

Ecologia Energética

O ambiente energético da biosfera

Ricardo Motta Pinto-Coelho



Bases Teóricas

Energia: É a capacidade de realizar trabalho. Esta capacidade pode-se manifestar sob várias formas: radiação eletromagnética, energia potencial ou incorporada, energia cinética, energia química (dos alimentos) e calor.

1ª Lei da Termodinâmica: (Conservação da energia) A energia pode ser transformada de um tipo em outro, mas não pode ser criada nem destruída. Exemplos destas transformações: luz em calor, energia potencial em cinética.

2ª Lei da Termodinâmica: (Lei da Entropia, S) Nenhum processo que implique numa transformação energética ocorrerá espontaneamente, a menos que haja uma degradação de energia de uma forma concentrada numa forma mais dispersa (ou desorganizada). Assim sendo, nenhuma transformação de energia é 100% eficiente. A entropia (S) é uma medida de energia não disponível, que resulta das transformações energéticas. Sua variação é sempre positiva em qualquer transformação.



O sol emite energia eletromagnética cujo comprimento de onda vai de centenas de metros até valores inferiores a 10^{-10} metros. No entanto, cerca de 99% desta energia concentra-se num espectro limitado a 0.15-4.0 :m. A luz visível restringe-se entre 0.40-0.70 :m (4000-7000 Å).

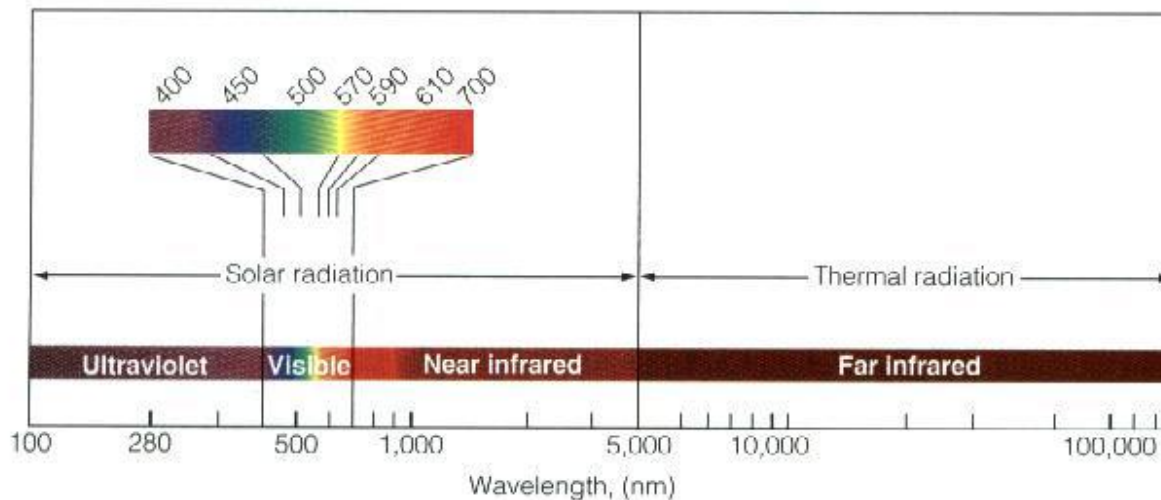


Figure 5.1 A portion of the electromagnetic spectrum, separated into solar and thermal radiation. Wavelengths on a spectrum are bunched irregularly. Ultraviolet, visible, and infrared light waves represent only a small portion of the spectrum. To the left of ultraviolet radiation are X rays and gamma rays (not shown).

A luz violeta tem um comprimento de onda (λ) igual a 0.43 :m e a radiação na faixa do infravermelho tem 0.76 :m de comprimento de onda. Radiações com comprimentos de onda abaixo do ultravioleta são designadas por raios: raio gama, raio X e raios cósmicos. Radiações de comprimentos de onda superiores ao infra-vermelho são tradicionalmente designadas por ondas: ondas de radar, ondas de rádio e ondas hertzianas. Estas ondas possuem a capacidade de serem refletidas pela atmosfera. A vista humana é sobretudo sensível ao amarelo e ao verde.



Unidades de Energia

A caloria (cal) é definida como sendo a energia térmica necessária para elevar de 1 °C (a 15 °C) a temperatura de 1 g de água destilada. O joule (j) é a energia de trabalho necessária para elevar 1 Kg a uma altura de 1 metro. O watt é a principal unidade de potência, sendo definido como $1\text{j}\cdot\text{s}^{-1}$ ou $0.239\text{ cal}\cdot\text{s}^{-1}$. Outra unidade de potência muito usada é o cavalo-vapor (horse power, HP), que equivale a 750 watts. O quadro a seguir fornece algumas conversões entre unidades de energia muito utilizadas:

	BTU	kcal	joule	HP	kwh
BTU	1	0.252	1055	0.00039	0.00029
kcal	4.00	1	4180	0.00156	0.0012
joule	0.00095	0.00024	1	3.7×10^{-7}	2.8×10^{-7}
HP	2500	640	2.7×10^6	1	0.75
kwh	3400	860	3.6×10^6	1.3	1

Obs: BTU: *British thermal unity*.



Existe uma constante solar...

A luz solar que atinge o topo da biosfera iluminada terrestre chega a uma taxa constante, a chamada constante solar ($1.94 \text{ cal/cm}^2\cdot\text{min}$ ou 135.3 mW/cm^2). Um máximo de 67% da constante solar ($\sim 1.34 \text{ cal/cm}^2\cdot\text{min}$) pode atingir a superfície terrestre.



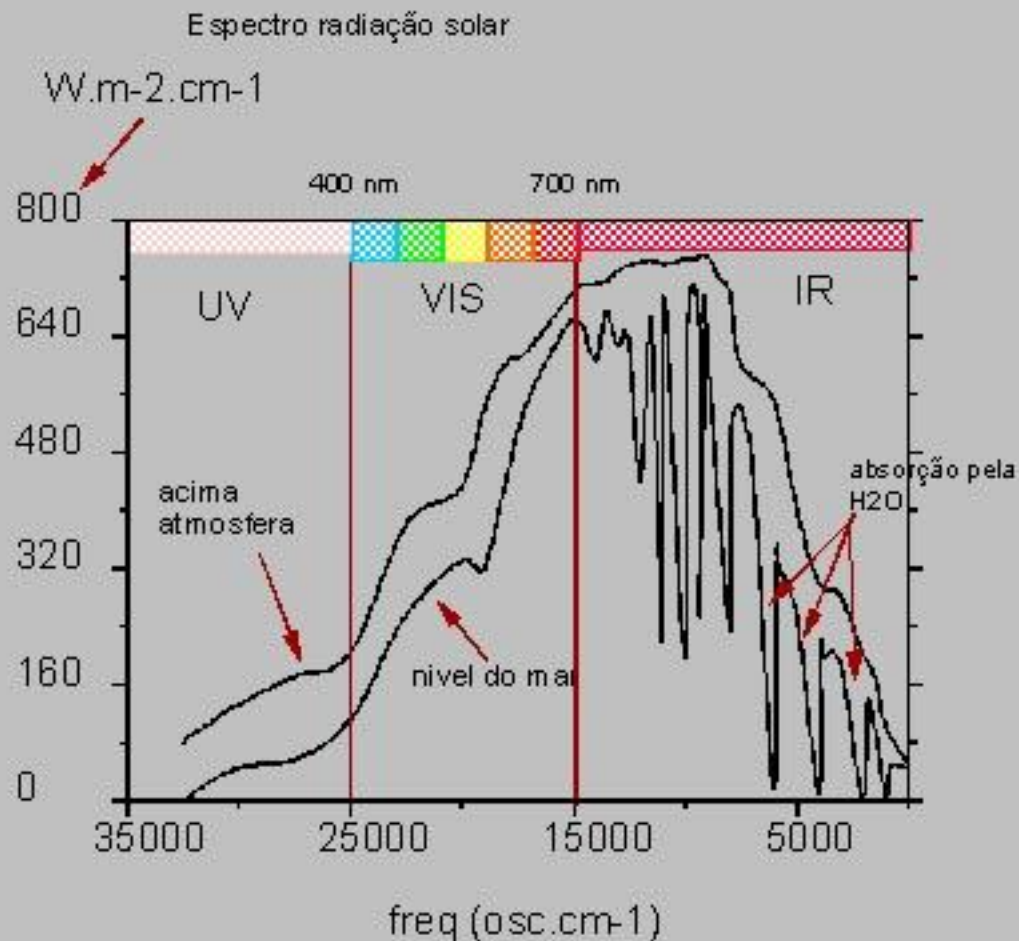


Figure 1 Espectro da radiação solar ao chegar no topo da atmosfera terrestre e ao nível do mar.

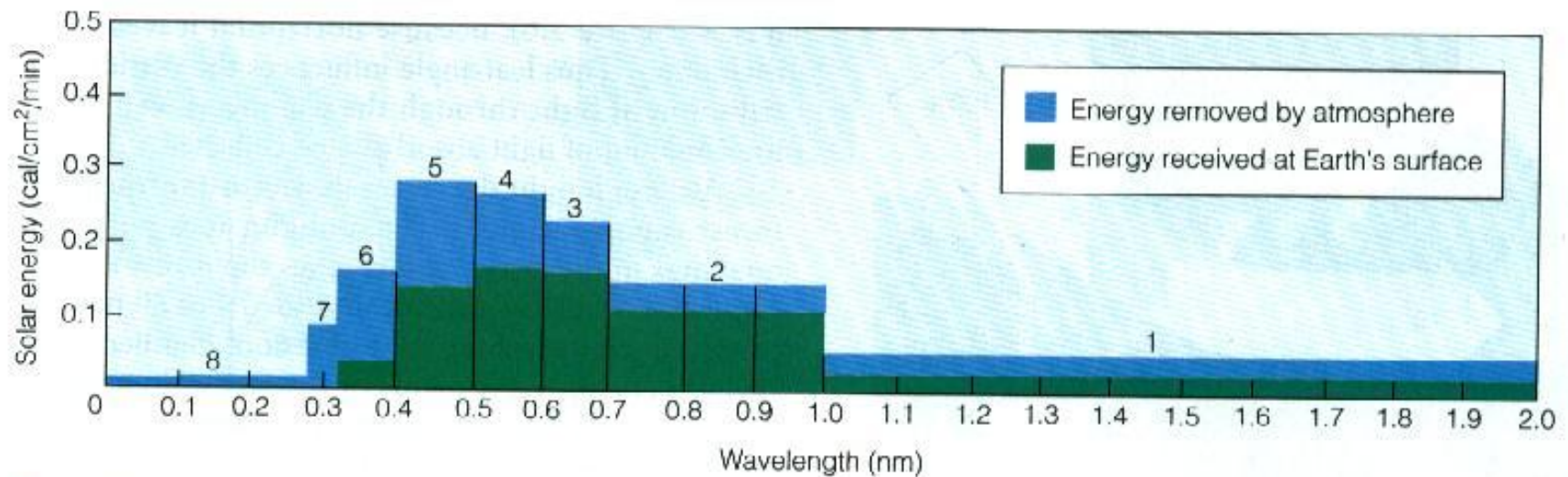


Figure 5.2 Energy in the solar spectrum before and after depletion by the atmosphere, given a solar altitude of 30°. Figures above the bars indicate (1) near infrared wavelengths over 1 micron; (2) near infrared, 0.7–1.0 μ ; (3–5) visible light; (3) red; (4) green, yellow, and orange; (5) violet and blue; (6–8) ultraviolet. Note the strong reduction in ultraviolet. Nearly all the ultraviolet wavelengths are absorbed by the ozone. The region of peak energy shifts toward the red end of the spectrum. Visible light in the blue wavelength is scattered rather than absorbed, producing the blue light of the sky.



RMPC

& Consultores em Recursos Hídricos

Energia Radiante e o espectro da luz solar

Quase toda a energia é eletromagnética, sendo uma pequena porção de natureza corpuscular. A energia radiante compõe-se de dois campos: o campo elétrico e o campo eletromagnético e é capaz de propagar-se no vácuo. A energia radiante pode ser tipificada segundo sua quantidade (unidades de energia) e sua qualidade (frequência/comprimento de onda).



A unidade de energia radiante pode ser tipificada segundo sua quantidade (frequência) ou sua qualidade (comprimento de onda). Entre as duas variáveis, temos a relação:

$$v = \frac{1}{\lambda} \quad (4)$$

Toda radiação eletromagnética propaga-se no vácuo a uma velocidade constante ($c = 3.0 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$) que é igual ao produto do comprimento de onda pela sua frequência

$$\lambda \cdot v = c \quad (5)$$



Em 1900, Max Planck enunciou a teoria dos quantas segundo a qual a emissão de energia radiante se faz de forma descontínua, implicando numa estrutura "granular" de energia ou os quanta. A constante de Planck (h) tem um valor provável de 6.625×10^{-34} J.s. A energia de um quantum de luz é igual a um fóton. Quanto menor for o comprimento de onda (λ), maior será sua frequência (ν) e portanto fótons na região do violeta são mais energéticos do que na região do vermelho.

$$E = h \cdot \nu$$

h : Cte. de Planck

ν : numero de ondas/s



Exercício:

Qual é o equivalente molar do azul ($\lambda = 0.45 \mu\text{m}$)

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

$$\nu = 3.0 \times 10^8 \text{ m} / 0.45 \times 10^{-6} \text{ m.s}$$

$$\nu = 6.67 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$$

$$E (\text{fóton}) = h \cdot \nu$$

$$E = 6.625 \times 10^{-34} \text{ J.s} \times 6.67 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$$

$$E = 4.42 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$E (\text{mol}) = 4.42 \times 10^{-19} \text{ J} \times 6.0 \times 10^{23} \text{ mol}$$

$$E (\text{mol}) = 2.65 \times 10^5 \text{ J} = 6.3 \times 10^4 \text{ cal} = 63.4 \text{ Kcal}$$

$$(1 \text{ cal} = 4.18 \text{ J})$$



A radiação solar sofre consideráveis modificações qualitativas e quantitativas ao atravessar a atmosfera terrestre. Tais modificações são influenciadas por vários fatores dentre eles a topografia, a latitude, o clima bem como composição gasosa da atmosfera. A água e o gás carbônico absorvem ativamente a radiação na faixa do infra-vermelho.



A atmosfera e a natureza da radiação solar

Normalmente, percentuais superiores a 50% da radiação incidente no topo da atmosfera terrestre não atingem a superfície terrestre. A dissipação energética relativa da radiação solar ao atravessar a atmosfera está representada na tabela e figura a seguir (Figura 3)



A luz visível é aquela menos afetada quando atravessa a atmosfera. A figura a seguir demonstra que a luz visível é aquela que menos alterações sofre ao passar pela atmosfera.

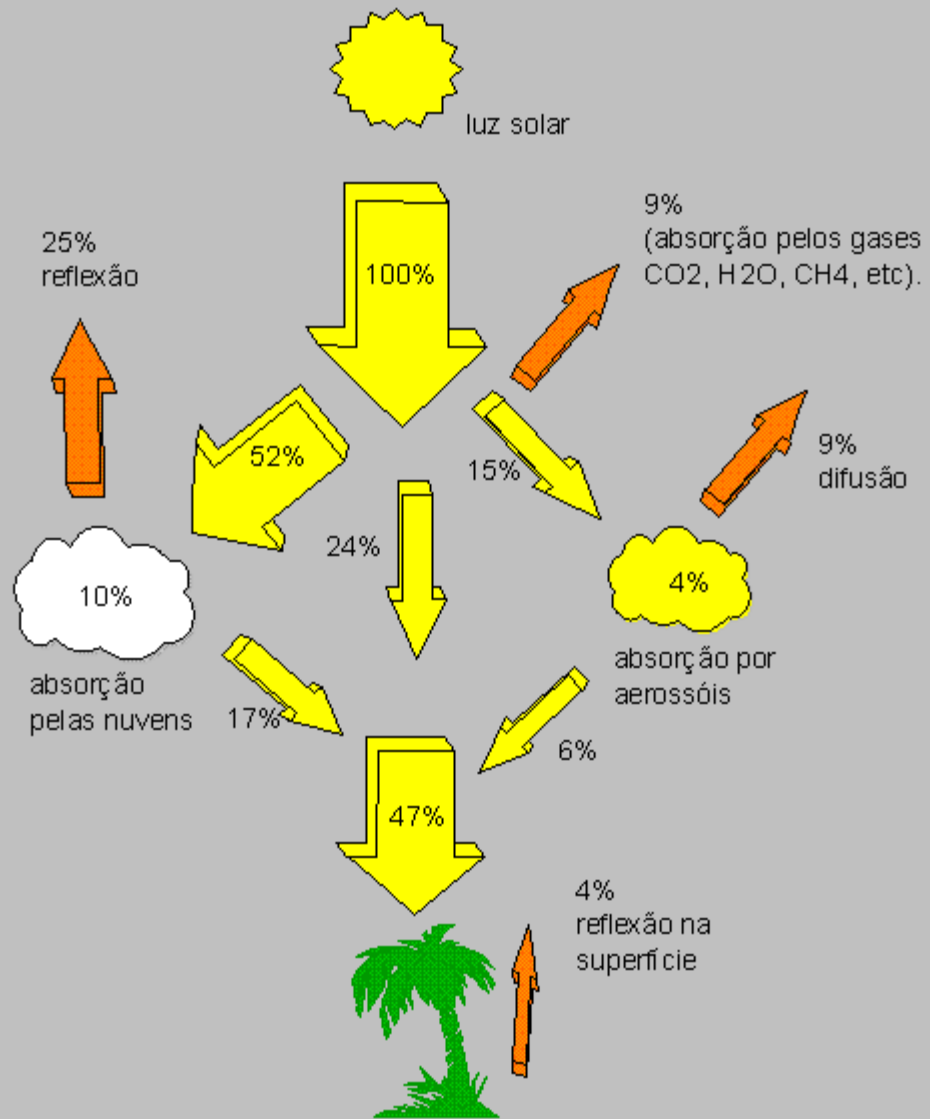
Os totais de radiação infra-vermelha são muito afetados pela composição gasosa da atmosfera, principalmente pelo vapor de água e o CO_2 . Os absorventes gasosos mais importantes da atmosfera são O_2 , O_3 , CO_2 , H_2O , N_2O e CH_4 . O gás carbono, em particular, é capaz de absorver a radiação infra-vermelha de modo muito intenso na faixa de comprimentos de onda que vai de 2.0 a 20.0 μm , enquanto que a molécula de água absorve na faixa de 0.8 a 10.0 μm .

O gradual aumento das concentrações médias atmosféricas de CO_2 ao longo das últimas décadas tem sido associado ao aumento da temperatura média da biosfera, o chamado "efeito-estufa".



Transformações na radiação incidente	%
refletida	30
calor	46
evaporação/ precipitação	23
ventos, ondas e correntes	0.2
fotossíntese	0.8

As diferentes rotas da radiação solar ao atravessar a atmosfera terrestre.



RMPC

& Consultores em Recursos Hídricos

O ozônio absorve quase toda a radiação de ondas curtas ($UV < 0.3 \mu m$) ainda nas camadas altas da atmosfera ($h > 25 \text{ Km}$). Esta radiação é letal para os seres vivos. A composição qualitativa da radiação que chega à superfície num dia típico é apresentada na tabela 1.

Table I Distribuição relativa da radiação incidente sobre a superfície da terra.

Tipo de radiação	percentual (%)
UV ($\lambda < 0.3 \mu m$)	10%
IV ($\lambda > 0.76 \mu m$)	45%
Visível ($0.4 - 0.7 \mu m$)	45%



RMPC

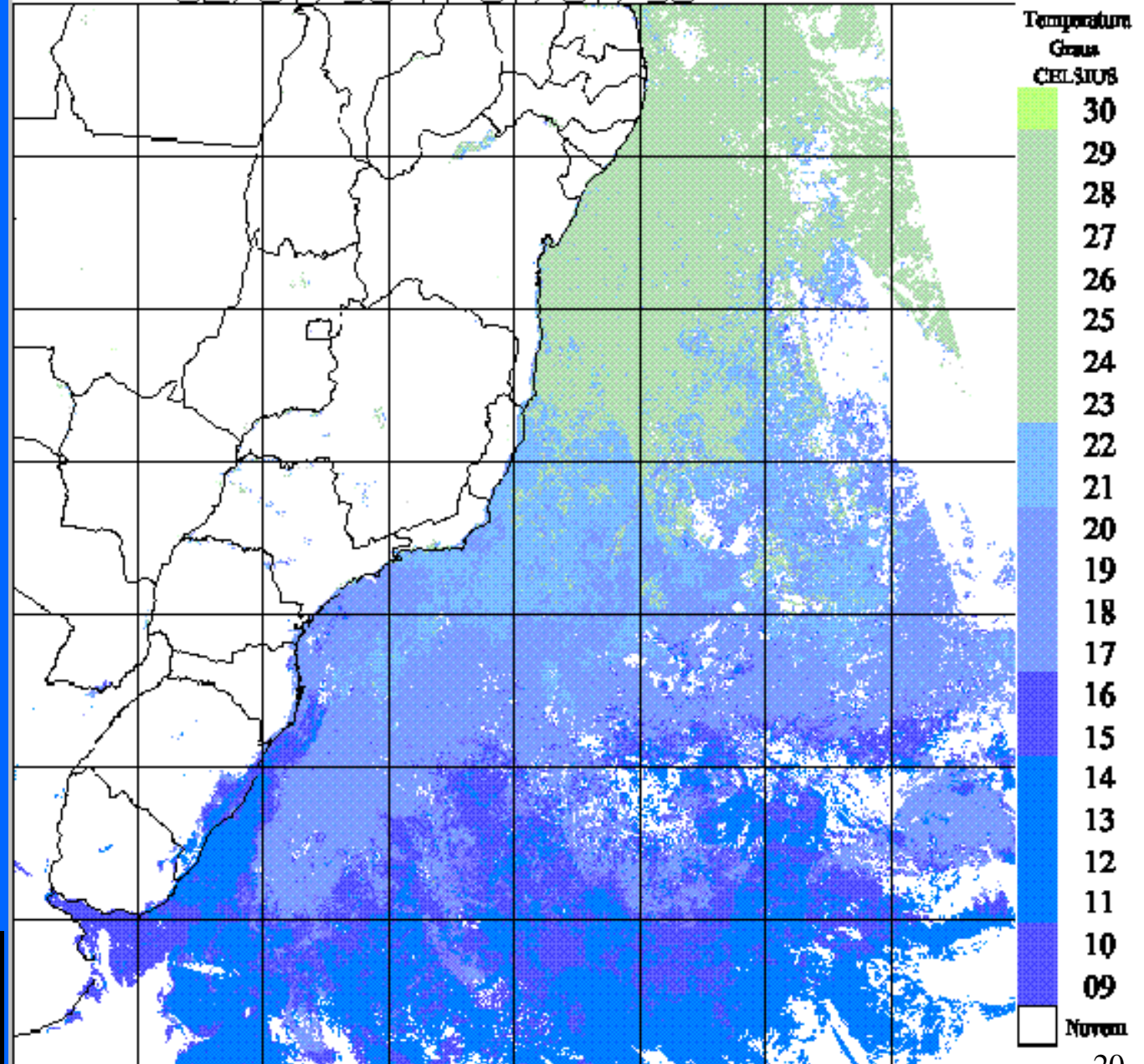
& Consultores em Recursos Hídricos

Latitude e radiação

A latitude exerce uma considerável influência nos totais de radiação recebidos na superfície terrestre. Mesmo nas regiões de baixa latitude, como ao longo da costa brasileira, podemos ver claramente o efeito da latitude no aquecimento da água superficial do oceano Atlântico. Muitos ecólogos que trabalham na região tropical acreditam que a temperatura e a radiação solar (sempre “favoráveis”) não seriam fatores reguladores importantes a serem considerados nas pesquisas. Discuta esse “mito” com os seus colegas e procure referências na literatura especializada validando ou não tal afirmativa.



CPTEC/DSA NOAA-14 TSM MEDIA SEMANAL
22/07/98 A 27/07/98



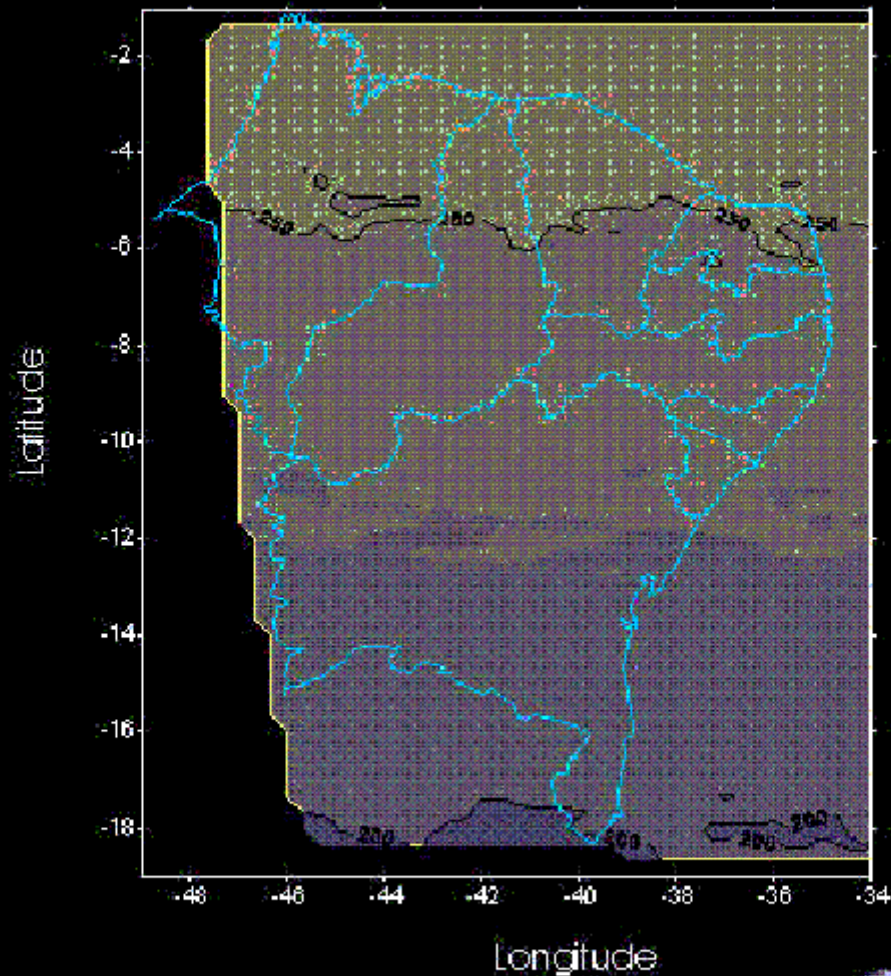
RMPC

& Consultores em Recursos Hídricos



Irradiância solar média em w/m^2 Goes 8 VIS

média mensal de junho



MetSat



RMPC
& Consultores em Recursos Hídricos

Figure 2 Irradiância no nordeste brasileiro em 1998 (imagem cedida pelo INPE - Cachoeira Paulista).

A radiação e a ecologia das plantas



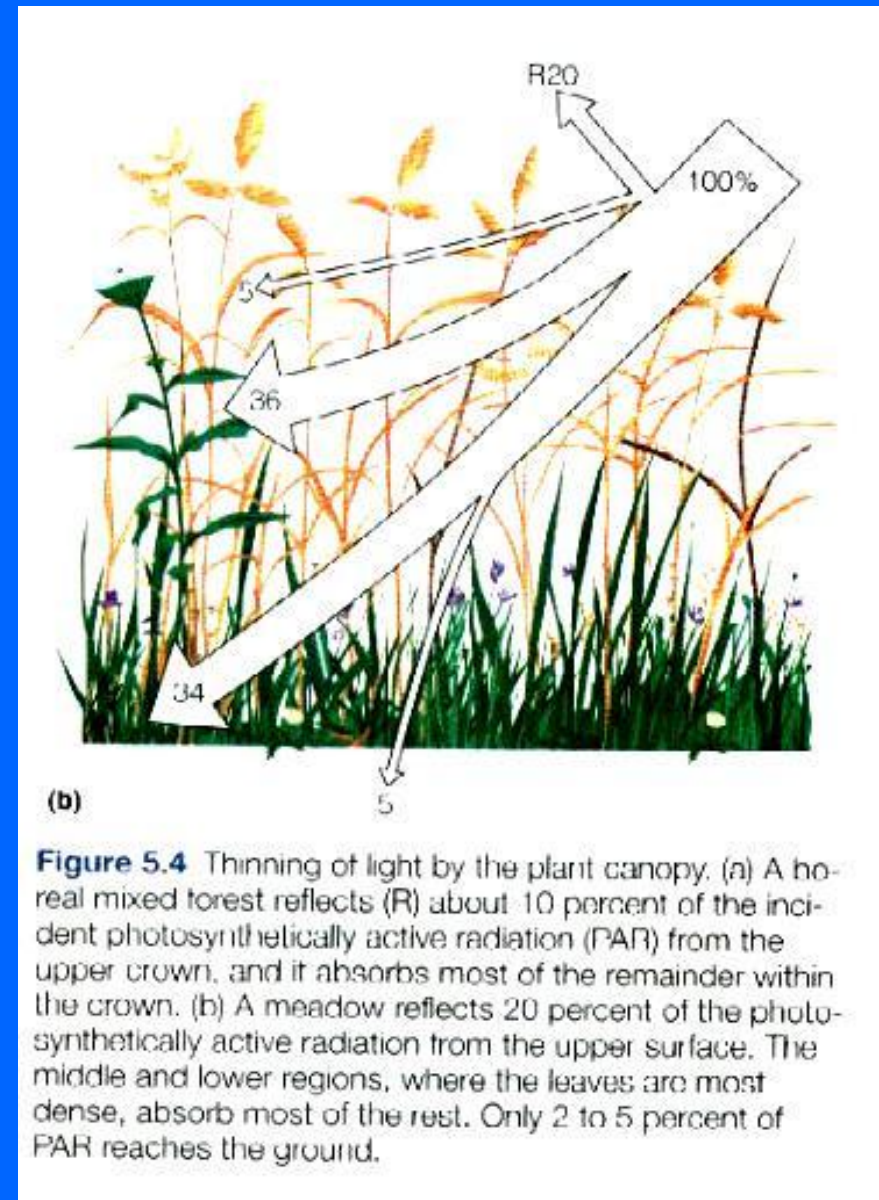
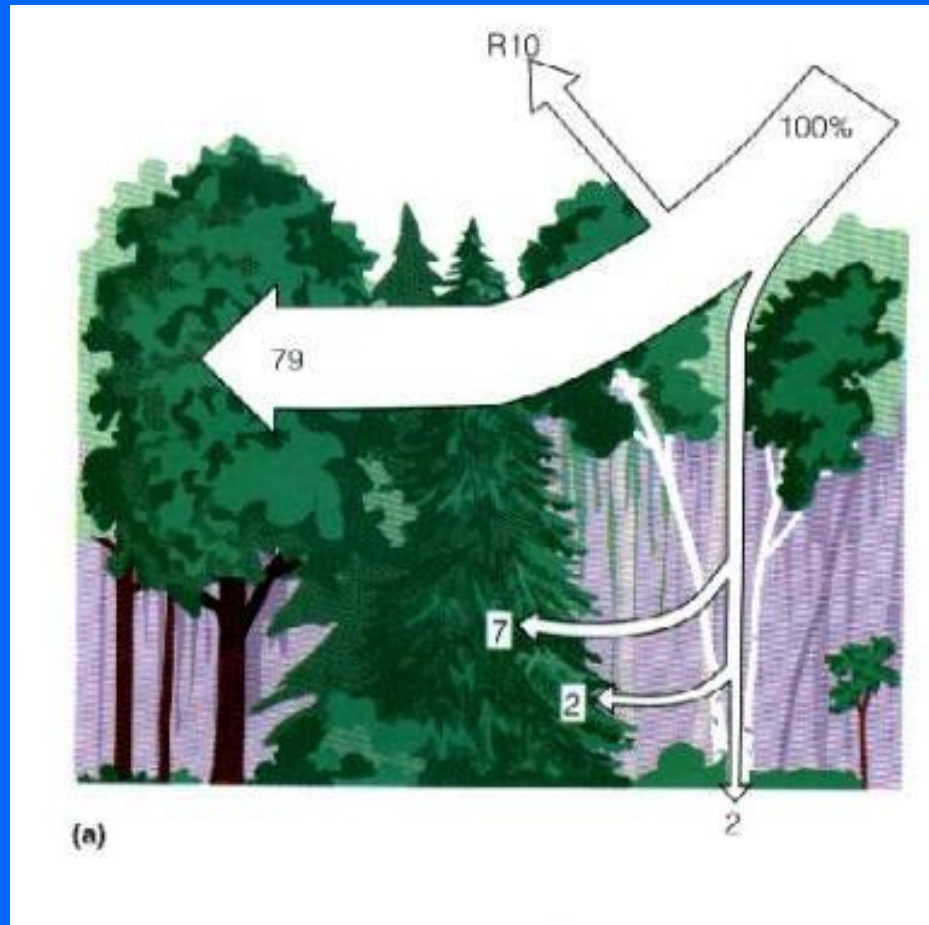


(a)



(b)

Figure 5.12 (a) Wild-flowers, growing in open fields, are sun plants. (b) Woodland ferns are highly shade-tolerant. In midsummer ferns may be the only leafy ground plants visible in the forest.



RMPC

& Consultores em Recursos Hídricos

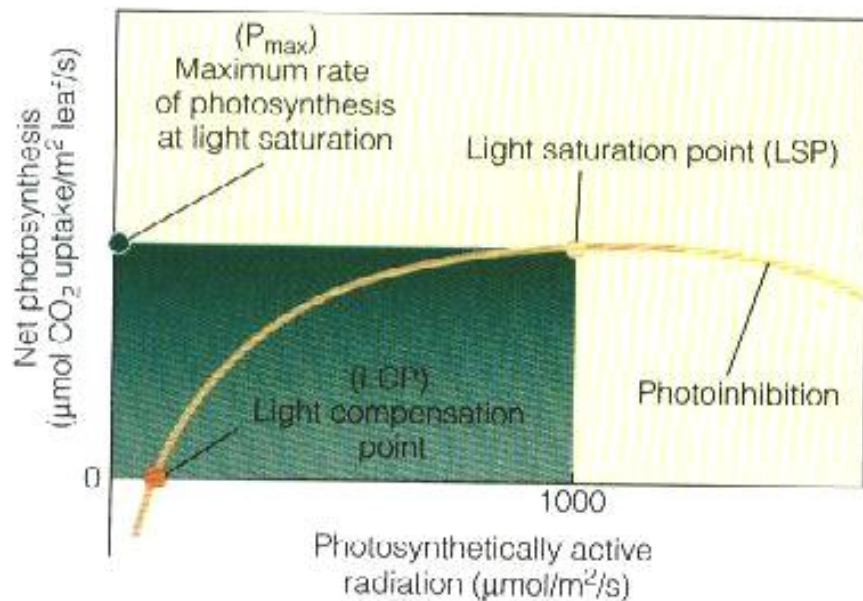


Figure 5.8 Response of photosynthetic activity to available light. The plant increases its rate of photosynthesis as the light level increases up to a maximum rate known as the light saturation point. After this point any increase in PAR results in a decline in photosynthesis or photoinhibition. The light compensation point is the light intensity at which the uptake of CO₂ for photosynthesis equals the loss of CO₂ in respiration.

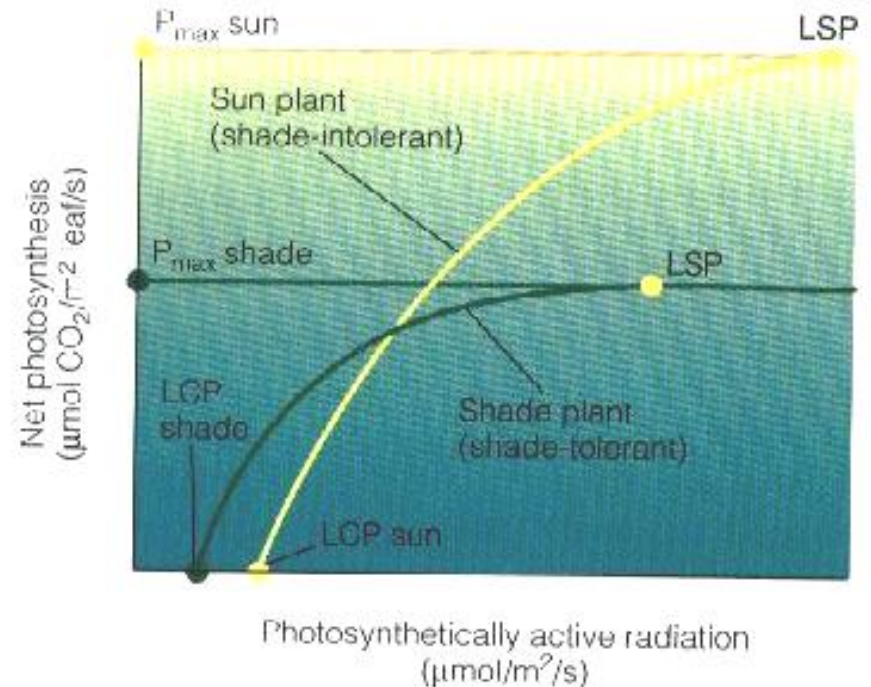
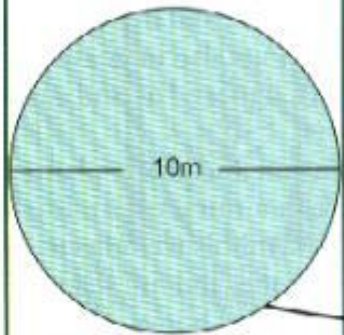


Figure 5.9 Patterns of photosynthetic response to light availability for shade-tolerant and shade-intolerant plants. Shade-tolerant plants have a lower light compensation point and a lower light saturation point than shade-intolerant plants.



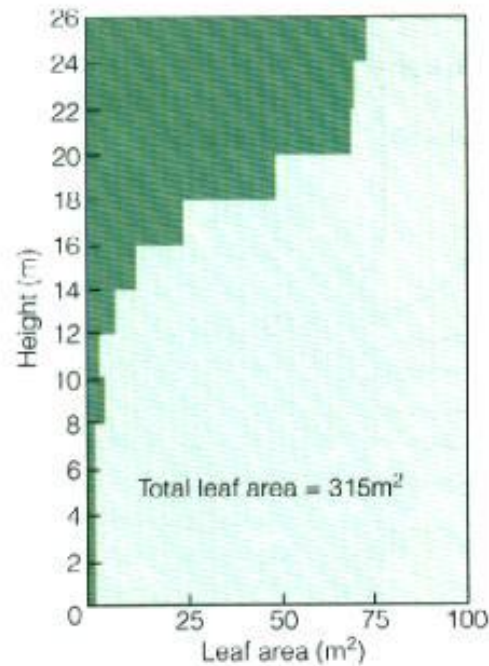
RMPC

& Consultores em Recursos Hídricos

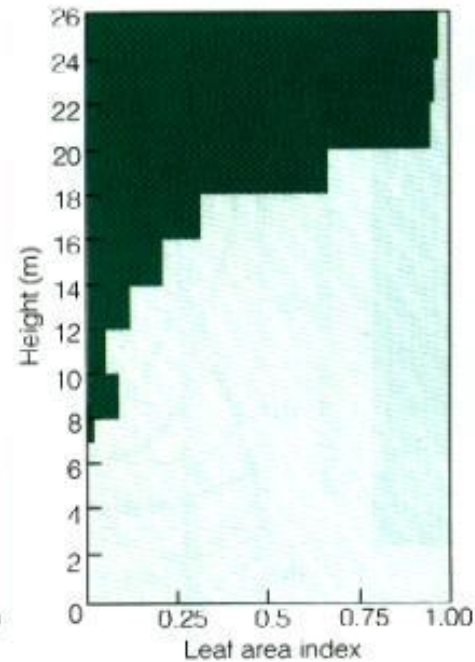


Ground area = $\pi r^2 = 78.5 \text{ m}^2$

(a)



(b)



(c)

$$\text{Leaf area index (LAI)} = \frac{\text{total leaf area}}{\text{projected ground area}}$$

(d)

Figure 5.5 The concept of the leaf area index. (a) A tree with a 10-m wide crown projects the same size circle on the ground. (b) The foliage density of the crown at various heights above the ground. (c) The contributions of layers in the crown to the leaf area index. (d) Calculation of LAI. The total leaf area is 315 m^2 . The projected ground area is 78.5 m^2 . The LAI is 4.

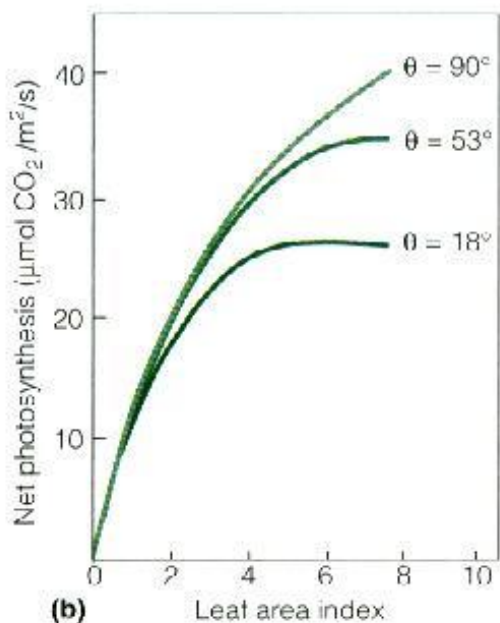


RMPC

& Consultores em Recursos Hídricos



(a)



(b)

Figure 5.6 (a) The sharply angled leaves of corn plants with their high LAI allow dense planting. (b) The relationship of photosynthetic capacity of a barley plant to leaf angle (θ) from the ground surface and to leaf area index.

Respostas de taxa de fotossíntese líquida em função do ângulo foliar e a da área foliar em milho (acima) e resposta da taxa de fotossíntese em função da intensidade de radiação solar em uma planta aquática (marinha) enraizada, *Zostera marina*.

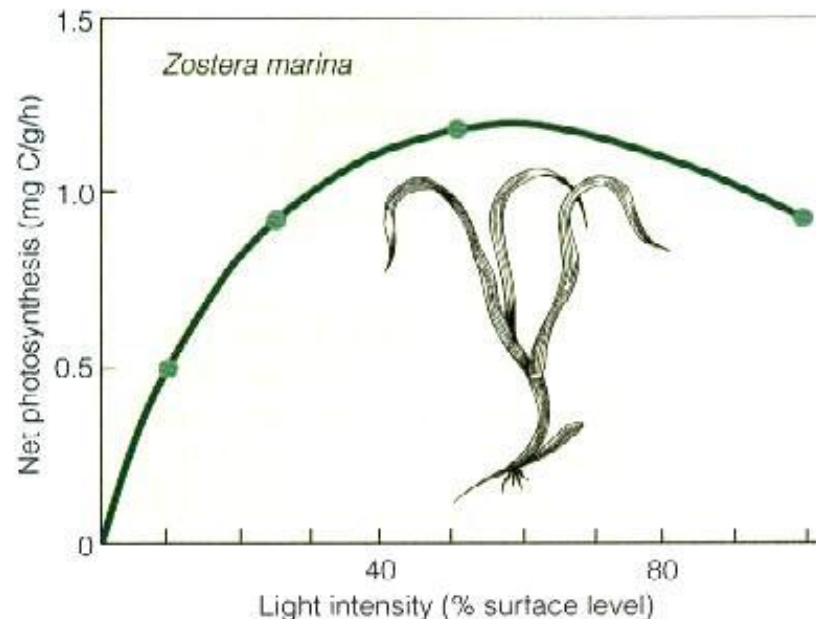
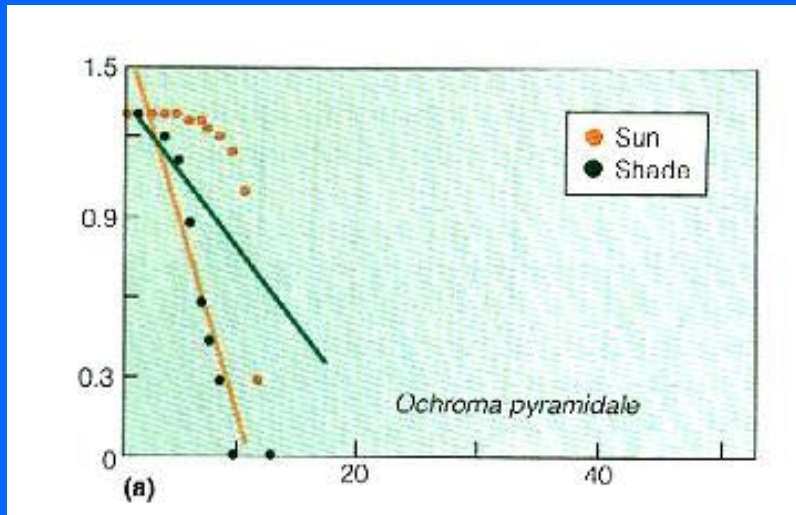


Figure 5.13 Net photosynthesis versus light intensity for the eelgrass *Zostera marina*, which grows in shallow estuarine and coastal waters. Note the inhibition of photosynthesis at higher light intensities.





Taxas de sobrevivência em função do tempo de sementes de três espécies de árvores tropicais submetidas a regimes de sol (linha amarela) e sombra (linha verde). Observar que a espécie *Ochroma pyramidale* é muito intolerante ao sol e as suas sementes não sobrevivem muito quando expostas ao sol.

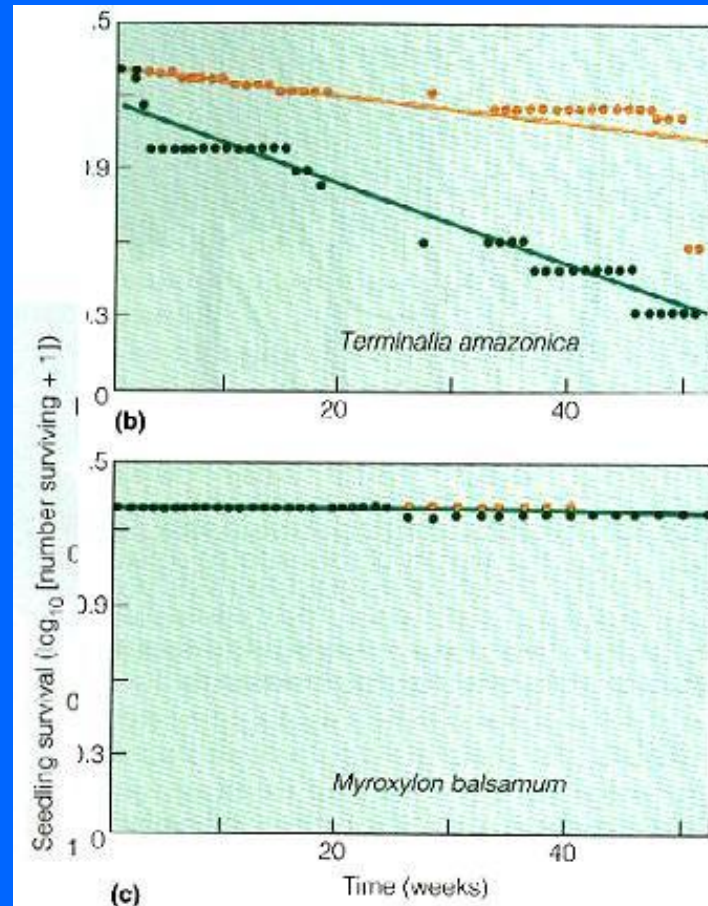


Figure 5.10 Seedling survival during one year in sun and shade for three wind-dispersed tree species on Barro Colorado Island, Panama. (a) *Ochroma pyramidale*, a very shade-intolerant species. (b) *Terminalia amazonica*, which is shade-tolerant but survives better in sun than in shade. (c) *Myroxylon balsamum*, a shade-tolerant species that survives in both sun and shade.



RMPC

& Consultores em Recursos Hídricos

BEER'S LAW AND THE ATTENUATION OF LIGHT

Equations can make a complicated picture easy to grasp. For instance, to describe the reduction, or attenuation, of light through a stand of plants we can use Beer's law:

$$AL_i = e^{-LAI_i k}$$

The subscript i refers to the vertical height of the canopy. For example, a value of $i = 5$ refers to a height of 5 m above the ground. The value AL_i is the light reaching any vertical position i in the stand, expressed as a proportion of the light reaching the top of the plants (a value from 0 to 1.0); e is the natural logarithm; LAI_i is the leaf area index above height i ; k is the light extinction coefficient. The light extinction coefficient is a measure of the degree to which leaves absorb and reflect light.

For the stand of yellow-poplar in Figure 5.7, we can construct a curve describing the available light at any height in the canopy. In Figure A, the light extinction coefficient has a value of $k = 0.6$. We label vertical positions from the top of the canopy to ground level on the curve. Knowing the amount of leaves (LAI) above any position in the canopy, we can use the equation to calculate the amount of light there.

The light levels and rates of light-limited photosynthesis for each of the vertical canopy positions are shown in the curve in Figure B. Light levels are expressed as a proportion of values for fully exposed leaves at the top of the canopy. As you move from

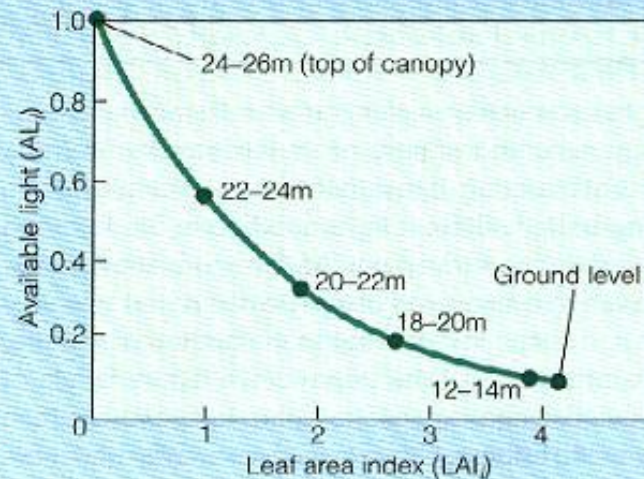


Figure A

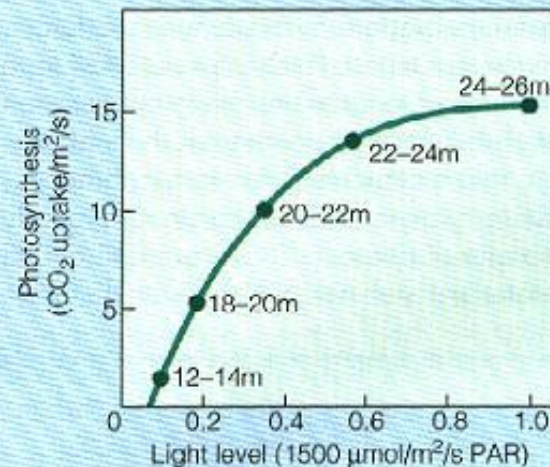


Figure B

the top of the canopy downward, the amount of light reaching the leaves and the corresponding rate of photosynthesis decline.

A radiação nos ambientes aquáticos



A luz se modifica muito ao penetrar na água ...

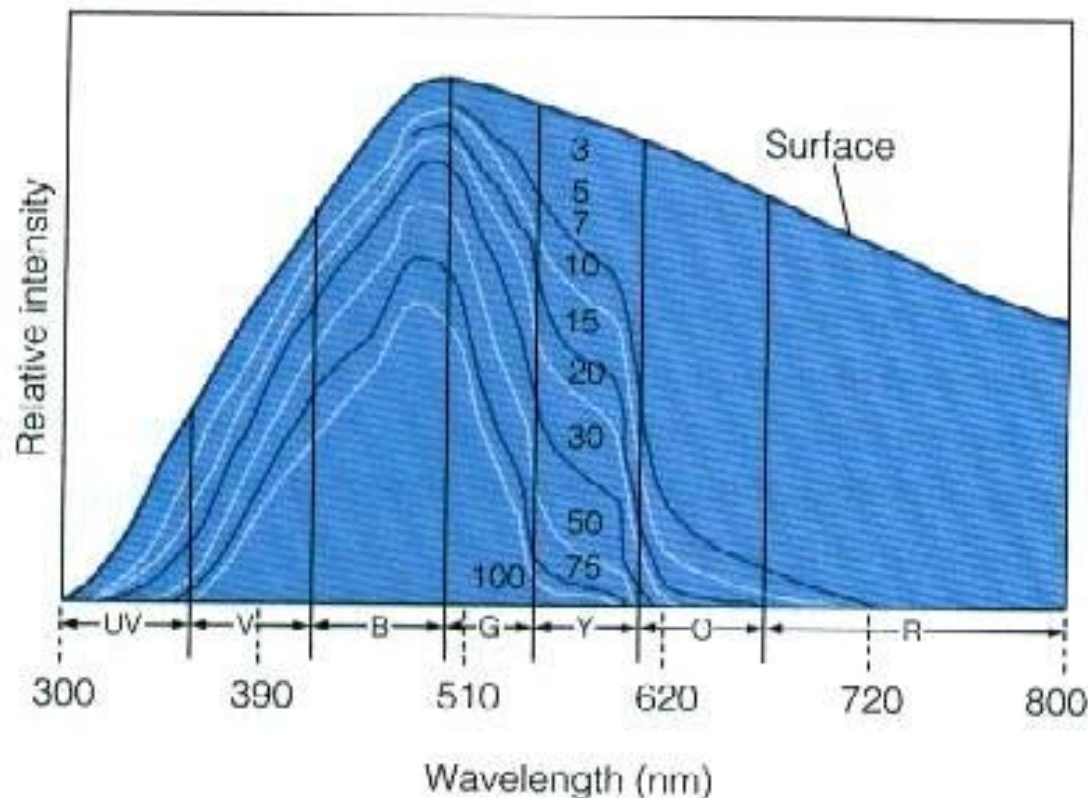
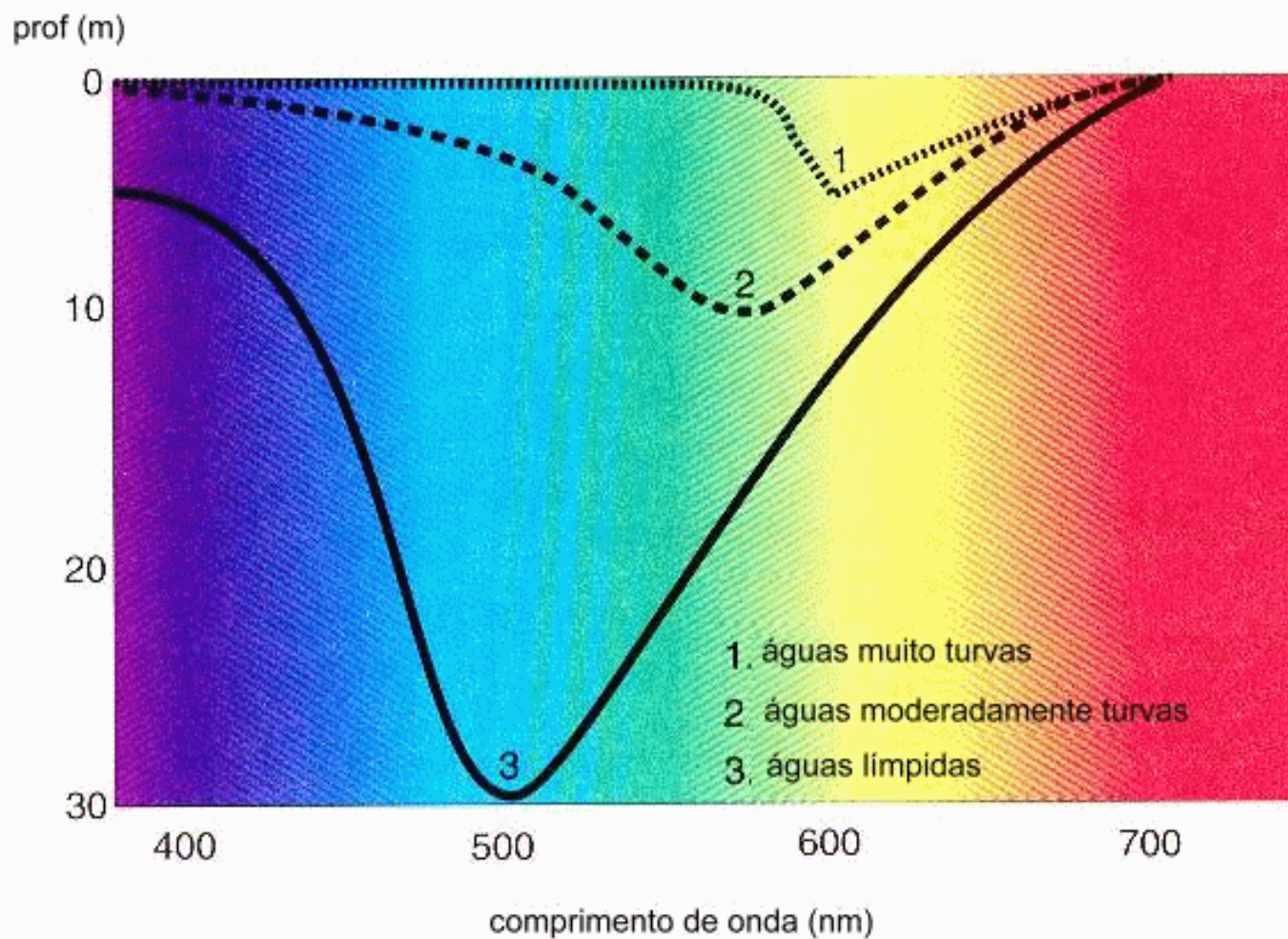


Figure 5.3 The spectral distribution of solar energy at Earth's surface and after it has been modified by passage through varying depths, measured in meters, of pure water. Note how rapidly red wavelengths are attenuated. At approximately 10 m, red light is depleted; but at 100 m, blue wavelengths still retain nearly one-half their intensity.



RMPC

& Consultores em Recursos Hídricos



As modificações da luz ao penetrar na água dependem de suas características físico-químicas e biológicas...



RMPC

& Consultores em Recursos Hídricos

Table 2 Percentuais de absorção e coeficientes de extinção da luz monocromática em vários comprimentos de onda após atravessar 1 metro de água destilada.

Comprimento de onda (λ)	Coef. Extinção (γ_b)	Perc. Extinção %
0.38 (UV)	0.0255	2.10
0.46 (AZUL)	0.0054	0.52
0.52 (VERDE)	0.016	1.60
0.58 (AMARELO)	0.078	7.00
0.68 (VERMELHO)	0.455	36.6
0.82 (IR)	2.42	91.1

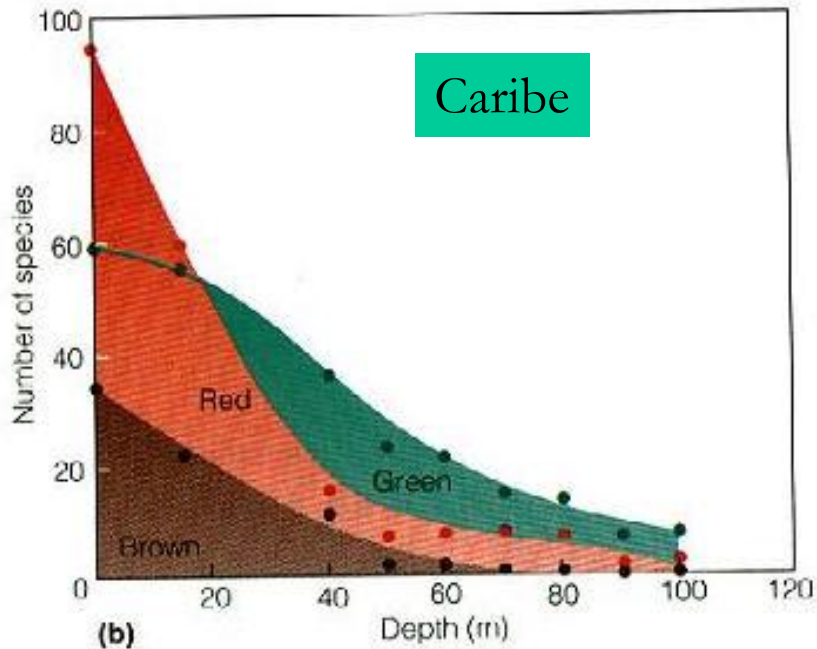
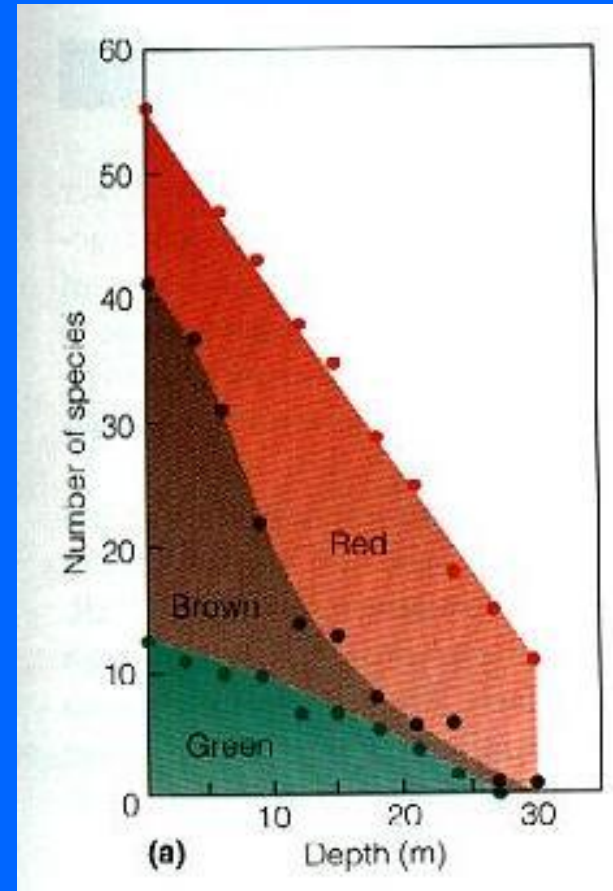


Figure 5.14 Variations in the distribution of red, green, and brown algae with depth. (a) In New England waters red algae show a gradual decline in the number of species with depth. Brown algae are more abundant at shallow depths than at greater depths. Green algae have more species adapted to light conditions in deeper waters. (b) In the clear tropical waters of the Caribbean, all three types of algae reach much greater depths. Below 50 m, however, green algae dominate.



**Atlântico Norte
(Nova Inglaterra)**

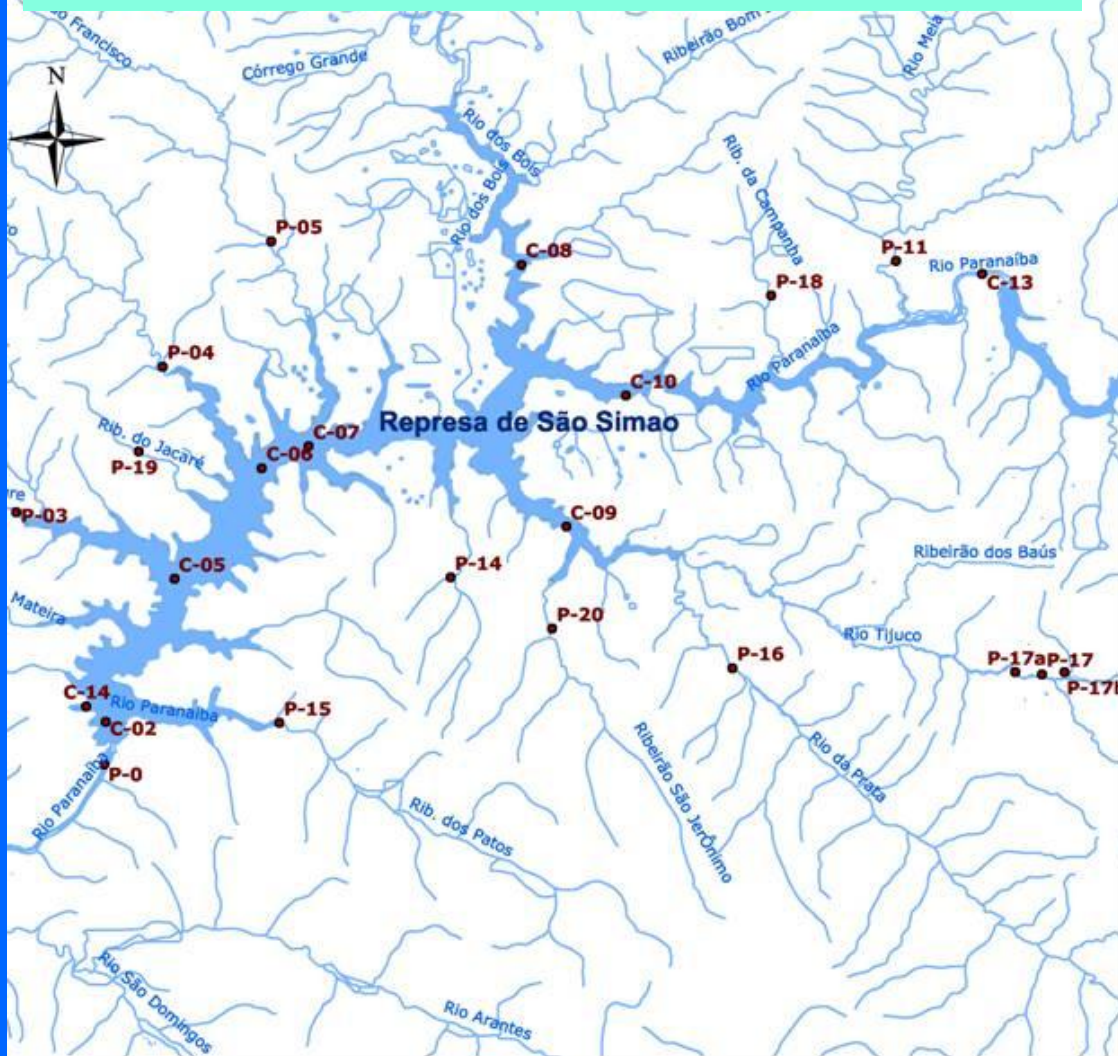
As algas se adaptam ao “clima” luminoso em diferentes oceanos e profundidades...



RMPC

& Consultores em Recursos Hídricos

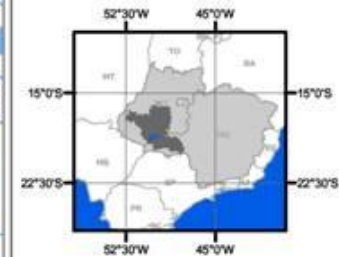
Reservatório de São Simão (MG/GO)



Pontos de Coleta

- Ponto de Coleta
- Curso D'água
- Represa

Localização



Fonte das Bases Cartográficas:
Drenagem: IBGE - 2001 e
Geominas - 1997

Fonte dos Dados:
Pesquisa Direta

Autora: Patrícia Rizzi
Data: 23/06/2004



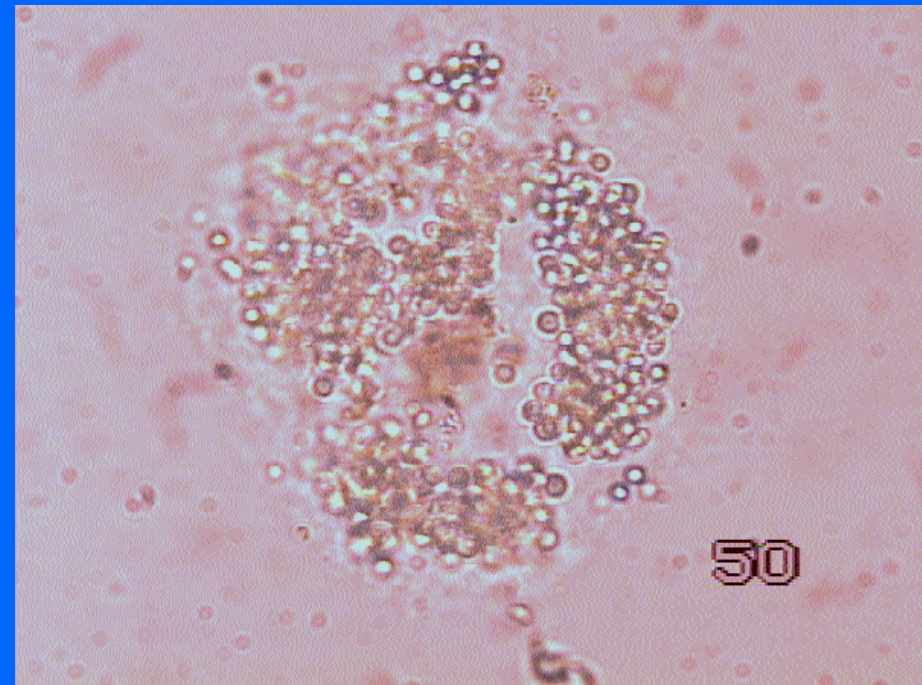
RMPC

& Consultores em Recursos Hídricos



As cianobacterias apresentam elevados requerimentos de fósforo para sobreviver.

Cianobacterias são organismos especialmente bem adaptados a sobreviver em águas superficiais de rios e lagos, suportando elevadas taxas de radiação solar. Esses organismos formam “blooms” que podem modificar completamente a aparência da água.



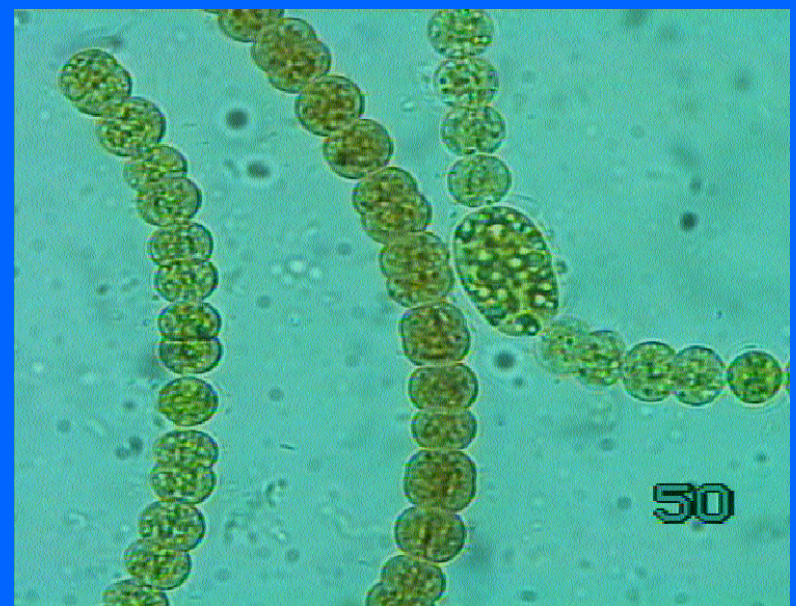
RMPC

& Consultores em Recursos Hídricos

“*Waterblooms*” de cianobactérias

Ocorrência de florescimento massivo de cianobactérias no reservatório de São Simão (MG/GO), em janeiro de 2002. Localidade: balsa Santa Vitória-Ipiaçú, braço formado pelos rios Tijuco/Prata, estado de Minas Gerais.



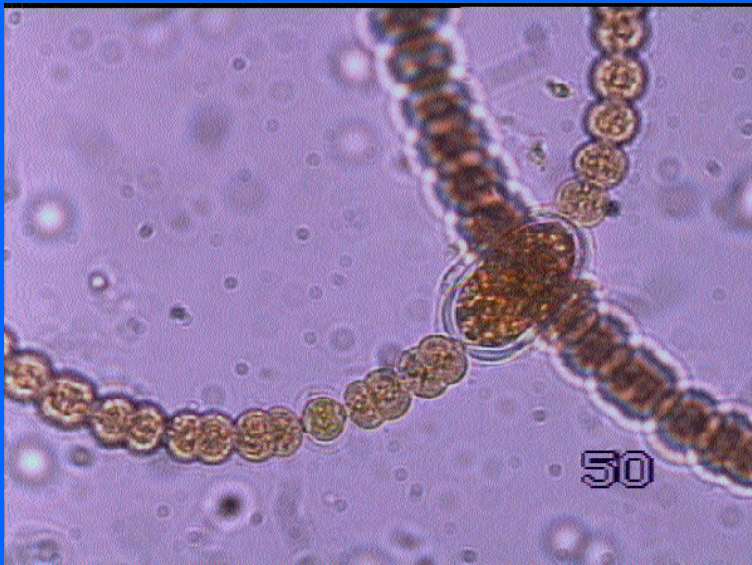


Cianobactérias do Reservatório de São Simão



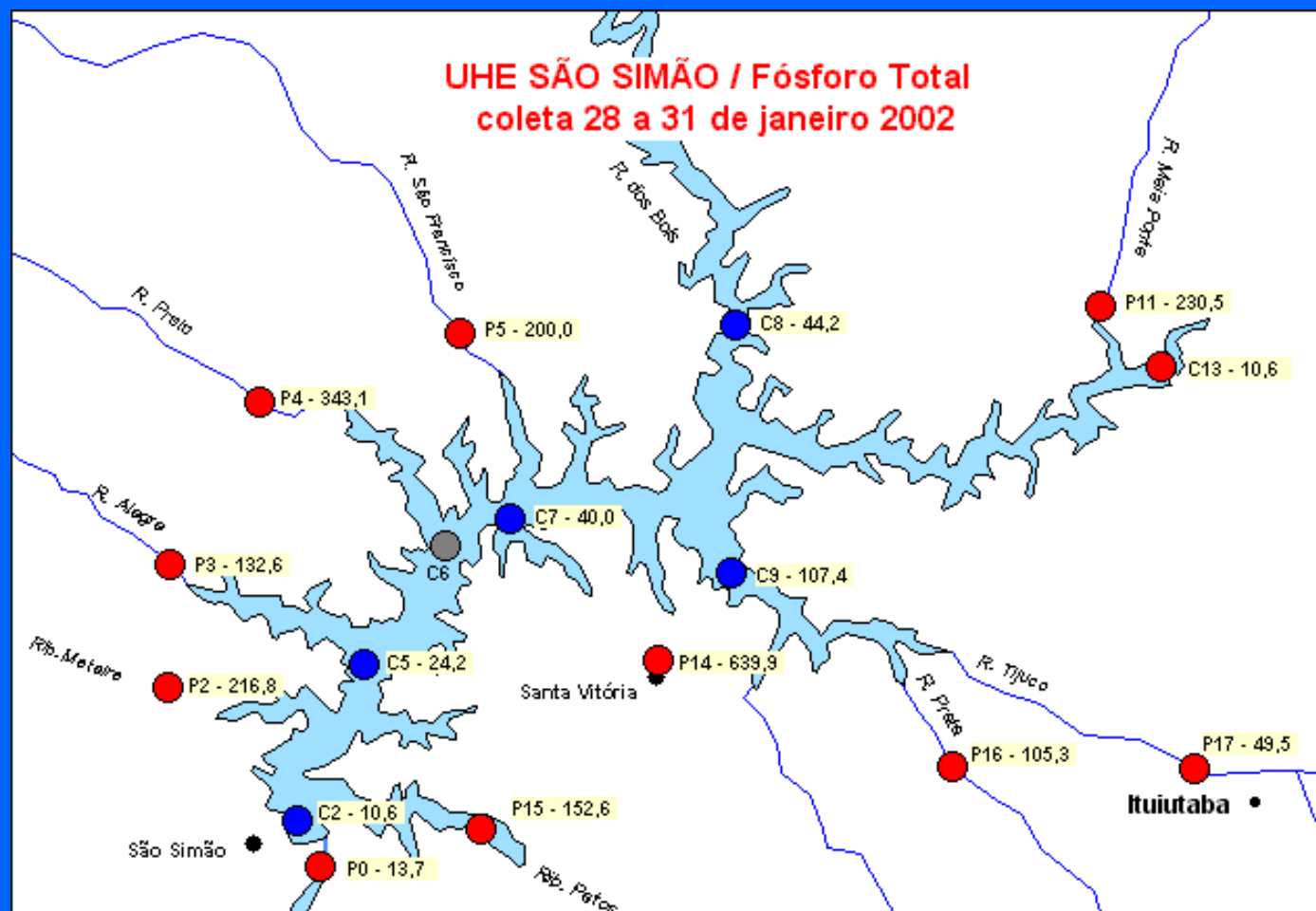
RMPC

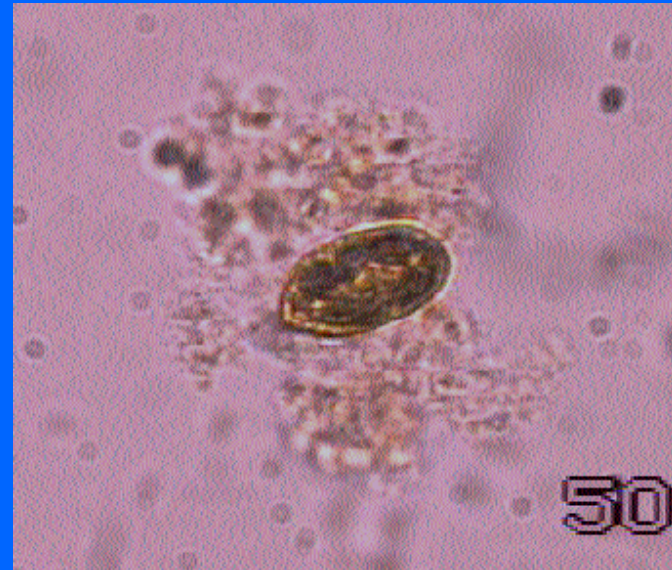
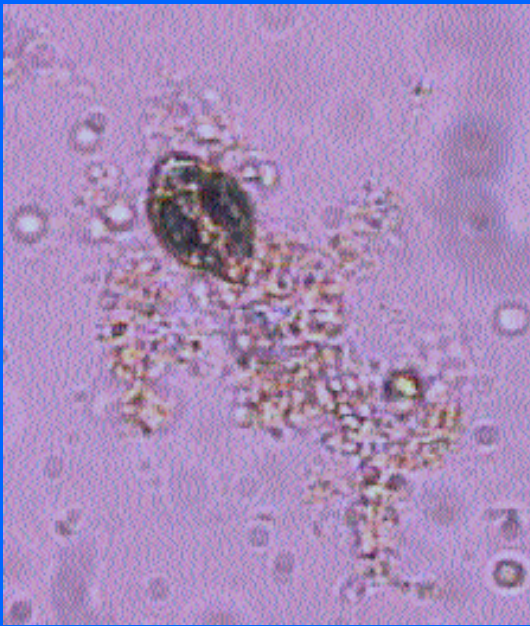
& Consultores em Recursos Hídricos



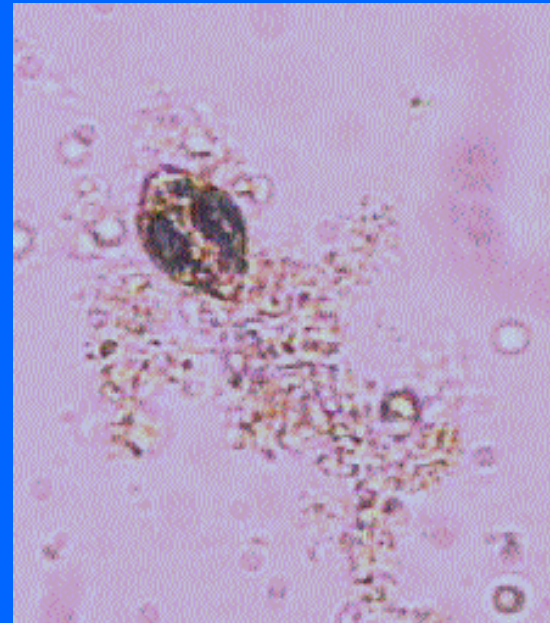
RMPC

& Consultores em Recursos Hídricos





Os produtores primários (fitoplâncton) desenvolveram habilidades para explorar diferentes zonas de radiação na coluna de água. Alguns fitoflagelados (veja ao lado), por exemplo, são capazes de sobreviver em camadas de águas mais profundas, abaixo do epilimnion, uma região onde normalmente existe pouca radiação solar.



Observações Finais

- O clima de energia radiante é um dos elementos balizadores dos ecossistemas aquáticos e terrestres;
- As plantas normalmente reagem a luz demarcando três zonas muito claras (limitação, saturação e inibição);
- A luz é sempre um fator ecológico “chave” mesmo em ecossistemas tropicais sejam florestas, mares e lagos e, portanto, deve merecer maior atenção dos ecólogos trabalhando nessas regiões.



Ricardo Motta Pinto Coelho, MSc, Dr. Rer. Nat
RMPC Consultores em Recursos Hídricos
Rua das Hortênsias, 800
Morro do Chapéu
34.000-000 NOVA LIMA (MG)
Tel; 031 3517 9793
E-mail: rpcoelho@globo.com
URL: <http://www.rmpcecologia.com>

RMPC

& Consultores em Recursos Hídricos