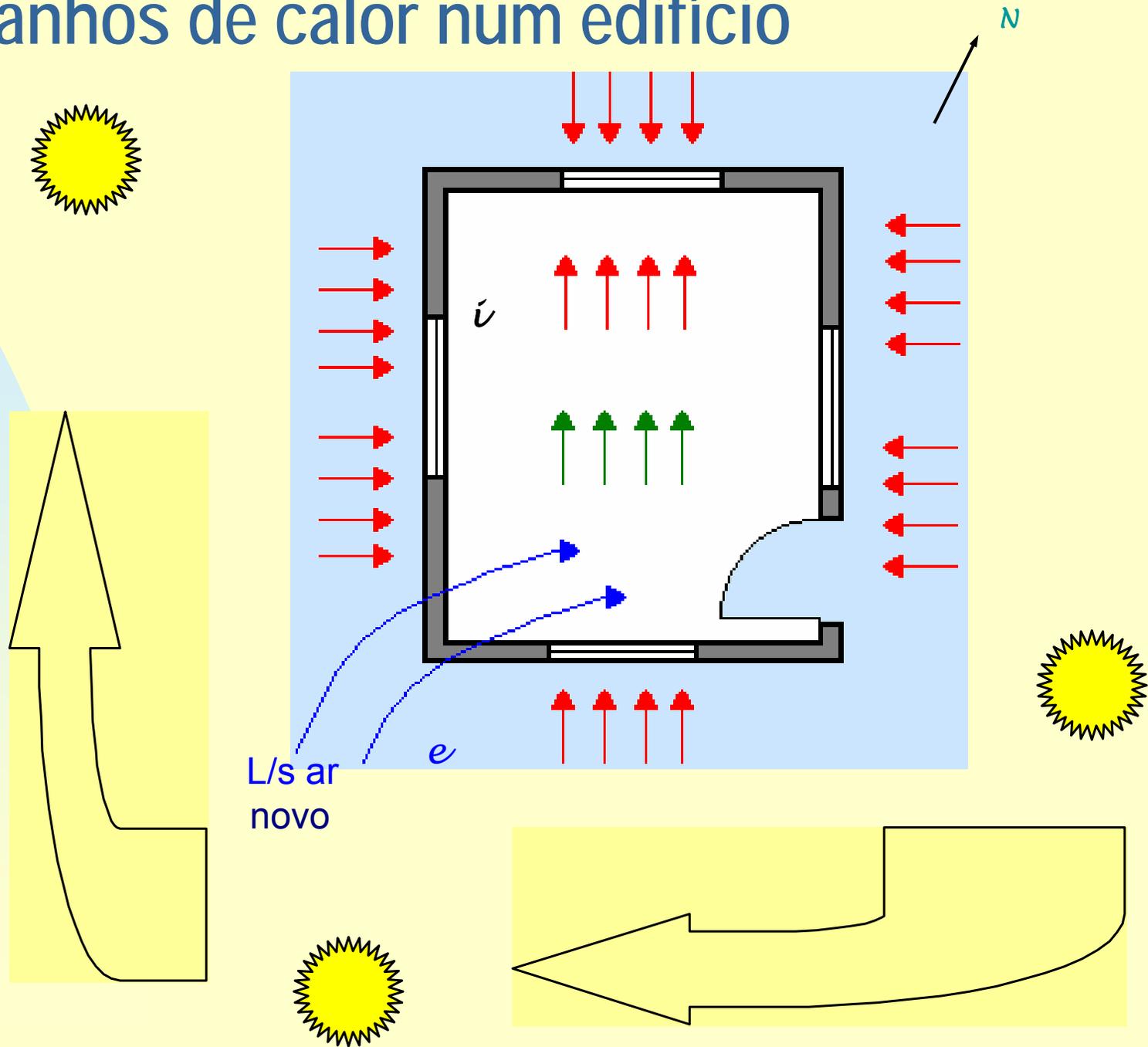


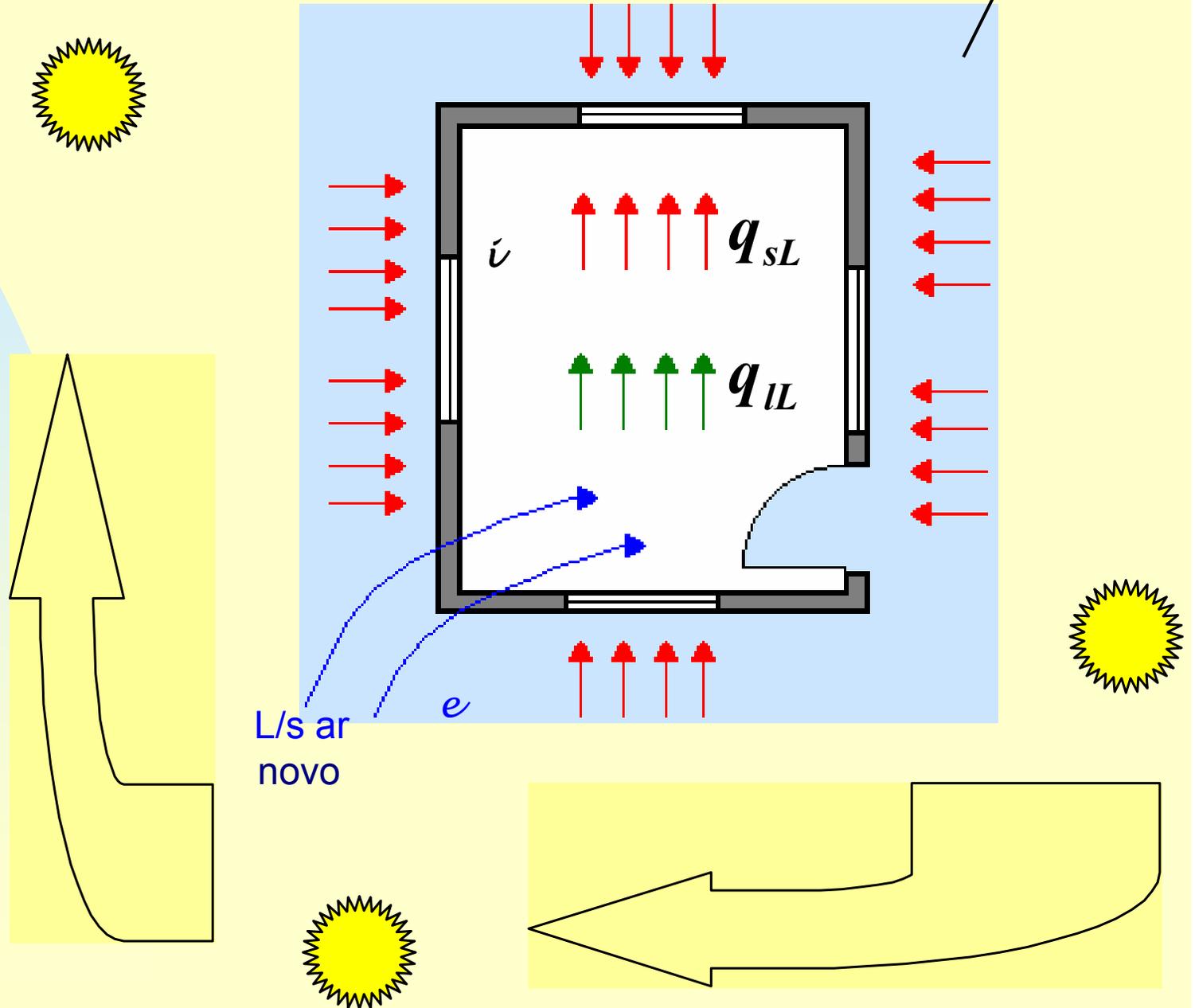
# Ganhos de calor num edifício



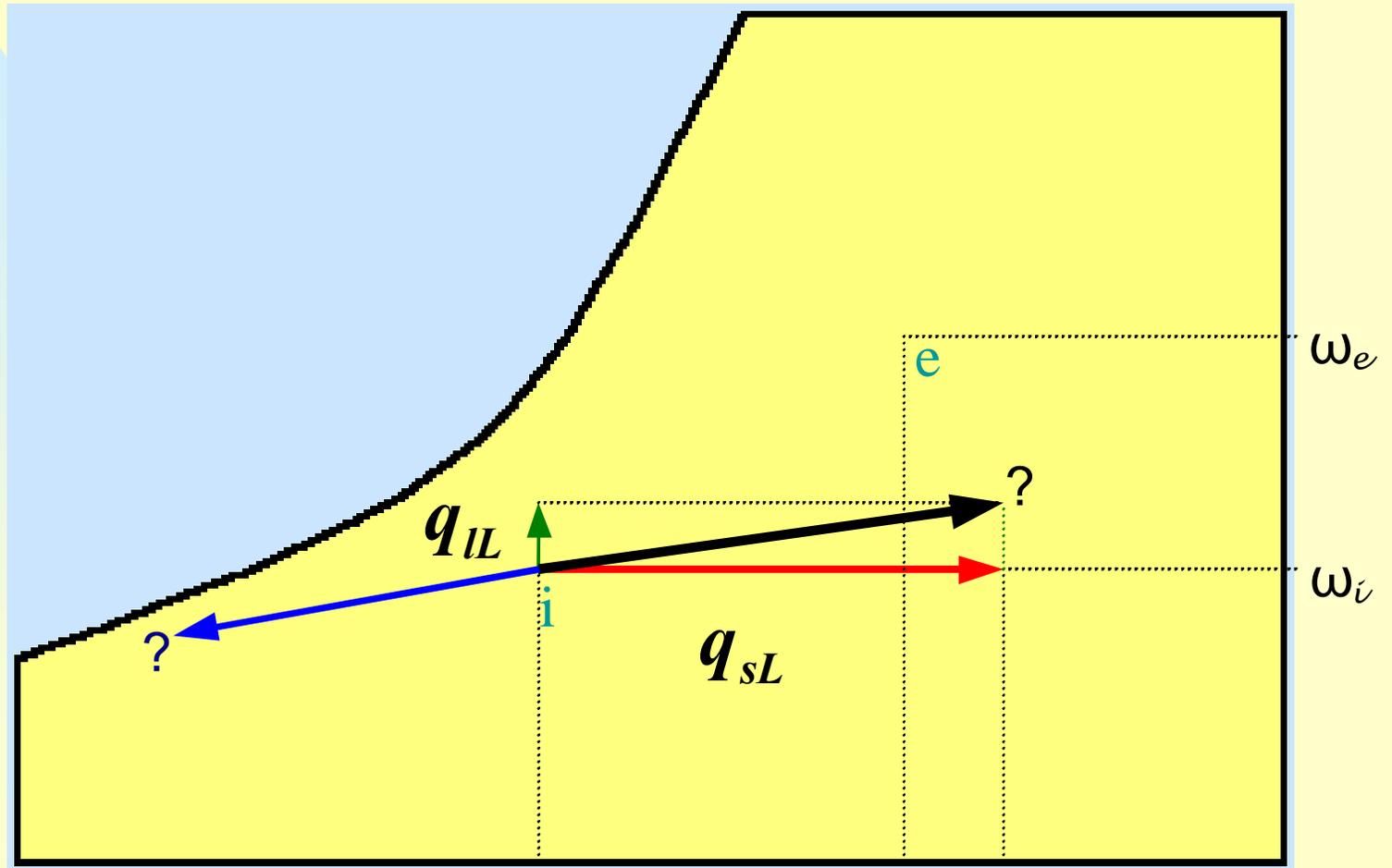
# Ganhos de calor num edifício

- Ganhos sensíveis:
- Condução – Paredes exteriores, interiores, telhados, tectos, chão, vidros
- Radiação – Vidros
- Internos – Iluminação, ocupação humana, equipamentos
- Calor sensível local –  $q_{sL}$
- Ganhos latentes: Ocupação humana, equipamentos
- Calor latente local –  $q_{lL}$

# Ganhos de calor num edifício



# Ganhos de calor num edifício

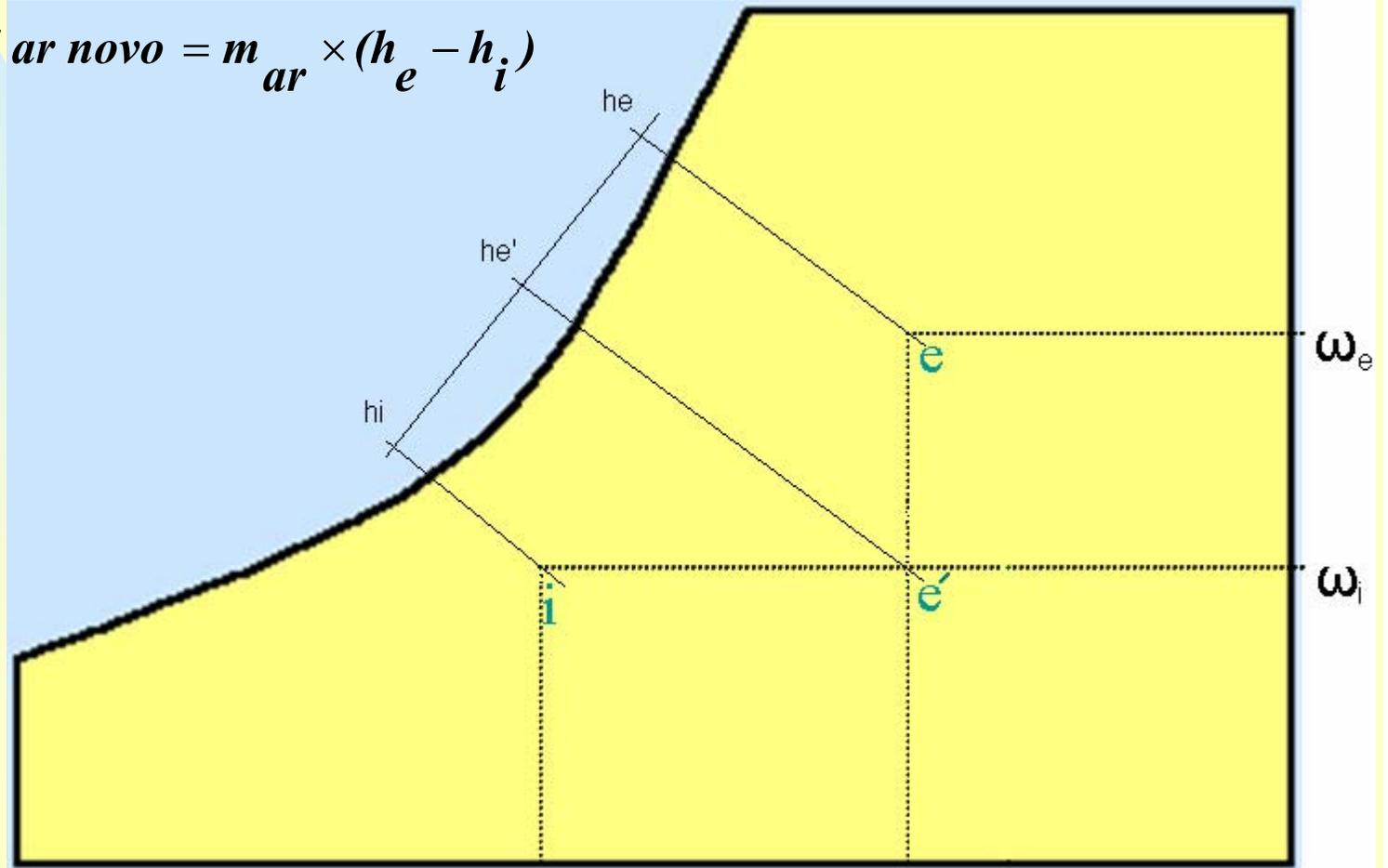


# Ganhos de calor num edifício

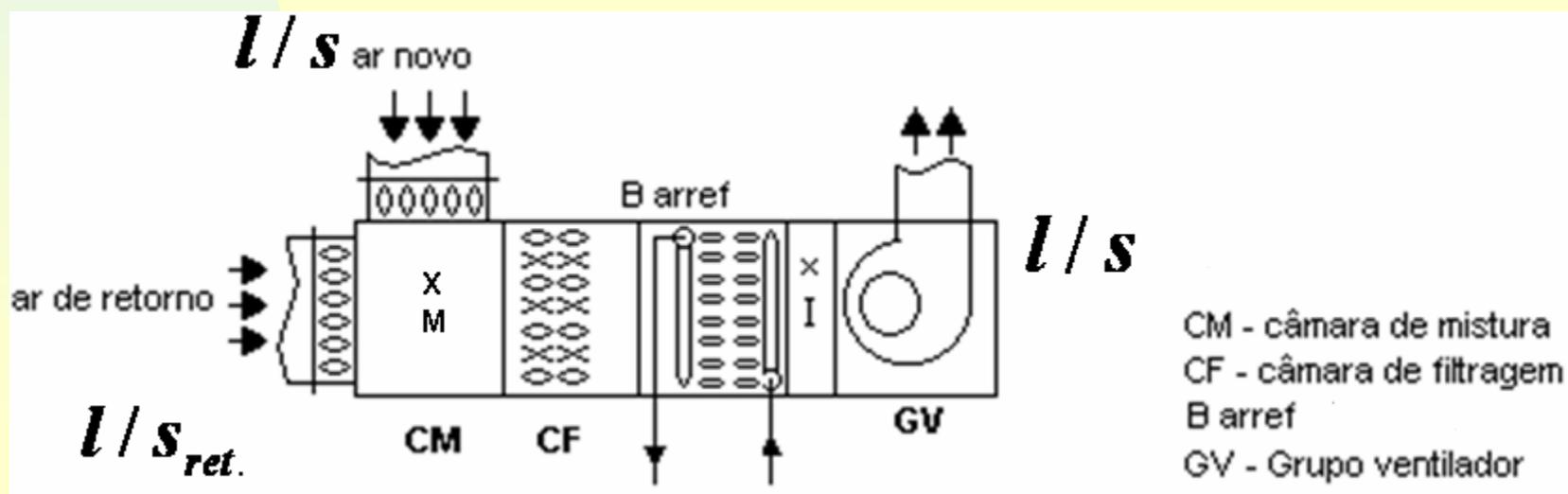
$$\text{Calor sensível ar novo} = l/s_{\text{ar novo}} \times 1,23 \times (T_e - T_i) = q_{sAN} = m_{\text{ar}} \times (h_{e'} - h_i)$$

$$\text{Calor latente ar novo} = l/s_{\text{ar novo}} \times 3 \times (\omega_e - \omega_i) = q_{LAN} = m_{\text{ar}} \times (h_e - h_{e'})$$

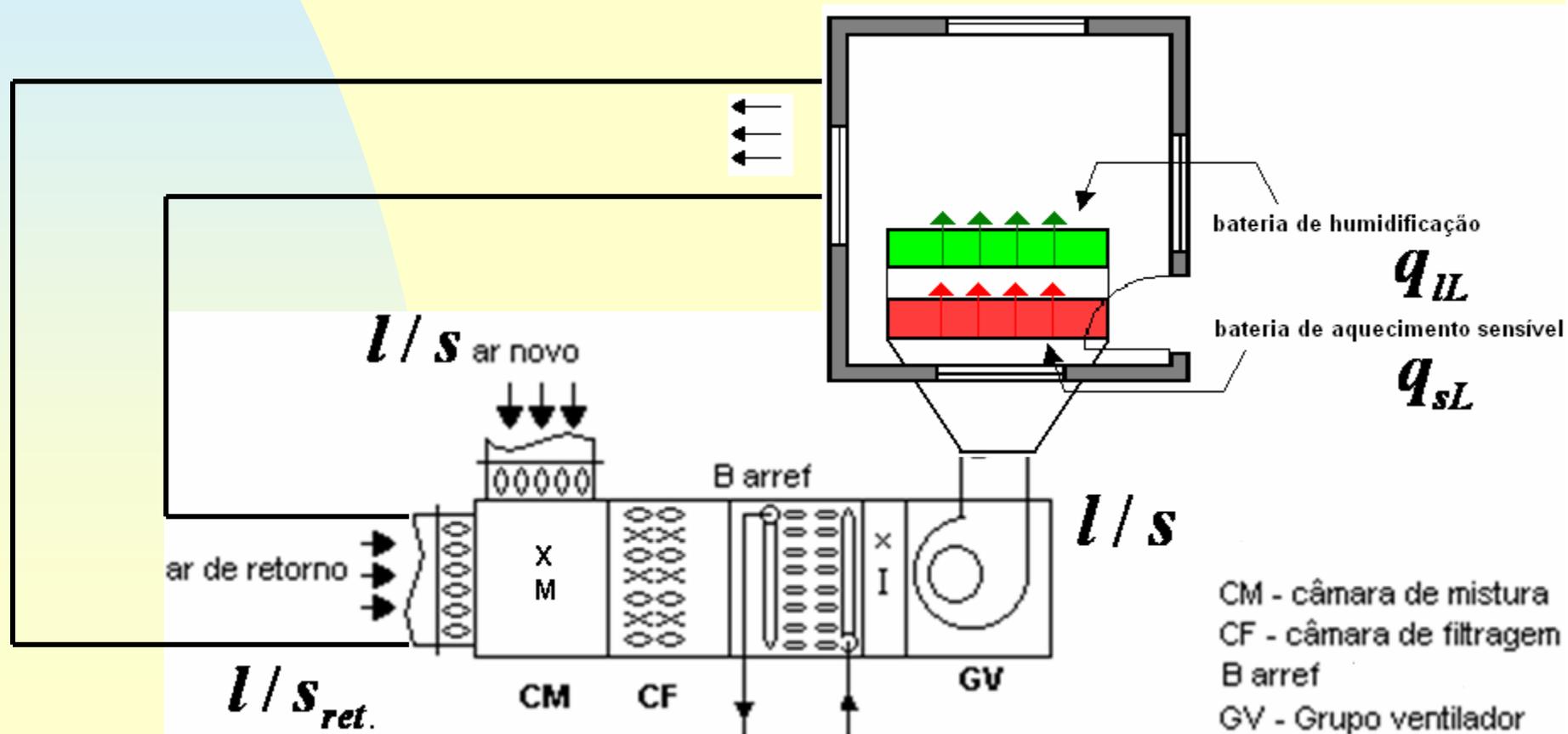
$$\text{Calor total ar novo} = m_{\text{ar}} \times (h_e - h_i)$$



# Unidade de tratamento de ar



# Unidade de tratamento de ar



# Representação psicrométrica da evolução

$$q_{sL} + q_{sAN} = q_{sT}$$

$$q_{iL} + q_{iAN} = q_{iT}$$

$$q_{tL} + q_{tAN} = q_T$$

**Factor de calor sensível local**

**Evolução na sala**

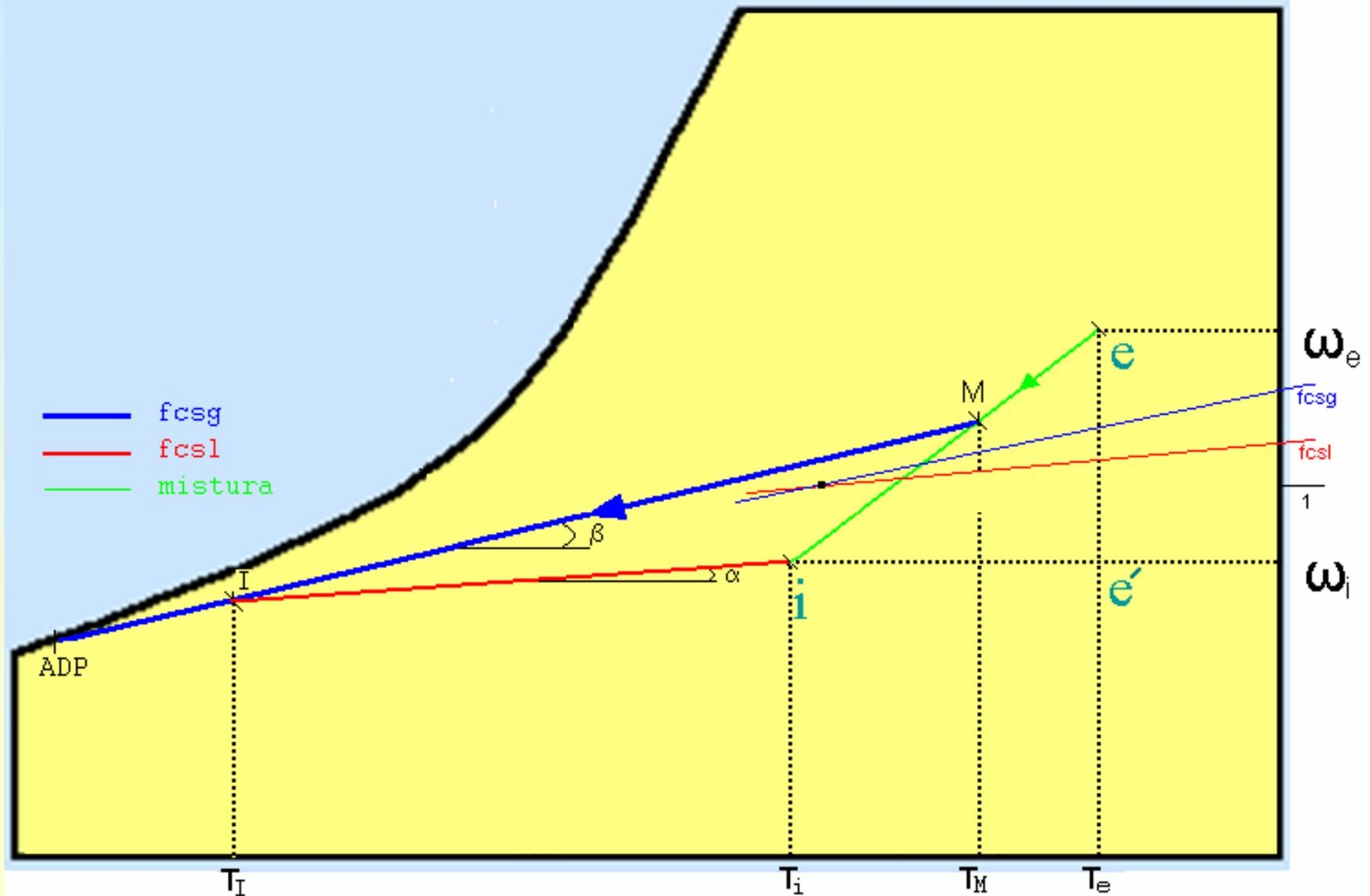
$$f_{csl} = RSHF = \frac{q_{sL}}{q_{tL}} \Rightarrow < \alpha$$

**Factor de calor sensível global**

**Evolução na serpentina**

$$f_{csg} = GSHF = \frac{q_{sT}}{q_T} \Rightarrow < \beta$$

# Representação psicrométrica da evolução

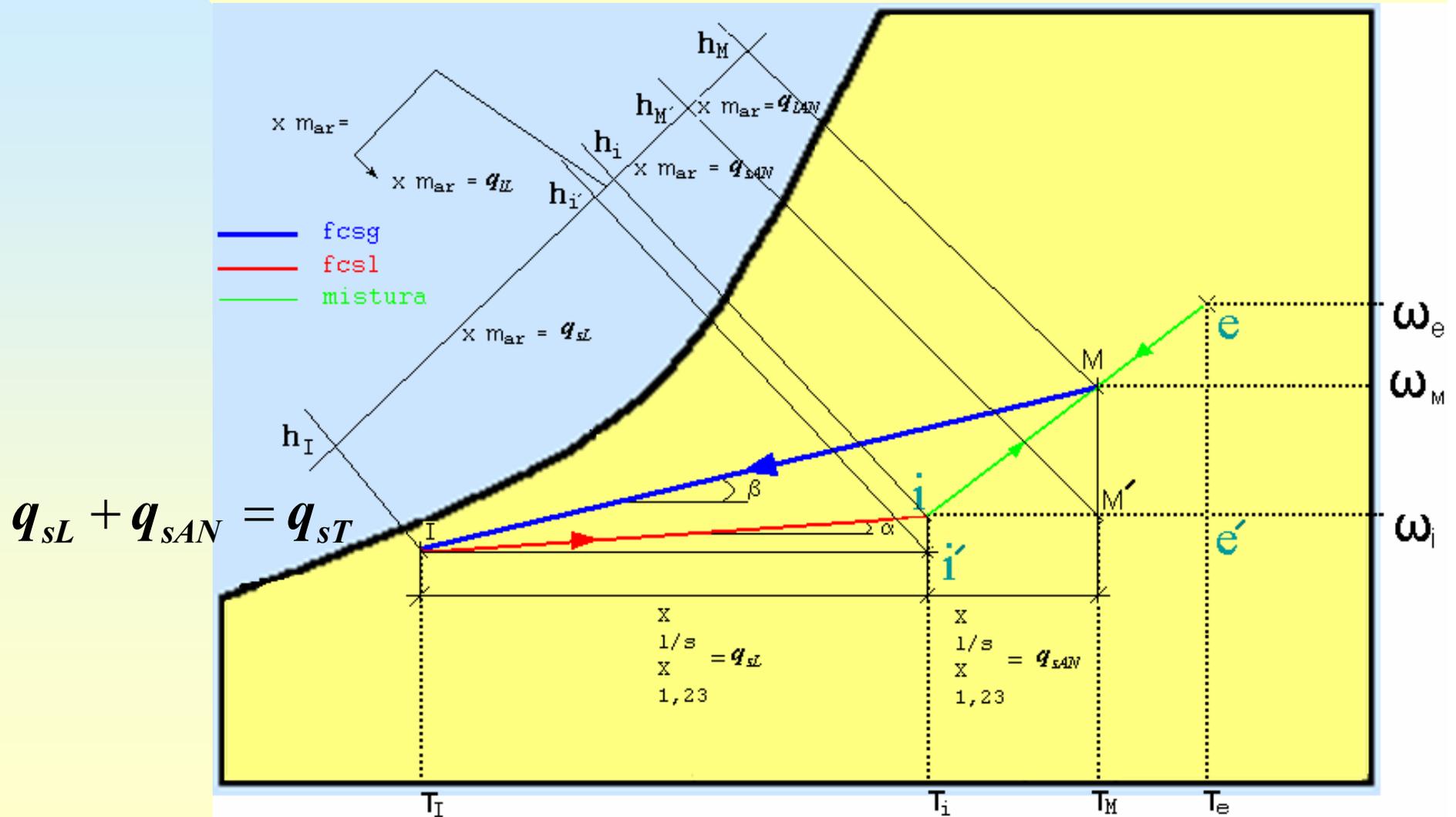


# Representação psicrométrica da evolução

$$\text{Calor sensível local} = q_{sL} = l/s \times 1,23 \times (T_i - T_I) = m_{ar} \times (h_{i'} - h_I)$$

$$+ \text{Calor sensível ar novo} = q_{sAN} = l/s \times 1,23 \times (T_M - T_i) = m_{ar} \times (h_{M'} - h_i)$$

$$\text{Calor sensível total} = q_{sT} = l/s \times 1,23 \times (T_M - T_I) = m_{ar} \times (h_{M'} - h_I)$$

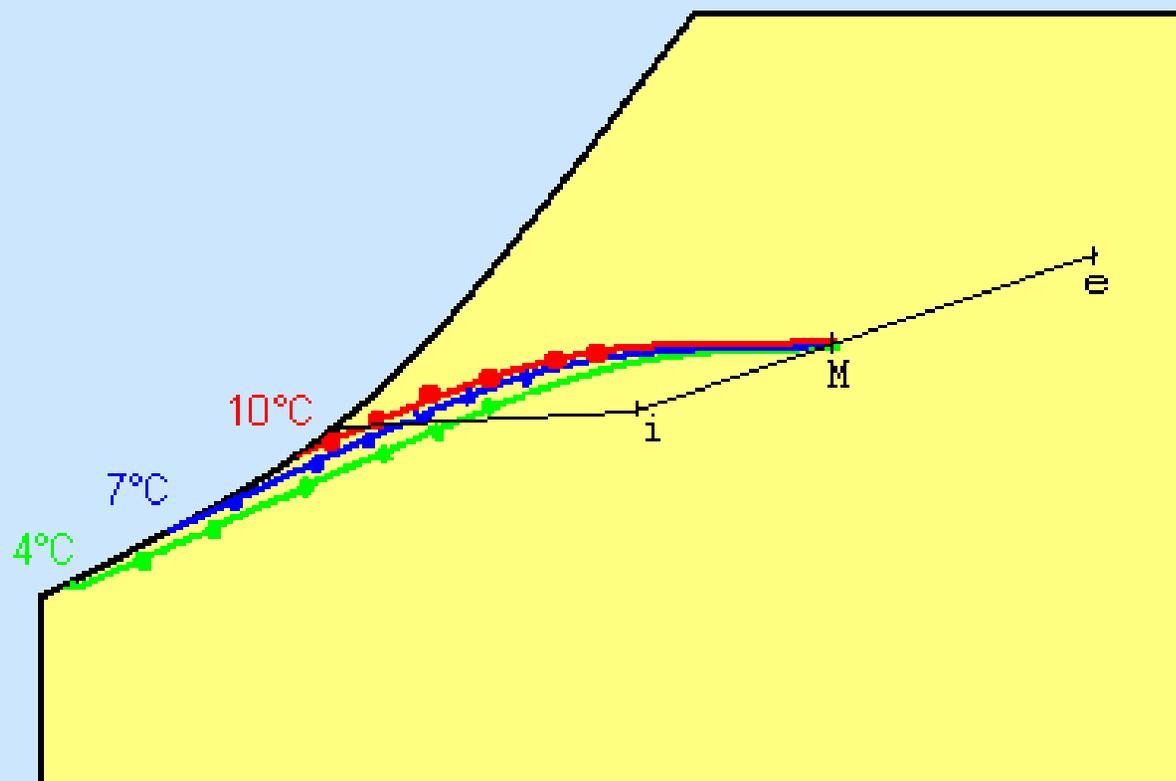


# Representação psicrométrica da evolução

$$l/s_{ar\ trat.} = \frac{q_{sL}}{1,23 \times (T_i - T_I)} = \frac{q_{sT}}{1,23 \times (T_M - T_I)} = \frac{Q_{sensível} ???!}{1,23 \times \Delta T ???!}$$

$$t_M = \frac{\frac{l/s_{ar\ novo}}{v_{se}} \times t_e + \frac{l/s_{ret.}}{v_{si}} \times t_i}{\frac{l/s_{ar\ novo}}{v_{se}} + \frac{l/s_{ret.}}{v_{si}}} \approx \frac{l/s_{ar\ novo} \times T_e + l/s_{ret.} \times T_i}{l/s_{ar\ trat.}}$$

## FUNCIONAMENTO DE UMA SERPENTINA DE ARREFECIMENTO



## FUNCIONAMENTO DE UMA SERPENTINA DE ARREFECIMENTO

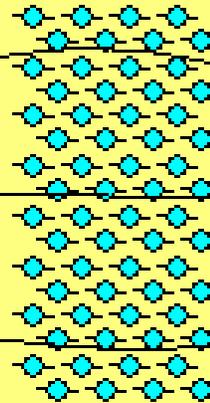
BF - Factor de by-pass

% de ar sem ser tratado

BF % de ar no ponto M

M

X



(1-BF) % do ar tratado

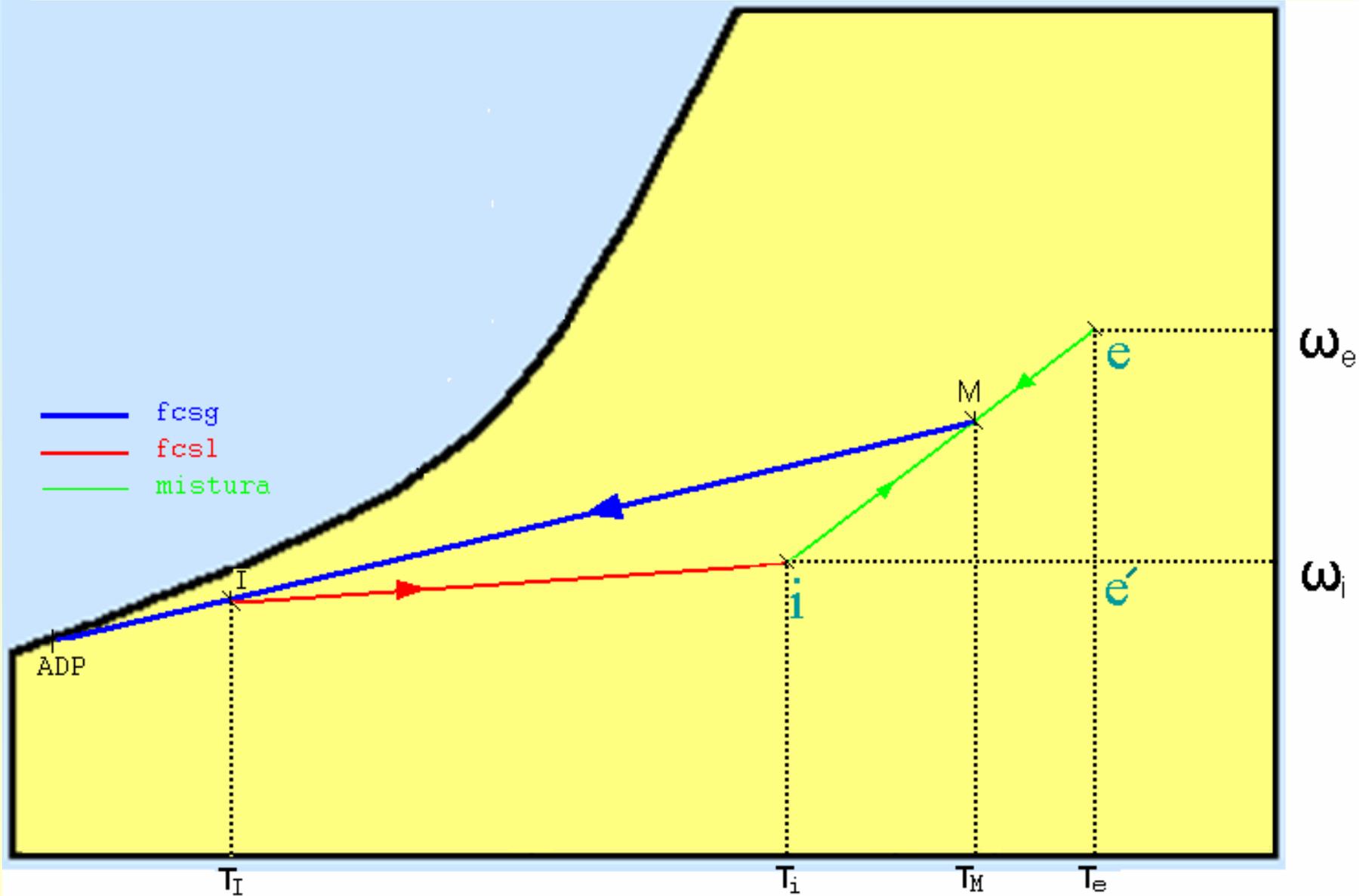
no ponto ADP

*ADP - "Apparatus Dew Point"*

(1-BF) - Factor de contacto

ADP - Temperatura equivalente de  
superfície da serpentina de arrefecimento

# FUNCIONAMENTO DE UMA SERPENTINA DE ARREFECIMENTO



## FUNCIONAMENTO DE UMA SERPENTINA DE ARREFECIMENTO

$$T_I = \frac{BF \times T_M + (1 - BF) \times ADP}{BF + (1 - BF)}$$

$$BF = \frac{T_I - ADP}{T_M - ADP} = \frac{h_I - h_{ADP}}{h_M - h_{ADP}} = \frac{\omega_I - \omega_{ADP}}{\omega_M - \omega_{ADP}} = \frac{I_{ADP}}{M_{ADP}}$$

**O factor de by-pass é uma característica construtiva da serpentina de arrefecimento**

## FUNCIONAMENTO DE UMA SERPENTINA DE ARREFECIMENTO

$$q_{sL} + q_{sAN} \times BF + q_{sAN} \times (1 - BF) = q_{sT}$$

$$+ q_{lL} + q_{lAN} \times BF + q_{lAN} \times (1 - BF) = q_{sT}$$

---

$$q_{tL} + q_{tAN} \times BF + q_{tAN} \times (1 - BF) = q_T$$

Em que:

$$q_{seL} = q_{sL} + q_{sAN} \times BF$$

$$q_{leL} = q_{lL} + q_{lAN} \times BF$$

$$q_{teL} = q_{tL} + q_{tAN} \times BF$$

$$q_{sL} + q_{sAN} = q_{sT}$$

$$q_{lL} + q_{lAN} = q_{lT}$$

$$q_{tL} + q_{tAN} = q_T$$

## FUNCIONAMENTO DE UMA SERPENTINA DE ARREFECIMENTO

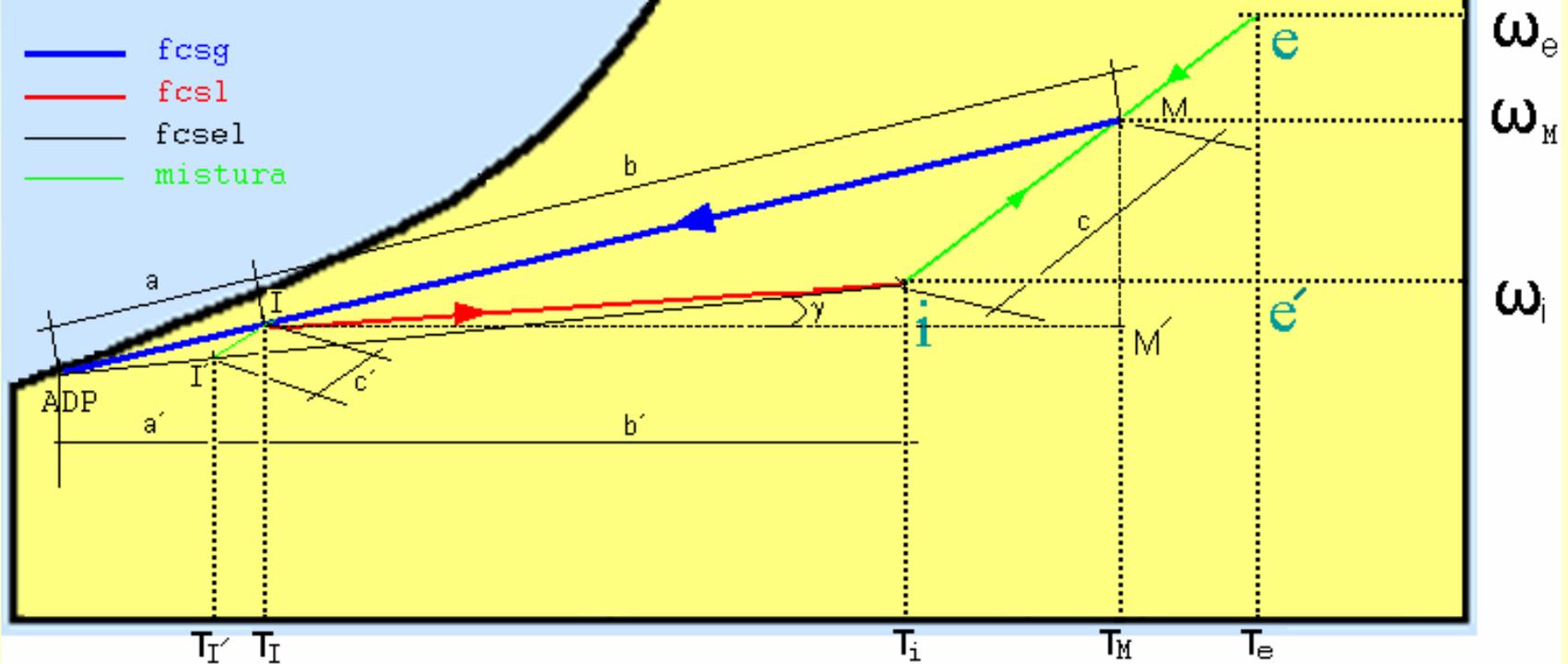
$$\frac{a}{a+b} = \frac{a'}{a'+b'} = \frac{c'}{c} = BF$$

$$c' = c \times BF \Rightarrow c' \times \text{Cos} \gamma = c \times \text{Cos} \gamma \times BF \Rightarrow$$

$$c \times \text{Cos} \gamma \times BF = T_I - T_{I'}$$

$$c \times \text{Cos} \gamma \times BF \times l/s \times 1,23 = l/s \times 1,23 \times (T_I - T_{I'}) = q_{sAN} \times BF$$

Os  $\Delta ADP, I, I'$  e  $\Delta DP, M, i$  são semelhantes



## FUNCIONAMENTO DE UMA SERPENTINA DE ARREFECIMENTO

$$\text{Calor sensível local} = l/s \times 1,23 \times (T_i - T_I) = q_{sL}$$

$$+ \text{calor sensível do ar novo "by-passado"} = l/s \times 1,23 \times (T_I - T_{I'}) = q_{sAN} \times BF$$

---

$$\text{Calor sensível efectivo do local} = l/s \times 1,23 \times (T_i - T_{I'}) = q_{seL}$$

$$\text{Donde se conclui: } l/s \text{ ar trat.} = \frac{q_{seL}}{1,23 \times (T_i - T_{I'})}$$

Em que só aparentemente  $T_{I'}$  é uma incógnita

## FUNCIONAMENTO DE UMA SERPENTINA DE ARREFECIMENTO

Já que:

$$\frac{a}{a+b} = \frac{a'}{a'+b'} = \frac{c'}{c} = BF \Rightarrow \frac{T_{I'} - ADP}{T_I - ADP} = BF \Rightarrow$$

$$\Rightarrow (T_i - T_{I'}) = (T_i - ADP) \times (1 - BF)$$

$$l/s = \frac{q_{seL}}{1,23 \times (T_i - ADP) \times (1 - BF)}$$

$$l/s = \frac{q_{sL}}{1,23 \times (T_i - T_I)} = \frac{q_{sT}}{1,23 \times (T_M - T_I)} = \frac{q_{seL}}{1,23 \times (T_i - ADP) \times (1 - BF)}$$

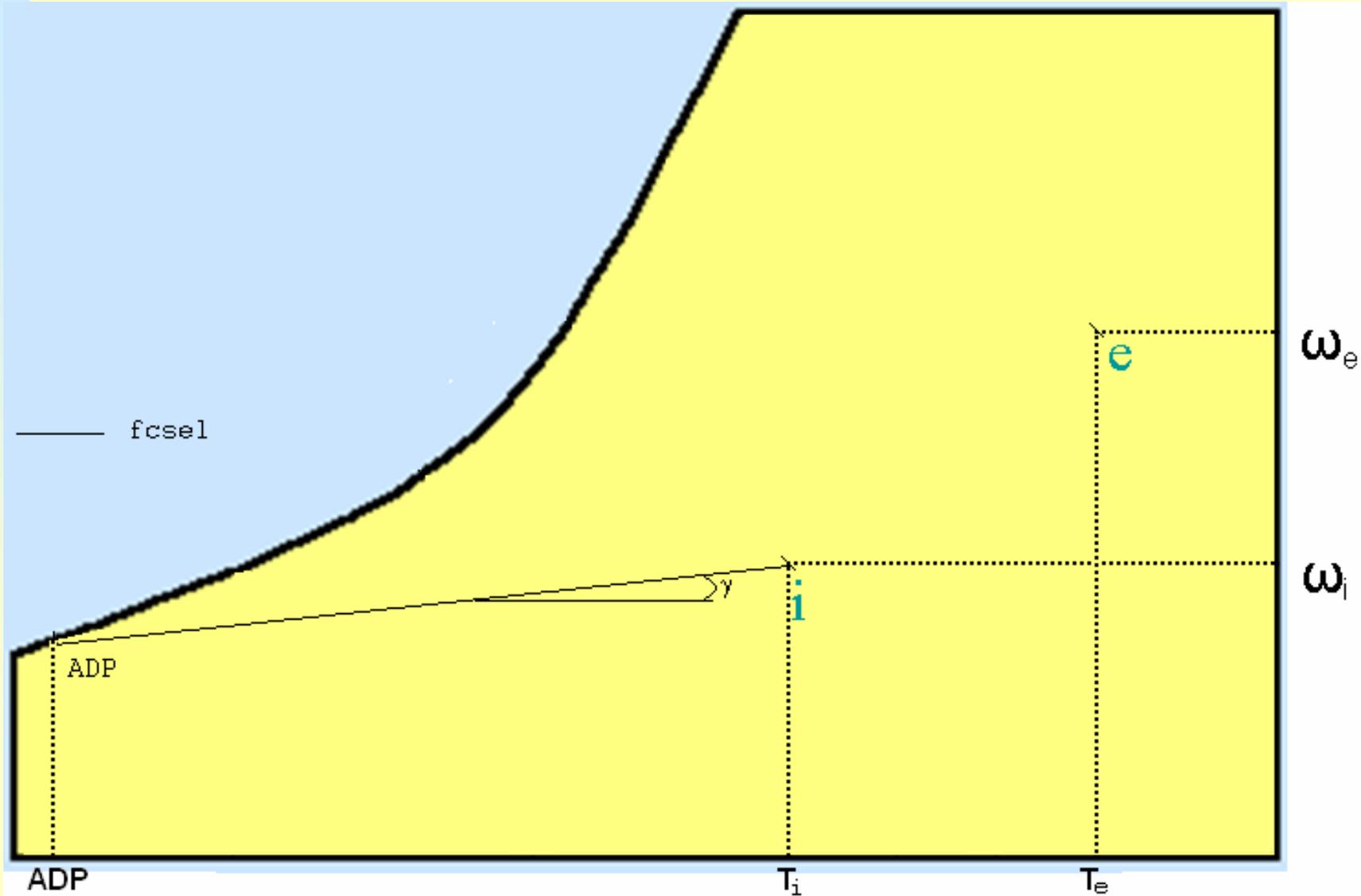
## FUNCIONAMENTO DE UMA SERPENTINA DE ARREFECIMENTO

O ADP é função do BF e do  $fc_{sel}$

$$fc_{sel} = ESHF = \frac{q_{seL}}{q_{teL}} = \frac{q_{sL} + q_{sAN} \times BF}{q_{tL} + q_{tAN} \times BF} \Rightarrow < \gamma$$

Traça-se a recta de  $fc_{sel}$  e define-se graficamente o ADP

# FUNCIONAMENTO DE UMA SERPENTINA DE ARREFECIMENTO



## FUNCIONAMENTO DE UMA SERPENTINA DE ARREFECIMENTO

$$l/s_{ar\ trat.} = \frac{q_{se}L}{1,23 \times (T_i - ADP) \times (1 - BF)}$$

$$l/s_{ar\ trat.} = \frac{q_{sL}}{1,23 \times (T_i - T_I)}$$

$$BF = \frac{T_I - ADP}{T_M - ADP}$$

$$T_M = \frac{\frac{l/s_{ar\ novo} \times T_e}{v_{se}} + \frac{l/s_{ret.} \times T_i}{v_{si}}}{\frac{l/s_{ar\ novo}}{v_{se}} + \frac{l/s_{ret.}}{v_{si}}} \approx \frac{l/s_{ar\ novo} \times T_e + l/s_{ret.} \times T_i}{l/s_{ar\ trat.}}$$

# Problema teórico de psicrometria de Verão

- Dados:
- Condições interiores  $i$
- Condições exteriores  $e$
- Ganhos de calor sensível local  $q_{sL}$
- Ganhos de calor latente local  $q_{lL}$
- Débito de ar novo,  $l/s \mathcal{AN}$
- Factor de by-pass,  $\mathcal{BF}$ , da serpentina de arrefecimento

# Problema teórico de psicrometria de Verão

- 1º Calcular:
  - a) Capacidade total da bateria de arrefecimento
  - b) Temperatura equivalente de superfície da bateria de arrefecimento, ADP
  - c) Débito de ar tratado l/s
  - d) Condições do ar à entrada e saída da bateria de arrefecimento
- 2º Representar as evoluções psicrométricas do ar e a unidade de tratamento a utilizar com os seus componentes principais.

# Problema teórico de psicrometria de Verão

1º Calcular:

a) Capacidade total da bateria de arrefecimento

$$q_{sL} + q_{sAN} = q_{ST}$$

$$q_{iL} + q_{iAN} = q_{IT}$$

$$q_{tL} + q_{tAN} = q_T$$

$$\text{Calor sensível ar novo} = l / s_{ar\ novo} \times 1,23 \times (T_e - T_i) = q_{sAN} = m_{ar} \times (h_e - h_i)$$

$$\text{Calor latente ar novo} = l / s_{ar\ novo} \times 3 \times (\omega_e - \omega_i) = q_{iAN} = m_{ar} \times (h_e - h_e')$$

# Problema teórico de psicrometria de Verão

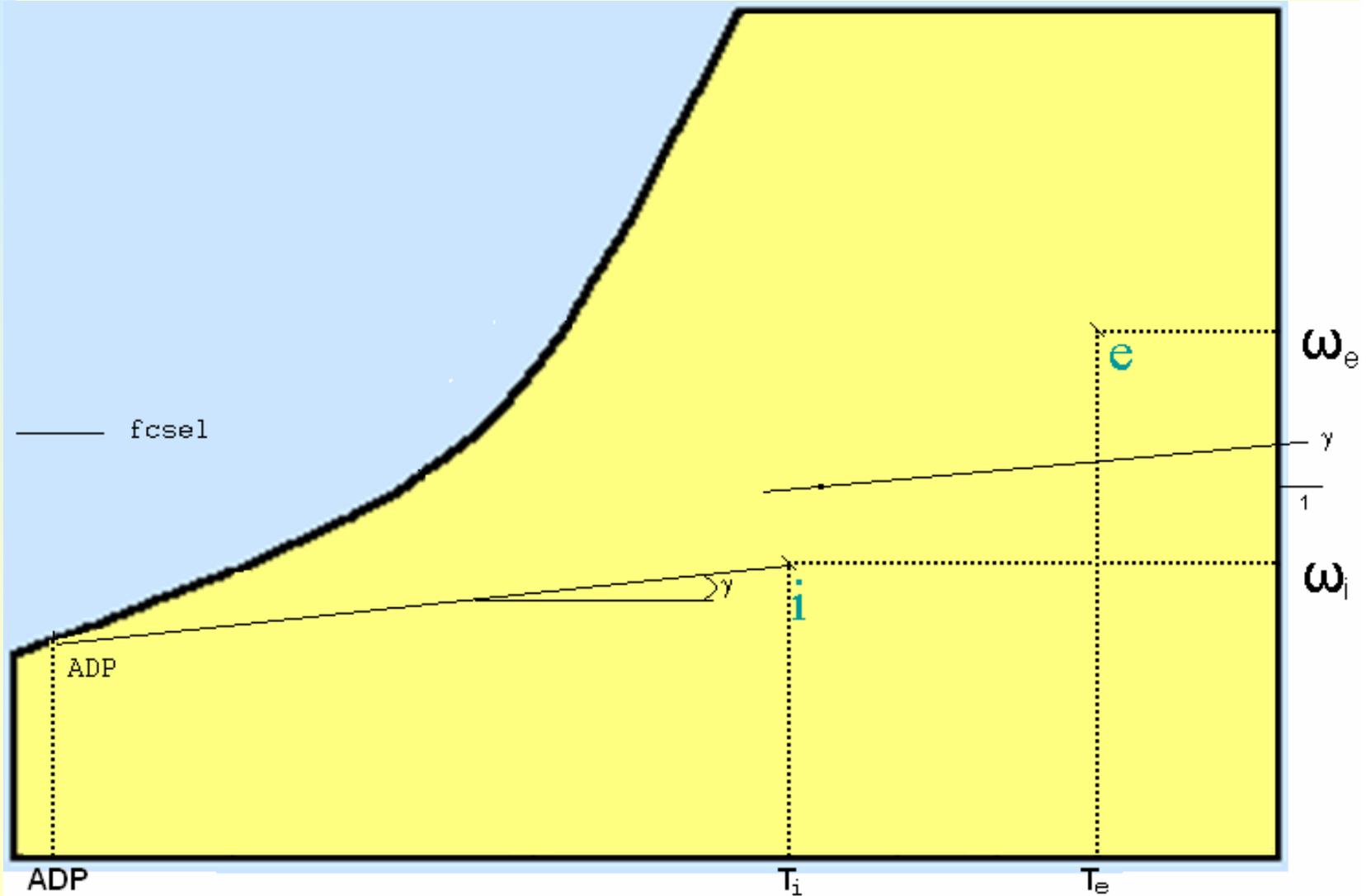
b) Temperatura equivalente de superfície da bateria de arrefecimento, ADP

O ADP é função do BF e do  $f_{cseL}$

$$f_{cseL} = ESHF = \frac{q_{seL}}{q_{teL}} = \frac{q_{sL} + q_{sAN} \times BF}{q_{tL} + q_{tAN} \times BF} \Rightarrow < \gamma$$

Traça-se a recta de  $f_{cseL}$  com a inclinação do ângulo  $\gamma$  passando pelas condições interiores e define-se graficamente o ADP

# Problema teórico de psicrometria de Verão



# Problema teórico de psicrometria de Verão

c) Débito de ar tratado l/s

$$l/s_{ar\ trat.} = \frac{q_{seL}}{1,23 \times (T_i - ADP) \times (1 - BF)}$$

d) Condições do ar à entrada e saída da bateria de arrefecimento

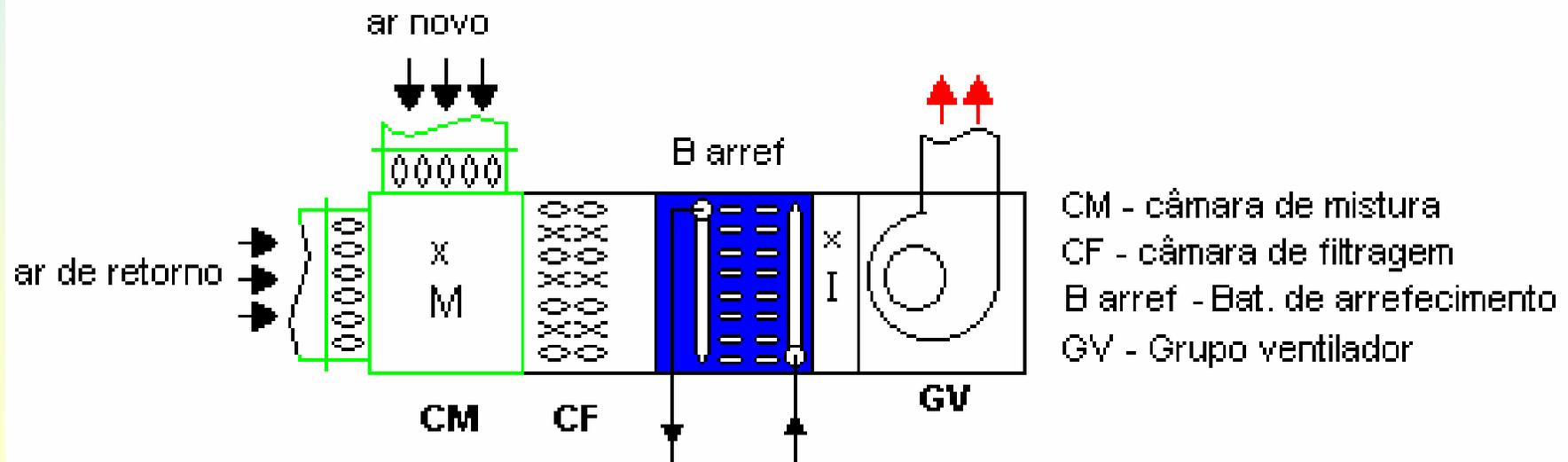
$$T_M = \frac{l/s_{ar\ novo} \times T_e + l/s_{ret.} \times T_i}{l/s}$$

$$l/s_{ar\ trat.} = \frac{q_{sL}}{1,23 \times (T_i - T_I)}$$

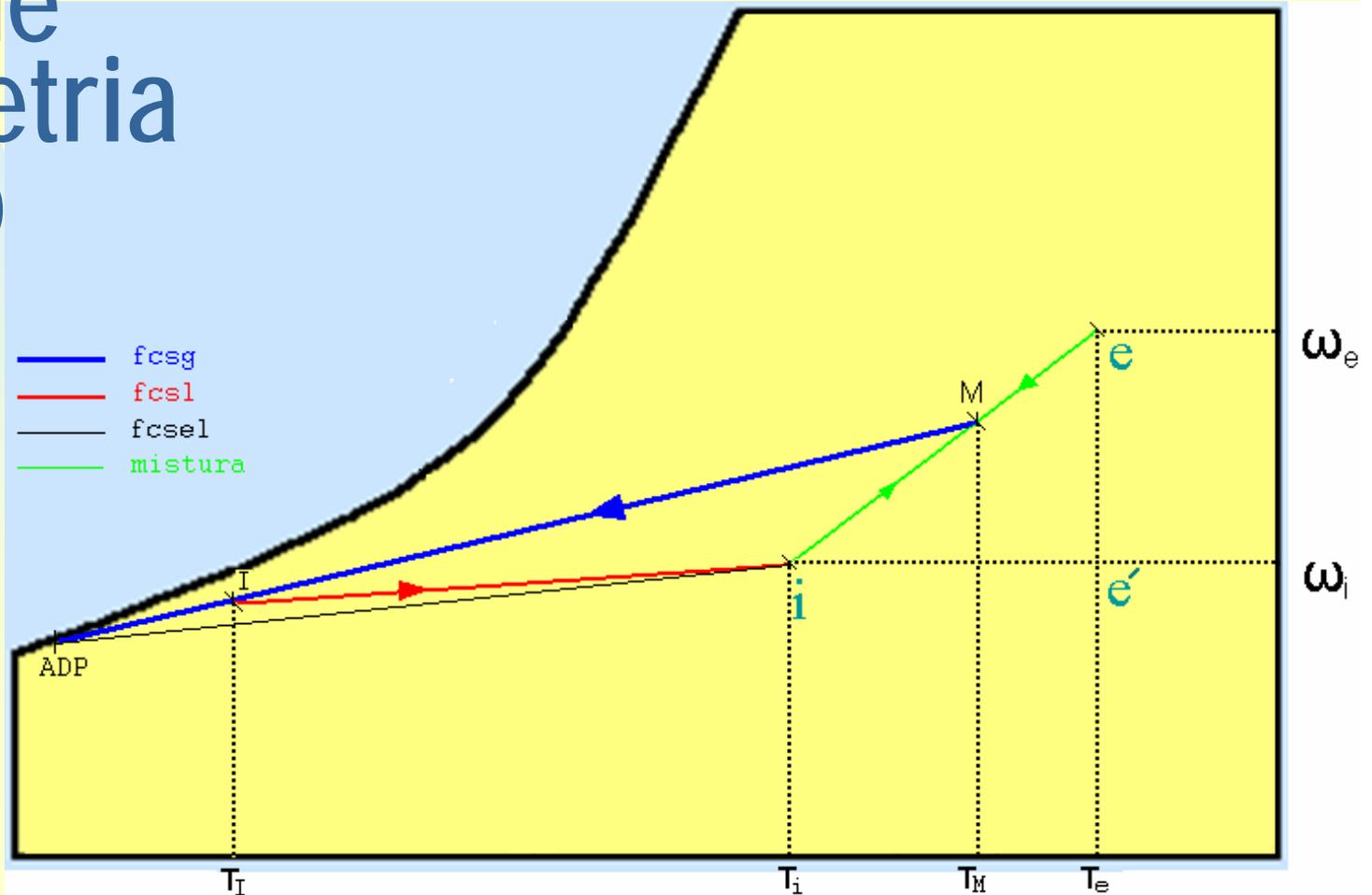
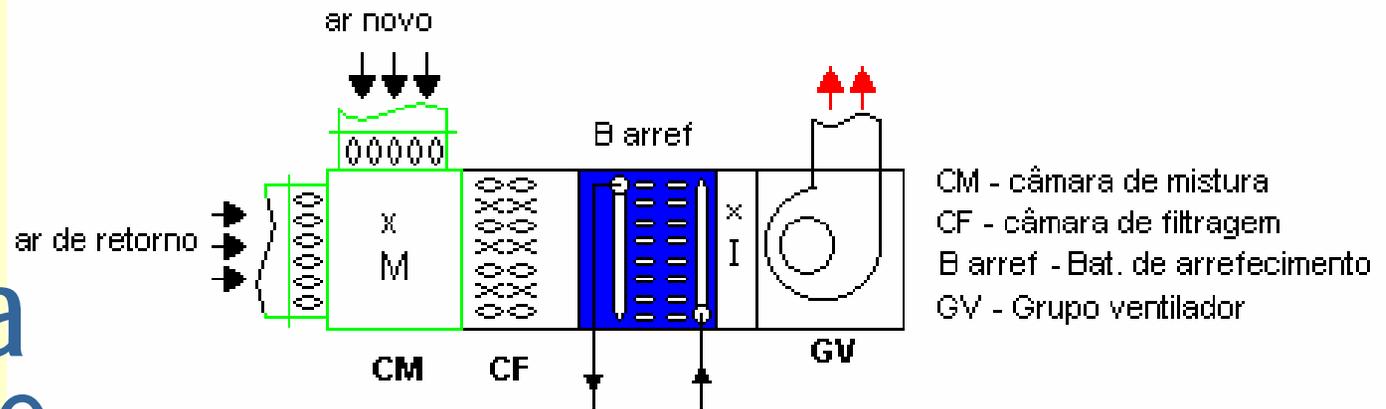
$$BF = \frac{T_I - ADP}{T_M - ADP}$$

# Problema teórico de psicrometria de Verão

2º Representar as evoluções psicrométricas do ar e a unidade de tratamento a utilizar com os seus componentes principais.



# Problema teórico de psicrometria de Verão



# Problema de psicrometria de Verão - Exemplo 1

- Dados:
- Condições interiores  $i$  –  $23\text{ °C} \pm 0,5\text{ °C}$  com  $50\% \pm 2,5\%$  HR
- Condições exteriores  $e$  –  $36\text{ °C}$  com  $40\%$  HR
- Ganhos de calor sensível local –  $54.000\text{ w}$
- Ganhos de calor latente local –  $12.900\text{ w}$
- Débito de ar novo -  $800\text{ l/s}$
- Factor de by-pass,  $bf = 0,1$

# Problema de psicrometria de Verão - Exemplo 1

- 1º Calcular:
  - a) Capacidade total da bateria de arrefecimento
  - b) Temperatura equivalente de superfície da bateria de arrefecimento, ADP e caudal de ar tratado
  - c) Condições do ar à saída e à entrada da bateria de arrefecimento, representando as evoluções psicrométricas do ar e a unidade de tratamento a utilizar com os seus componentes principais.
- 2º Se se pretendesse uma temperatura de insuflação do ar de 16 °C, indique como deveria proceder, efectuando os cálculos que entender serem necessários

1º Calcular:

a) Capacidade total da bateria de arrefecimento

$$q_{sAN} = \text{Calor sensível ar novo} = l/s_{\text{ar novo}} \times 1,23 \times (T_e - T_i)$$

$$q_{sAN} = \text{Calor sensível ar novo} = 800 \times 1,23 \times (36 - 23) = 12.792w$$

$$q_{LAN} = \text{Calor latente ar novo} = l/s_{\text{ar novo}} \times 3 \times (\omega_e - \omega_i)$$

$$q_{LAN} = \text{Calor latente ar novo} = 800 \times 3 \times (14,8 - 8,7) = 14.640w$$

$$q_{sL} + q_{sAN} = q_{ST}$$

$$54.000w + 12.792w = 66.792w$$

$$q_{iL} + q_{LAN} = q_{IT}$$

$$12.900w + 14.640w = 27.540w$$

$$q_{tL} + q_{tAN} = q_T$$

$$66.900w + 27.432w = 94.332w$$

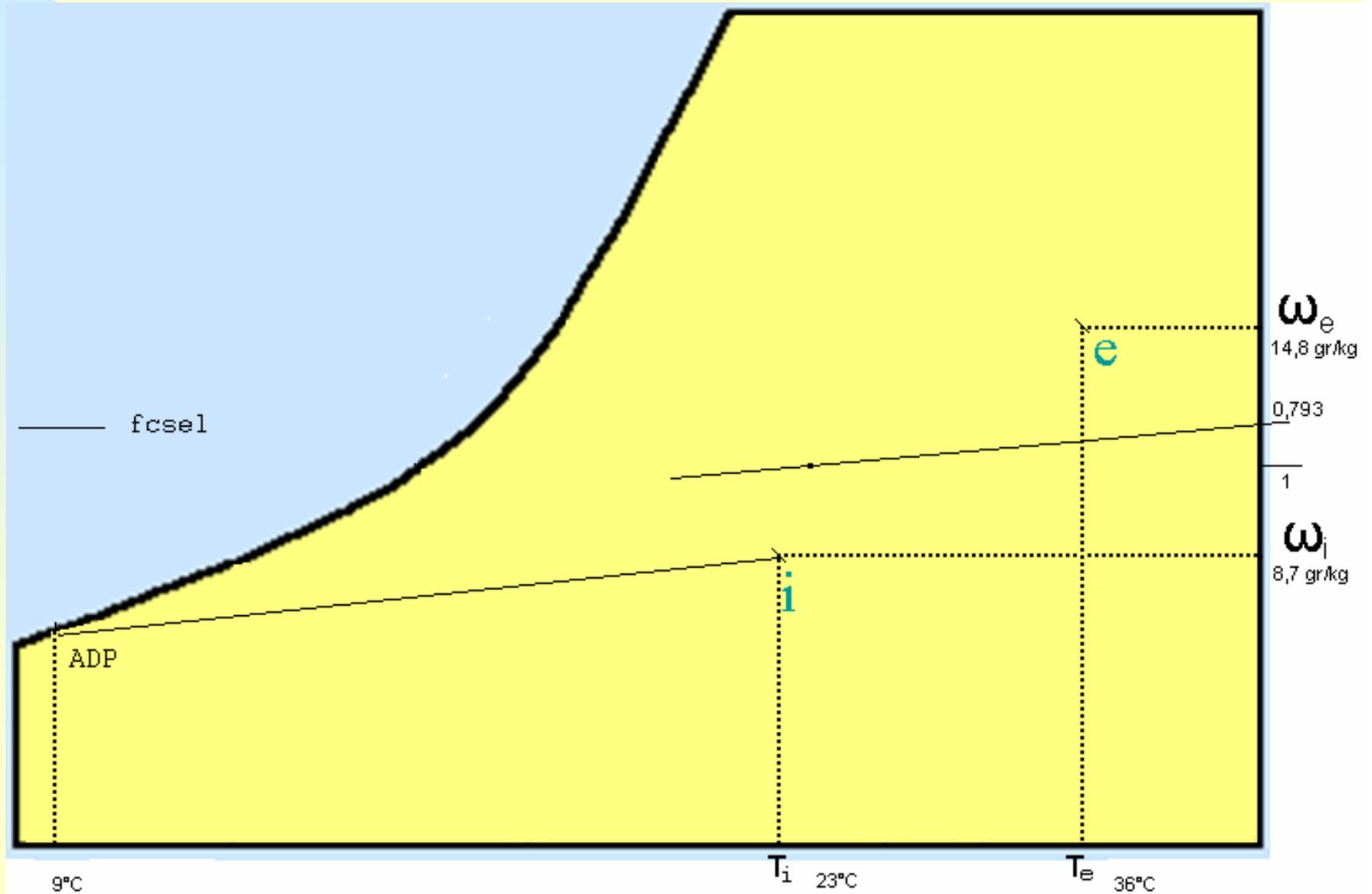
b) Temperatura equivalente de superfície da bateria de arrefecimento, ADP e caudal de ar tratado

O ADP é função do BF e do  $f_{cseL}$

$$f_{cseL} = ESHF = \frac{q_{seL}}{q_{teL}} = \frac{q_{sL} + q_{sAN} \times BF}{q_{tL} + q_{tAN} \times BF} = \frac{54.000 + 12.792 \times 0,1}{66.900 + 27.432 \times 0,1} = \frac{55.279,2}{69.643,2} = 0,793$$

Traça-se a recta de  $f_{cseL}$  com a inclinação de 0,793, passando pelas condições interiores e define-se graficamente o ADP de 9 °C

b) Temperatura equivalente de superfície da bateria de arrefecimento, ADP e caudal de ar tratado (cont.)



b) Temperatura equivalente de superfície da bateria de arrefecimento, ADP e caudal de ar tratado (cont.)

Com a determinação gráfica do ADP o sistema de 3 equações a 3 incógnitas é neste momento resolúvel

$$l/s = \frac{q_{sL}}{1,23 \times (T_i - T_I)} = \frac{q_{sT}}{1,23 \times (T_M - T_I)} = \frac{q_{seL}}{1,23 \times (T_i - ADP) \times (1 - BF)}$$

Deste modo pode-se calcular o débito de ar tratado

$$l/s_{ar\ trat.} = \frac{q_{seL}}{1,23 \times (T_i - ADP) \times (1 - BF)} = \frac{55.279,2}{1,23 \times (23 - 9) \times (1 - 0,1)} = 3.566 \cong 3.600 l/s$$

c) Condições do ar à saída e à entrada da bateria de arrefecimento, representando as evoluções psicrométricas do ar e a unidade de tratamento a utilizar com os seus componentes principais.

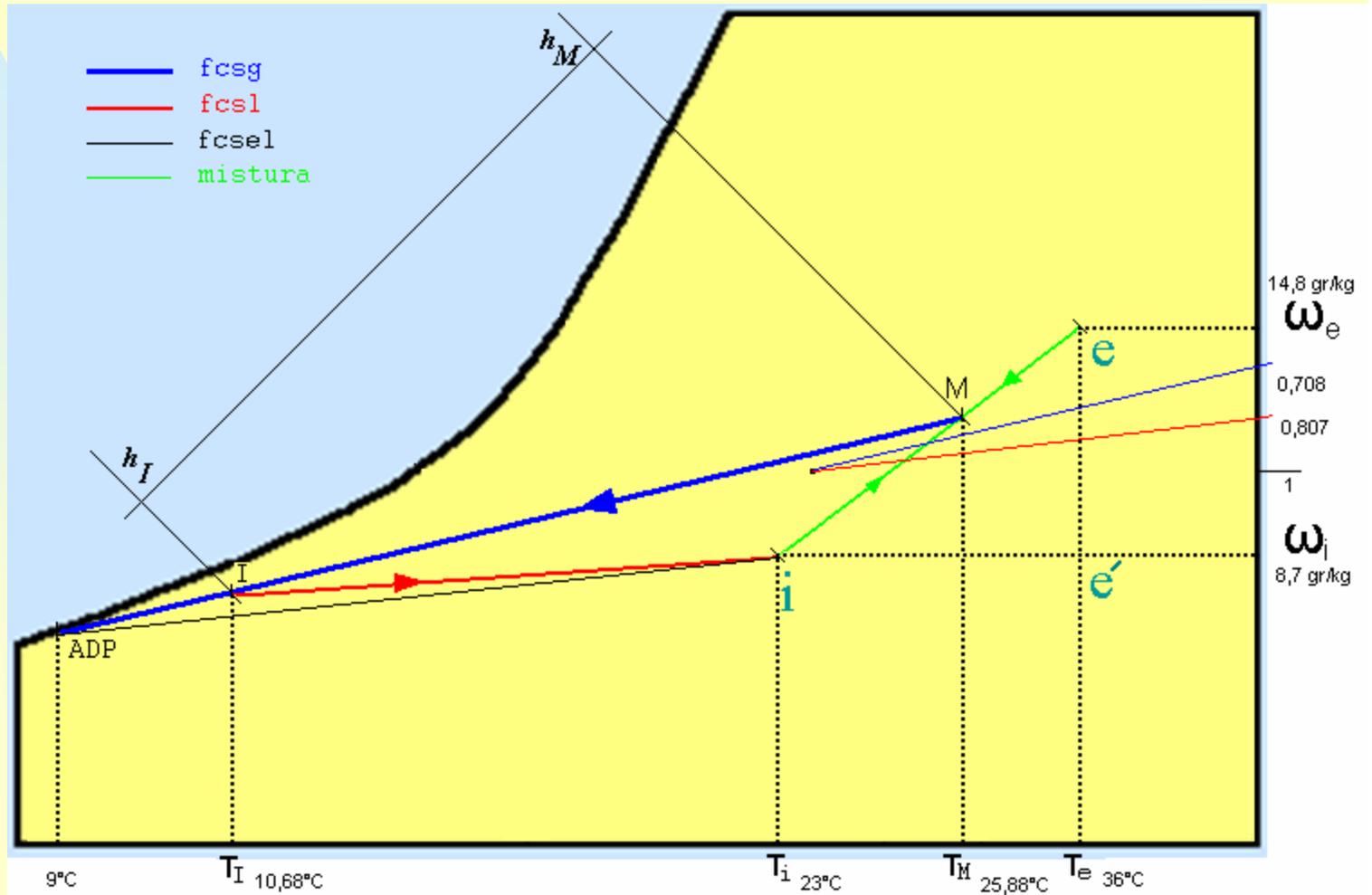
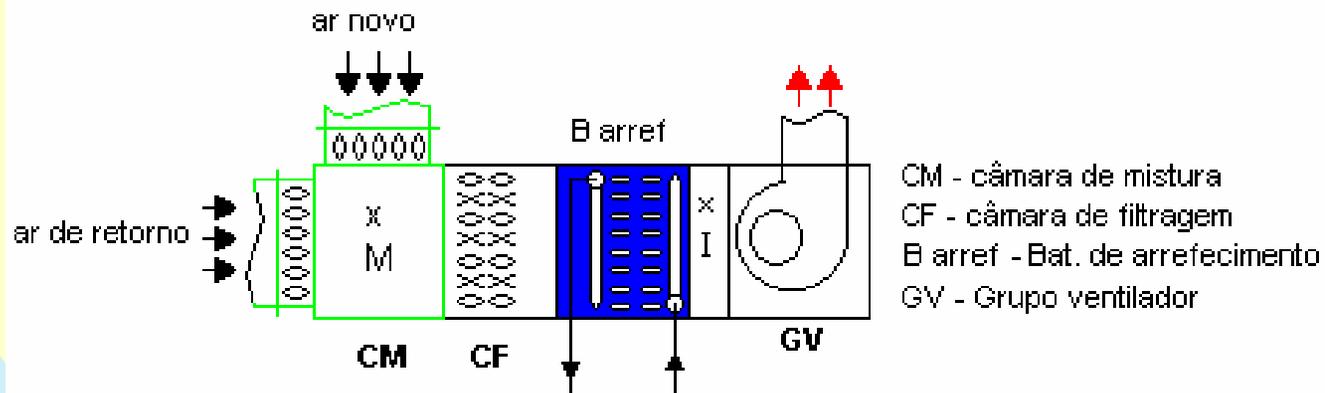
As seguintes equações permitem-nos determinar analiticamente as condições do ar à entrada e saída da serpentina de arrefecimento

$$T_M = \frac{l/s_{ar\ novo} \times T_e + l/s_{ret.} \times T_i}{l/s} = \frac{800 \times 36 + 2800 \times 23}{3600} = 25,88^\circ C$$

$$l/s_{ar\ trat.} = \frac{q_{sL}}{1,23 \times (T_i - T_I)} \Rightarrow T_I = T_i - \frac{q_{sL}}{1,23 \times l/s_{ar\ trat.}} = 23 - \frac{54.000}{1,23 \times 3.600} = 10,8^\circ C$$

Ou:

$$BF = \frac{T_I - ADP}{T_M - ADP} \Rightarrow T_I = (T_M - ADP) \times BF + ADP = (25,88 - 9) \times 0,1 + 9 = 10,68^\circ C$$



c) Condições do ar à saída e à entrada da bateria de arrefecimento, representando as evoluções psicrométricas do ar e a unidade de tratamento a utilizar com os seus componentes principais. (cont.)

As rectas do factor de calor sensível do local e do factor de calor sensível global confirmam as evoluções psicrométricas

$$f_{csl} = RSHF = \frac{q_{sL}}{q_{tL}} = \frac{54.000}{66.900} = 0,807$$

$$f_{csg} = GSHF = \frac{q_{ST}}{q_T} = \frac{66.792}{94.332} = 0,708$$

c) Condições do ar à saída e à entrada da bateria de arrefecimento, representando as evoluções psicrométricas do ar e a unidade de tratamento a utilizar com os seus componentes principais. (cont.)

Através das entalpias do ar à entrada e saída podemos confirmar a potência calculada na alínea a)

$$q_T = m_{ar} \times (h_M - h_I) = l/s \times 1,2 \times (h_M - h_I) = 3.600 \times 1,2 \times (51,75 - 29,75)$$

$$q_T = 95.040w$$

Este resultado apresenta uma diferença relativamente à alínea a) de 0,75%  
perfeitamente aceitável

- 2º Se se pretendesse uma temperatura de insuflação do ar de 16 °C, indique como deveria proceder, efectuando os cálculos que entender serem necessários

**Existem 2 processos para efectuar esta variação:**

**1ª solução - Misturando o ar da sala ponto i com o ar insuflado ponto I**

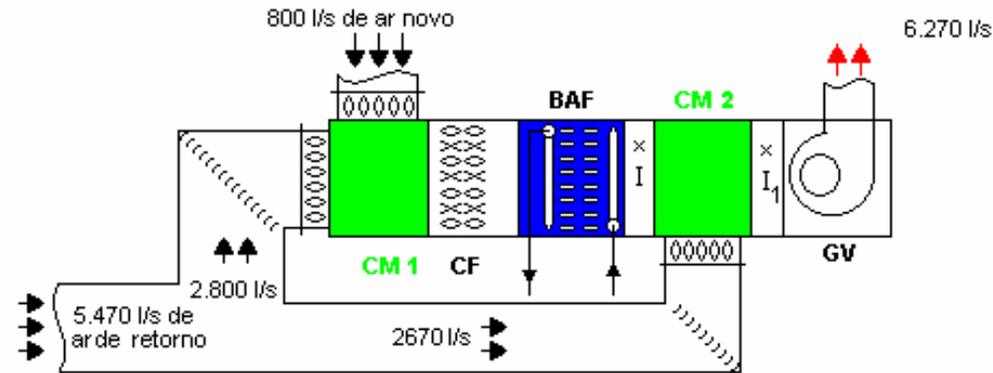
**2ª solução - Variando o factor de by-pass da serpentina de arrefecimento**

**Para qualquer dos casos o ar insuflado no ambiente terá que ser o mesmo, já que quando o ar é insuflado no ambiente terá sempre que compensar as mesmas quantidades de calor do local, sensível e latente, de acordo com a inclinação do fcsI**

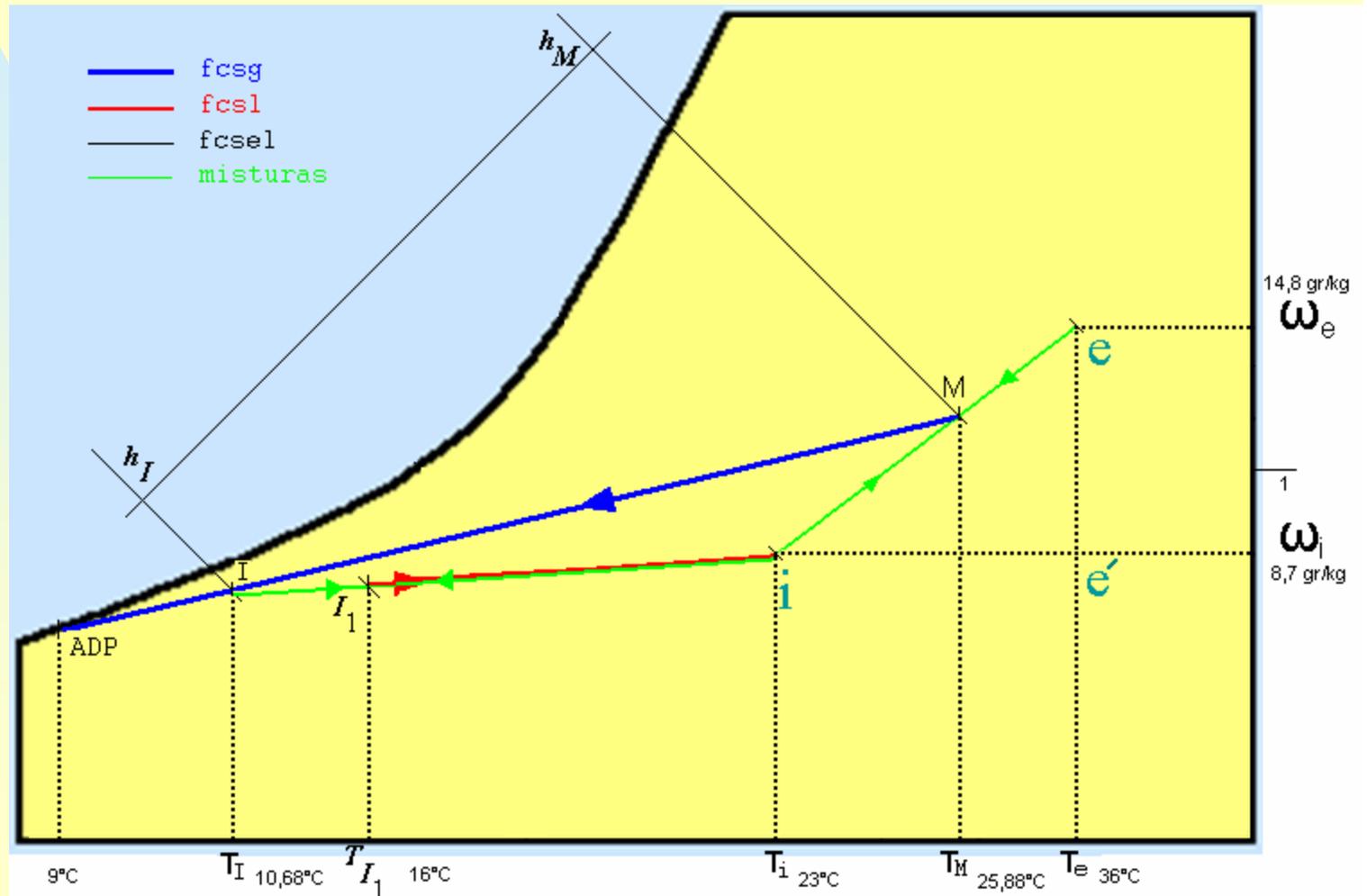
**Sendo assim para  $T_{I_1} = 16^\circ C$**

$$l/s \text{ ar insuflado} = \frac{q_{sL}}{1,23 \times (T_i - T_{I_1})} = \frac{54.000}{1,23 \times (23 - 16)} = 6.270 l/s$$

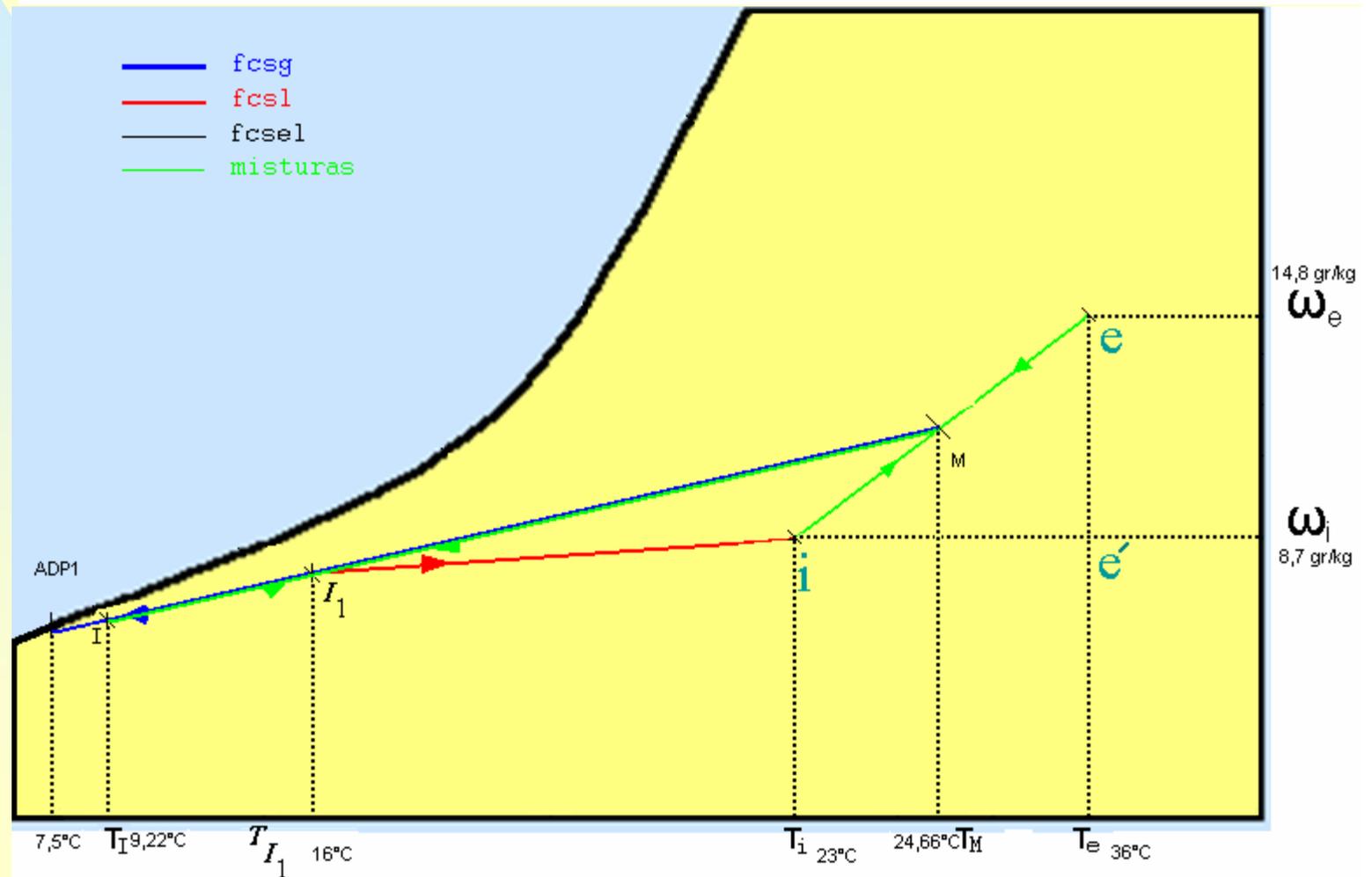
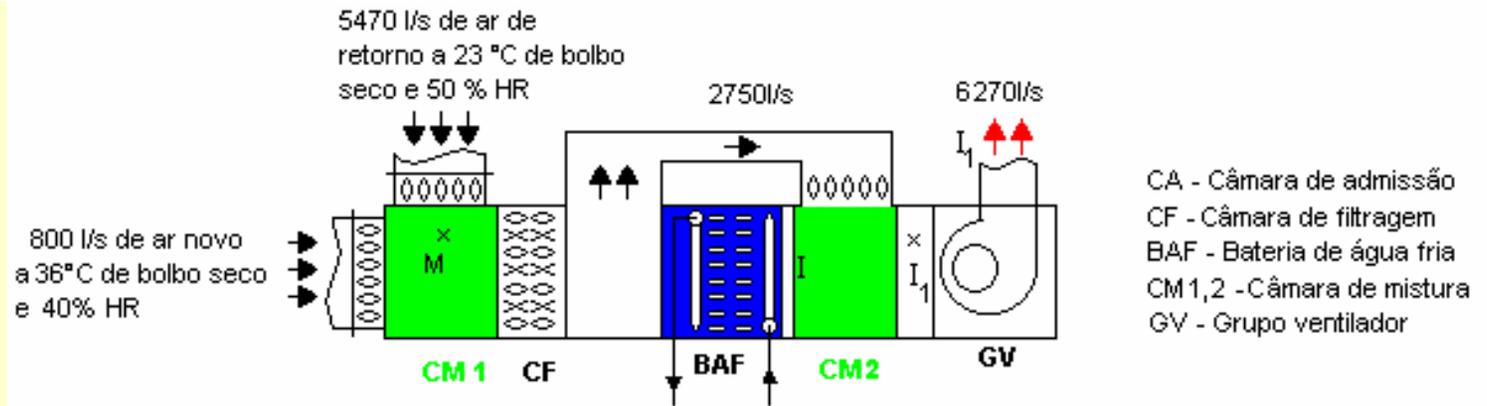
# 1ª solução



CM 1, 2 - câmaras de mistura  
 CF - câmara de filtragem  
 BAF - Bateria de água fria  
 GV - Grupo ventilador



## 2ª solução



# Problema de psicrometria de Verão - Exemplo 2

- Dados:
- Condições interiores  $i$  – 24 °C com 50% HR
- Condições exteriores  $e$  – 37 °C com 9gr/kg
- Ganhos de calor sensível local – 38.000 w
- Ganhos de calor latente local – 9.500 w
- Débito de ar novo - 600 l/s
- Factor de by-pass,  $bf = 0,08$

# Problema de psicrometria de Verão - Exemplo 2

- 1º Calcular:
- a) Capacidade total da bateria de arrefecimento
- b) Temperatura equivalente de superfície da bateria de arrefecimento, ADP e caudal de ar tratado
- c) Condições do ar à saída e à entrada da bateria de arrefecimento, representando as evoluções psicrométricas do ar e a unidade de tratamento a utilizar com os seus componentes principais.

1º Calcular:

a) Capacidade total da bateria de arrefecimento

$$q_{sAN} = \text{Calor sensível ar novo} = l/s_{\text{ar novo}} \times 1,23 \times (T_e - T_i)$$

$$q_{sAN} = \text{Calor sensível ar novo} = 600 \times 1,23 \times (37 - 24) = 9.594w$$

$$q_{LAN} = \text{Calor latente ar novo} = l/s_{\text{ar novo}} \times 3 \times (\omega_e - \omega_i)$$

$$q_{LAN} = \text{Calor latente ar novo} = 600 \times 3 \times (9 - 9,3) = -540w$$

$$q_{sL} + q_{sAN} = q_{ST}$$

$$38.000w + 9.594w = 47.594w$$

$$q_{iL} + q_{iAN} = q_{iT}$$

$$9.500w + (-540)w = 8.960w$$

$$q_{tL} + q_{tAN} = q_T$$

$$47.500w + 9.054w = 56.554w$$

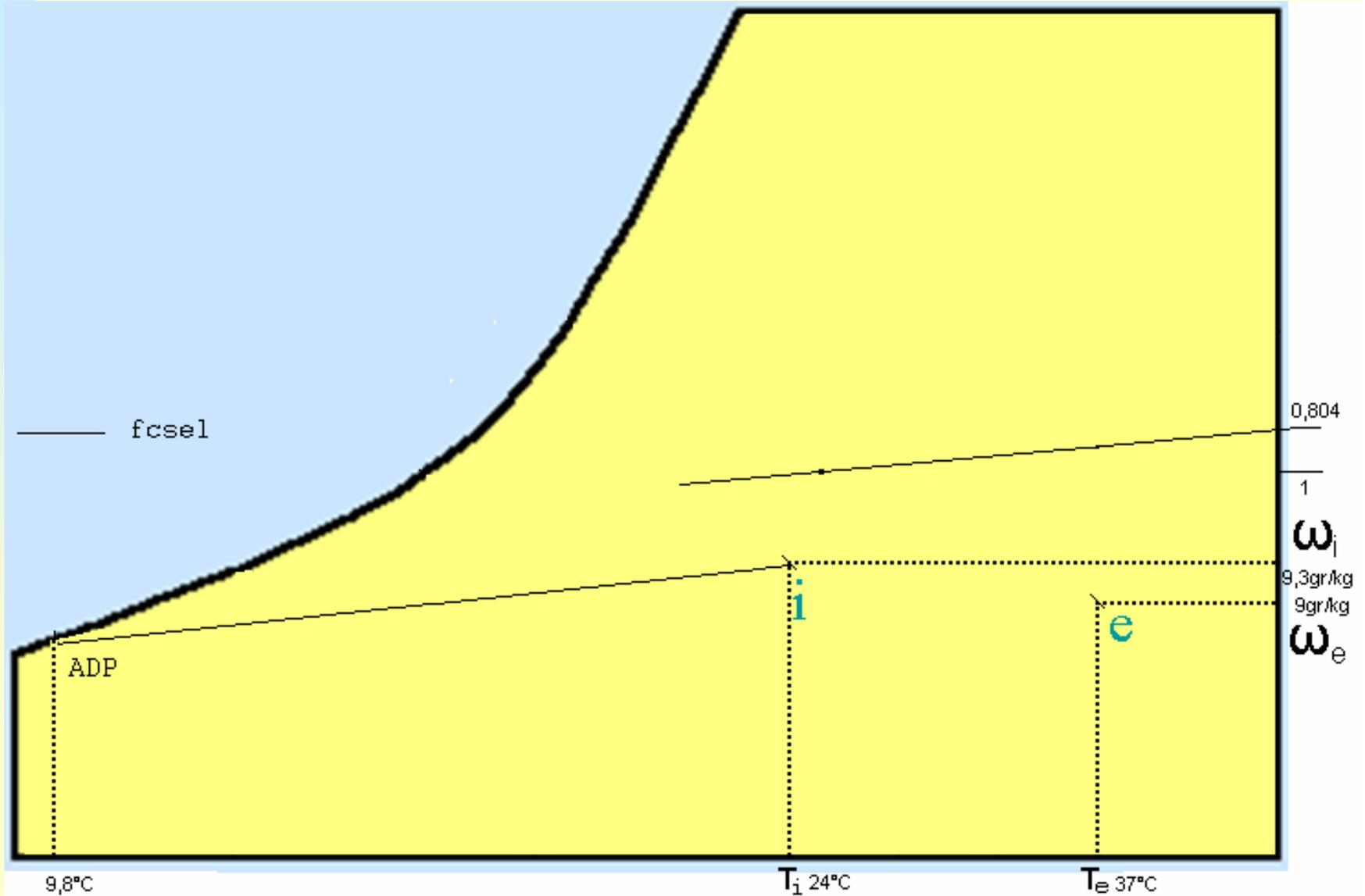
b) Temperatura equivalente de superfície da bateria de arrefecimento, ADP e caudal de ar tratado

O ADP é função do BF e do fcsel

$$f_{csel} = ESHF = \frac{q_{seL}}{q_{teL}} = \frac{q_{sL} + q_{sAN} \times BF}{q_{tL} + q_{tAN} \times BF} = \frac{38.000 + 9.594 \times 0,08}{47.500 + 9.054 \times 0,08} = \frac{38.767,52}{48.224,32} = 0,804$$

Traça-se a recta de fcsel com a inclinação de 0,804, passando pelas condições interiores e define-se graficamente o ADP de 9,8 °C

b) Temperatura equivalente de superfície da bateria de arrefecimento, ADP e caudal de ar tratado (cont.)



b) Temperatura equivalente de superfície da bateria de arrefecimento, ADP e caudal de ar tratado (cont.)

Com a determinação gráfica do ADP o sistema de 3 equações a 3 incógnitas é neste momento resolúvel

$$l/s = \frac{q_{sL}}{1,23 \times (T_i - T_I)} = \frac{q_{sT}}{1,23 \times (T_M - T_I)} = \frac{q_{seL}}{1,23 \times (T_i - ADP) \times (1 - BF)}$$

Deste modo pode-se calcular o débito de ar tratado

$$l/s_{ar\ trat.} = \frac{q_{seL}}{1,23 \times (T_i - ADP) \times (1 - BF)} = \frac{38.767,52}{1,23 \times (24 - 9,8) \times (1 - 0,08)} = 2.412,6 \cong 2.400 l/s$$

c) Condições do ar à saída e à entrada da bateria de arrefecimento, representando as evoluções psicrométricas do ar e a unidade de tratamento a utilizar com os seus componentes principais.

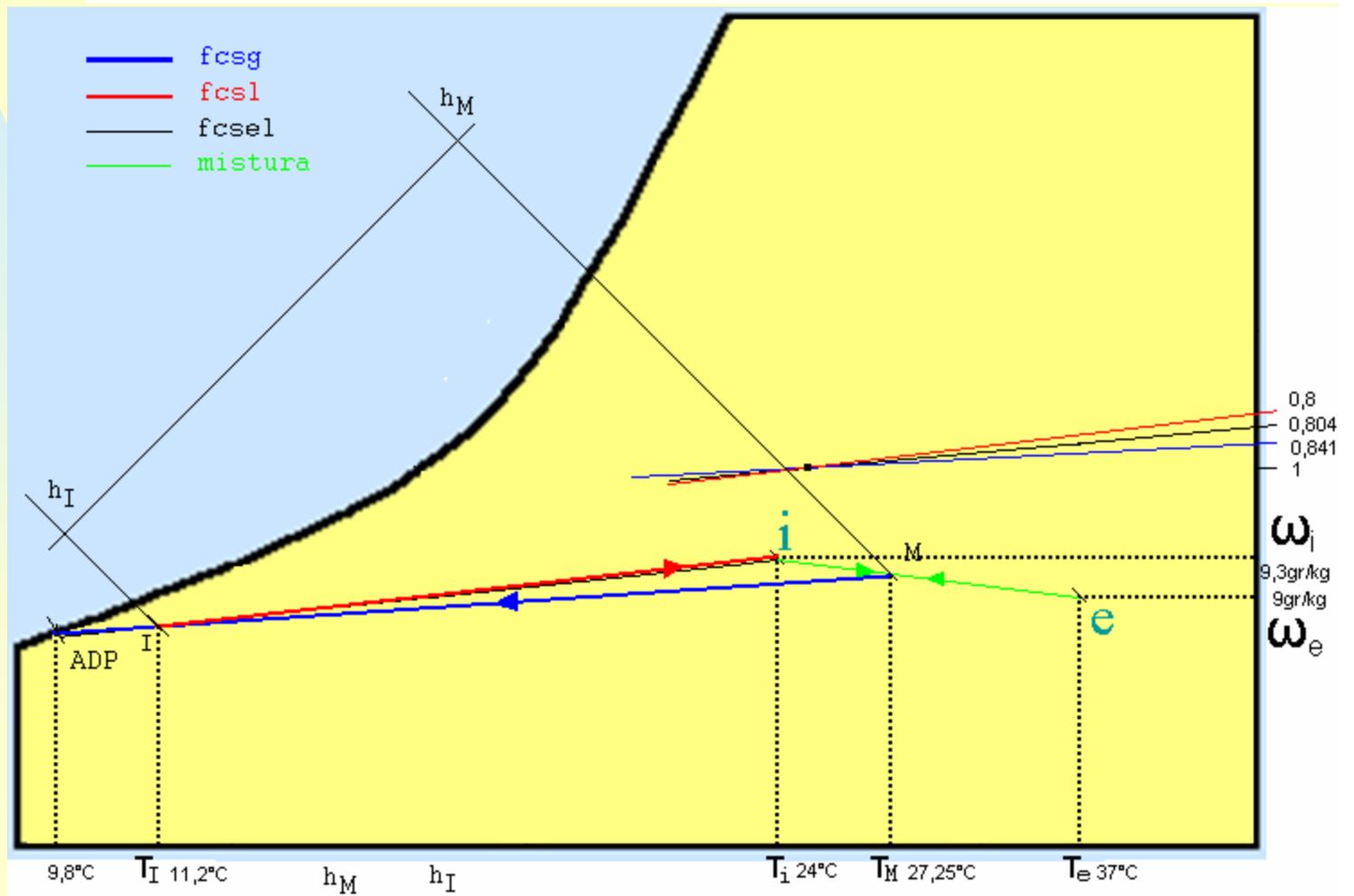
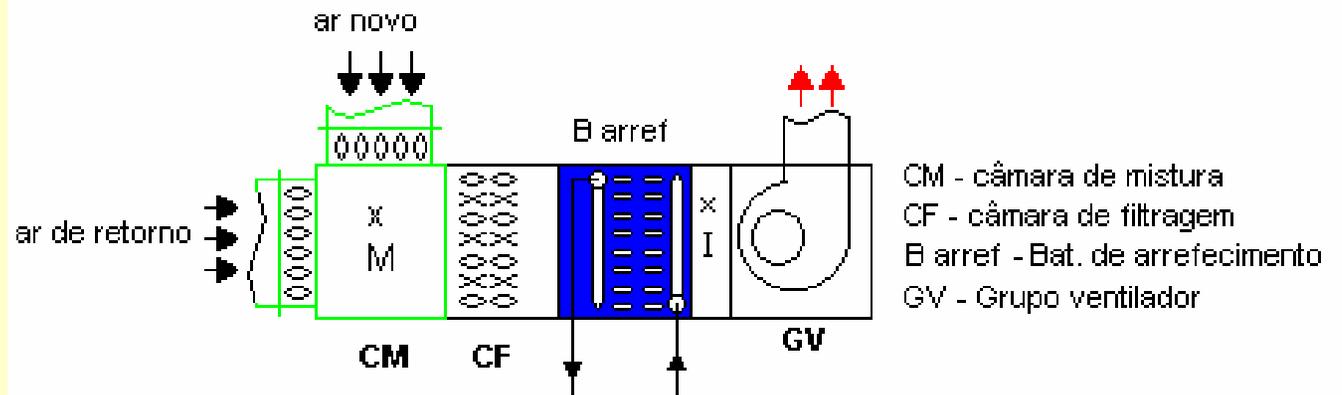
As seguintes equações permitem-nos determinar analiticamente as condições do ar à entrada e saída da serpentina de arrefecimento

$$T_M = \frac{l/s_{ar\ novo} \times T_e + l/s_{ret.} \times T_i}{l/s} = \frac{600 \times 37 + 1.800 \times 24}{2.400} = 27,25^\circ C$$

$$l/s_{ar\ trat.} = \frac{q_{sL}}{1,23 \times (T_i - T_I)} \Rightarrow T_I = T_i - \frac{q_{sL}}{1,23 \times l/s_{ar\ trat.}} = 24 - \frac{38.000}{1,23 \times 2.400} = 11,13^\circ C$$

Ou:

$$BF = \frac{T_I - ADP}{T_M - ADP} \Rightarrow T_I = (T_M - ADP) \times BF + ADP = (27,25 - 9,8) \times 0,08 + 9,8 = 11,2^\circ C$$



c) Condições do ar à saída e à entrada da bateria de arrefecimento, representando as evoluções psicrométricas do ar e a unidade de tratamento a utilizar com os seus componentes principais. (cont.)

As rectas do factor de calor sensível do local e do factor de calor sensível global confirmam as evoluções psicrométricas

$$f_{csl} = RSHF = \frac{q_{sL}}{q_{tL}} = \frac{38.000}{47.500} = 0,8$$

$$f_{csg} = GSHF = \frac{q_{ST}}{q_T} = \frac{47.594}{56.554} = 0,841$$

c) Condições do ar à saída e à entrada da bateria de arrefecimento, representando as evoluções psicrométricas do ar e a unidade de tratamento a utilizar com os seus componentes principais. (cont.)

Através das entalpias do ar à entrada e saída podemos confirmar a potência calculada na alínea a)

$$q_T = m_{ar} \times (h_M - h_I) = l/s \times 1,2 \times (h_M - h_I) = 2.400 \times 1,2 \times (50,8 - 30,7)$$

$$q_T = 57.888w$$

Este resultado apresenta uma diferença relativamente à alínea a) de 2,4%  
perfeitamente aceitável

# Problema de psicrometria de Verão – Exemplo 3 - 100 % de ar exterior

- Dados:
- Condições interiores  $i$  – 25 °C, 50 %
- Condições exteriores  $e$  – 35 °C, 12,5 gr/kg
- Ganhos de calor sensível local – 10.000 w
- Ganhos de calor latente local – 2.000 w
- Débito de ar novo mínimo, 350 l/s
- Factor de by-pass,  $bf = 0,15$
- Funcionamento com 100 % de ar exterior

# Problema de psicrometria de Verão – Exemplo 3 - 100 % de ar exterior

- 1º Calcular:
  - a) Capacidade total da bateria de arrefecimento
  - b) Temperatura equivalente de superfície da bateria de arrefecimento, ADP
  - c) Débito de ar tratado l/s
  - d) Condições do ar à saída da bateria de arrefecimento
- 2º Representar as evoluções psicrométricas do ar e a unidade de tratamento a utilizar com os seus componentes principais.

1º Calcular:

a) Capacidade total da bateria de arrefecimento

$$q_{sAN} = \text{Calor sensível ar novo} = l/s_{\text{ar novo}} \times 1,23 \times (T_e - T_i)$$

$$q_{sAN} = \text{Calor sensível ar novo} = 350 \times 1,23 \times (35 - 25) = 4.305w$$

$$q_{lAN} = \text{Calor latente ar novo} = l/s_{\text{ar novo}} \times 3 \times (\omega_e - \omega_i) =$$

$$q_{lAN} = \text{Calor latente ar novo} = 350 \times 3 \times (12,5 - 9,8) = 2.835w$$

$$q_{sL} + q_{sAN} = q_{ST} \quad 10.000w + 4.305w = 14.305w$$

$$q_{lL} + q_{lAN} = q_{IT} \quad 2.000w + 2.835w = 4.835w$$

$$q_{tL} + q_{tAN} = q_T \quad 12.000w + 7.140w = 19.140w$$



### c) Débito de ar tratado l/s

$$l/s_{ar\ trat.} = \frac{q_{sel}}{1,23 \times (T_i - ADP) \times (1 - BF)}$$

$$l/s_{ar\ trat.} = \frac{10.645,75}{1,23 \times (25 - 11,5) \times (1 - 0,15)} = 754,25 l/s \cong 750 l/s$$

Como este débito é maior que o volume de ar novo mínimo que deverá ser 100 % temos que reformular os cálculos com este novo débito de ar novo 750 l/s

1º Calcular:

a) Capacidade total da bateria de arrefecimento 2

$$q_{sAN} = \text{Calor sensível ar novo} = l/s_{\text{ar novo}} \times 1,23 \times (T_e - T_i)$$

$$q_{sAN2} = \text{Calor sensível ar novo} = 750 \times 1,23 \times (35 - 25) = 9.225w$$

$$q_{lAN} = \text{Calor latente ar novo} = l/s_{\text{ar novo}} \times 3 \times (\omega_e - \omega_i) =$$

$$q_{lAN2} = \text{Calor latente ar novo} = 750 \times 3 \times (12,5 - 9,8) = 6.075w$$

$$q_{sL} + q_{sAN} = q_{ST} \qquad 10.000w + 9.225w = 19.225w$$

$$q_{lL} + q_{lAN} = q_{IT} \qquad 2.000w + 6.075w = 8.075w$$

$$q_{tL} + q_{tAN} = q_{T2} \qquad 12.000w + 15.300w = 27.300w$$



### c) Débito de ar tratado l/s 2

$$l/s_{ar\ trat.2} = \frac{q_{sel2}}{1,23 \times (T_i - ADP_2) \times (1 - BF)}$$

$$l/s_{ar\ trat.2} = \frac{11.383,75}{1,23 \times (25 - 11,2) \times (1 - 0,15)} = 789 l/s \cong 790 l/s$$

Este débito de ar novo é ainda ligeiramente diferente do anterior, será ainda conveniente efectuar novo cálculo

1º Calcular:

a) Capacidade total da bateria de arrefecimento 3

$$q_{sAN} = \text{Calor sensível ar novo} = l/s_{\text{ar novo}} \times 1,23 \times (T_e - T_i)$$

$$q_{sAN3} = \text{Calor sensível ar novo} = 790 \times 1,23 \times (35 - 25) = 9.717 \text{ w}$$

$$q_{lAN} = \text{Calor latente ar novo} = l/s_{\text{ar novo}} \times 3 \times (\omega_e - \omega_i) =$$

$$q_{lAN3} = \text{Calor latente ar novo} = 790 \times 3 \times (12,5 - 9,8) = 6.399 \text{ w}$$

$$q_{sL} + q_{sAN} = q_{ST} \quad 10.000 \text{ w} + 9.717 \text{ w} = 19.717 \text{ w}$$

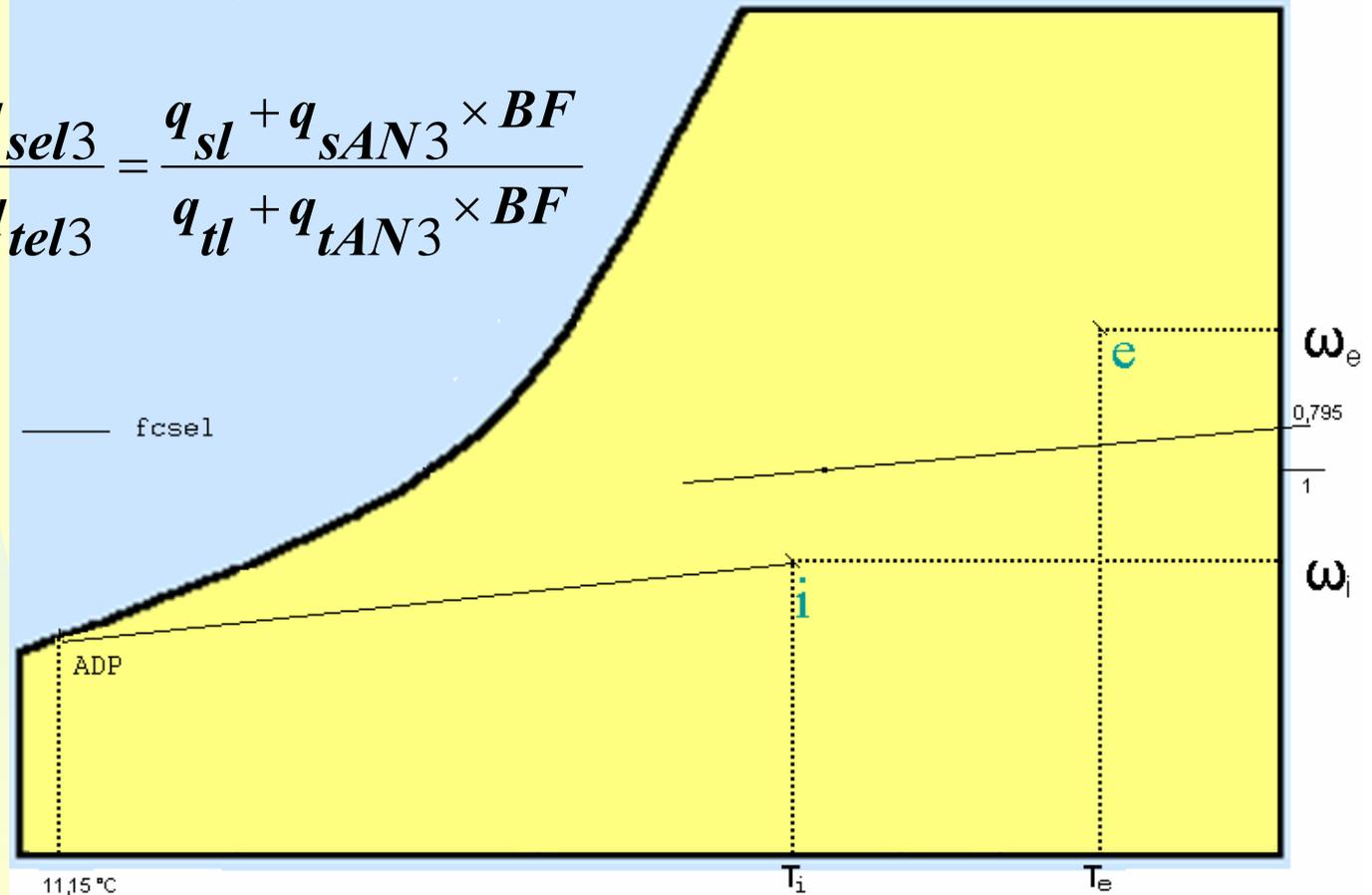
$$q_{lL} + q_{lAN} = q_{IT} \quad 2.000 \text{ w} + 6.399 \text{ w} = 8.399 \text{ w}$$

$$q_{tL} + q_{tAN} = q_{T3} \quad 12.000 \text{ w} + 16.116 \text{ w} = 28.116 \text{ w}$$

b) Temperatura equivalente de superfície da  
bateria de arrefecimento, ADP 3

O ADP é função do BF e do fcsel

$$fcsel3 = ESHF3 = \frac{q_{sel3}}{q_{tel3}} = \frac{q_{sl} + q_{sAN3} \times BF}{q_{tl} + q_{tAN3} \times BF}$$



$$fcsel3 = ESHF3 = \frac{q_{sel3}}{q_{tel3}} = \frac{10.000 + 9.717 \times 0,15}{12.000 + 16116 \times 0,15} = 0,795 \Rightarrow ADP3 = 11,15^\circ C \quad !!!$$

c) Débito de ar tratado l/s 3

$$l/s_{ar\ trat.3} = \frac{q_{sel3}}{1,23 \times (T_i - ADP_3) \times (1 - BF)}$$

$$l/s_{ar\ trat.3} = \frac{11.457,55}{1,23 \times (25 - 11,2) \times (1 - 0,15)} = 791 l/s \cong 790 l/s$$

Este débito de ar novo já é suficientemente próximo do anterior para finalizar os cálculos neste valor

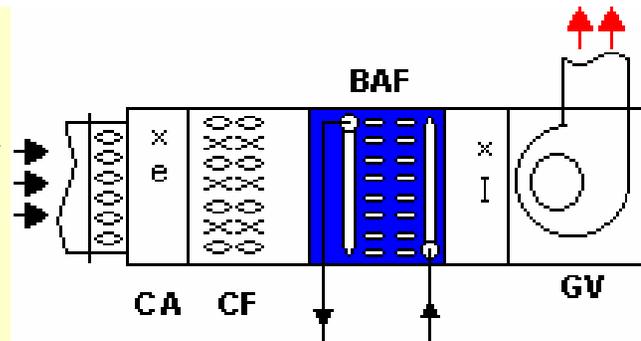
#### d) Condições do ar à saída da bateria de arrefecimento

Neste caso como não existe mistura a expressão para o BF é ligeiramente diferente

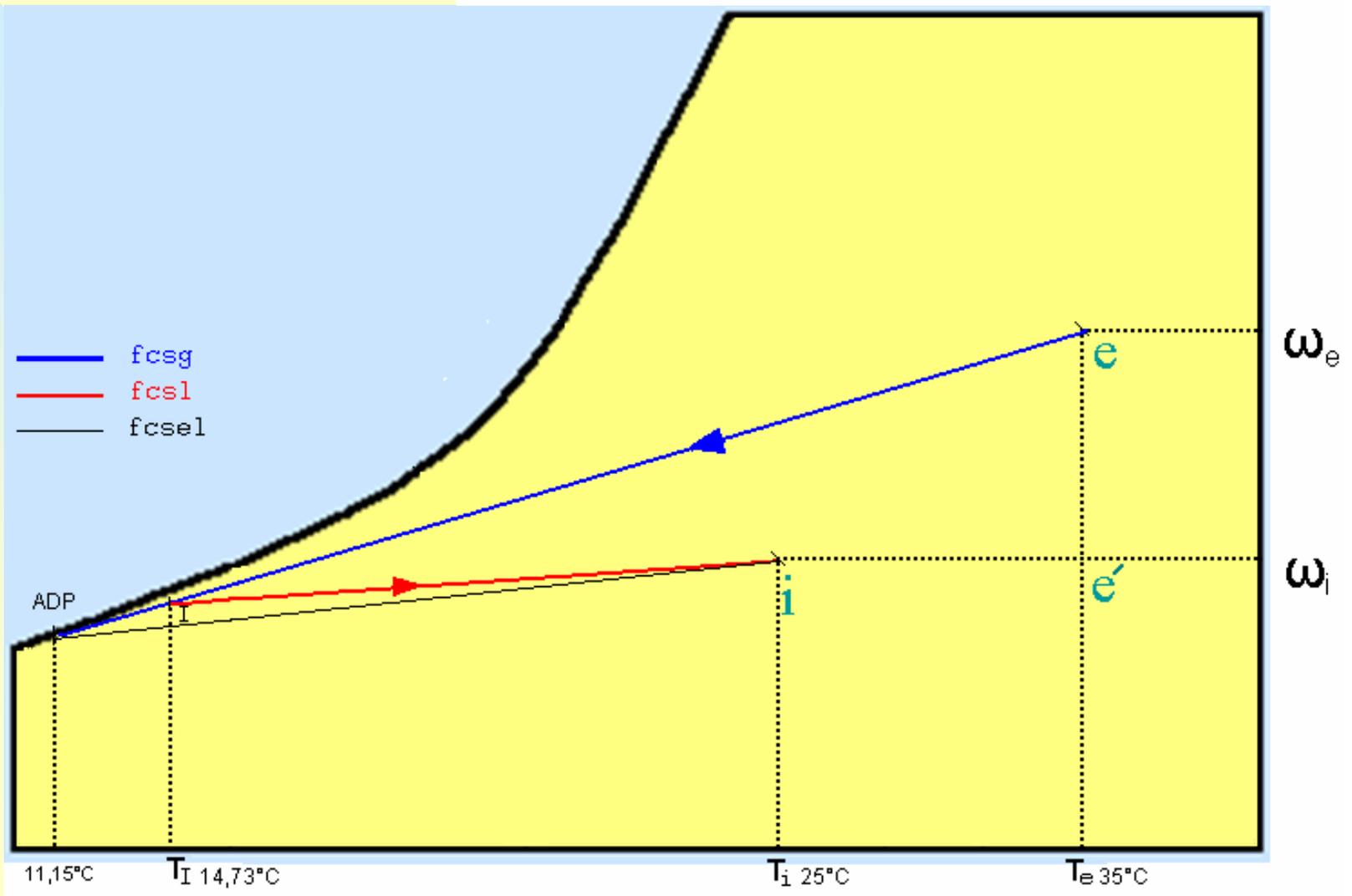
$$BF = \frac{T_I - ADP_3}{T_e - ADP_3}$$

$$T_I = (T_e - ADP_3) \times BF + ADP_3 = (35 - 11,15) \times 0,15 + 11,15 = 14,73^\circ\text{C}$$

■ 2º Representar as evoluções psicrométricas do ar e a unidade de tratamento a utilizar com os seus componentes principais.



CA - Câmara de admissão  
 CF - câmara de filtragem  
 BAF - Bateria de água fria  
 GV - Grupo ventilador



# Problema de psicrometria de Verão – Exemplo 4 - 100 % de ar exterior

- Dados:
- Condições interiores  $i$  – 25 °C, 50 %
- Condições exteriores  $e$  – 35 °C, 12,5 gr/kg
- Ganhos de calor sensível local – 10.000 w
- Ganhos de calor latente local – 2.000 w
- Débito de ar novo mínimo, 1.000 l/s
- Factor de by-pass,  $bf = 0,15$

# Problema de psicrometria de Verão – Exemplo 4 - 100 % de ar exterior

- 1º Calcular:
  - a) Capacidade total da bateria de arrefecimento
  - b) Temperatura equivalente de superfície da bateria de arrefecimento, ADP
  - c) Débito de ar tratado l/s
  - d) Condições do ar à saída da bateria de arrefecimento
- 2º Representar as evoluções psicrométricas do ar e a unidade de tratamento a utilizar com os seus componentes principais.

1º Calcular:

a) Capacidade total da bateria de arrefecimento

$$q_{sAN} = \text{Calor sensível ar novo} = l/s_{\text{ar novo}} \times 1,23 \times (T_e - T_i)$$

$$q_{sAN} = \text{Calor sensível ar novo} = 1.000 \times 1,23 \times (35 - 25) = 12.300w$$

$$q_{lAN} = \text{Calor latente ar novo} = l/s_{\text{ar novo}} \times 3 \times (\omega_e - \omega_i) =$$

$$q_{lAN} = \text{Calor latente ar novo} = 1.000 \times 3 \times (12,5 - 9,8) = 8.100w$$

$$q_{sL} + q_{sAN} = q_{ST} \quad 10.000w + 12.300w = 22.300w$$

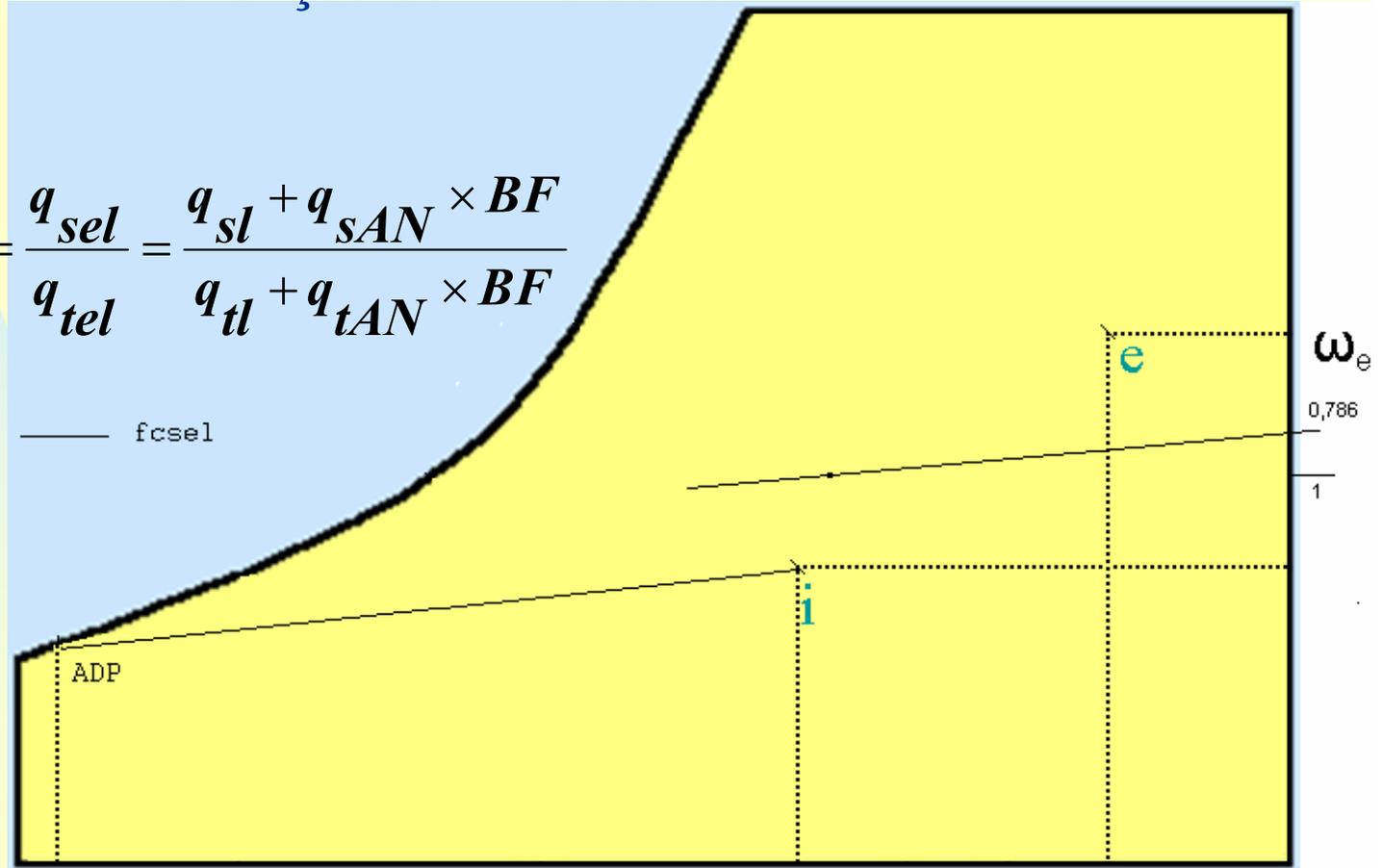
$$q_{lL} + q_{lAN} = q_{IT} \quad 2.000w + 8.100w = 10.100w$$

$$q_{tL} + q_{tAN} = q_T \quad 12.000w + 20.400w = 32.400w$$

b) Temperatura equivalente de superfície da  
bateria de arrefecimento, ADP

O ADP é função do BF e do fc<sub>sel</sub>

$$fc_{sel} = ESHF = \frac{q_{sel}}{q_{tel}} = \frac{q_{sl} + q_{sAN} \times BF}{q_{tl} + q_{tAN} \times BF}$$



$$fc_{sel} = ESHF = \frac{q_{sel}}{q_{tel}} = \frac{10.000 + 12.300 \times 0,15}{12.000 + 20.400 \times 0,15} = 0,786 \Rightarrow ADP = 11^\circ C$$

c) Débito de ar tratado l/s

$$l/s_{ar\ trat.} = \frac{q_{sel}}{1,23 \times (T_i - ADP) \times (1 - BF)}$$

$$l/s_{ar\ trat.} = \frac{11.845}{1,23 \times (25 - 11) \times (1 - 0,15)} = 809,25 l/s \cong 810 l/s$$

Como este débito é menor que o volume de ar novo mínimo, ter-se-á que utilizar o valor do enunciado de 1000 l/s com a potência de arrefecimento igual à calculada na alínea a)

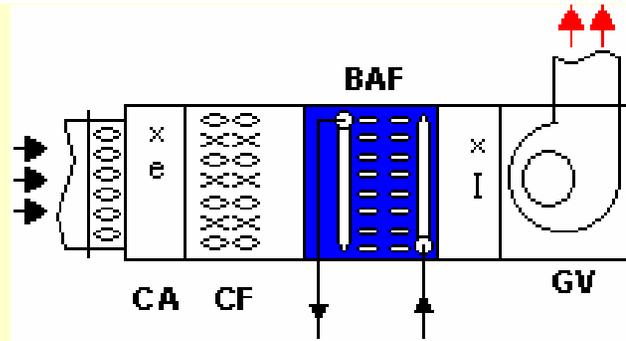
#### d) Condições do ar à saída da bateria de arrefecimento

Neste caso como não existe mistura a expressão para o BF é ligeiramente diferente

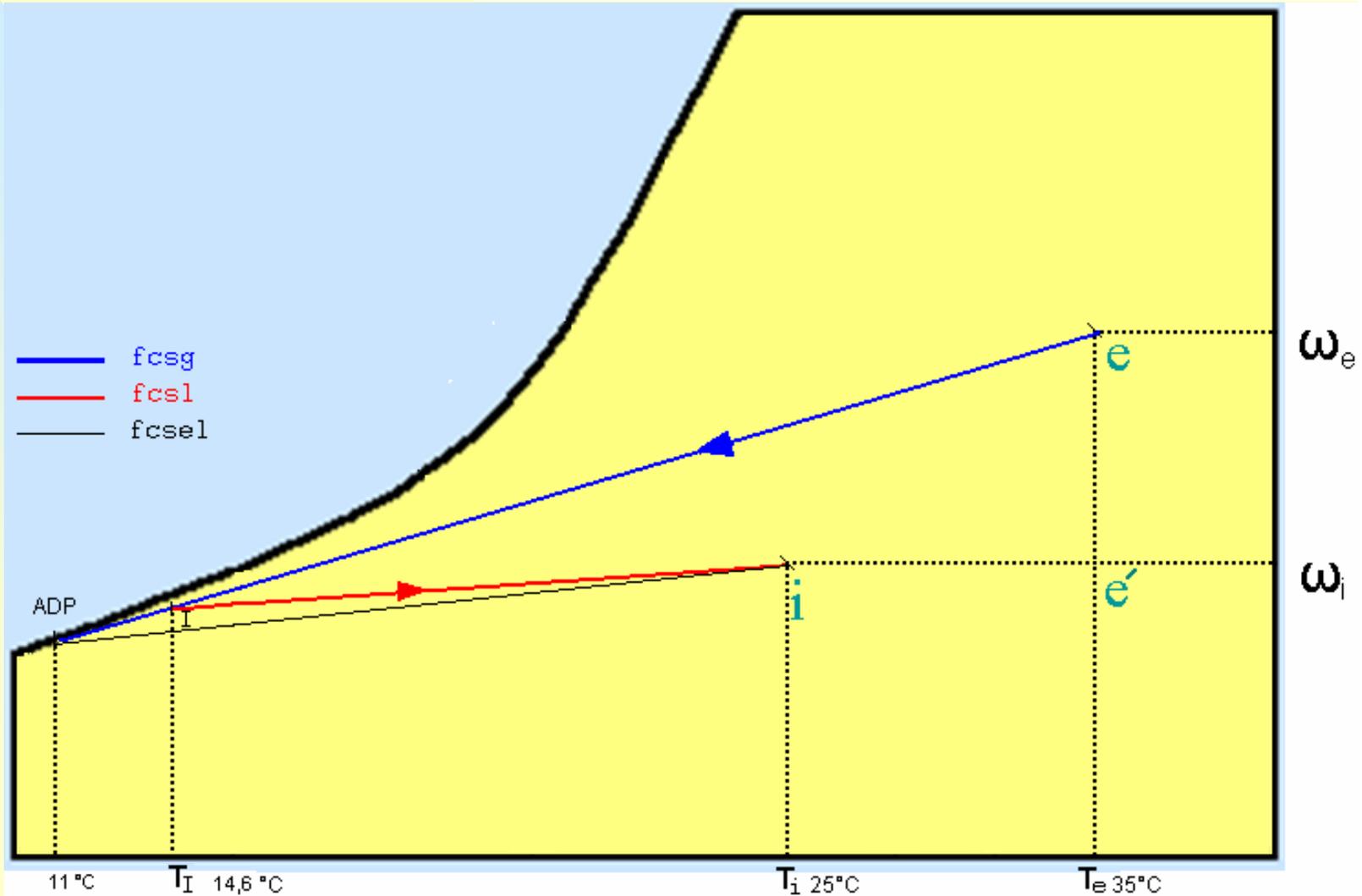
$$BF = \frac{T_I - ADP}{T_e - ADP}$$

$$T_I = (T_e - ADP) \times BF + ADP = (35 - 11) \times 0,15 + 11 = 14,6^\circ\text{C}$$

■ 2º Representar as evoluções psicrométricas do ar e a unidade de tratamento a utilizar com os seus componentes principais.



CA - Câmara de admissão  
 CF - câmara de filtragem  
 BAF - Bateria de água fria  
 GV - Grupo ventilador



# Problema de psicrometria de Verão - Exemplo 5 - reaquecimento

- Dados:
- Condições interiores  $i$  – 24 °C com 50% HR
- Condições exteriores  $e$  – 33 °C com 13 gr/kg
- Ganhos de calor sensível local – 15.000 w
- Ganhos de calor latente local – 12.000 w
- Débito de ar novo - 400 l/s
- Factor de by-pass,  $bf = 0,1$
- Utilização – sala de reuniões

# Problema de psicrometria de Verão - Exemplo 5 - reaquecimento

- 1º Calcular:
  - a) Capacidade total da bateria de arrefecimento
  - b) Temperatura equivalente de superfície da bateria de arrefecimento, ADP e caudal de ar tratado
  - c) Condições do ar à saída e à entrada da bateria de arrefecimento
- 2º Representar as evoluções psicrométricas do ar e a unidade de tratamento a utilizar com os seus componentes principais

1º Calcular:

a) Capacidade total da bateria de arrefecimento

$$q_{sAN} = \text{Calor sensível ar novo} = l/s_{\text{ar novo}} \times 1,23 \times (T_e - T_i)$$

$$q_{sAN} = \text{Calor sensível ar novo} = 400 \times 1,23 \times (33 - 24) = 4.428w$$

$$q_{LAN} = \text{Calor latente ar novo} = l/s_{\text{ar novo}} \times 3 \times (\omega_e - \omega_i)$$

$$q_{LAN} = \text{Calor latente ar novo} = 400 \times 3 \times (13 - 9,3) = 4.440w$$

$$q_{sL} + q_{sAN} = q_{ST} \quad 15.000w + 4.428w = 19.428w$$

$$q_{iL} + q_{LAN} = q_{IT} \quad 12.000w + 4.440w = 16.440w$$

$$q_{tL} + q_{tAN} = q_T \quad 27.000w + 8.868w = 35.868w$$

b) Temperatura equivalente de superfície da bateria de arrefecimento, ADP e caudal de ar tratado

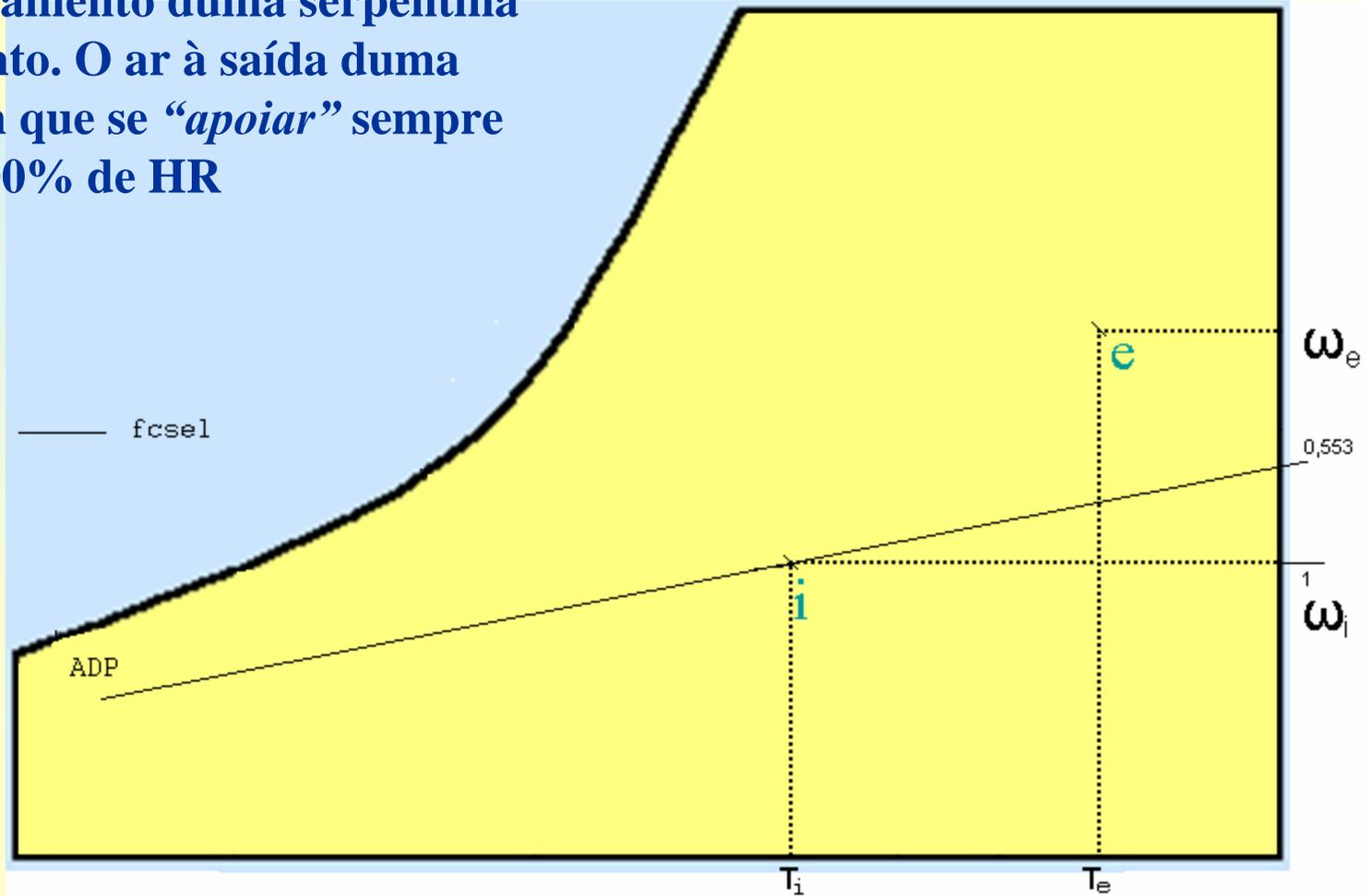
O ADP é função do BF e do fcsel

$$fcsel = ESHF = \frac{q_{seL}}{q_{teL}} = \frac{q_{sL} + q_{sAN} \times BF}{q_{tL} + q_{tAN} \times BF} = \frac{15.000 + 4.428 \times 0,1}{27.000 + 8.868 \times 0,1} = \frac{15.442,8}{27.886,8} = 0,553$$

Traça-se a recta de fcsel com a inclinação de 0,553, passando pelas condições interiores e define-se graficamente o ADP

## b) Temperatura equivalente de superfície da bateria de arrefecimento, ADP e caudal de ar tratado (cont.)

Como se visualiza, não foi possível definir um ADP, condição fundamental para o funcionamento duma serpentina de arrefecimento. O ar à saída duma serpentina tem que se “*apoiar*” sempre na curva de 100% de HR



b) Temperatura equivalente de superfície da bateria de arrefecimento, ADP e caudal de ar tratado (cont.)

$$q_{sL} + q_{sAN} = q_{ST} \quad 15.000 \text{ w} + 4.428 \text{ w} = 19.428 \text{ w}$$

$$q_{iL} + q_{iAN} = q_{IT} \quad 12.000 \text{ w} + 4.440 \text{ w} = 16.440 \text{ w}$$

$$q_{tL} + q_{tAN} = q_T \quad 27.000 \text{ w} + 8.868 \text{ w} = 35.868 \text{ w}$$

$$fcsl = RSHF = \frac{q_{sL}}{q_{tL}} = \frac{15.000}{27.000} = 0,555$$

$$fcsg = GSHF = \frac{q_{sT}}{q_T} = \frac{19.428}{35.868} = 0,542$$

$$fcseL = ESHF = \frac{q_{seL}}{q_{teL}} = \frac{15.442,8}{27.886,8} = 0,553$$

O factor de calor sensível efectivo do local tem um valor “baixo”, porque à partida os ganhos sensíveis locais são pequenos quando comparados com os ganhos latentes locais.

**A única maneira de alterar esta situação será alterar o calor sensível local, aumentando-o !!!???**

b) Temperatura equivalente de superfície da bateria de arrefecimento, ADP e caudal de ar tratado (cont.)

$$q_{sL} + Q_s + q_{sAN} = q_{ST} + Q_s$$

$$15.000w + Q_s + 4.428w = 19.428w + Q_s$$

$$q_{iL} + q_{iAN} = q_{iT}$$

$$12.000w + 4.440w = 16.440w$$

$$q_{tL} + Q_s + q_{tAN} = q_T + Q_s$$

$$27.000w + Q_s + 8.868w = 35.868w + Q_s$$

**Pode-se estabelecer desta forma, um factor de calor sensível efectivo do local que terá que ter em conta essa carga de calor sensível correctiva. Conforme o problema está apresentado ele tem várias soluções, estando portanto a solução indefinida.**

b) Temperatura equivalente de superfície da bateria de arrefecimento, ADP e caudal de ar tratado (cont.)

A atribuição de um ADP pode neste caso ser uma solução possível, tirando-se do diagrama directamente a inclinação desse novo factor de calor sensível. Deste modo ter-se-á:

$$f_{cseL'} = ESHF' = \frac{q_{seL'}}{q_{teL'}} = \frac{q_{sL} + q_{sAN} \times BF + Q_s}{q_{tL} + q_{tAN} \times BF + Q_s}$$

Naturalmente que em época de Verão não fará sentido aquecer um ambiente que no fundo se pretende arrefecer. A solução mais adequada passa por um natural sobredimensionamento da serpentina de arrefecimento, colocando após essa bateria um reaquecimento com a capacidade  $Q_s$

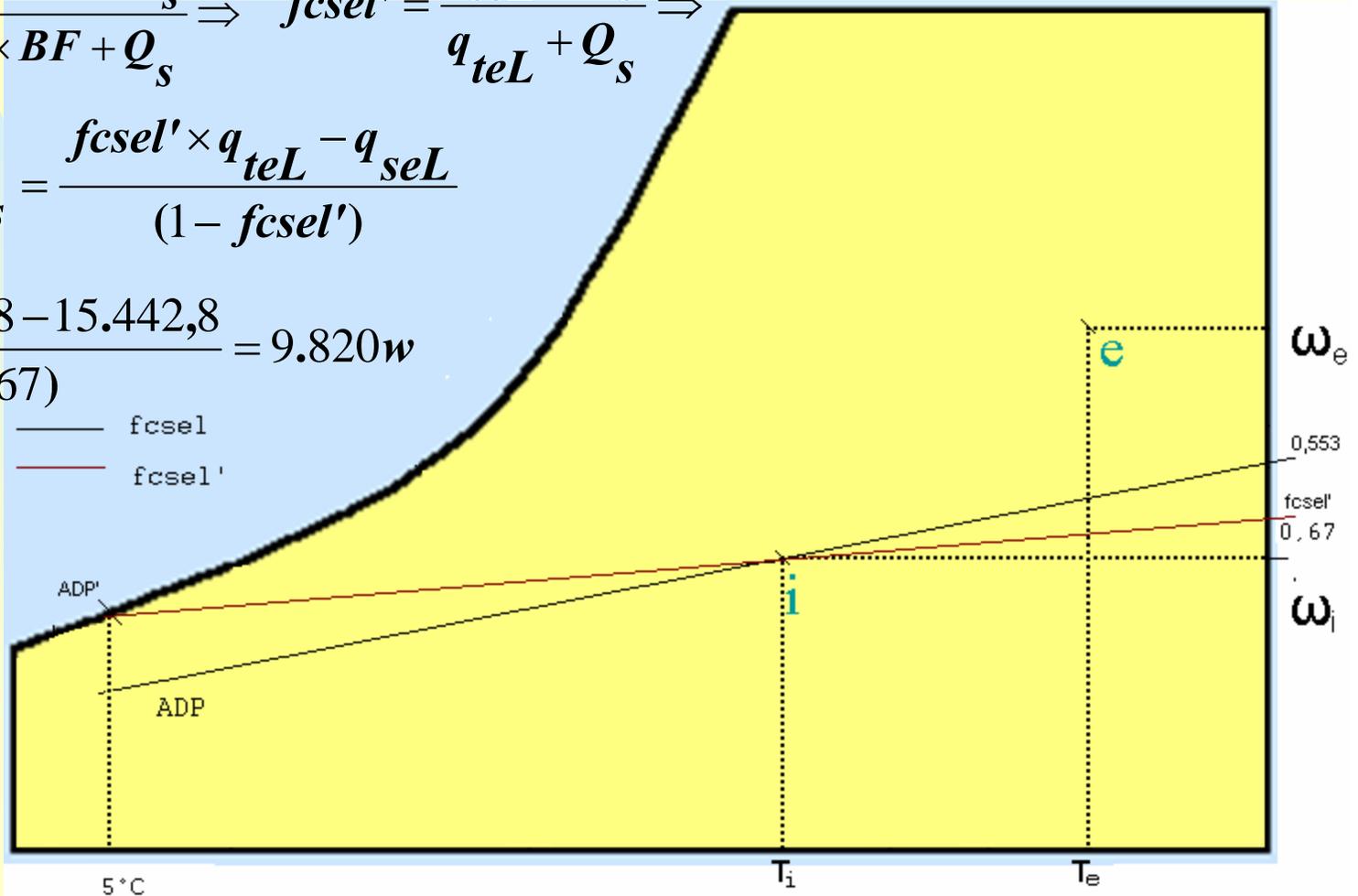
b) Temperatura equivalente de superfície da bateria de arrefecimento, ADP e caudal de ar tratado (cont.)

Atribuindo um ADP, por exemplo de 5°C, resulta um fcsel' de 0,67 donde se conclui que:

$$fcsel' = \frac{q_{sL} + q_{sAN} \times BF + Q_s}{q_{tL} + q_{tAN} \times BF + Q_s} \Rightarrow fcsel' = \frac{q_{seL} + Q_s}{q_{teL} + Q_s} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q_s = \frac{fcsel' \times q_{teL} - q_{seL}}{(1 - fcsel')}$$

$$Q_s = \frac{0,67 \times 27.886,8 - 15.442,8}{(1 - 0,67)} = 9.820w$$



b) Temperatura equivalente de superfície da bateria de arrefecimento, ADP e caudal de ar tratado (cont.)

O sistema de 3 equações a 3 incógnitas deverá agora ser adaptado à evolução que resulta da conjugação duma serpentina de arrefecimento com uma bateria de reaquecimento

$$l/s_{ar\ trat.} = \frac{q_{sL}}{1,23 \times (T_i - T_I)} = \frac{q_{sT} + Q_s}{1,23 \times (T_M - T_I')} = \frac{q_{seL} + Q_s}{1,23 \times (T_i - ADP) \times (1 - BF)}$$

$$l/s_{ar\ trat.} = \frac{15.442,8 + 9.820}{1,23 \times (24 - 5) \times (1 - 0,1)} = 1.200 l/s$$

A alínea a) deverá ser alterada para:

$$q_{T'} = q_T + Q_s = 35.868 + 9.820 = 46.688 w$$

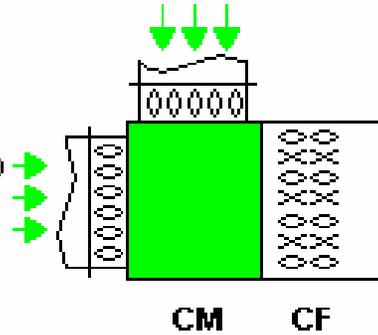
### c) Condições do ar à saída e à entrada da bateria de arrefecimento

**O ponto M (mistura) será definido por:**

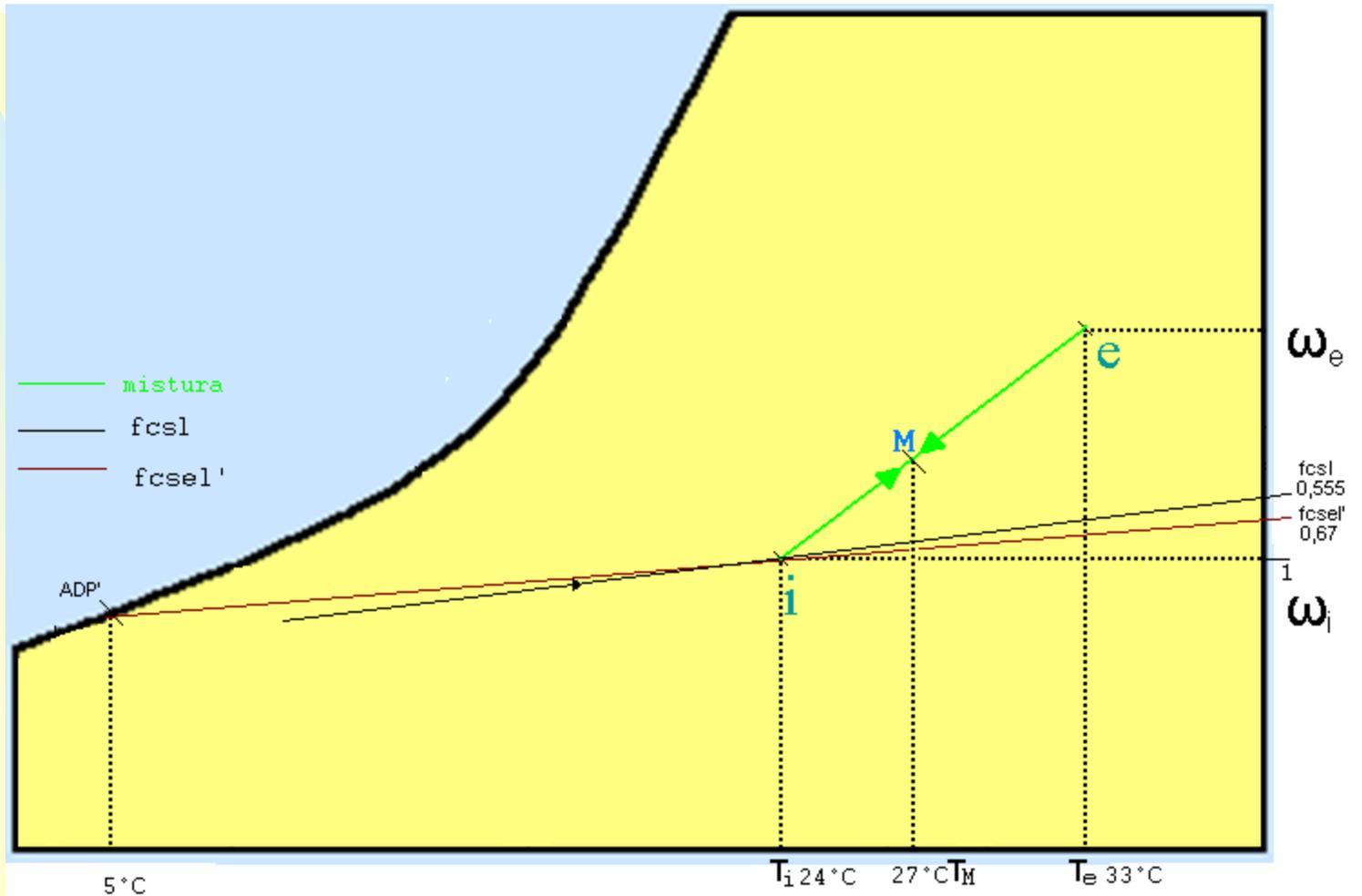
$$T_M = \frac{l/s_{ar\ novo} \times T_e + l/s_{ret.} \times T_i}{l/s} = \frac{400 \times 33 + 800 \times 24}{1200} = 27^\circ C$$

400 l/s de ar novo a 33°C de bolbo seco e 13 gr/kg de humidade absoluta

800 l/s de ar de retorno a 24°C de bolbo seco e 50 % HR



CM - câmara de mistura  
CF - câmara de filtragem



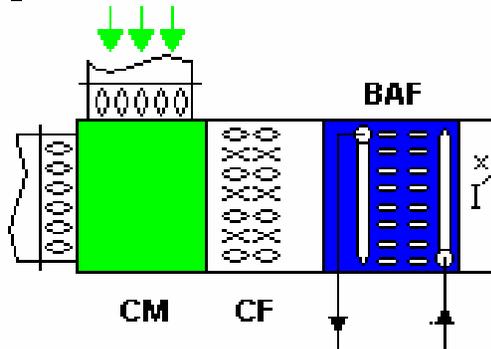
### c) Condições do ar à saída e à entrada da bateria de arrefecimento

Do ponto M para o ADP, traça-se a recta do fcs<sub>g</sub> e sobre ela o ponto I' (saída da serpentina de arrefecimento) que será calculado através da equação:

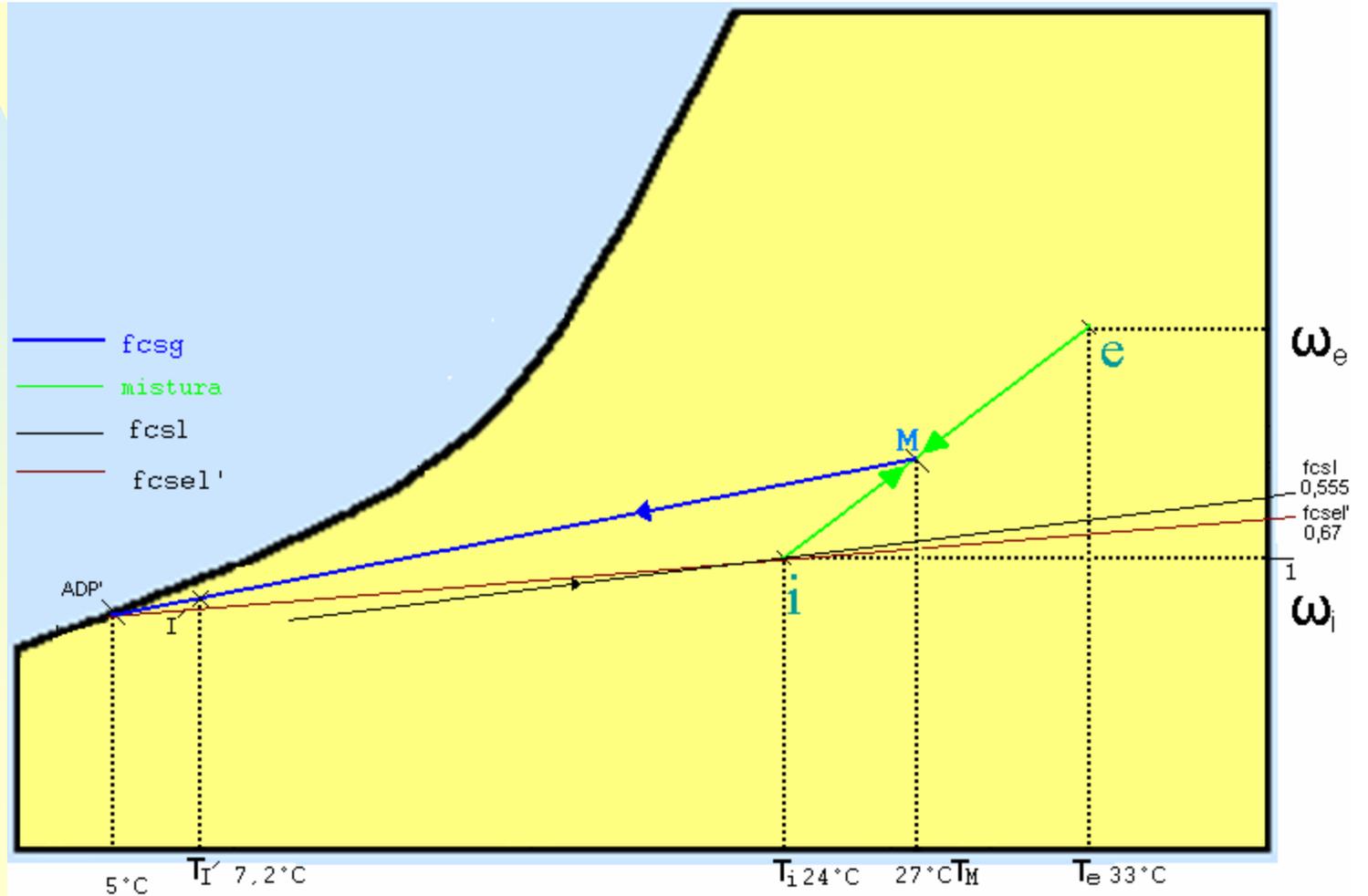
$$BF = \frac{T_{I'} - ADP}{T_M - ADP} \Rightarrow T_{I'} = ADP + (T_M - ADP) \times BF = 5 + (27 - 5) \times 0,1 = 7,2^\circ\text{C}$$

400 l/s de ar novo a 33°C de bolbo seco  
e 13 gr/kg de humidade absoluta

800 l/s de ar de retorno  
a 24°C de bolbo seco  
e 50 % HR



CM - câmara de mistura  
CF - câmara de filtragem  
BAF - Bateria de arrefecimento



### c) Condições do ar à saída e à entrada da bateria de arrefecimento

**As condições de insuflação I, resultam do cruzamento da evolução da bateria de aquecimento BRA com a recta de fcsL**

$$fcsL = RSHF = \frac{q_{sL}}{q_{tL}} = \frac{15.000}{27.000} = 0,555$$

**Analiticamente determina-se o ponto I a partir da seguinte expressão:**

$$BRA = q_{sBRA} = l/s \times 1,23 \times (T_I - T_{I'}) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_I = T_{I'} + \frac{q_{sBRA}}{1,23 \times l/s} = 7,2 + \frac{9.820}{1,23 \times 1.200} = 13,85^\circ C$$

400 l/s de ar novo a 33°C de bolbo seco  
e 13 gr/kg de humidade absoluta

800 l/s de ar de retorno  
a 24°C de bolbo seco  
e 50 % HR

