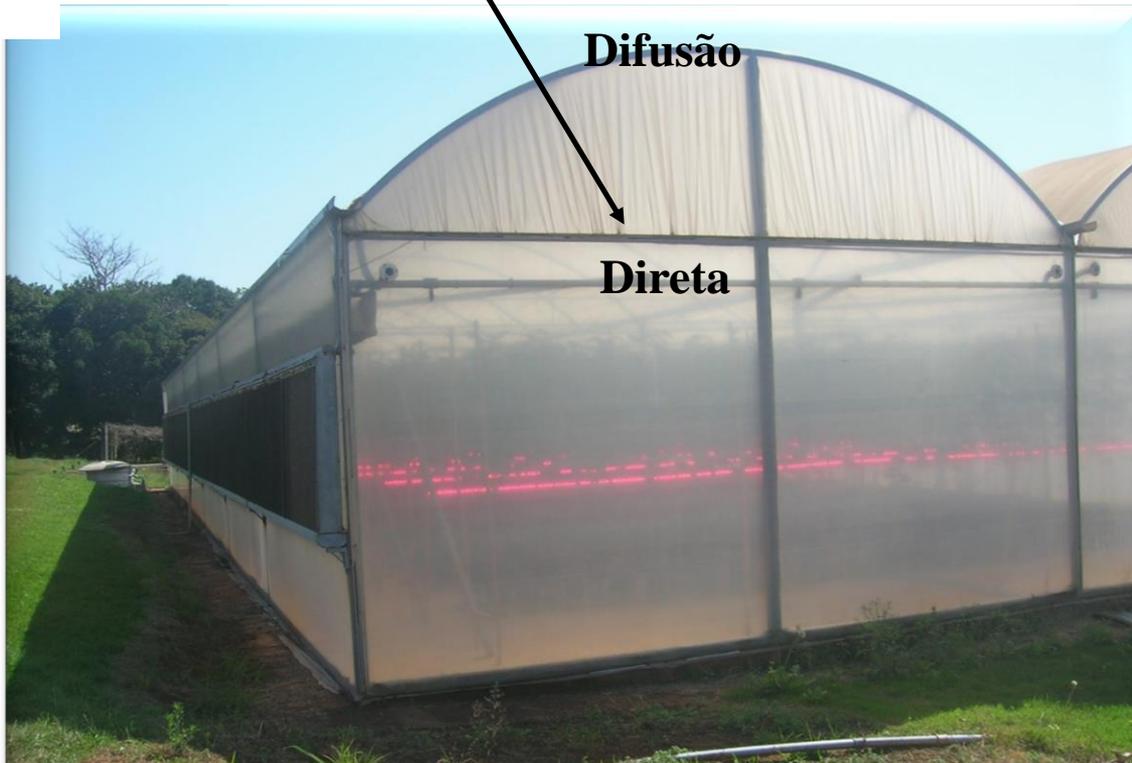
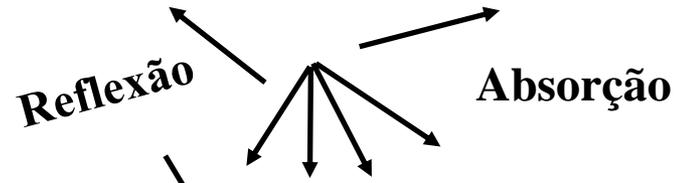
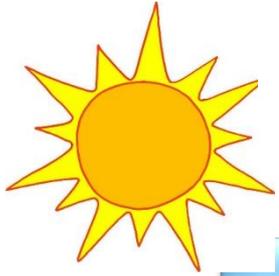


ESTRUTURAS PARA O CULTIVO PROTEGIDO

Cultivo em ambiente protegido

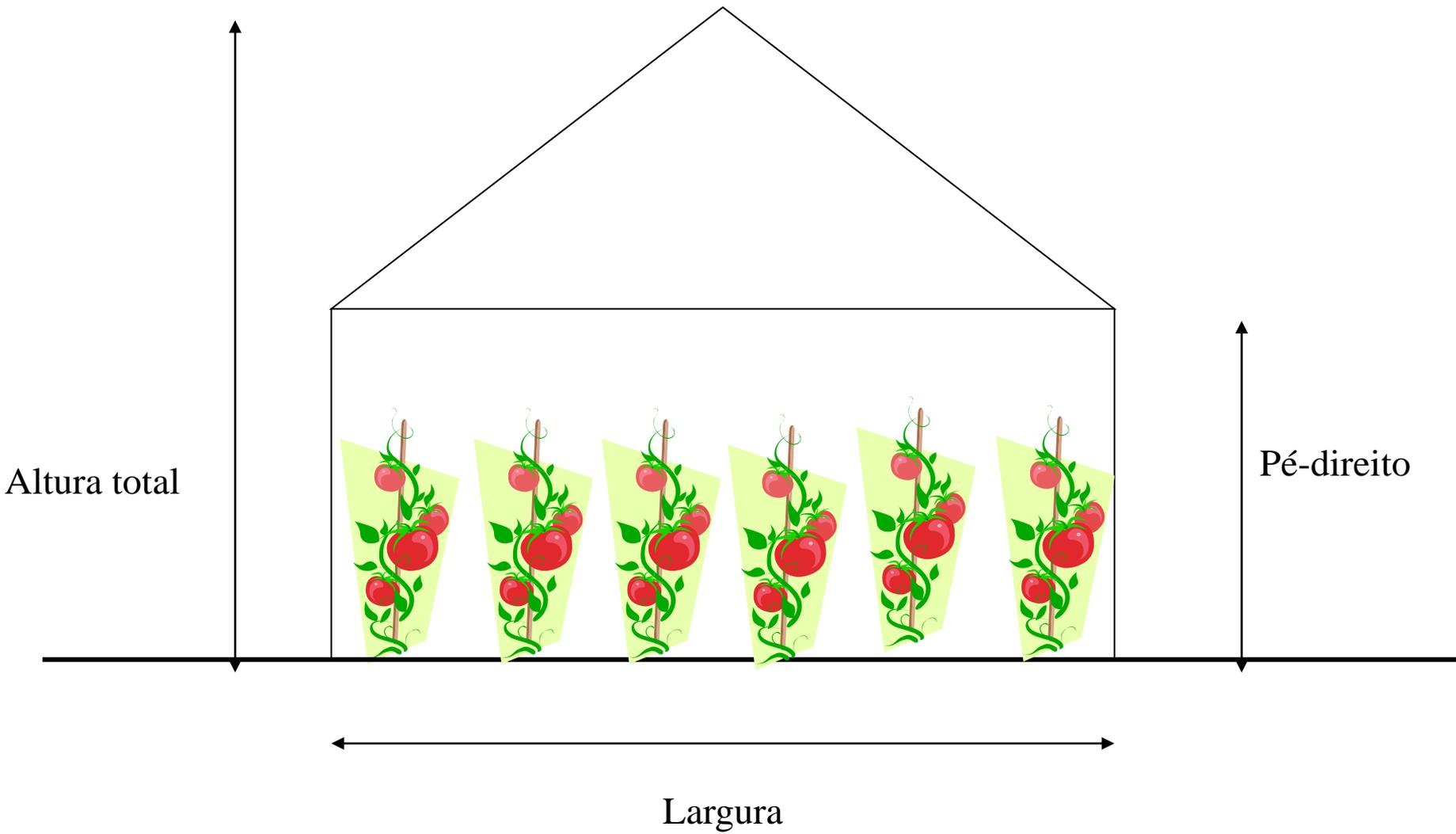


Ambiente adecuado

Estruturas que compõem a casa-de-vegetação

- **Pé-direito:** altura definida entre a superfície do solo e o início da cobertura do solo.
- **Telhado:** modelo em função, principalmente, das condições climáticas da região.
- **Janelas:** laterais, frontais e no teto.
- **Portas:** dimensionadas em função das máquinas e equipamentos que serão usados no interior da estufa.
- **Antecâmara:** Proteção contra a entrada de insetos e patógenos, além da colocação do painel de controle.

Dimensões



Altura da estufa

- Condições climáticas
- Tipo de espécie a ser cultivada
- Nível de controle dos fatores ambientais

Estufa agrícola adequada para o seu cultivo



- a) **Altura do pé-direito: 4-6m;**
- b) **Especificar a resistência do telhado e dos pilares;**
- c) **Área de abertura para ventilação natural: 15 a 20% da área da estufa**
- d) **Mecanismo de ventilação forçada**

Trocas de calor na estufa

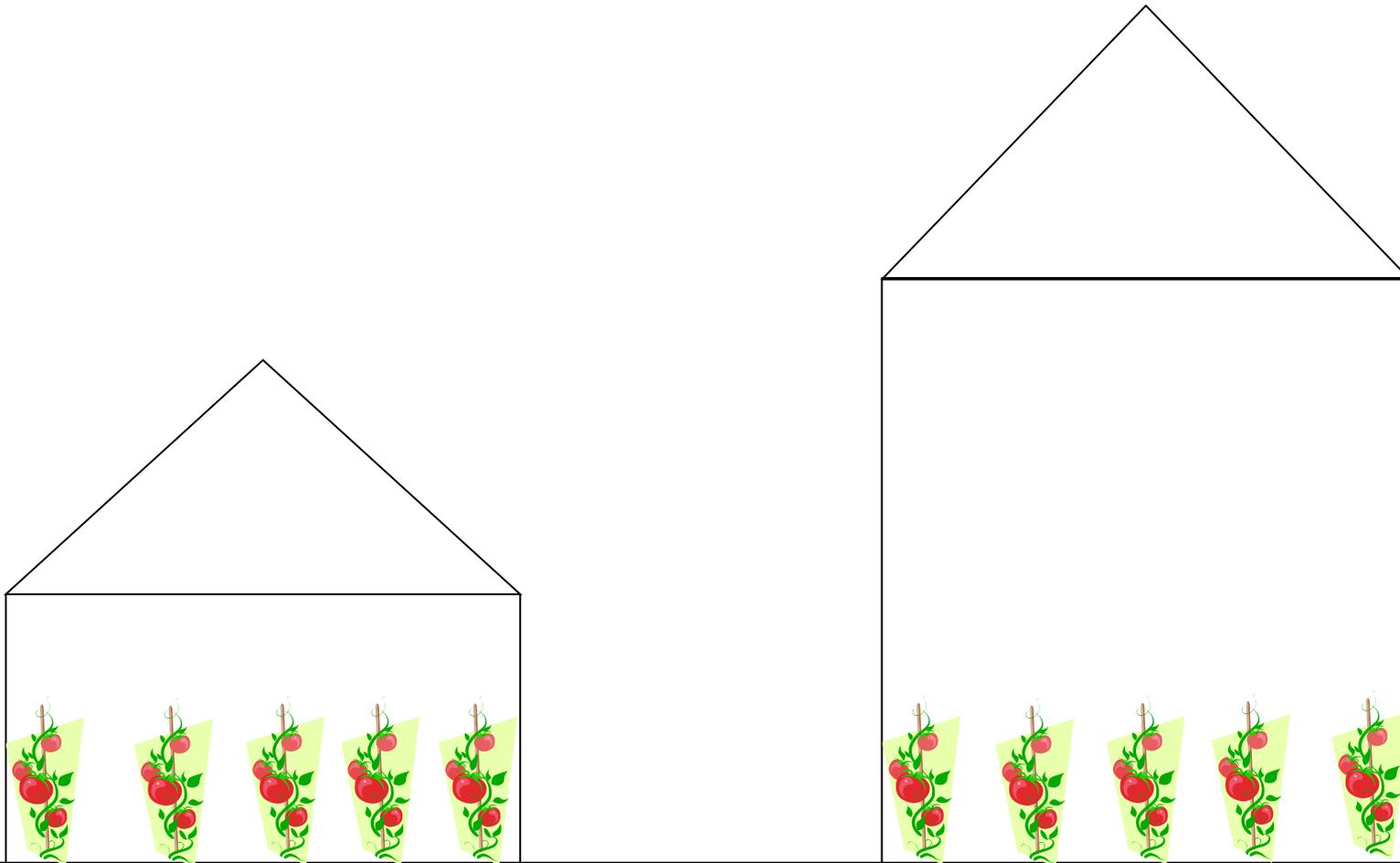
- **Condução:** transferência de energia sem a transferência de massa
- **Convecção:** transferência de massa por diferença de densidade e ação da gravidade (evaporação, condensação, transpiração)
- **Radiação:** transferência de calor por propagação da radiação

Perda de calor por condução

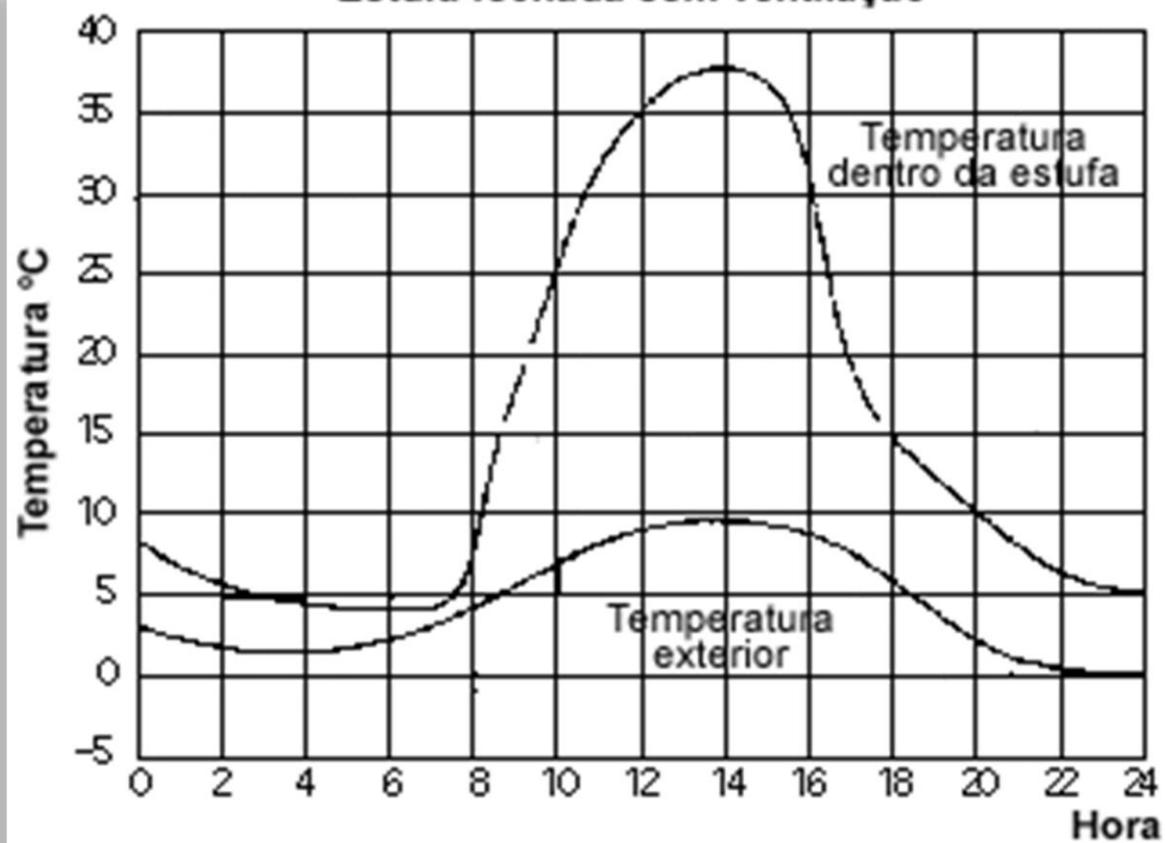


Convecção

Movimento do fluido por gradiente de densidade (causado por ΔT , p.ex.)



Estufa fechada sem ventilação



Perda de energia pela planta

Perda de calor por radiação



Perda de calor por
condução

Perda de calor por
transpiração e
evaporação

Telhado

Tipo capela



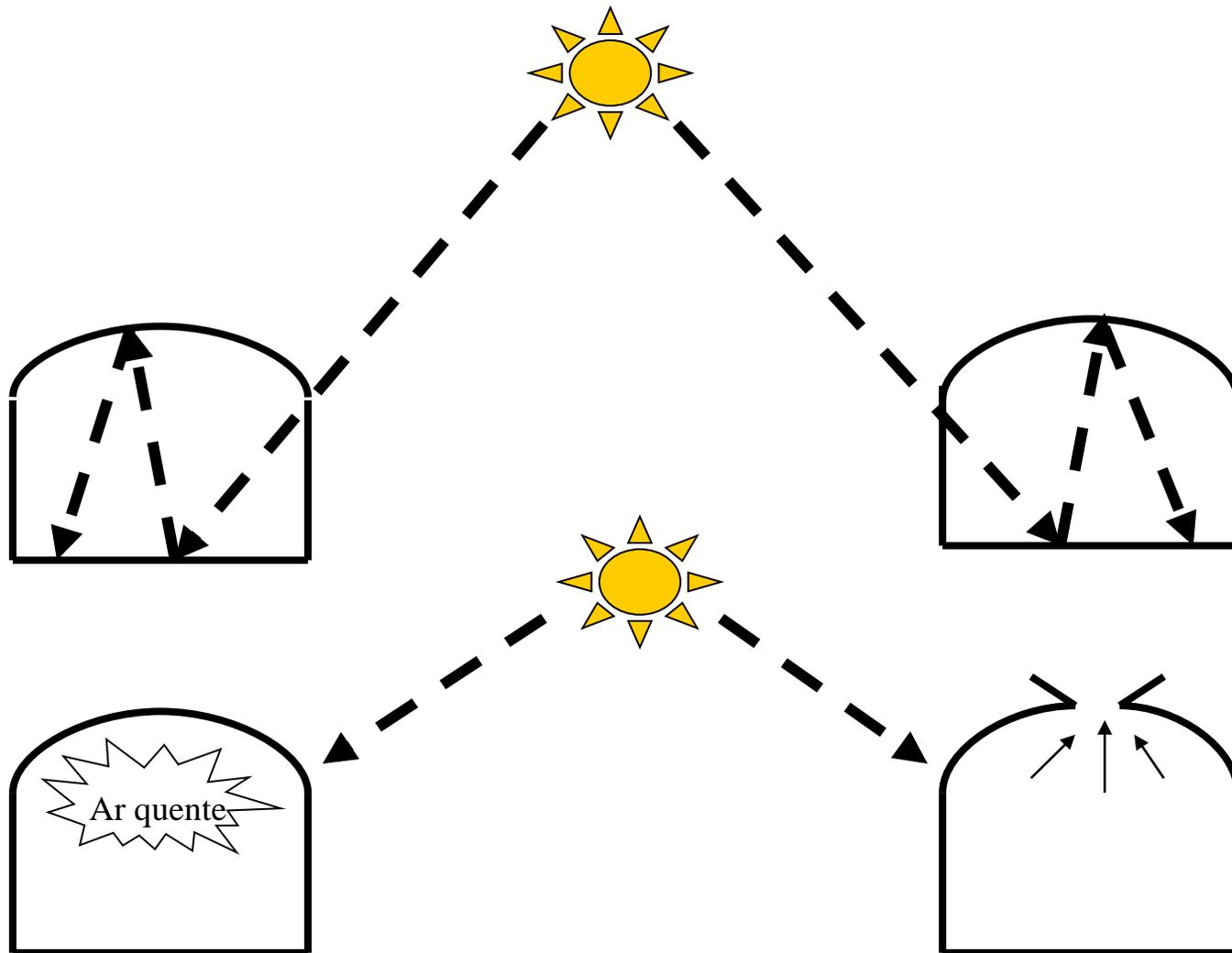
Tipo arco



Estufa dente de serra



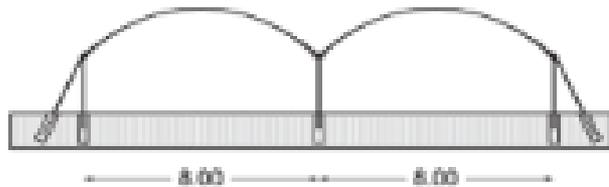
Princípios do efeito estufa e da ventilação natural



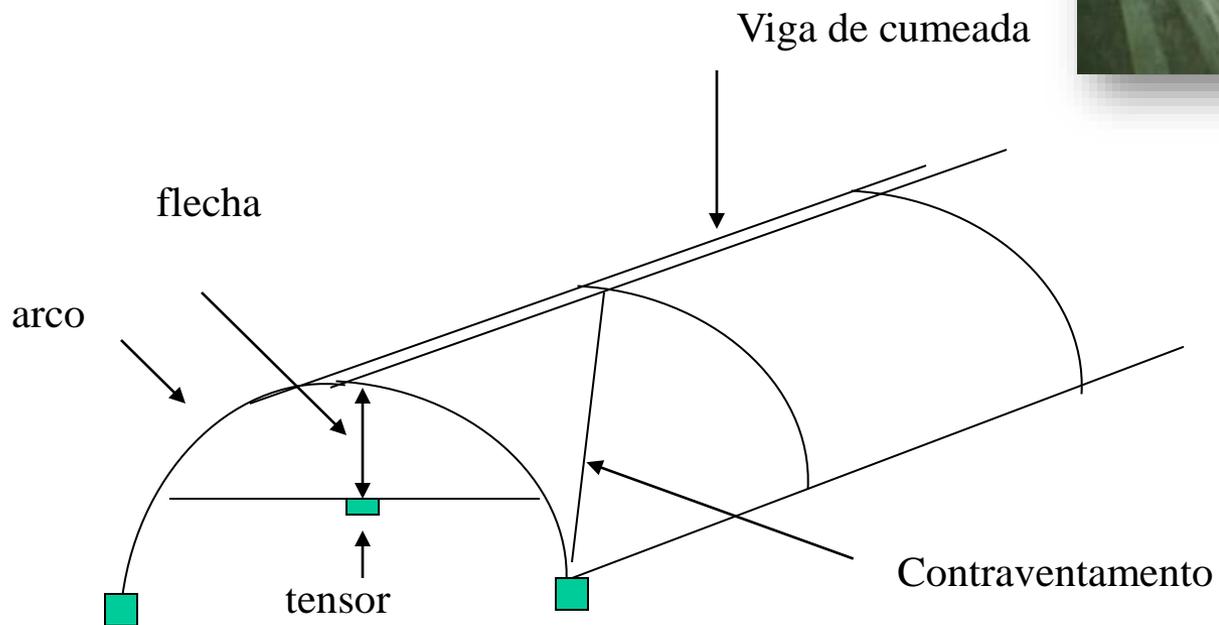
Tipo londrina



Macro túnel



Túneis



Microtúnel

Materiais:

Arcos

Plásticos

Cintas plásticas



Aberturas

- Permite o controle parcial da temperatura e umidade relativa do ar

Janela zenital





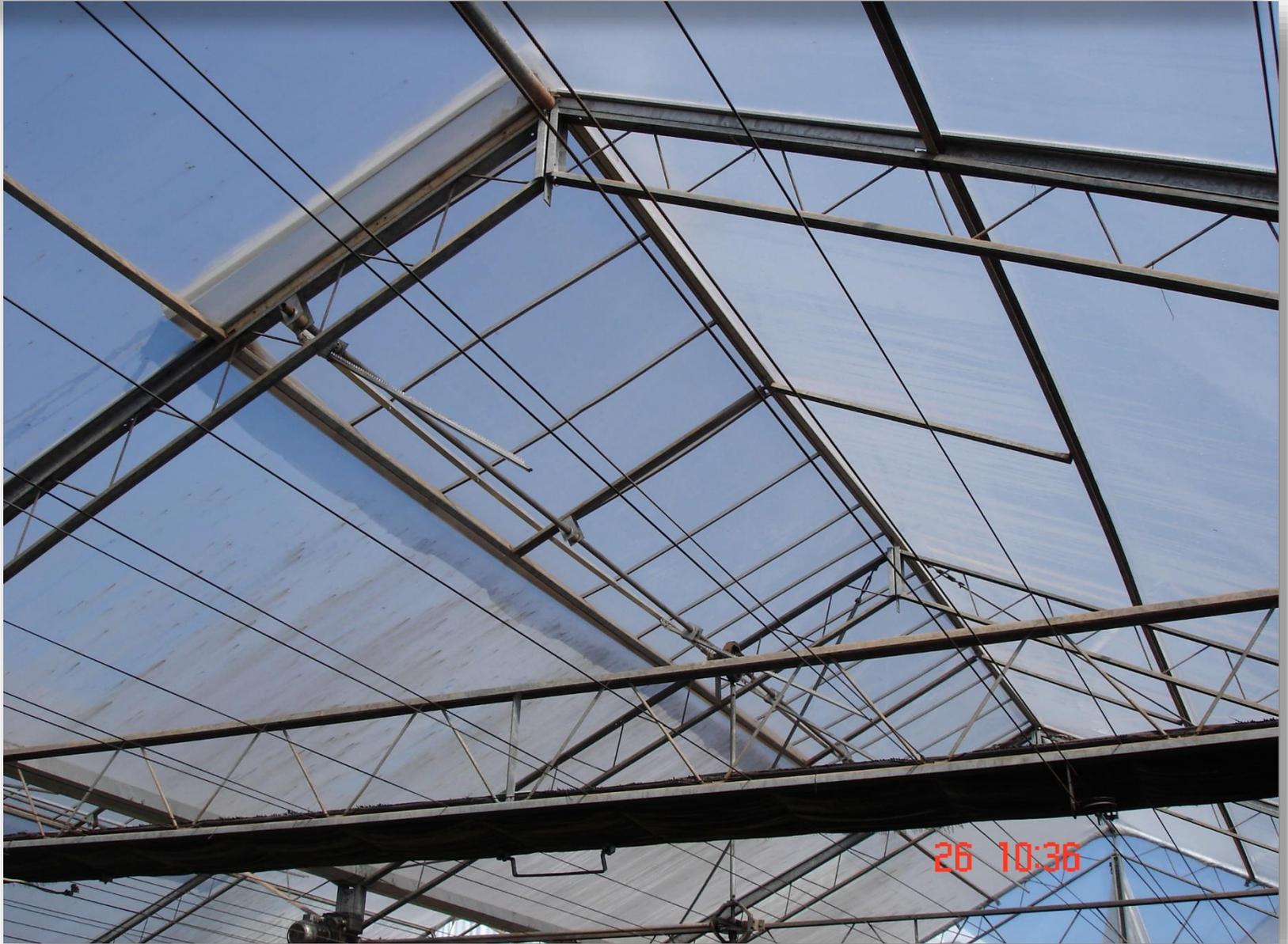
Lanternin





26 10:48

Janela no telhado





Janela frontal



Janela lateral



Antecâmara



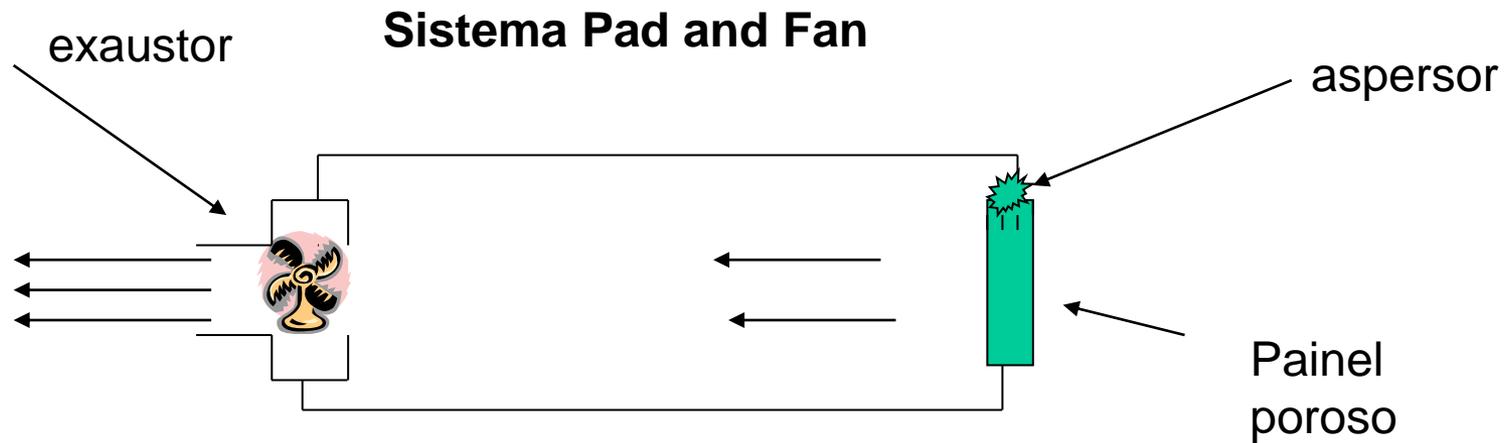
Viveiro aluminizado



Viveiro teto retrátil



Refrigeração com evaporação da água



Malha externa



TELA TERMO-REFLETORA



30%



40%



50%



60%



70%

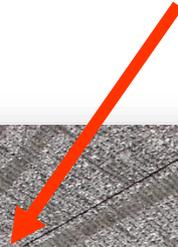


80%

Malha externa

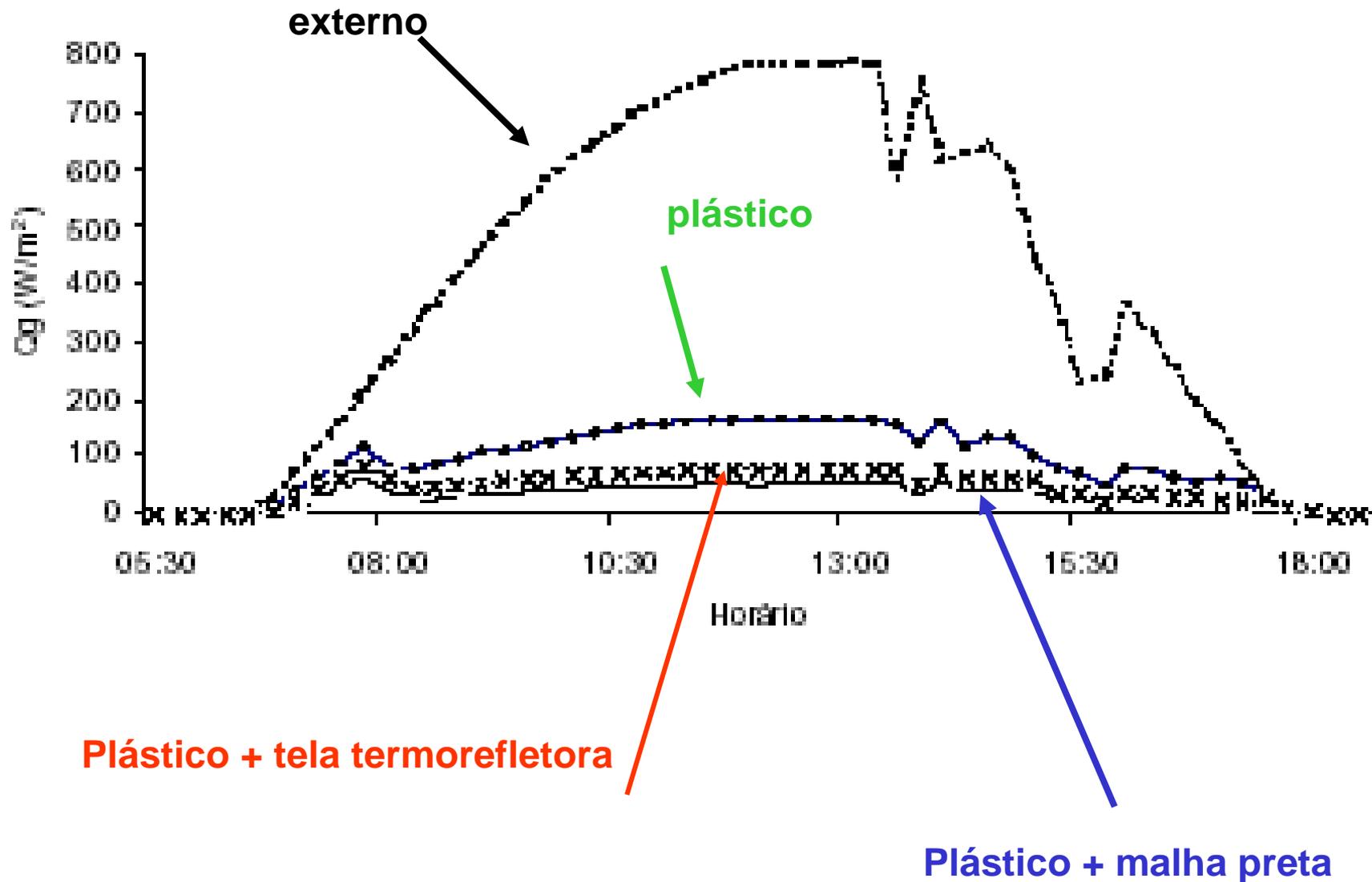


Malha interna



Tela de sombreamento - preta



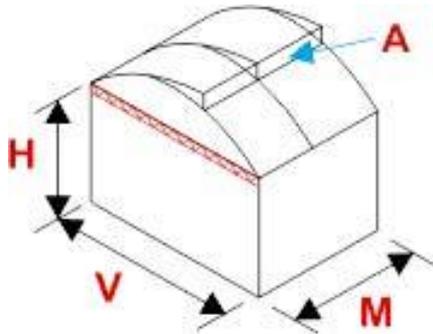


Varição diária da radiação solar global para um dia de céu limpo em Piracicaba (SP), 2002.

Estufas não climatizadas

- **CONTROLE DA TEMPERATURA E DA UMIDADE RELATIVA DO AR**

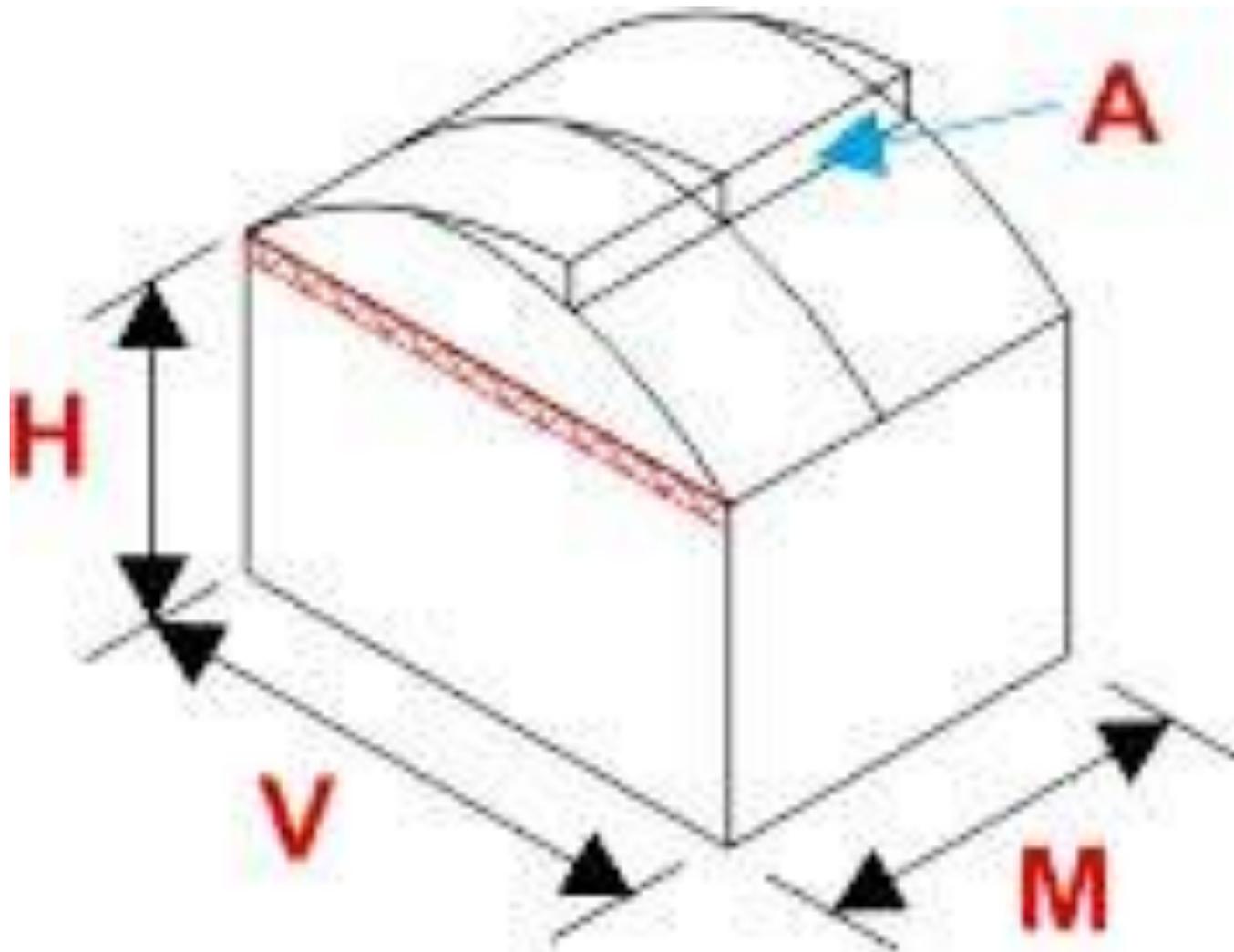
- Janelas laterais, frontais e zenitais



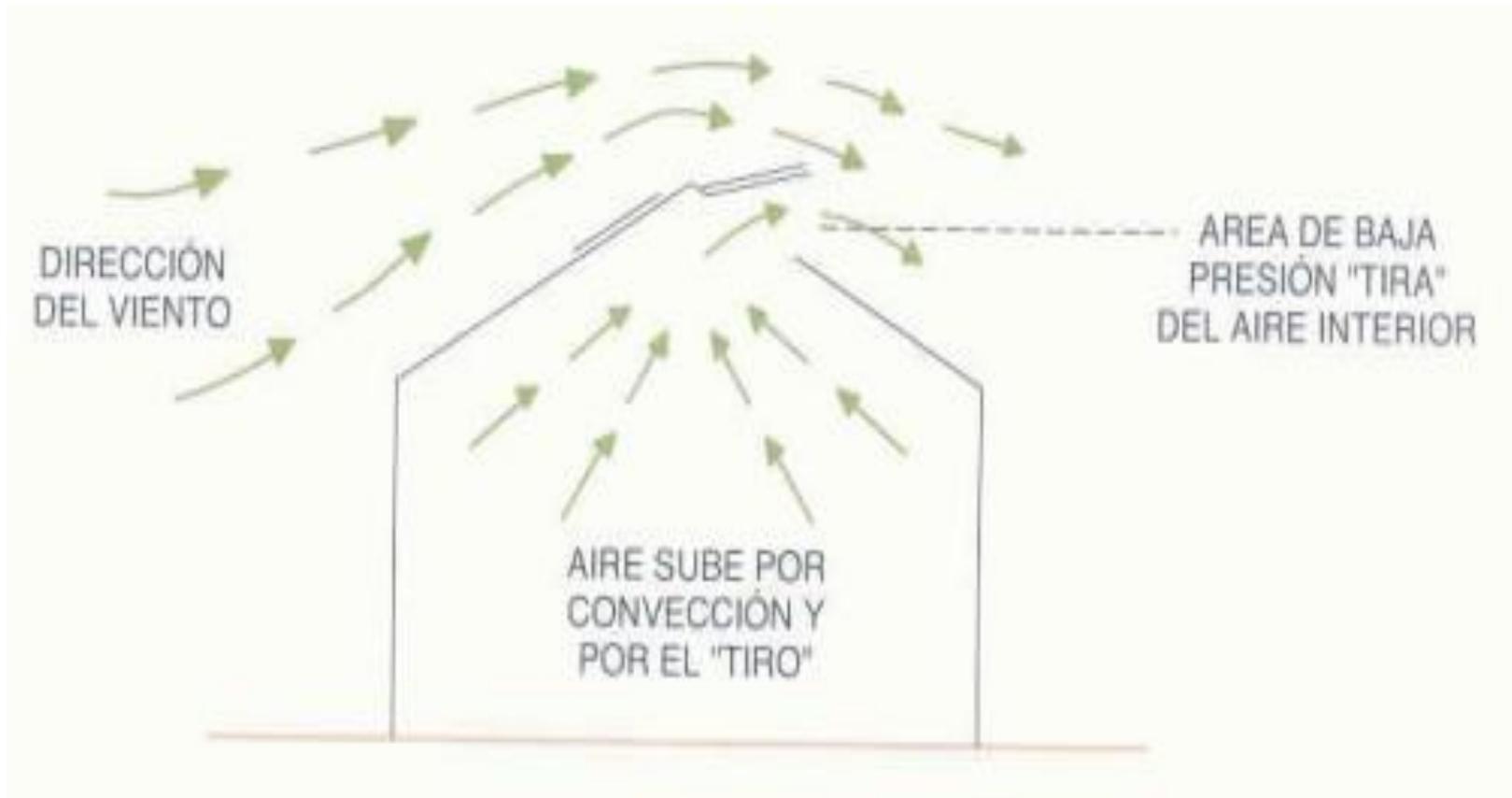
- **CONTROLE DA LUMINOSIDADE**

- Malhas de sombreamento
- Malhas reflexivas
- Iluminação artificial

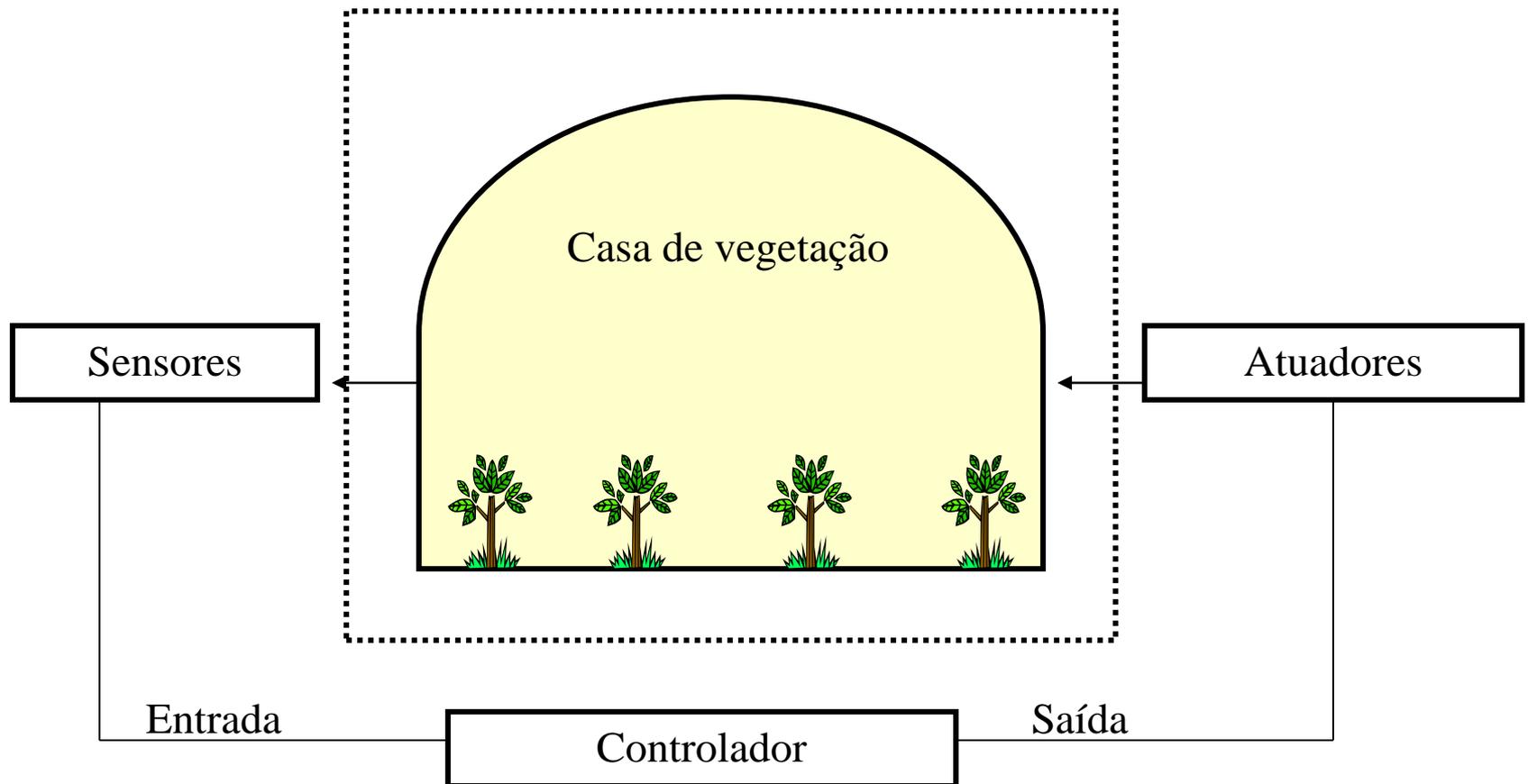
Lanternim



Efeito lanternim



ESTUFAS CLIMATIZADAS



ESTUFAS CLIMATIZADAS

•CONTROLE DA TEMPERATURA E DA UMIDADE RELATIVA DO AR

- Sistema pad-fan:usado para resfriar e umedecer o ar.

•CIRCULAÇÃO DE AR E VENTILAÇÃO

- Ventiladores
- Exaustores
- Sistema fan-jet: tubulões plásticos perfurados em toda a sua extensão, localizados na casa-de-vegetação acima da parte aérea das plantas.

• CONTROLE DA RADIAÇÃO LUMINOSA

- Malhas de sombreamento
- Iluminação artificial

Ventiladores



Exaustores Eólicos



COBERTURA

- Filmes agrícolas: polietileno

Mercado de filmes plásticos

Mercado de filmes plásticos está projetado para USD 8,6 bilhões em 2026

Principais players do mercado de filmes plásticos: Ginegar Plastic Products Ltd (Israel), RKW Group (Alemanha, e Berry Global, Inc. (EUA)

Materiais rígidos

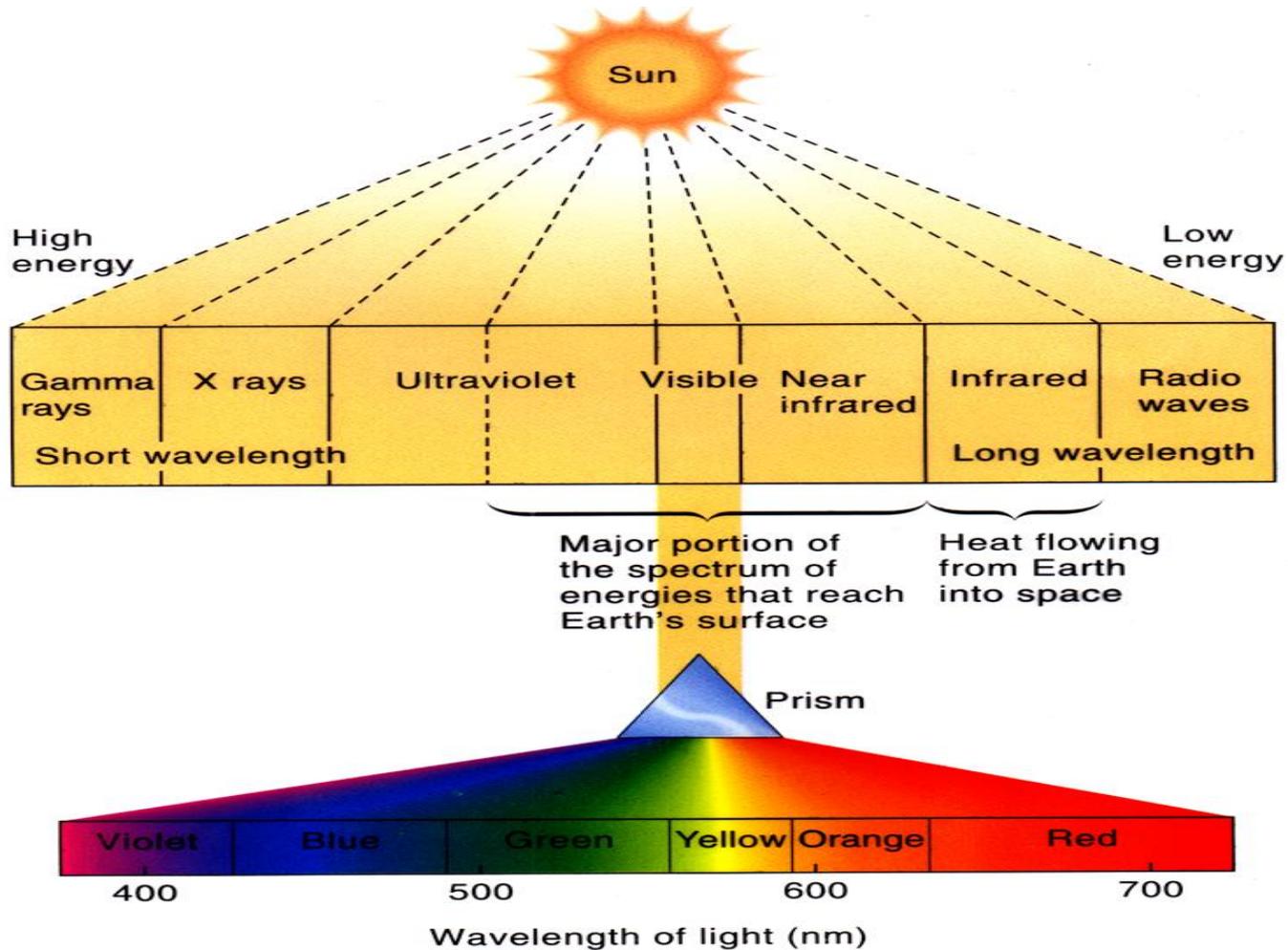
- Policarbonato: resistente aos raios UV, durável, resistente, evita condensação da água

Polycarbonato



ADITIVOS

- **Foto-estabilizadores**



Aditivos antiácidos

- Melhoram a resistência dos filmes ao ataque dos produtos ácidos

Aditivos bloqueadores da radiação infravermelha

- Aquecimento interno

Antiestáticos

- Para regiões com acúmulo de poeira

Filme anti-estático



Evita deposição excessiva de poeira sob o plástico;

Essa característica gera maior uniformidade e evita a redução da intensidade luminosa por esse fator.

Aditivos anti-pragas

- Bloqueio da transmissão da radiação UV no interior da estufa.

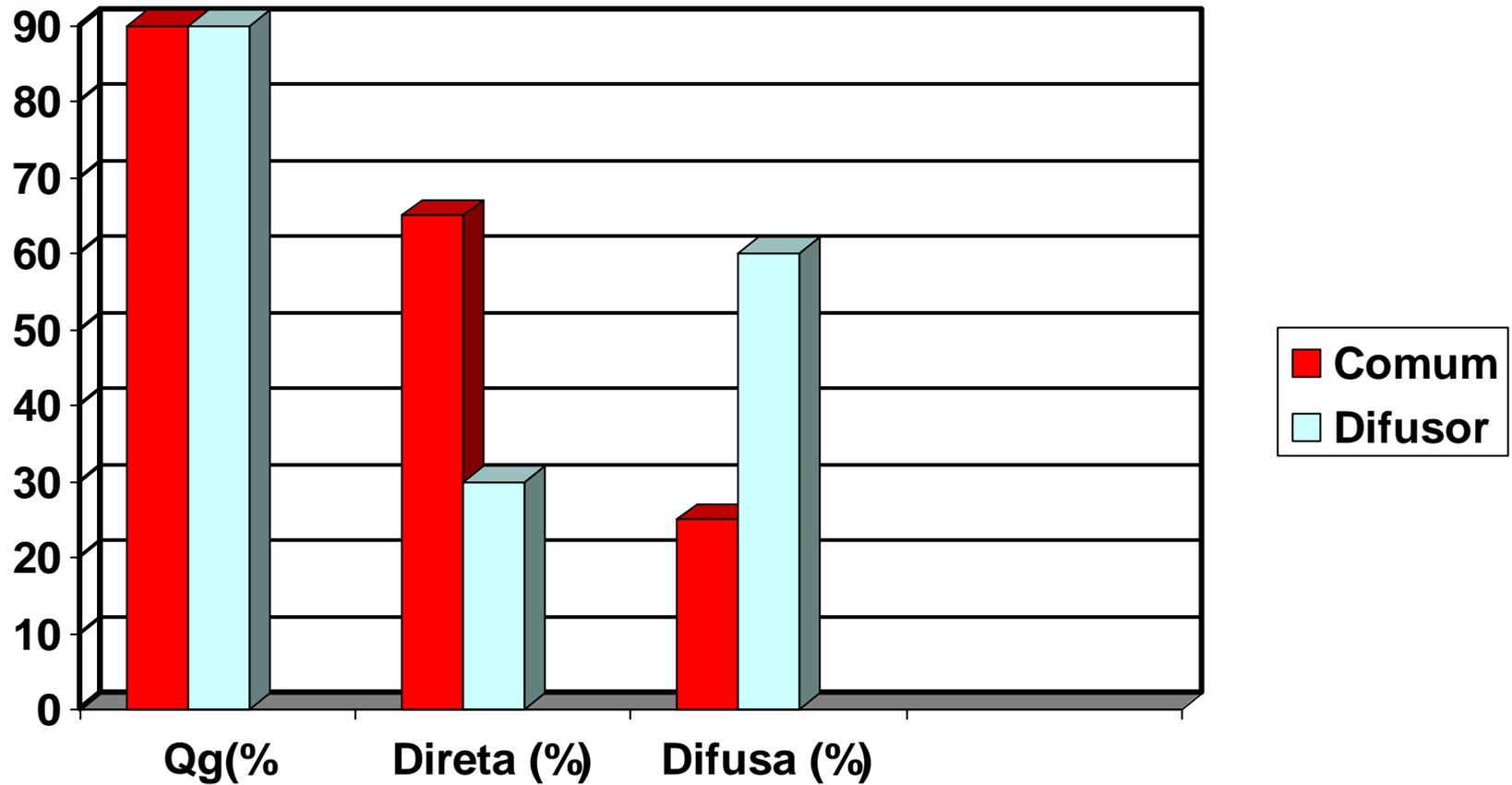
Aditivos que promovem a difusão da luz

Partículas que provocam o desvio da luz em todas as direções

Filme difusor

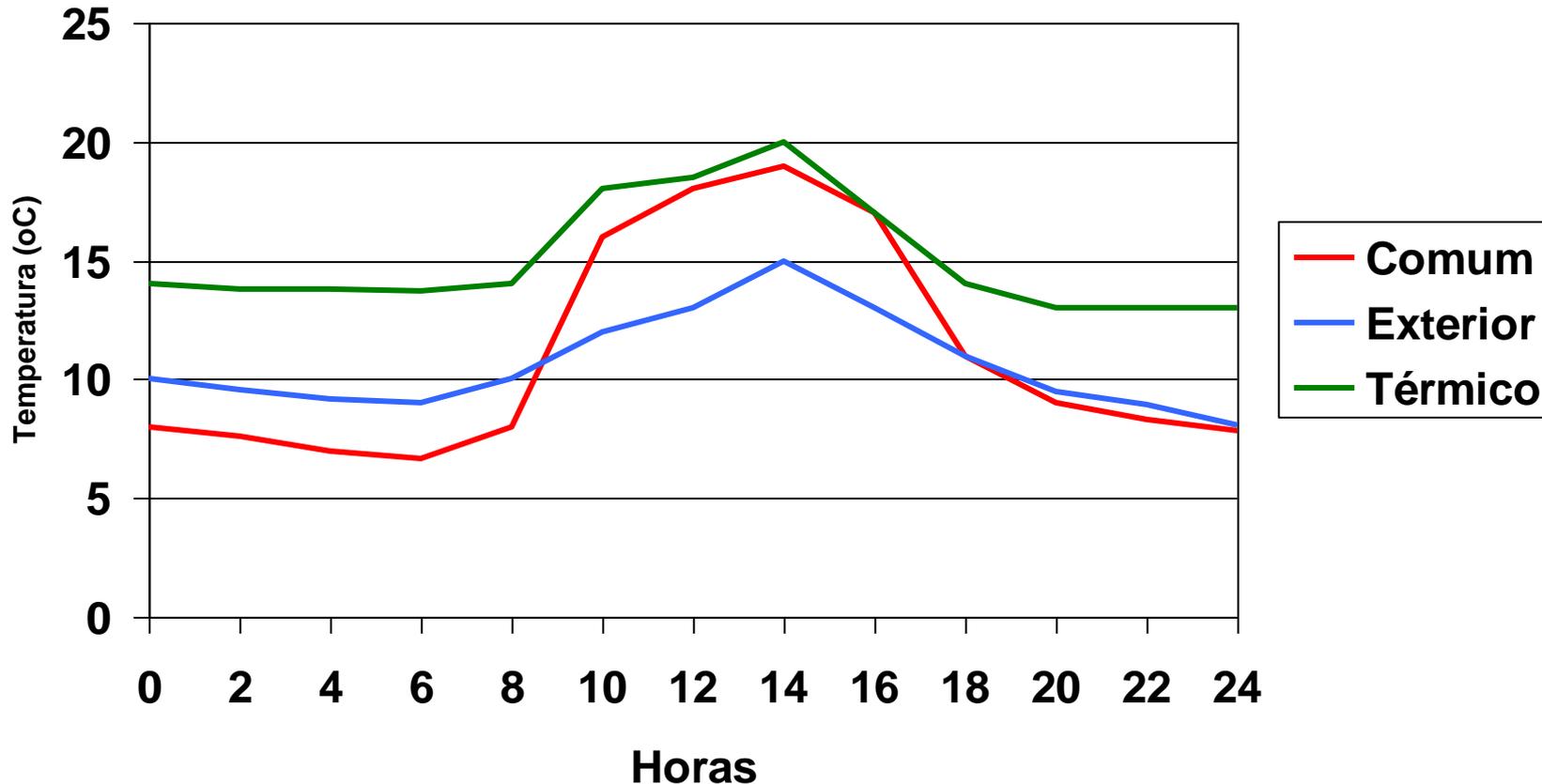


Filmes difusores



Filme térmico

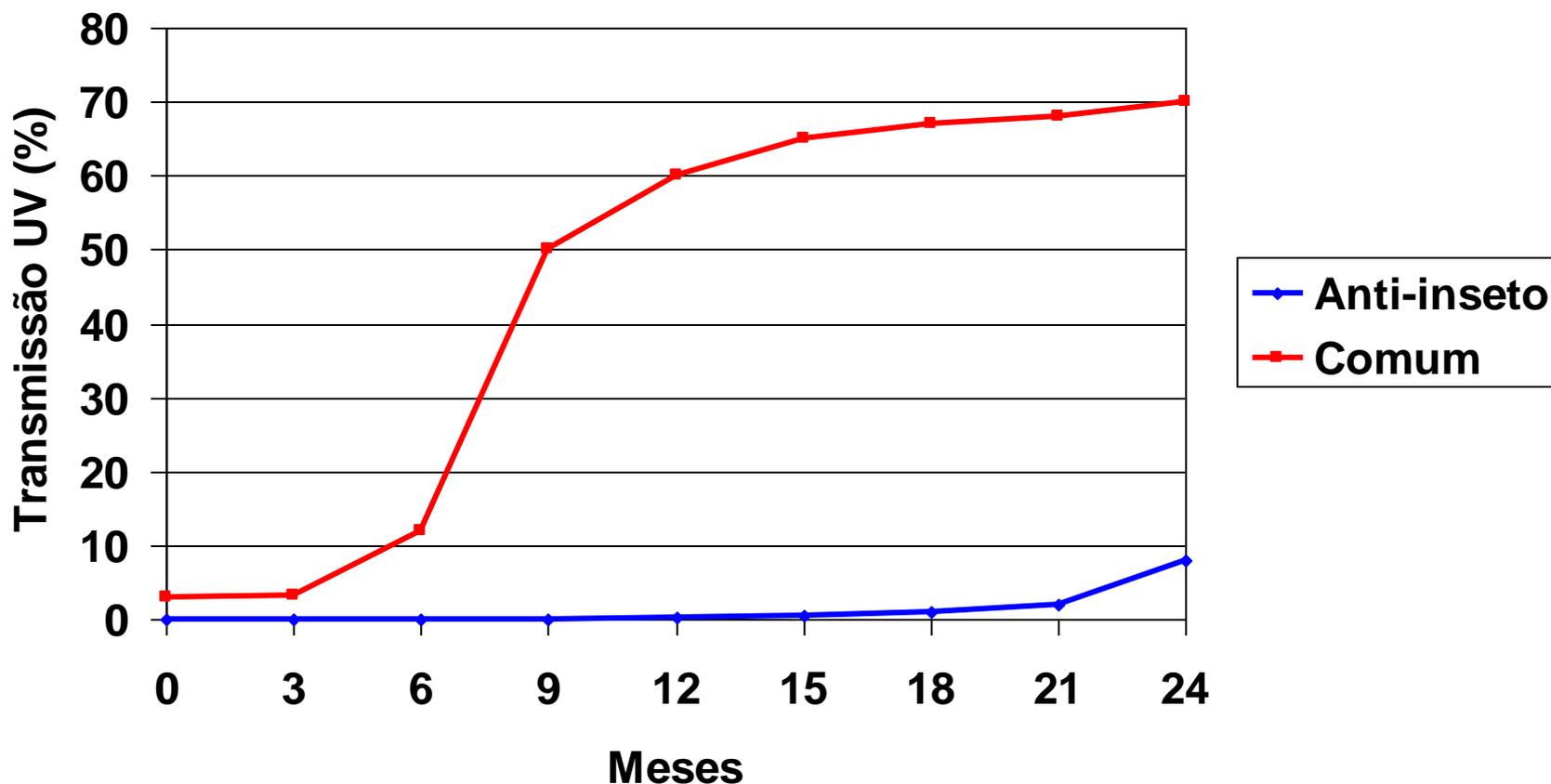
- Reduz a transmissividade da radiação infravermelha (< 25%) emitida pela superfície do solo e plantas.



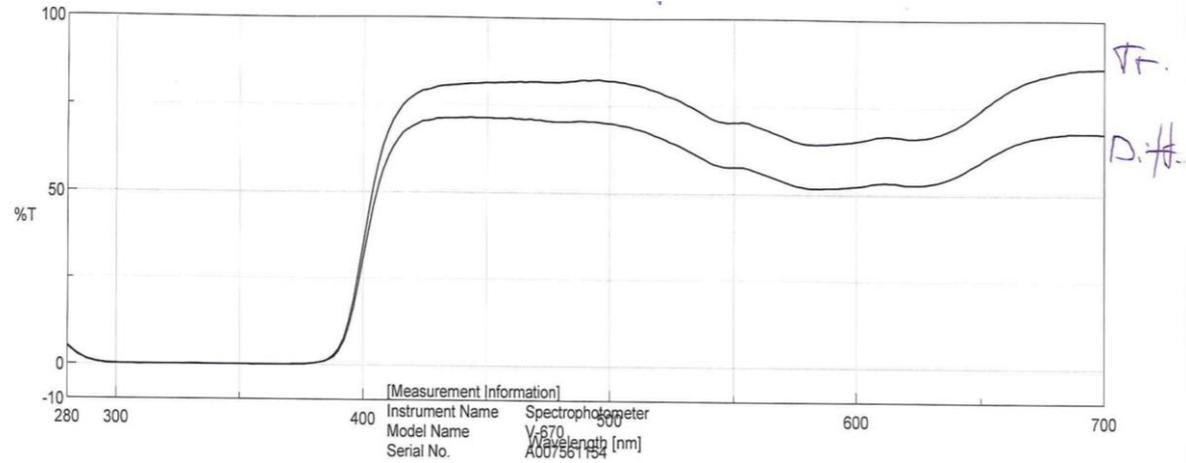
Filmes anti-insetos

- Bloqueiam parte da radiação UV.

UV – 340 nm – reduz a incidência de Botrytis em gérbera.

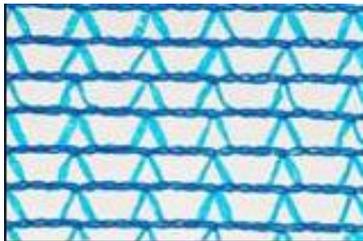
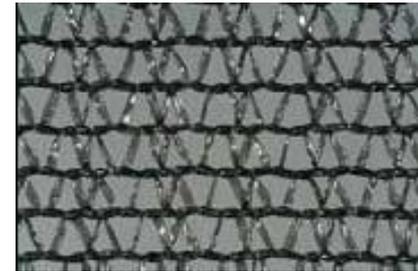
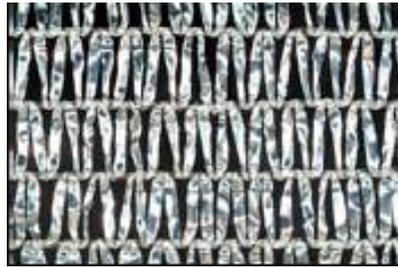
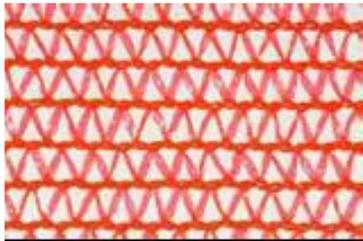


Filme foto seletivo

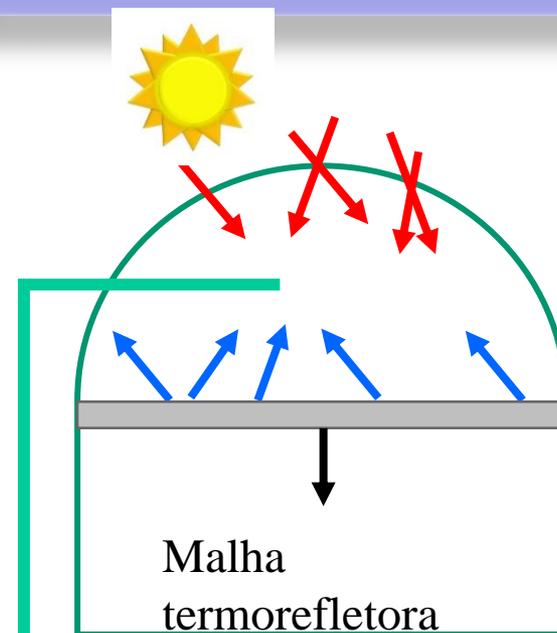


Converte parte da radiação na faixa do verde, amarelo e laranja em radiação na faixa do azul e vermelho.

Malhas de sombreamento



Malha termo refletora



A malha reflete parte da radiação solar de comprimentos de ondas longas que aquecem o ambiente.

ACÚMULO DE AR QUENTE

Malha de sombreamento externa



Permite redução de temperatura de maneira mais efetiva, evitando o acúmulo de ar quente entre o telhado e o pé-direito

Malhas foto seletivas - vermelha



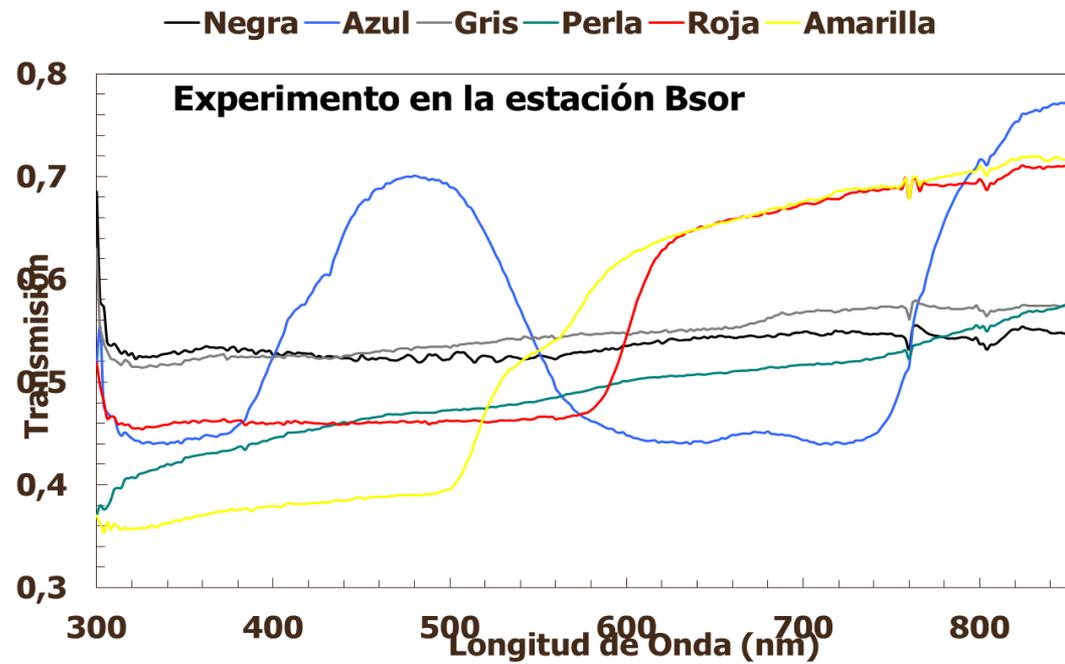
Converte parte da radiação na faixa do verde, amarelo e laranja em radiação na faixa do vermelho e vermelho distante.

Malhas foto seletivas - amarela



Converte parte da radiação na faixa do verde, amarelo e laranja em radiação na faixa do vermelho e vermelho distante.

Malhas foto seletivas



Porque controlar o microclima na casa de vegetação?

Ambiência

FATORES QUE INTERFEREM NO CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DAS HORTALIÇAS EM AMBIENTE PROTEGIDO

Fatores ambientais

- Radiação solar
- Temperatura
- Umidade relativa do ar
- Movimento do ar
- Concentração de CO₂

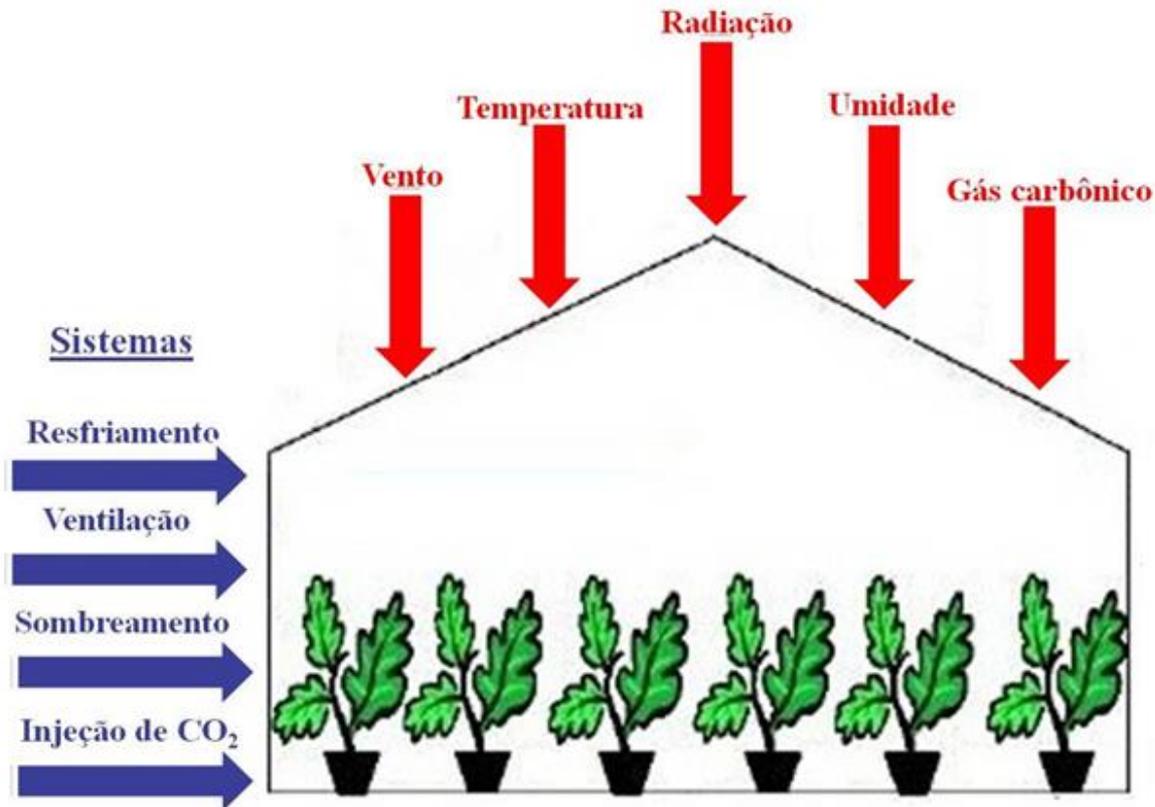
Fatores culturais

- Nível de umidade (Irrigação)
- Nutrição mineral
- outros

Fatores genéticos

- Espécie / Cultivar

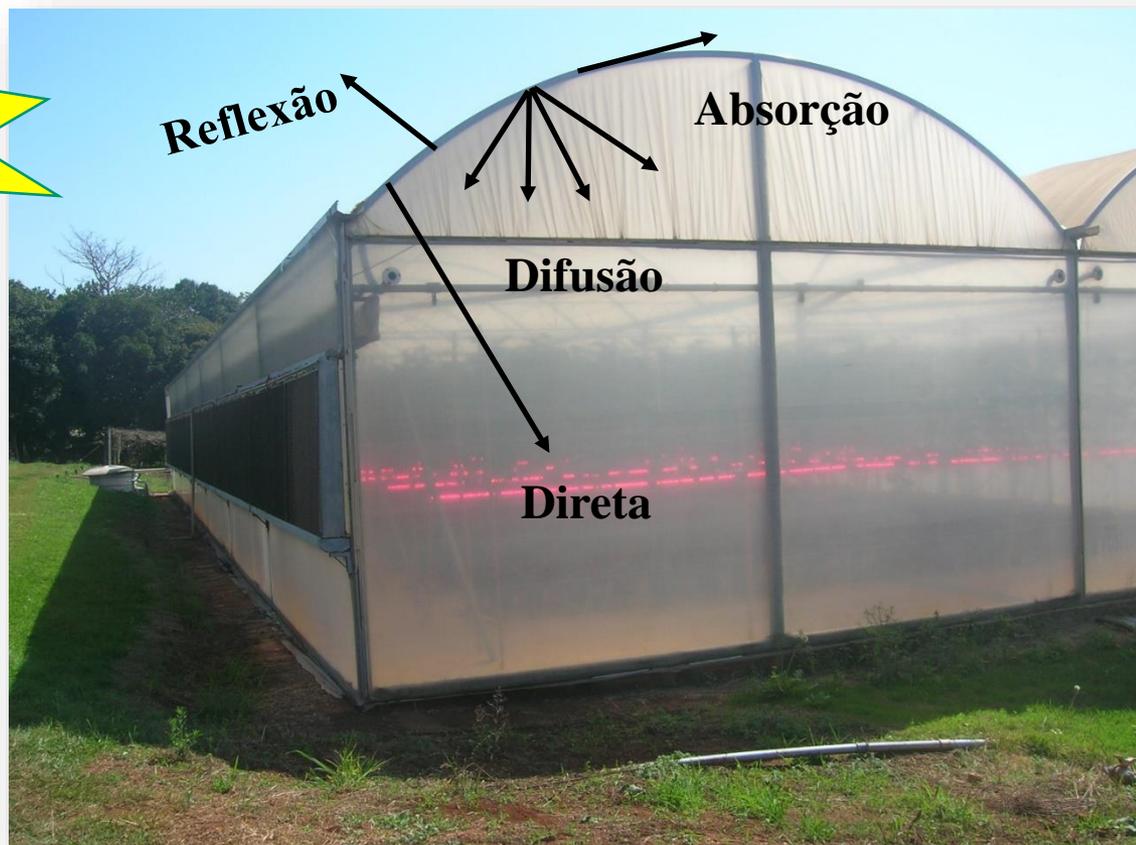
Estufa agrícola

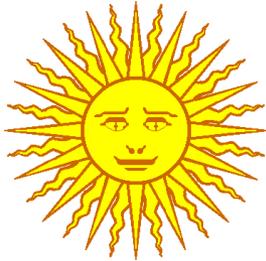


FATORES AMBIENTAIS

Luz

Reducao
de 5-50%





Irradiância solar ou densidade de fluxo radiotativo:
quantidade de radiação solar recebida por uma superfície de
área na unidade de tempo: $\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ou W m^{-2} .

UNIDADES

$$1\text{W/m}^2 = 0,1 \text{ mW/cm}^2 = 1,43 \cdot 10^{-5} \text{ cal/cm}^2 \text{ min}$$

$$1\text{W} = 1 \text{ J/s} = 1 \text{ W/m}^2 = 1 \text{ J/m}^2 \text{ s}$$

$$1 \text{ W m}^{-2} \text{ de RFA} = 4,57 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

Radiação eletromagnética

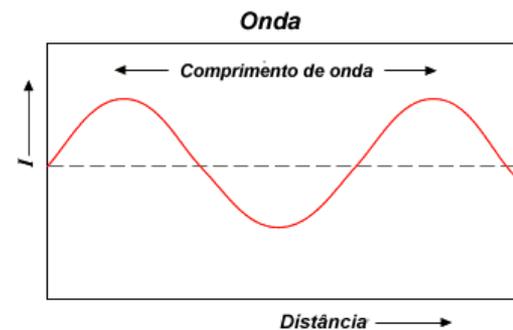
- $c = v \cdot \lambda$
- c = velocidade da radiação ($2,99810^8 \text{ m s}^{-1}$ no vácuo)
- v = frequência (1/s)
- λ = comprimento de onda (m)

- Lei de Planck
- $E = h \cdot v = h \cdot c$

$$\lambda$$

h = constante de Planck =
 $6,62610^{-34} \text{ J.s}$

Raios ultravioleta ($10^{-8} - 3,810^{-7} \text{ m}$); luz visível ($3,810^{-7} - 7,610^{-7} \text{ m}$); infravermelho ($7,610^{-7} - 10^{-4} \text{ m}$).



RADIAÇÃO SOLAR



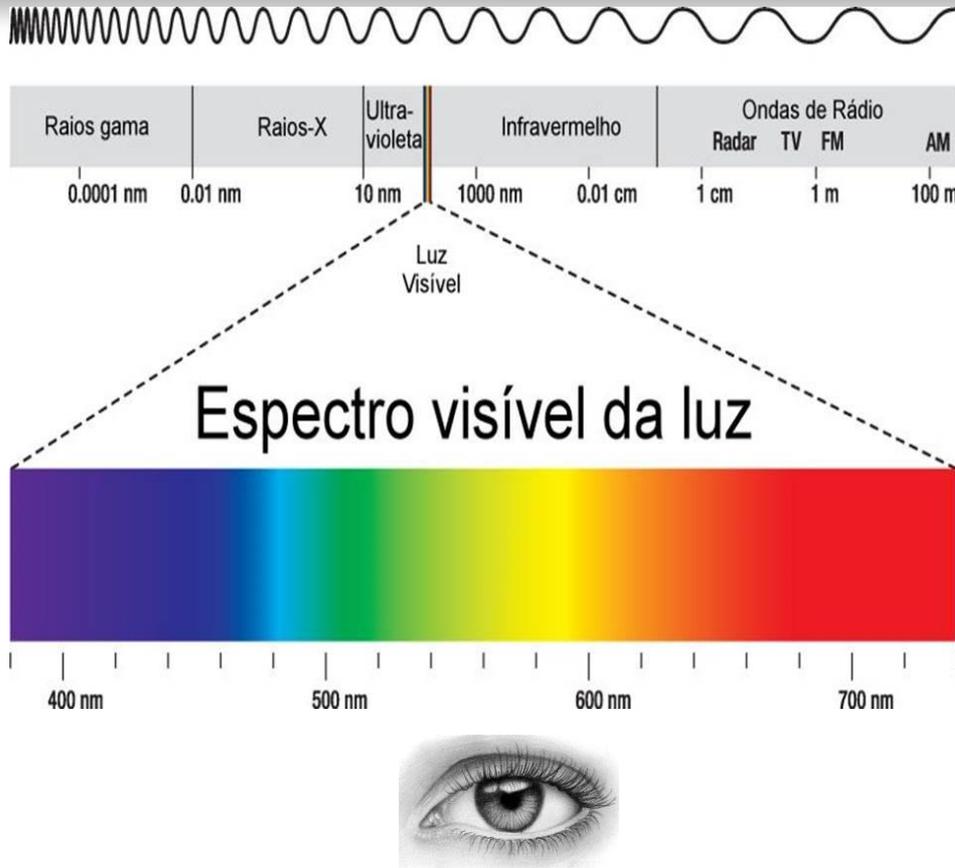
Radiação fotossinteticamente ativa (RFA ou PAR, 400-700 nm): 43% do total

UV (250-400 nm): 6,4%

Radiação infravermelha (700-780 nm): 10,7%

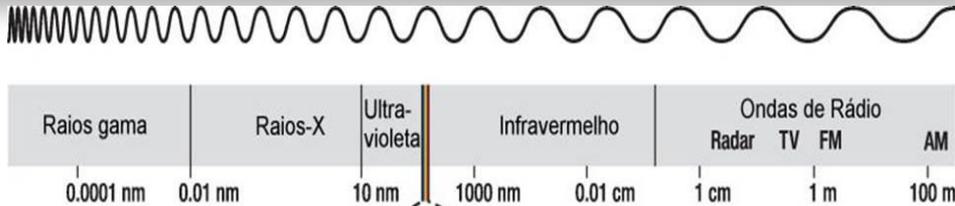
**Radiação infravermelha (780-2700 nm): 38,8% (aquecimento do ambiente):
promove o aquecimento, sendo absorvida pela H₂O e pelo CO₂ e convertida
em energia térmica**

Qualidade da luz: composição espectral das regiões de comprimentos de ondas diferentes



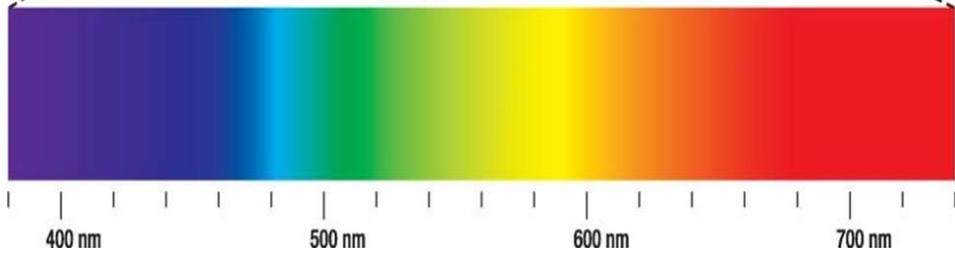
Cor	Intervalo de comprimento de onda (nm)
UV-B	280-315
UV-A	315-400
Violeta	400-450
Azul	450-500
Verde	500-560
Amarelo	560-590
Laranja	590-635
Vermelho	635-700
Infra vermelho	700-750

Qualidade da luz: composição espectral das regiões de comprimentos de ondas diferentes



Luz Visível

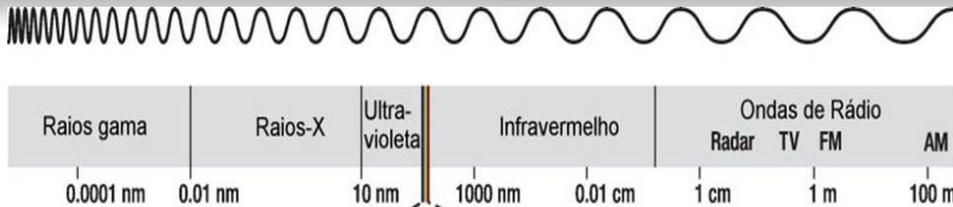
Espectro visível da luz



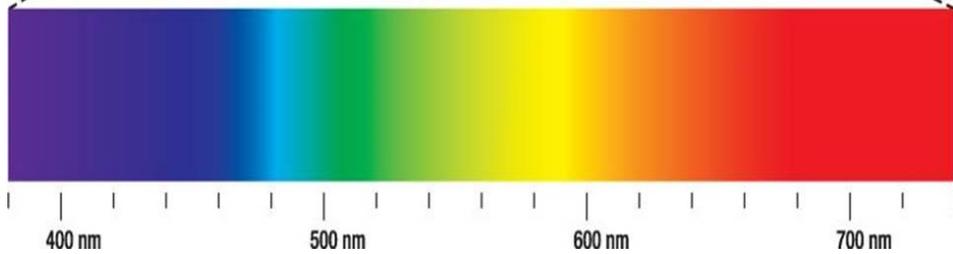
350 nm a 720 nm



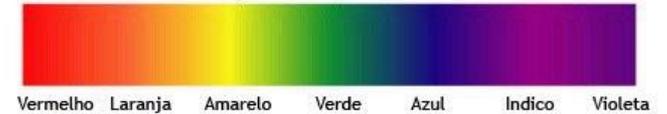
Qualidade da luz: composição espectral das regiões de comprimentos de ondas diferentes



Espectro visível da luz

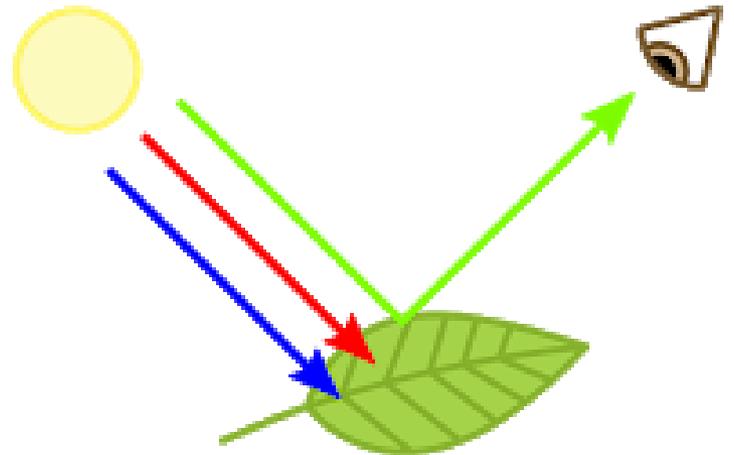
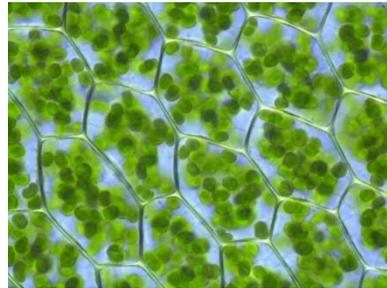


Espectro visível



As plantas absorvem principalmente radiação na faixa do **vermelho** e do **azul**, mas podem absorver outros comprimentos de ondas que dependem da espécie e/ou do cultivar.

Pigmentos absorvedores de luz - Clorofilas



Fotorreceptores

Fotorreceptores: são capazes de identificar pequenas mudanças no espectro, intensidade e direção da luz

Fitocromos

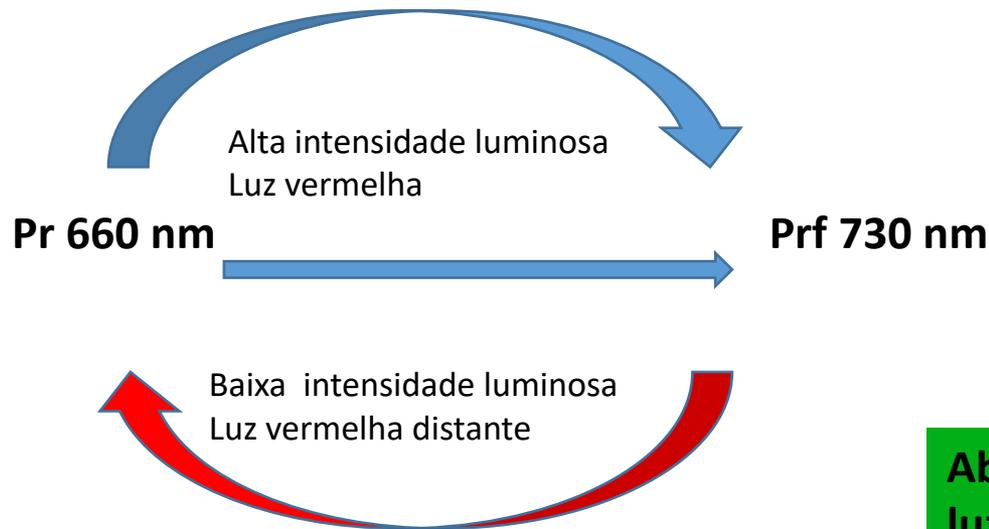
Criptocromos

Fototropinas

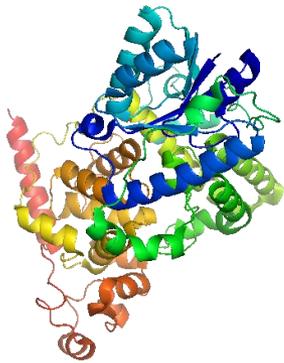
UVR8

Fitocromo-B

Fitocromos: absorvem luz principalmente na faixa do vermelho (Pr 660 nm) e vermelho distante (Prf 730 nm)



Criptocromos

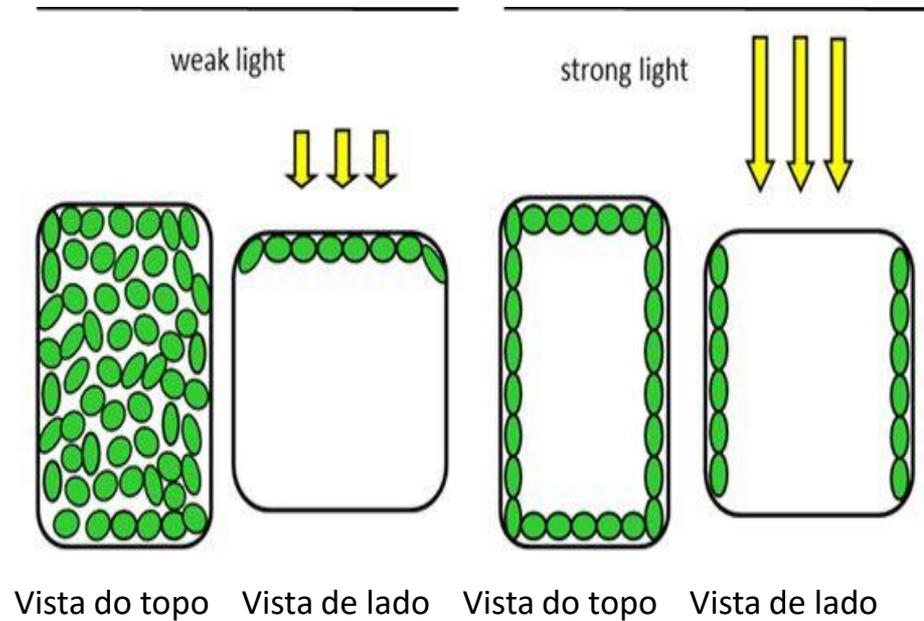


Absorvem UVA, azul e verde

Luz verde: penetra nas camadas mais profundas da folha. Pode aumentar a fotossíntese.

Fototropinas

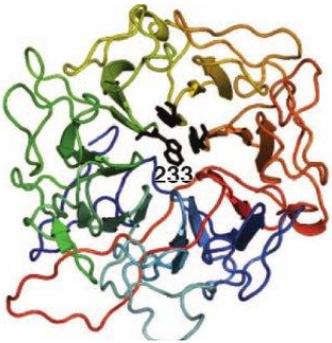
- Absorvem UVA, azul



UVR8

UVR8 –absorve radiação UVB (280-315 nm)

Aumenta a síntese de flavonoides, antocianinas e carotenoides;



Intensidade luminosa na estufa agrícola

Intensidade e a composição da radiação solar que chega no ambiente protegido:

- a) Muda ao longo do dia
- b) Presença de gases, vapor de água, nuvens, partículas de poeira e outros poluentes
- c) Estação do ano
- d) Latitude



Atenuação



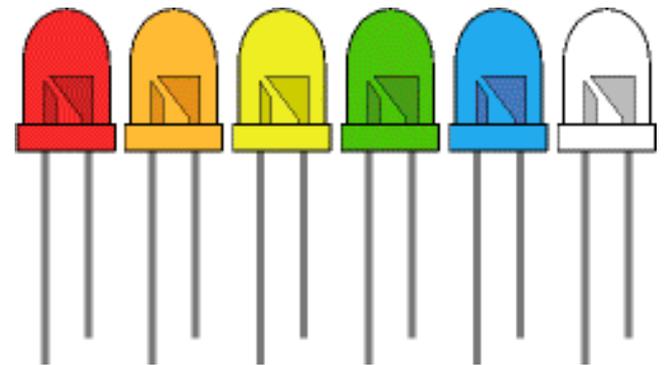
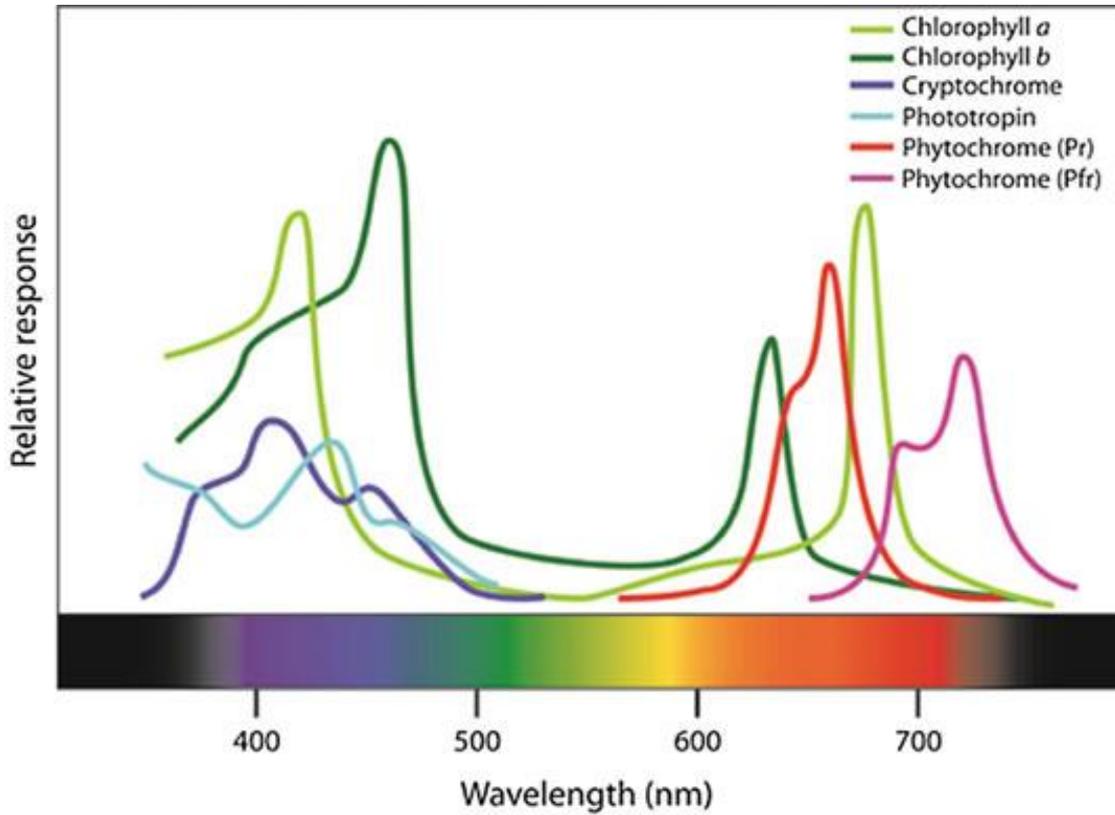
Atenua entre 25-30% a radiação UV

Diminuiu a radiação na faixa do vermelho

Diminui a relação R/FR

Pode reduzir até 15% ao ano a RFA – dependendo da qualidade do filme plástico

LED

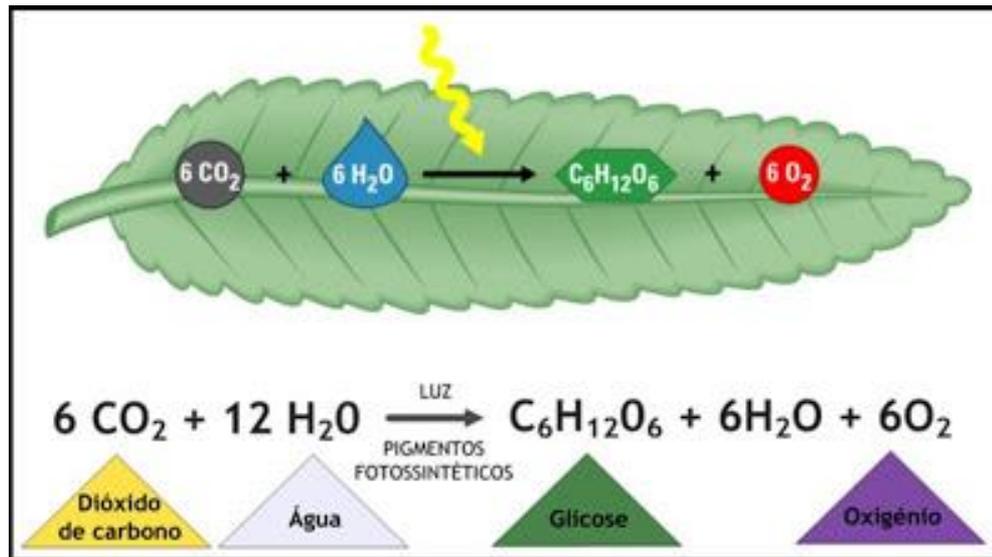


Uso do LED na Horticultura

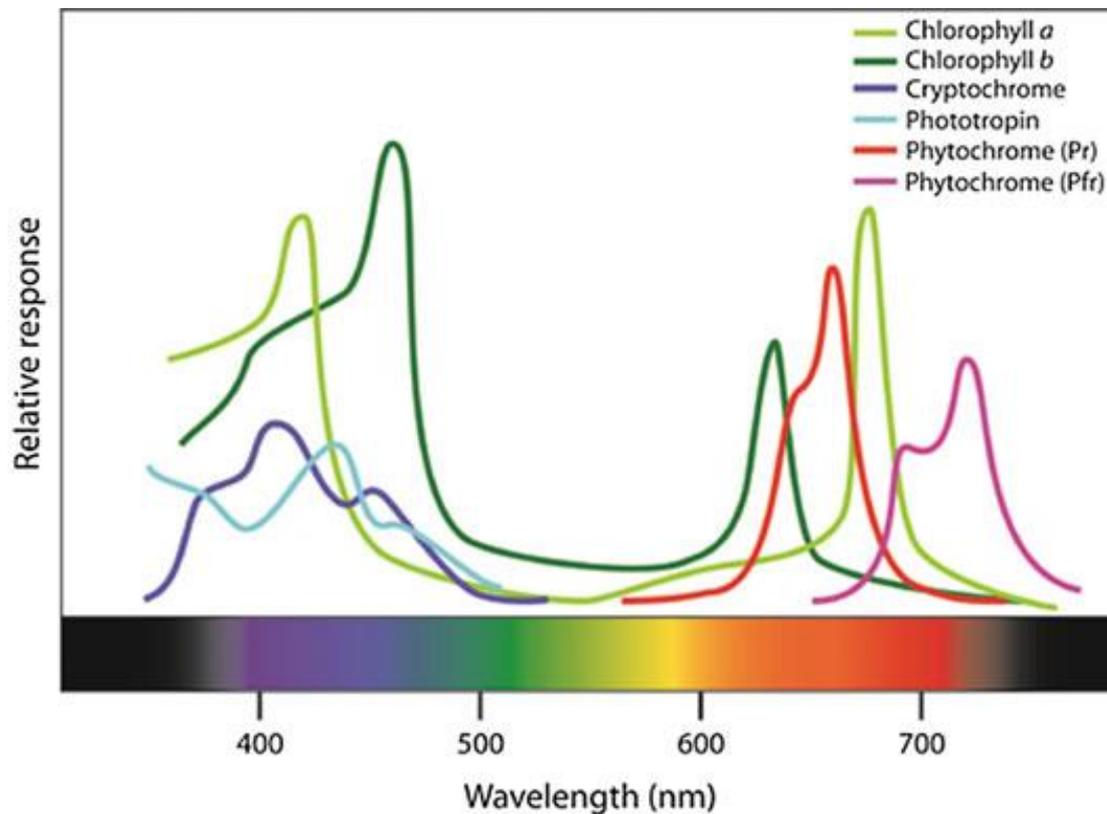
- Suplementação da luz natural
- Controlar o fotoperíodo, estendendo o comprimento natural do dia
- Substituir totalmente a luz natural

Como a luz afeta o crescimento das plantas?

Intensidade luminosa: Quantidade de radiação solar recebida por uma superfície de área na unidade de tempo.



Qualidade da luz: composição espectral das regiões de comprimentos de ondas diferentes



Comprimentos de onda do espectro visível e infra vermelho

Cor	Intervalo de comprimento de onda (nm)
UV-B	280-315
UV-A	315-400
Violeta	400-450
Azul	450-500
Verde	500-560
Amarelo	560-590
Laranja	590-635
Vermelho	635-700
Infra vermelho	700-750

Intensidade luminosa para algumas espécies

Planta	Min $\mu\text{mol/s.m}^2$	Máx $\mu\text{mol/s.m}^2$	Média $\mu\text{mol/s.m}^2$
Tomate	170	200	185
Pimentão	70	130	100
Pepino	100	200	100
Crisântemo	105	130	117,5
Kalanchoê	60	105	82,5
Gérbera	80	105	92,5
Rosa	170	200	185

Intensidade luminosa x nutrição mineral das plantas

- Vegetais: maiores fontes de absorção de nitrato;
- Vegetais crescidos em casa de vegetação e indoor: maior concentração de nitrato e menor concentração de vitamina C

SUPLEMENTAÇÃO LUMINOSA EM TOMATE



ESTUFA AGRÍCOLA CLIMATIZADA



SUPLEMENTAÇÃO LUMINOSA EM TOMATE



- **Espaçamento entre plantas: 0,4 m**
- **Espaçamento entre linhas: 0,8 m**
- **Espaçamento entre linhas duplas: 1,2 m**
- **Densidade: 2,2 plantas/m²**

TIPOS DE LED APLICADOS NA HORTICULTURA

Barras de Led - Philips



Fluxo de fótons = 220 μ mol/s

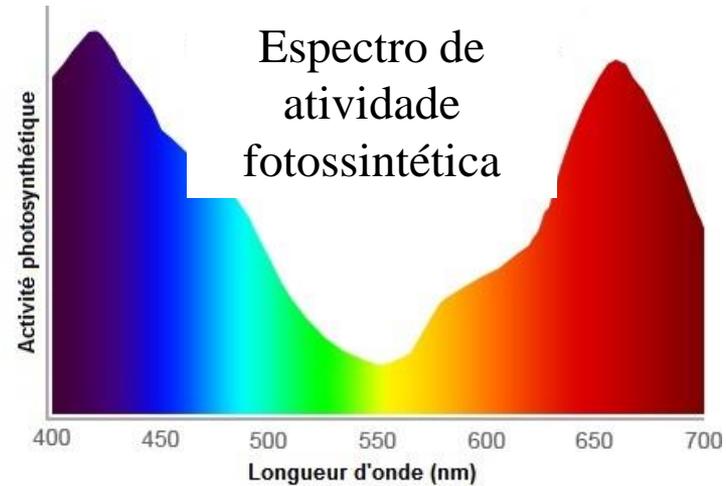
Vida útil (h) = 25.000

Consumo de energia = 105 W/h

Lâmpada LED da Phillips com pico de emissão de luz no vermelho (662 nm) e no azul (452 nm).



Fluxo de fótons = 220 $\mu\text{mol/s}$
Vida útil (h) = 25.000
Consumo de energia = 105 W/h



Lâmpada LED da Phillips com pico de emissão de luz no vermelho (662 nm) e no azul (452 nm).





C
A
R
R
O
C
E
L



Crescimento da planta de tomate

LED	Número de cachos/haste
COM	11,9 a
SEM	10,5 b
Aumento (%)	13,3



Produtividade de mini tomate



LED	P COMERCIAL	P NÃO COMERCIAL	P TOTAL
	Kg/m ²		
COM	16,9	1,7	18,7
SEM	14,5	2,5	17,0
GANHO	16.6%	-32%	10%

SUPLEMENTAÇÃO LUMINOSA EM PEPINO



SUPLEMENTAÇÃO LUMINOSA EM PEPINO



- **Substrato fibra de coco; vasos de 8 L.**
- **Espaçamento entre plantas: 0,4 m**
- **Espaçamento entre linhas: 0,8 m**
- **Espaçamento entre linhas duplas: 1,2 m**
- **1 haste por planta. Densidade 2,2 plantas/m²**



Resultados - Fotossíntese

55
DAT

Tratamento	Fotossíntese $\mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Cond. Estom. $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	CO ₂ int. $\mu\text{mol CO}_2\text{mol}^{-1}\text{ar}$	Transp. $\text{mmol H}_2\text{Om}^{-2}\text{s}^{-1}$	Transporte e ⁻ $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$
LED	15,14	0,40	357,63	6,40	52,29
Sem LED	12,72	0,41	386,61	7,69	51,11

19 % ↑

Resultados - Produtividade



LED	DAT		
	27-55	56-107	27-107
Controle	0.67 b	3.05 b	3.72 b
LED	0.78 a	3.43 a	4.21 a
CV%	9.49	7.34	7.18