsat 7, distintos entre si quanto aos sensores transportados e características orbitais de funcionamento.
- Descrevem-se de seguida alguns aspectos dos satélites **Landsat 5 / Thematic Mapper (TM)** e **Landsat 7 / Enhanced Thematic Mapper (ETM+)**.

5.1 Os instrumentos da detecção remota: Landsat



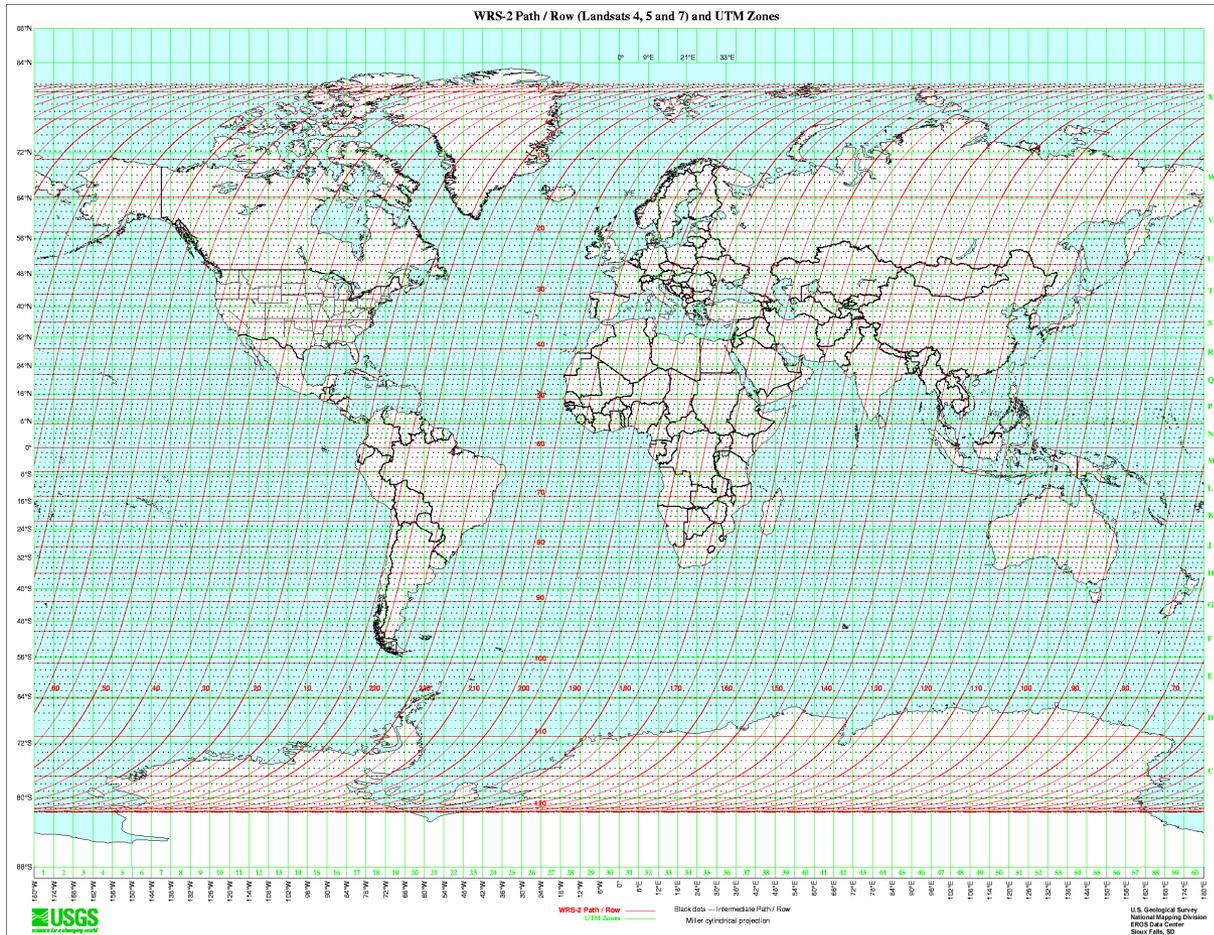
5.1 Os instrumentos da detecção remota: Landsat



• Características orbitais do Landsat 5-Thematic Mapper (TM) e Landsat 7-Enhanced Thematic Mapper (ETM+):

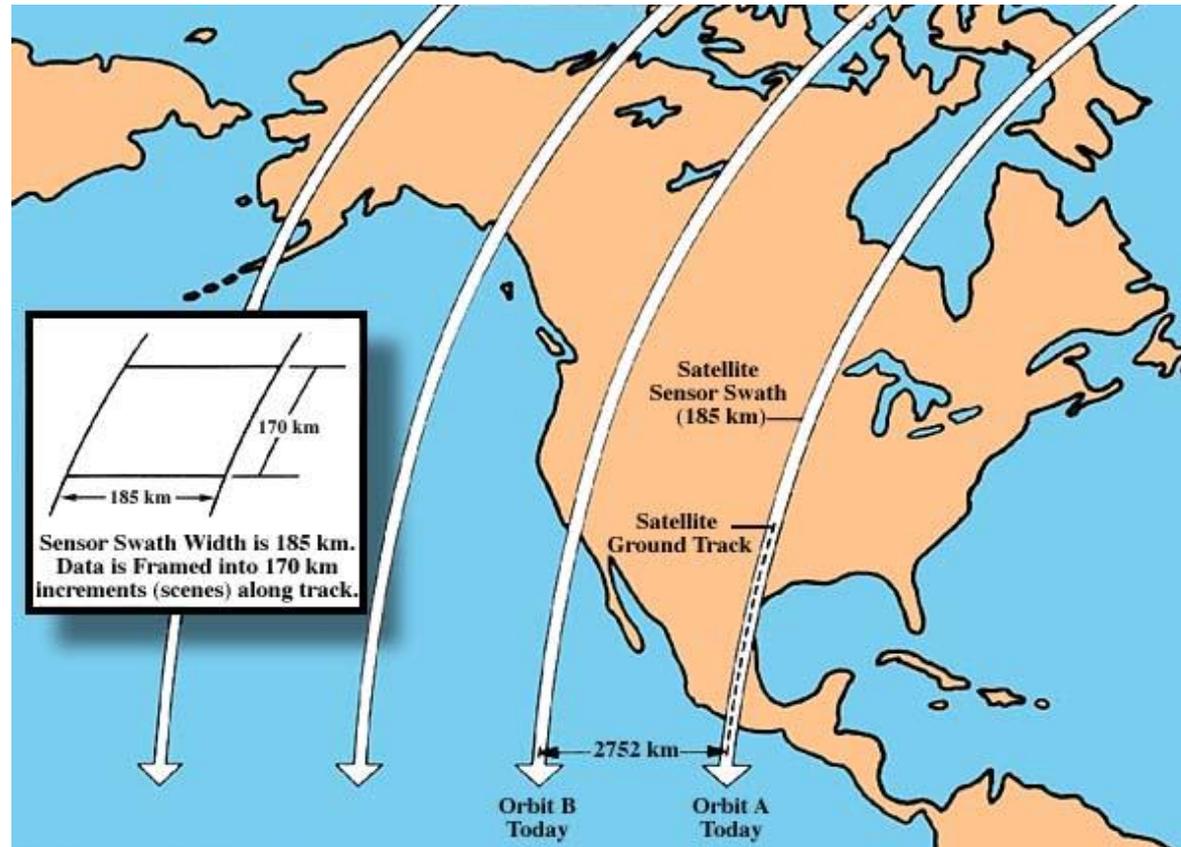
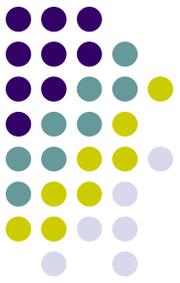
- altitude: 705 km
- inclinação (quase-polar): 98.2°
- período orbital: 98.9 min
- hora local de passagem (heliosíncrona): 9:45AM
- largura do varrimento: 185 km
- ciclo de repetição: 16 dias
- dimensão da imagem: 185*185km
- distância entre órbitas sucessivas: 2752 km

5.1 Os instrumentos da detecção remota: Landsat



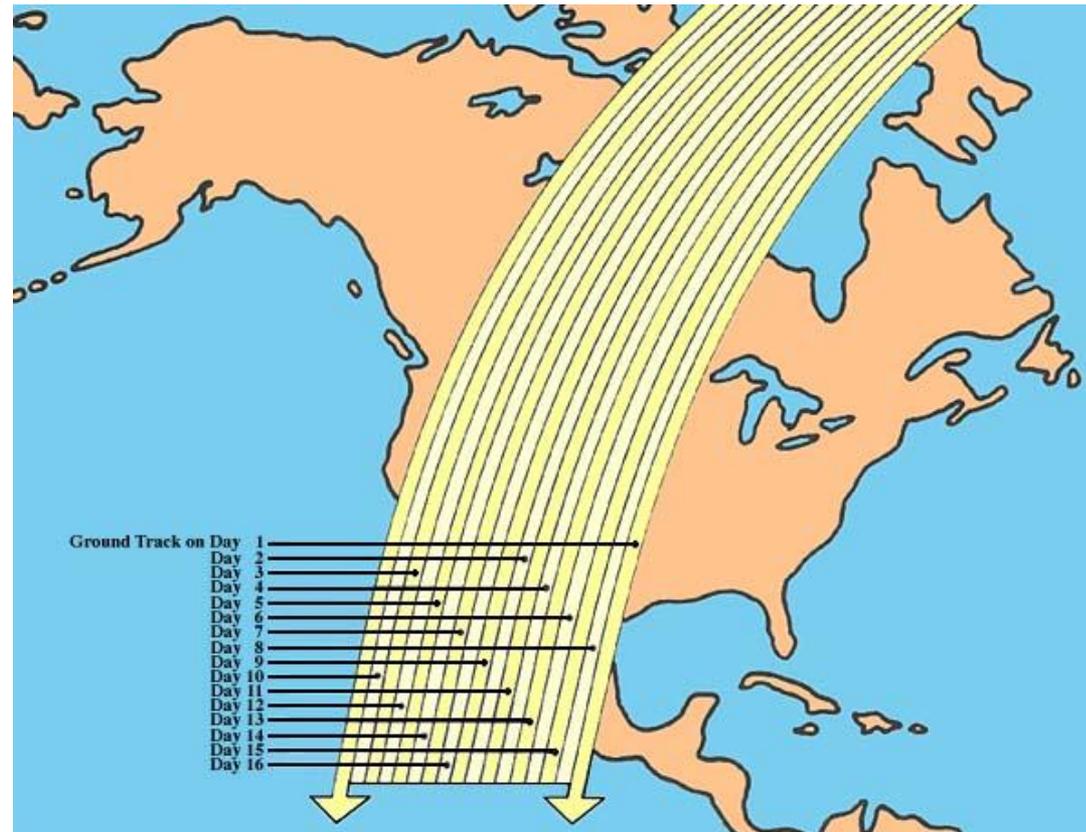
O Sistema Global de Referência (**World Referencing System, WRS**) indexa os centros das órbitas (*paths*, ou fiadas) e das cenas (*rows*, ou linhas) numa sistema de grelha global (diurno e nocturno), que inclui 233 *paths* por 248 *rows*.

5.1 Os instrumentos da detecção remota: Landsat



Largura do varrimento de uma passagem do Landsat, determinando a largura da imagem que é adquirida. A figura mostra também a distância entre varrimentos de órbitas sucessivas.

5.1 Os instrumentos da detecção remota: Landsat



- Exemplificação de cobertura completa de uma região, ao fim de um ciclo de 16 dias, com órbitas intercaladas.

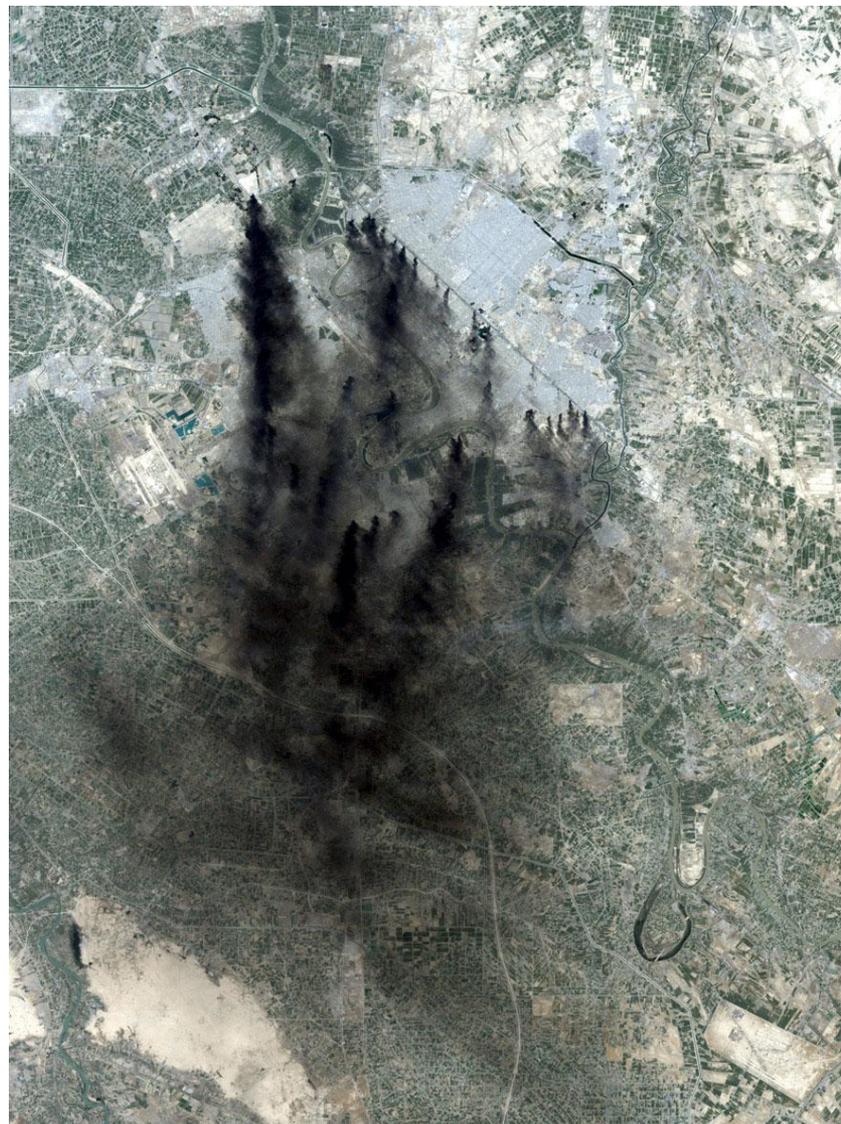
5.1 Os instrumentos da detecção remota: Landsat



Características espectrais e espaciais dos Landsat-5 TM e Landsat-7 ETM+

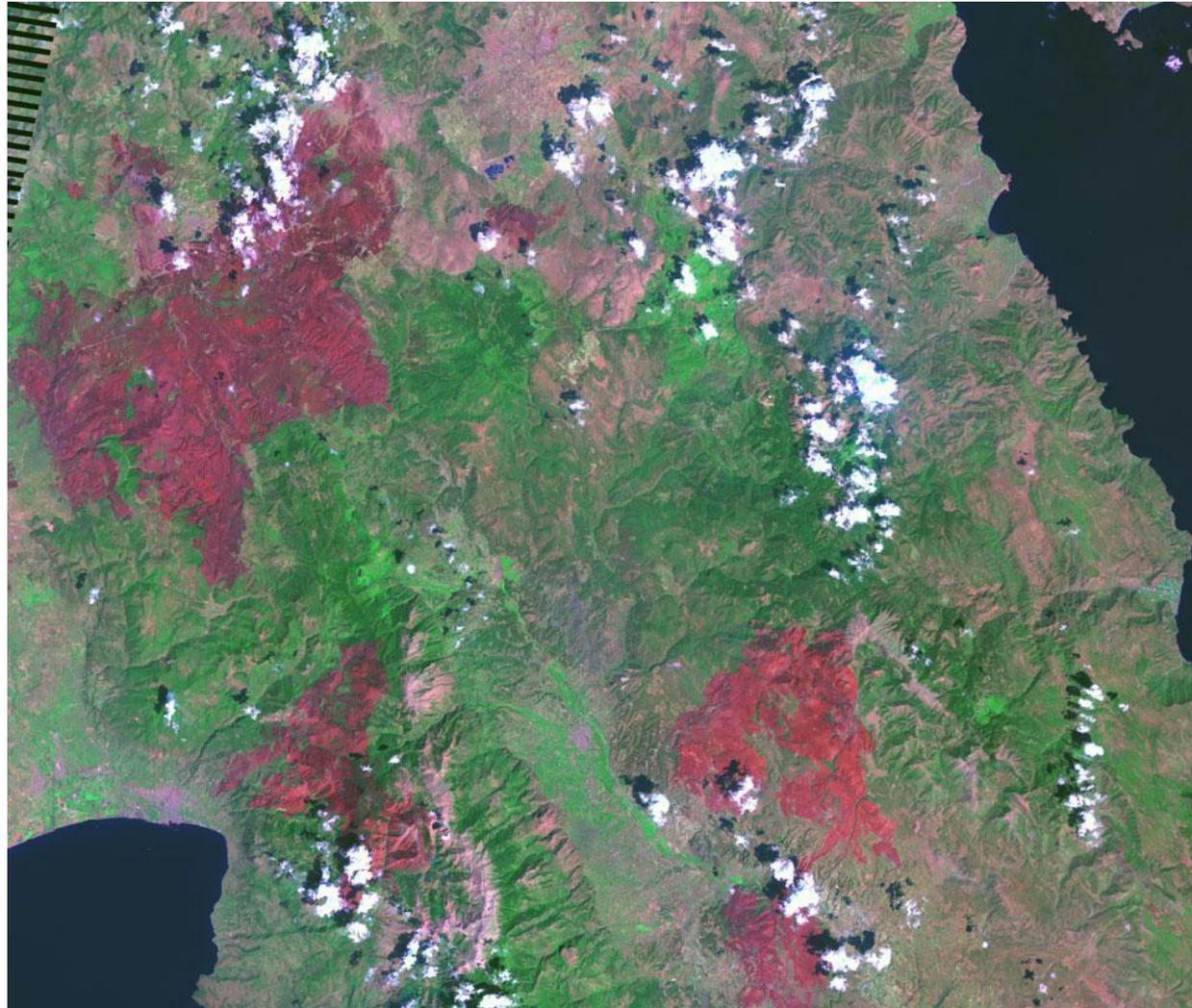
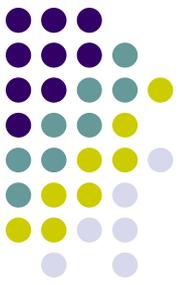
Canal	λ (nm)	Nominal	Aplicações principais e resolução espacial
1	0.45-0.52	Azul	Concebido para penetrar massas de água, cartografia costeira. Discriminação solo/vegetação. Cartografia de tipo de floresta, identificação de estruturas construídas. 30m.
2	0.52-0.60	Verde	Desenhado para medir o pico de reflectância da vegetação verde, para discriminar e avaliar o vigor da vegetação. Também para identificação de áreas construídas. 30m.
3	0.63-0.69	Vermelho	Concebido para detectar a região de absorção pela clorofila, útil para discriminação de grupos de vegetação. Também útil para discriminar áreas construídas. 30m.
4	0.76-0.90	IV próximo	Útil para determinar o tipo e vigor da vegetação, quantidade de biomassa, delineamento de massas de água e discriminação de níveis de humidade no solo. 30m.
5	1.55-1.75	IV médio	Indicativo dos teores de humidade da vegetação e do solo. Também útil para distinguir entre núvens e neve. 30m.
6	10.4-12.5	IV térmico	Útil para análise de stress da vegetação, discriminação de níveis de teor de humidade no solo e cartografia térmica (fogo, vulcões). 120m. 60m no ETM+)
7	2.08-2.35	IV médio	Útil para distinguir tipos de rochas e de minerais. Também sensível ao teor de água da vegetação. 30m.
8	0.52 - 0.90	Pancromático	Apropriado para a observação de superfícies construídas e para aumentar a resolução dos outros canais, via fusão de imagens. 15m, só no ETM+.

5.1 Os instrumentos da detecção remota: Landsat



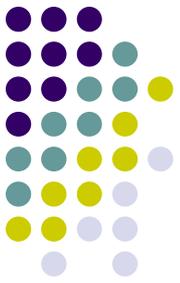
Baghdad, Abril 2003

5.1 Os instrumentos da detecção remota: Landsat



Fogos na Grécia,
Agosto 2007.

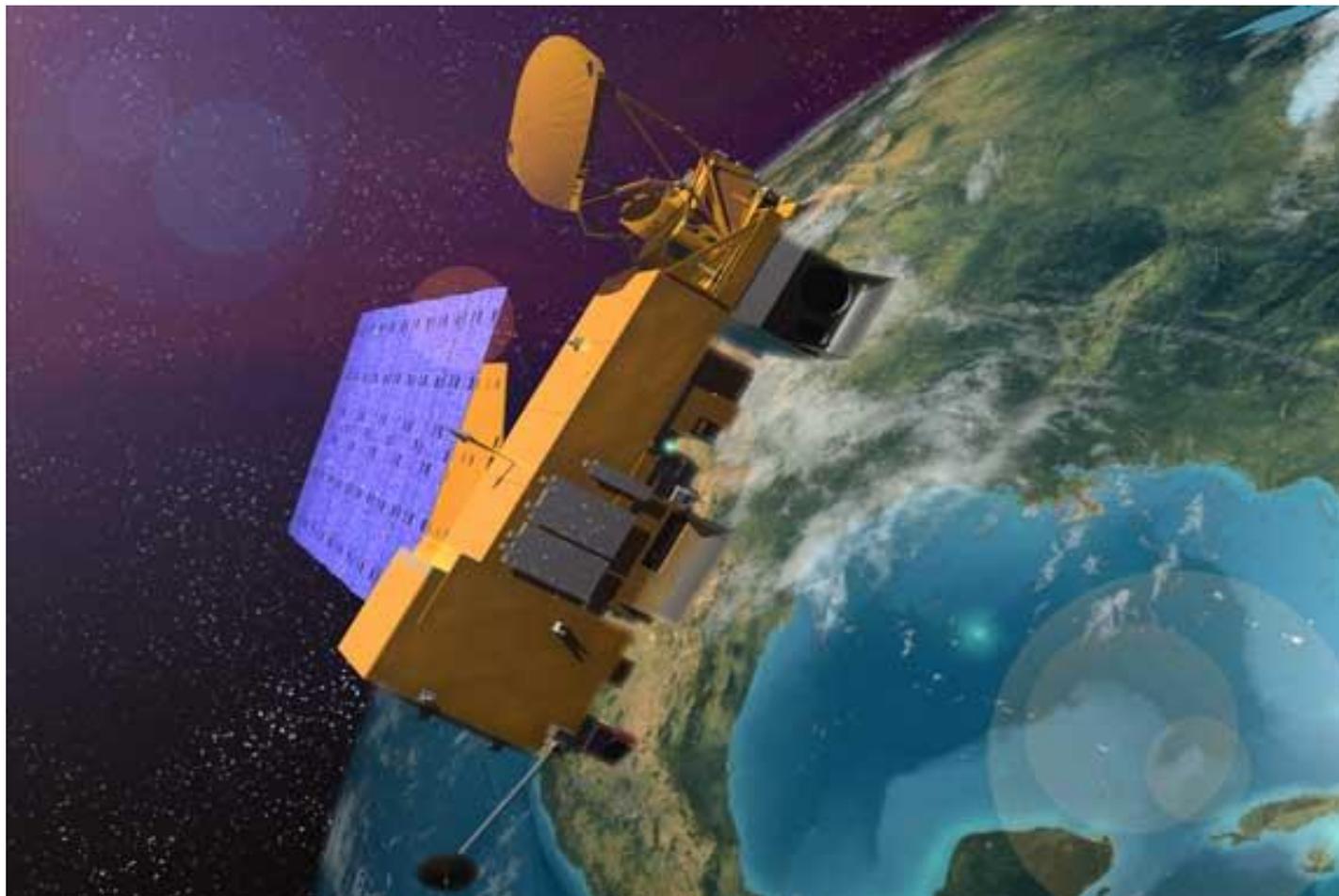
5.1 Os instrumentos da detecção remota: Landsat



**Gosses Bluff,
NT Austrália
2002**



5.3 Os instrumentos da detecção remota: MODIS



5.3 Os instrumentos da detecção remota: MODIS



Uso Principal	Nº de Banda	λ Central λ [nm]	Largura de banda [nm]	Resolução espacial [m]
Terra / Nuvens / Aerossóis / Bordaduras	1	645	620 - 670	250
	2	858.5	841 - 876	
Terra / Nuvens / Propriedades dos Aerossóis	3	469	459 - 479	500
	4	555	545 - 565	
	5	1240	1230 - 1250	
	6	1640	1628 - 1652	
	7	2130	2105 - 2155	
Côr do Oceano / Fitoplâncton / Biogeoquímica	8	421.5	405 - 420	1000
	9	443	438 - 448	
	10	488	483 - 493	
	11	531	526 - 536	
	12	551	546 - 556	
	13	667	662 - 672	
	14	678	673 - 683	
	15	748	743 - 753	
	16	869.5	862 - 877	
Vapor de Água Atmosférico	17	905	890 - 920	
	18	936	931 - 941	
	19	940	915 - 965	

Características
espectrais e
espaciais dos
sensores
**MODIS Terra e
Aqua.**

5.3 Os instrumentos da detecção remota: MODIS



Uso Principal	Nº de Banda	λ Central λ [nm]	Largura de banda [nm]	Resolução espacial [m]
Temperatura da Superfície / Nuvens / Fogos	20	3750	3660 - 3840	1000
	21	3959	3929 - 3989	
	22	3959	3929 - 3989	
	23	4050	4020 - 4080	
Temperatura Atmosférica	24	4465.5	4433 - 4498	
	25	4515.5	4482 - 4549	
Cirros / Vapor de água	26	1375	1360 - 1390	
	27	6715	6535 - 6895	
	28	7325	7175 - 7475	
Propriedades das Nuvens	29	8550	8400 - 8700	
Ozono	30	9730	9580 - 9880	
Temperatura da Superfície / Nuvens	31	11030	10780 - 11280	
	32	12020	11770 - 12270	
Altitude do topo das nuvens	33	13335	13185 - 13485	
	34	13635	13485 - 13785	
	35	13935	13785 - 14085	
	36	14235	14085 - 14385	

Características espectrais e espaciais dos sensores **MODIS Terra e Aqua.**

5.3 Os instrumentos da detecção remota: MODIS



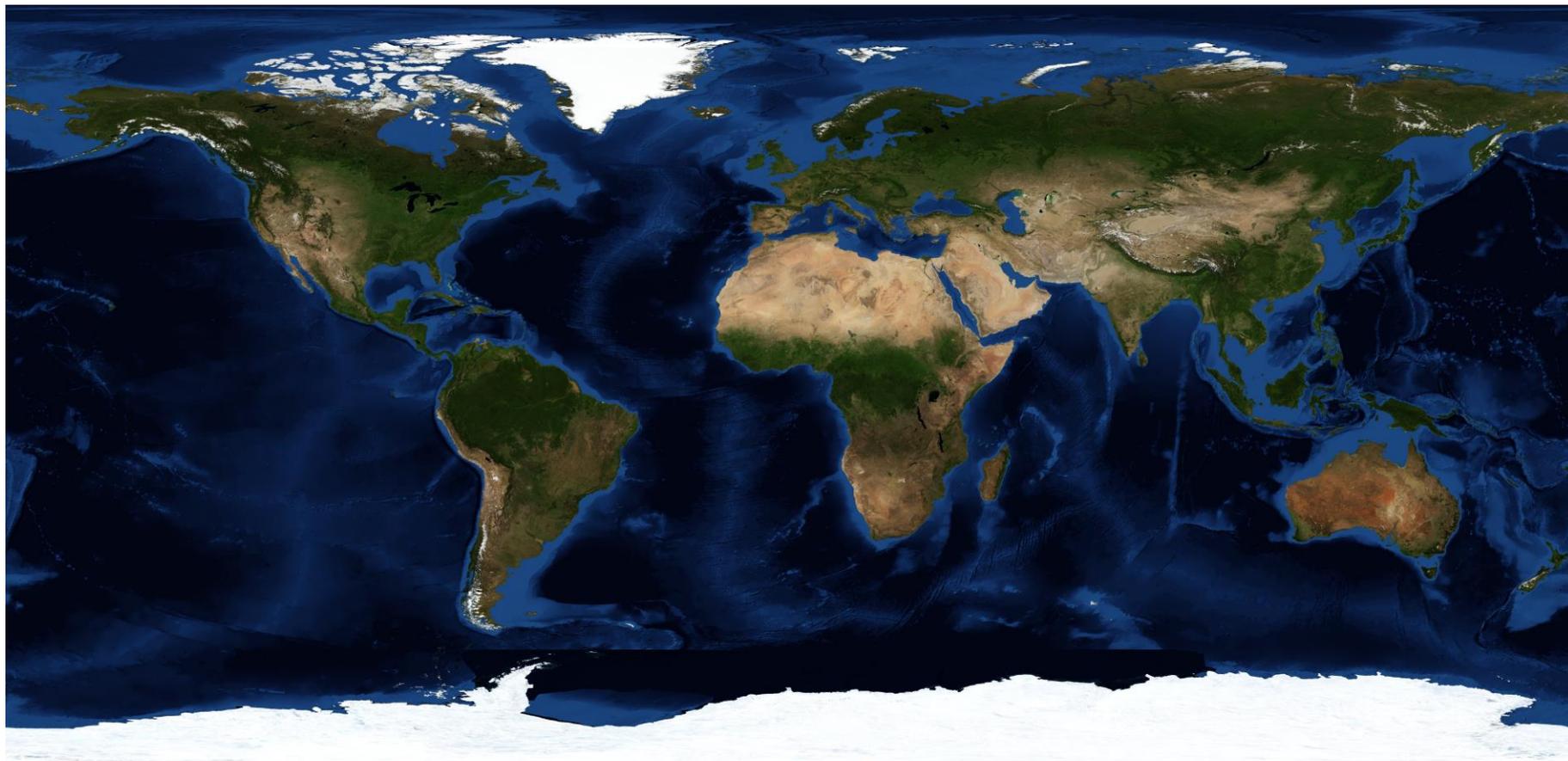
• Características orbitais do MODIS Terra e Aqua:

- altitude: 705 km
- inclinação (quase-polar): 98.2°
- período orbital: 98.8 min
- hora local de passagem
(heliossíncrona): 10:30 AM nodo descendente (Terra)
ou 1:30 PM, nodo ascendente (Aqua)
- largura do varrimento: 2330 km
- ciclo de repetição: 1-2 dias
- dimensão da imagem: 1000km * 1000km

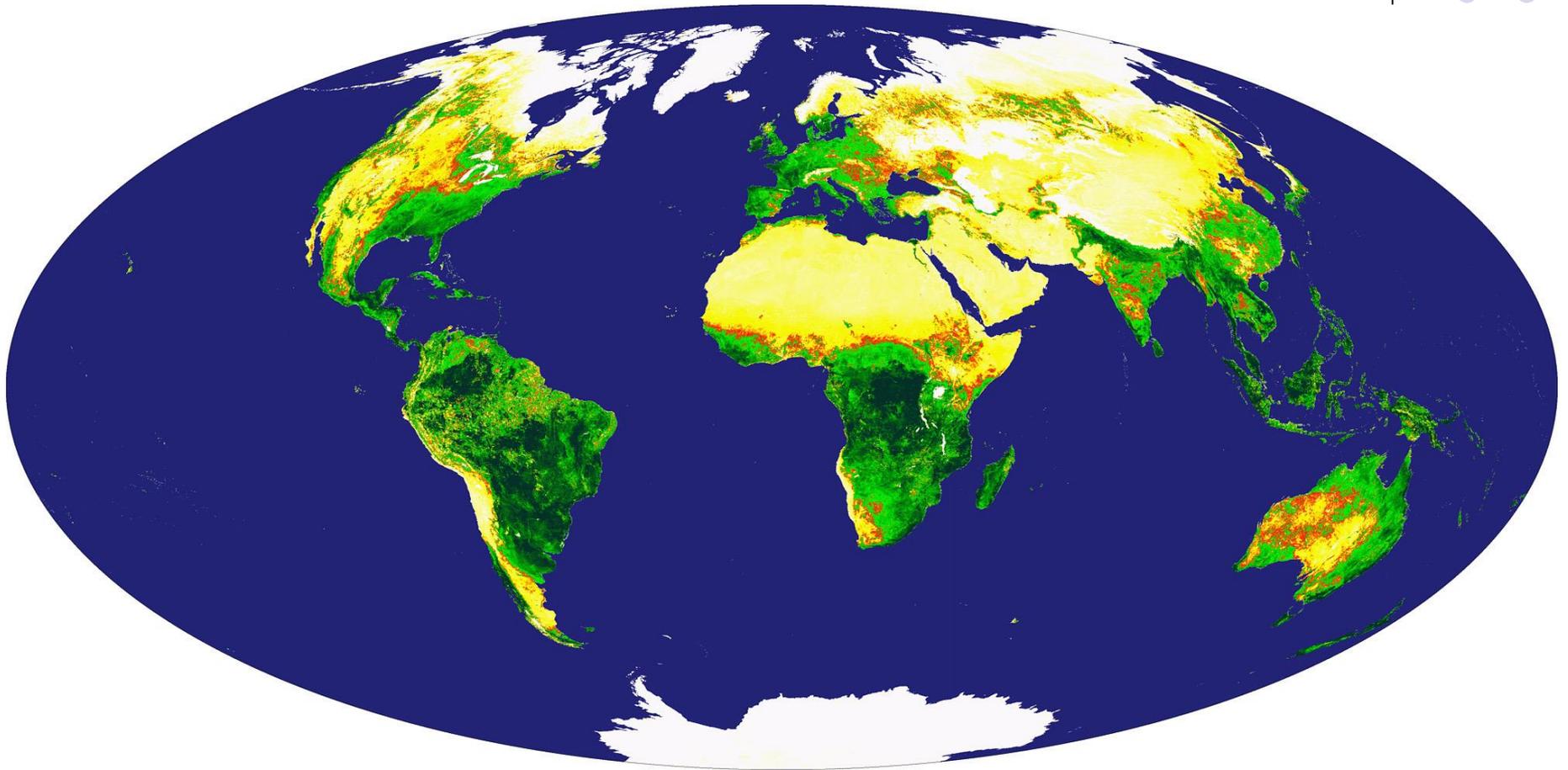
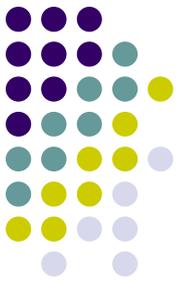
5.3 Os instrumentos da detecção remota: MODIS



5.3 Os instrumentos da detecção remota: MODIS

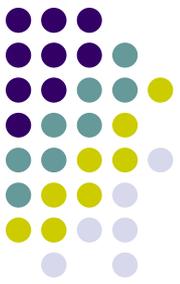


5.3 Os instrumentos da detecção remota: MODIS



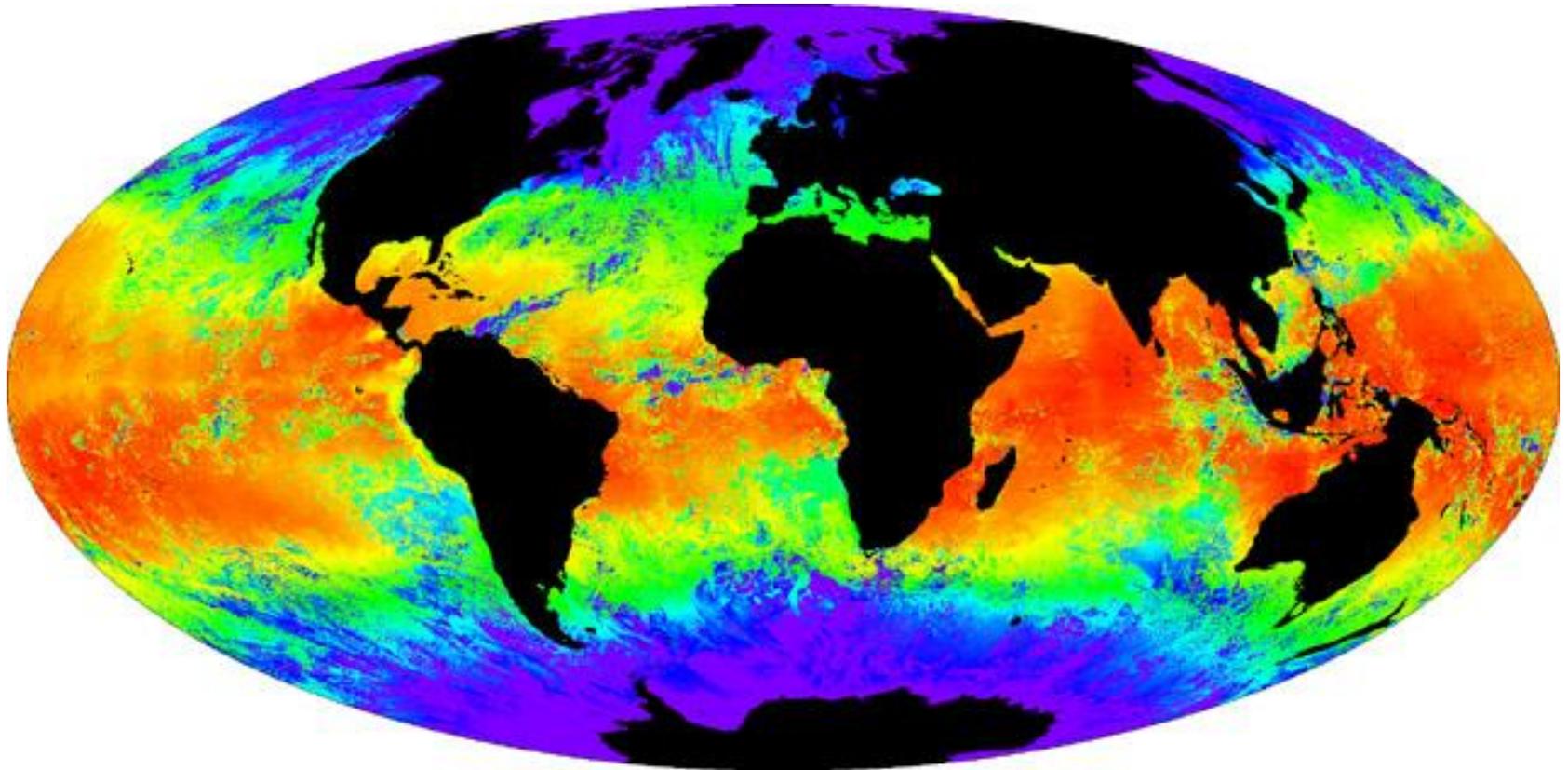
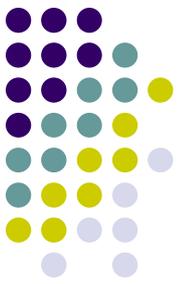
Enhanced Vegetation Index, 4 de Maio de 2000

5.3 Os instrumentos da detecção remota: MODIS



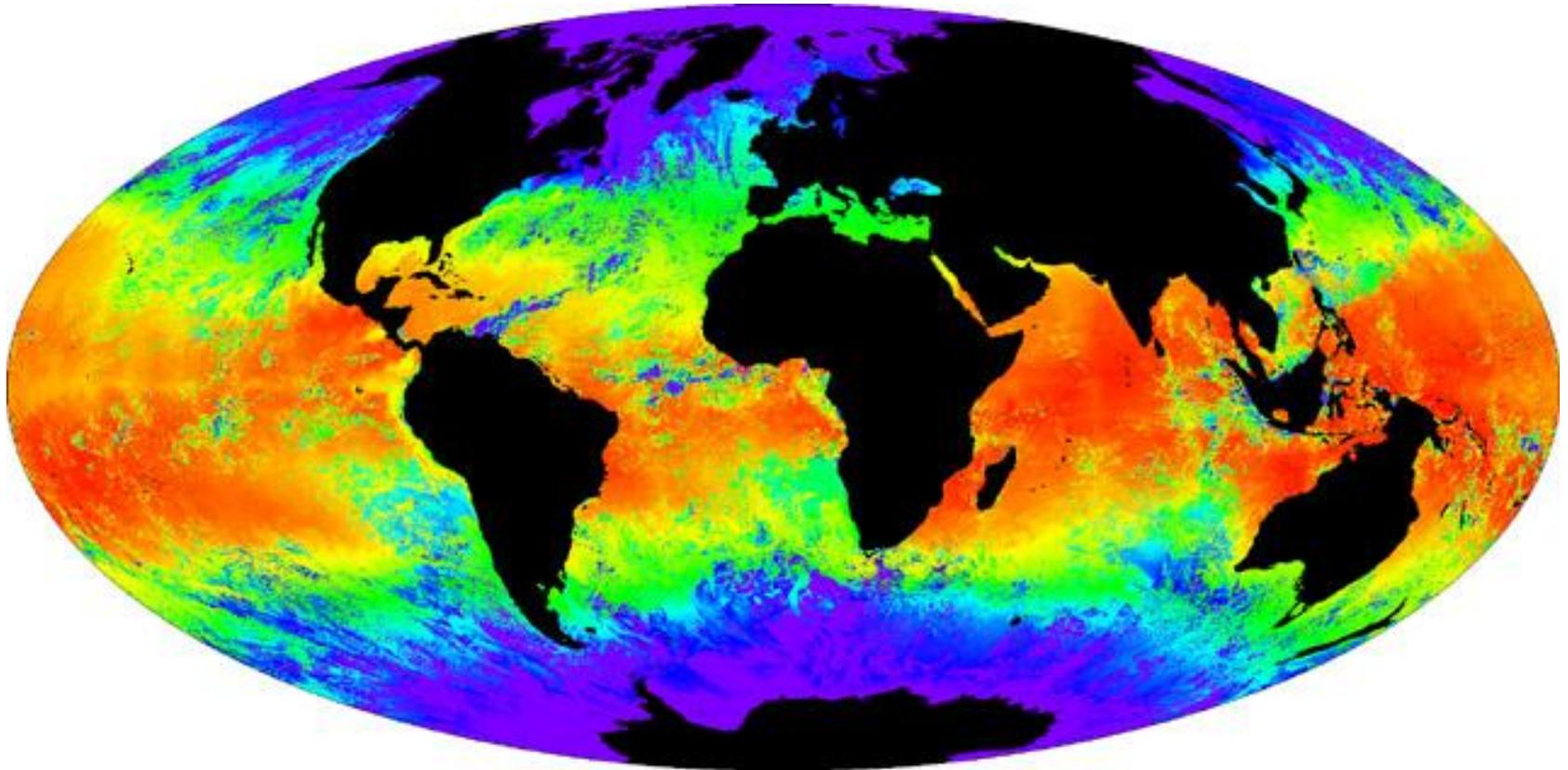
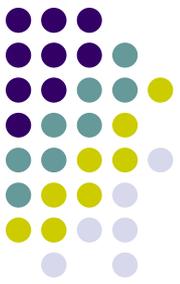
Área foliar total nos EUA, 1 de Junho de 2000

5.3 Os instrumentos da detecção remota: MODIS



Temperatura de superfície da água do mar, 18 de Abril de 2000

5.3 Os instrumentos da detecção remota: MODIS



Temperatura de superfície da água do mar, 18 de Abril de 2000