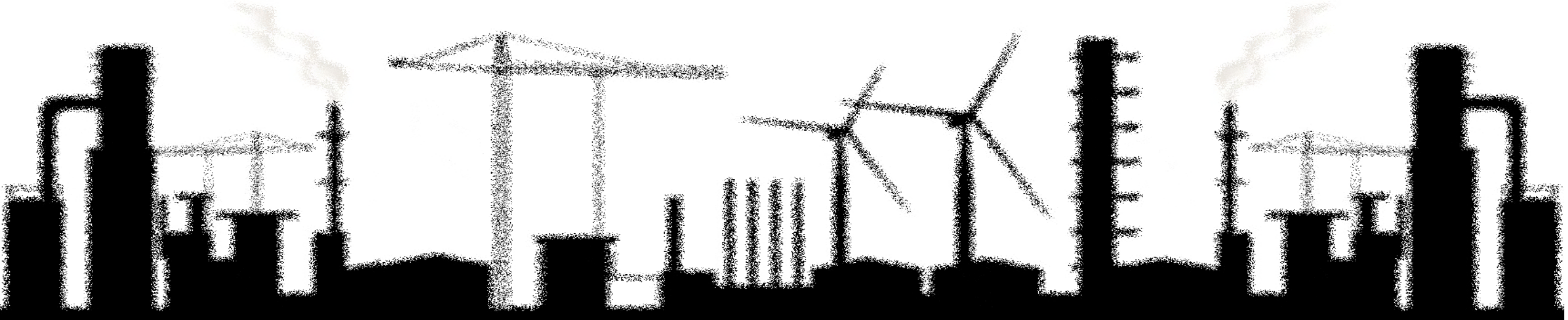
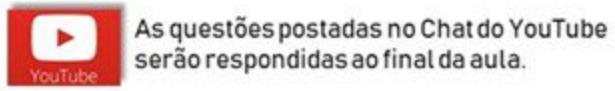
MÉTODOS DE MODELAGEM E OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS INDUSTRIAIS

Paulo Seleghim Jr.
Universidade de São Paulo



MODELAGEM E OTMIZAÇÃO:

implementar uma versão “eletrônica” do sistema industrial permitindo testar diferentes configurações e parâmetros operacionais...



Q#1: Você assistiu ao vídeo de abertura do curso enviado por Email (eDisciplinas) ?

A) Assisti sim...

B) Não assisti não...

C) Não assisti, não vou assistir e penso que ninguém deveria ter assistido...

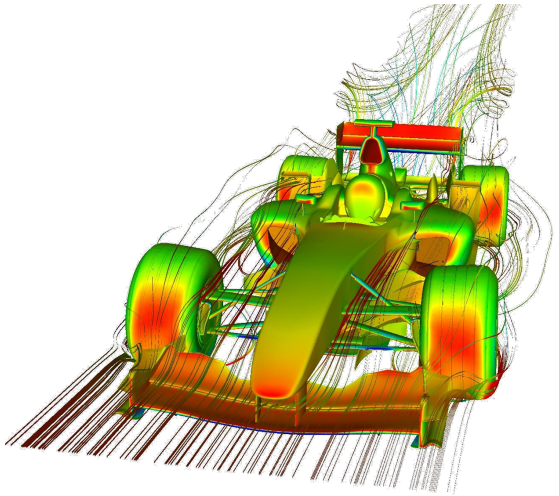
D) Não tenho certeza se assisti ou não...

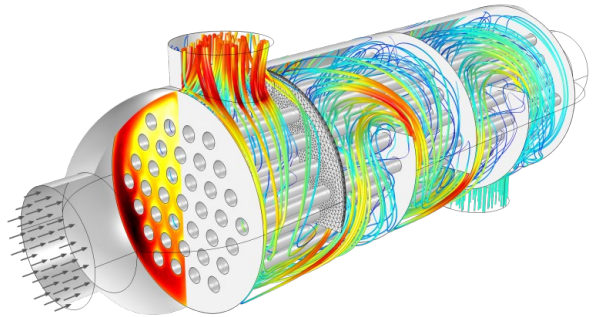
E) É impossível dizer...

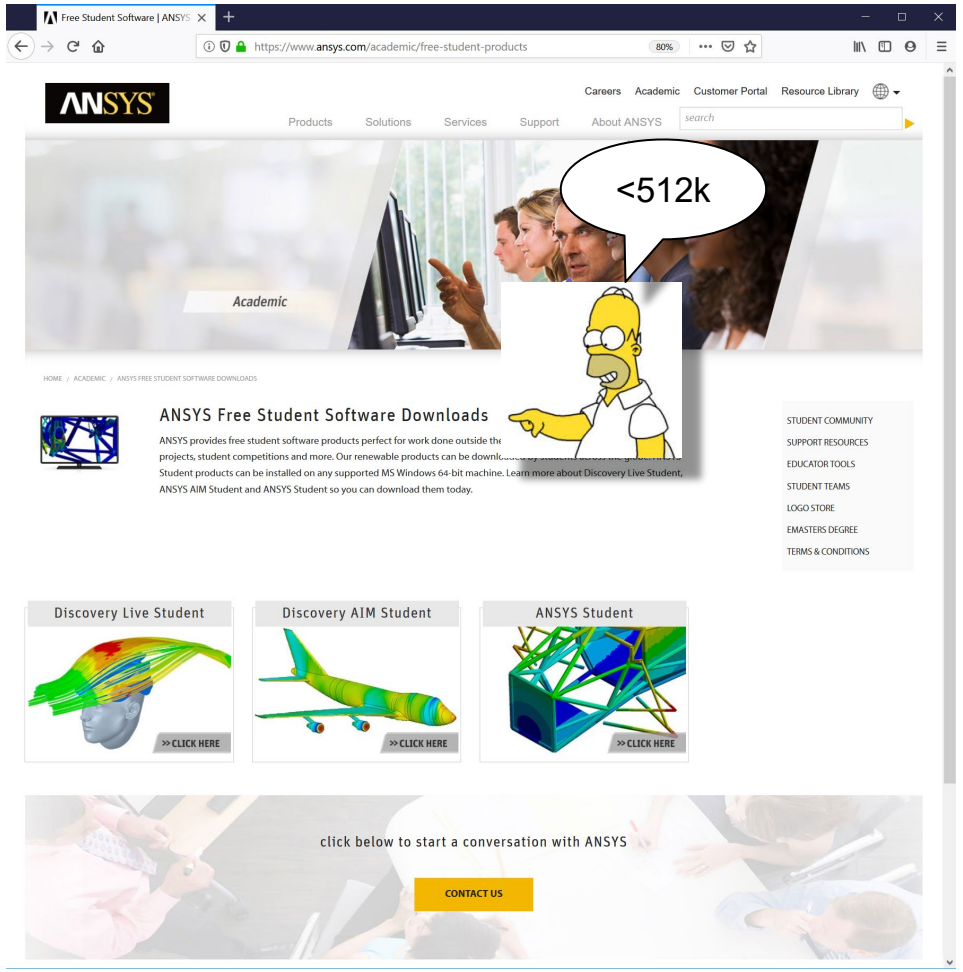
1

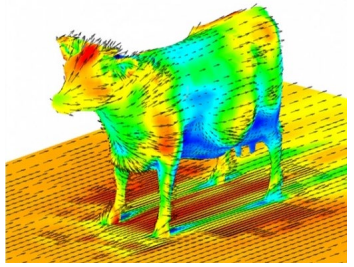
Exemplos de aplicação desenvolvido neste curso...

CÁLCULOS POR MEIO DE SIMULAÇÃO CFD (COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS)

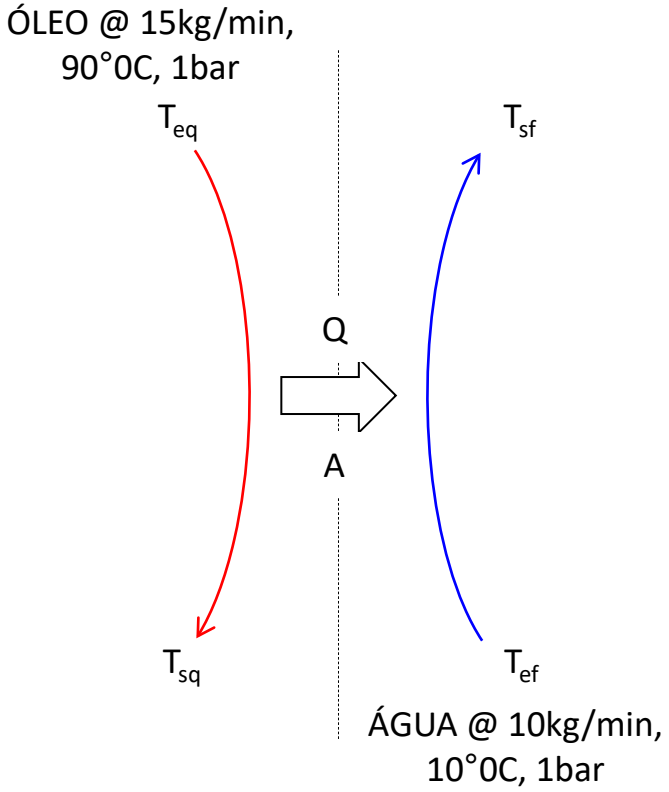


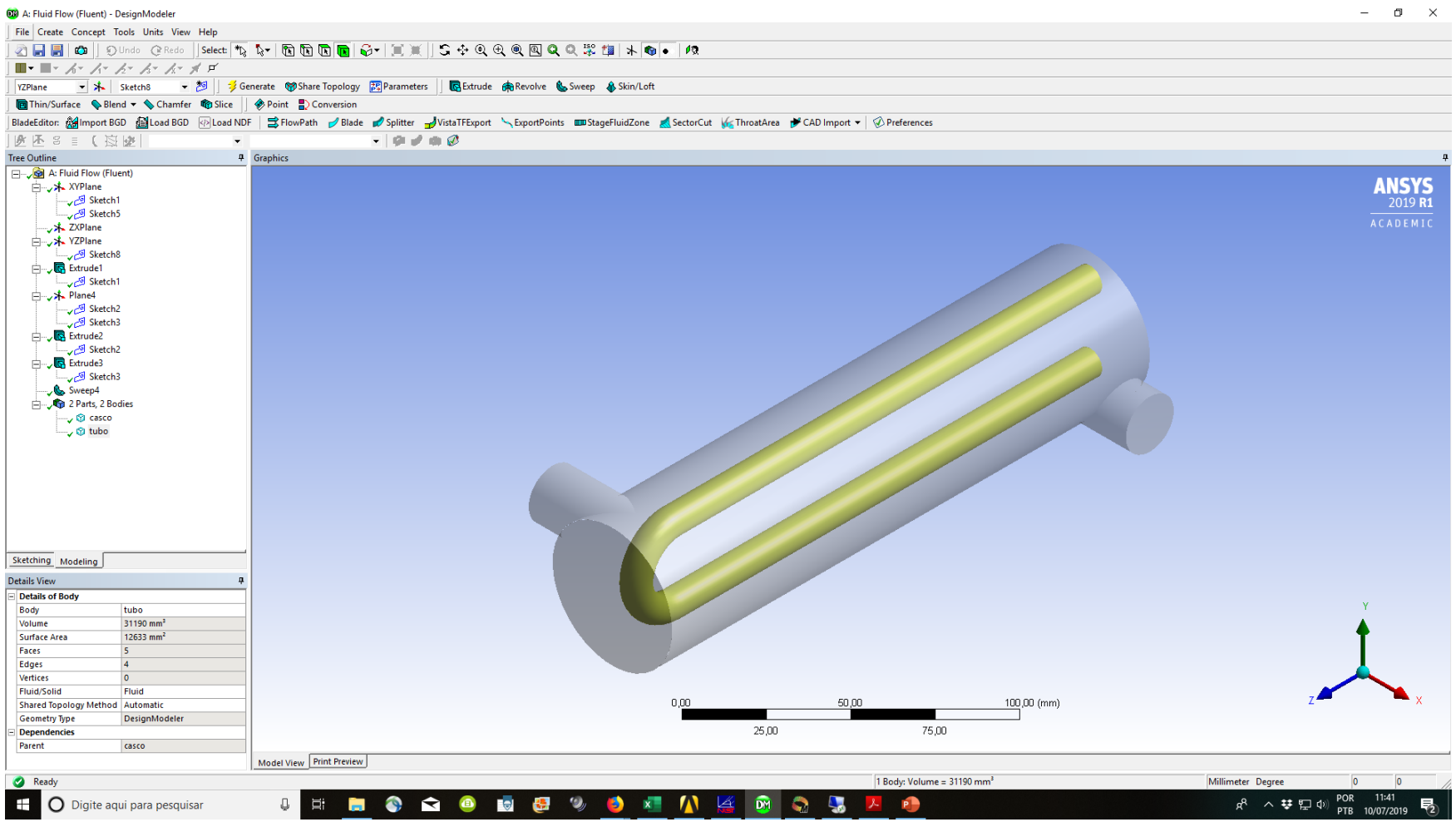






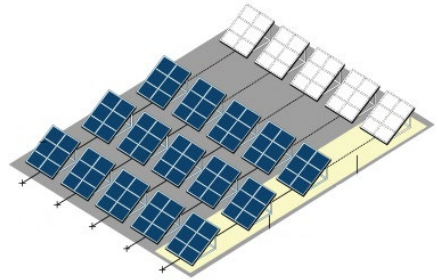
CONSTRUÇÃO DO MODELO GEOMÉTRICO



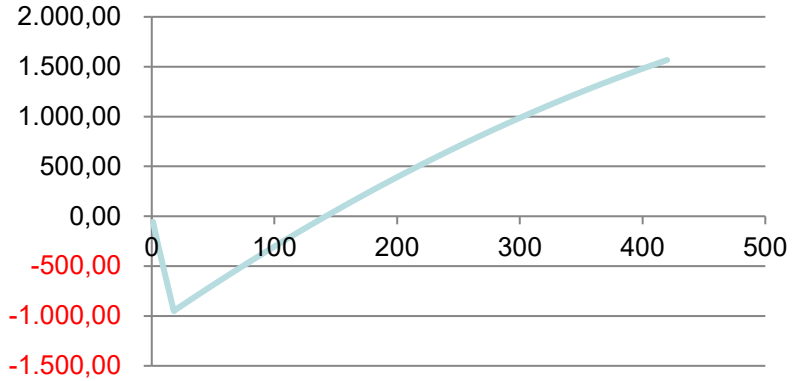


As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

Analysis of the Investment Projects (Capital Budgeting)

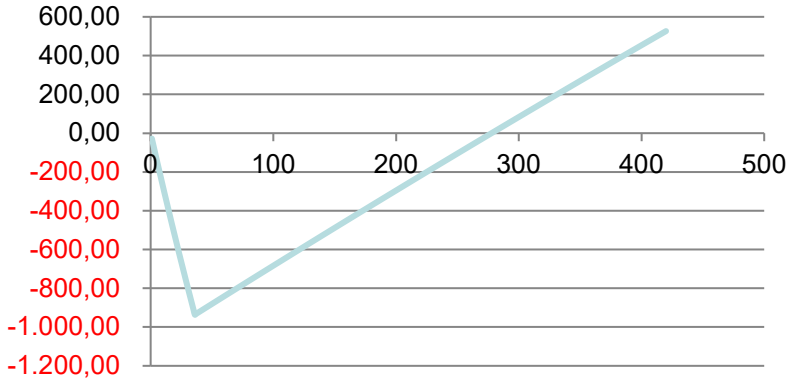


Acumulado (MR$)



depreciação	5	
taxa de desconto	0,54%	ao mês
VPL	42,20	MR$
TIR	0,65%	ao mês
TIR	7,81%	ao ano
Benefício/Custo	1,1274	R$/R$

Acumulado (MR$)



depreciação	2	
taxa de desconto	0,54%	ao mês
VPL	-401,50	MR$
TIR	0,23%	ao mês
TIR	2,77%	ao ano
Benefício/Custo	0,6632	R$/R$

DECISION: WIND. However...

MODELAGEM, SIMULAÇÃO, OTIMIZAÇÃO...

As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

OTIMIZAÇÃO...

- mono-objetivo
- multi-objetivos

Projeto otimizado
(condições nominais, arbitrárias)

Operação otimizada
(condições reais, de campo)

As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

Q#2: o termo “condições nominais de projeto” faz alusão a quê ?

A) O efeito do nome do projeto sobre seu desempenho...

B) A renovabilidade dos vetores energéticos...

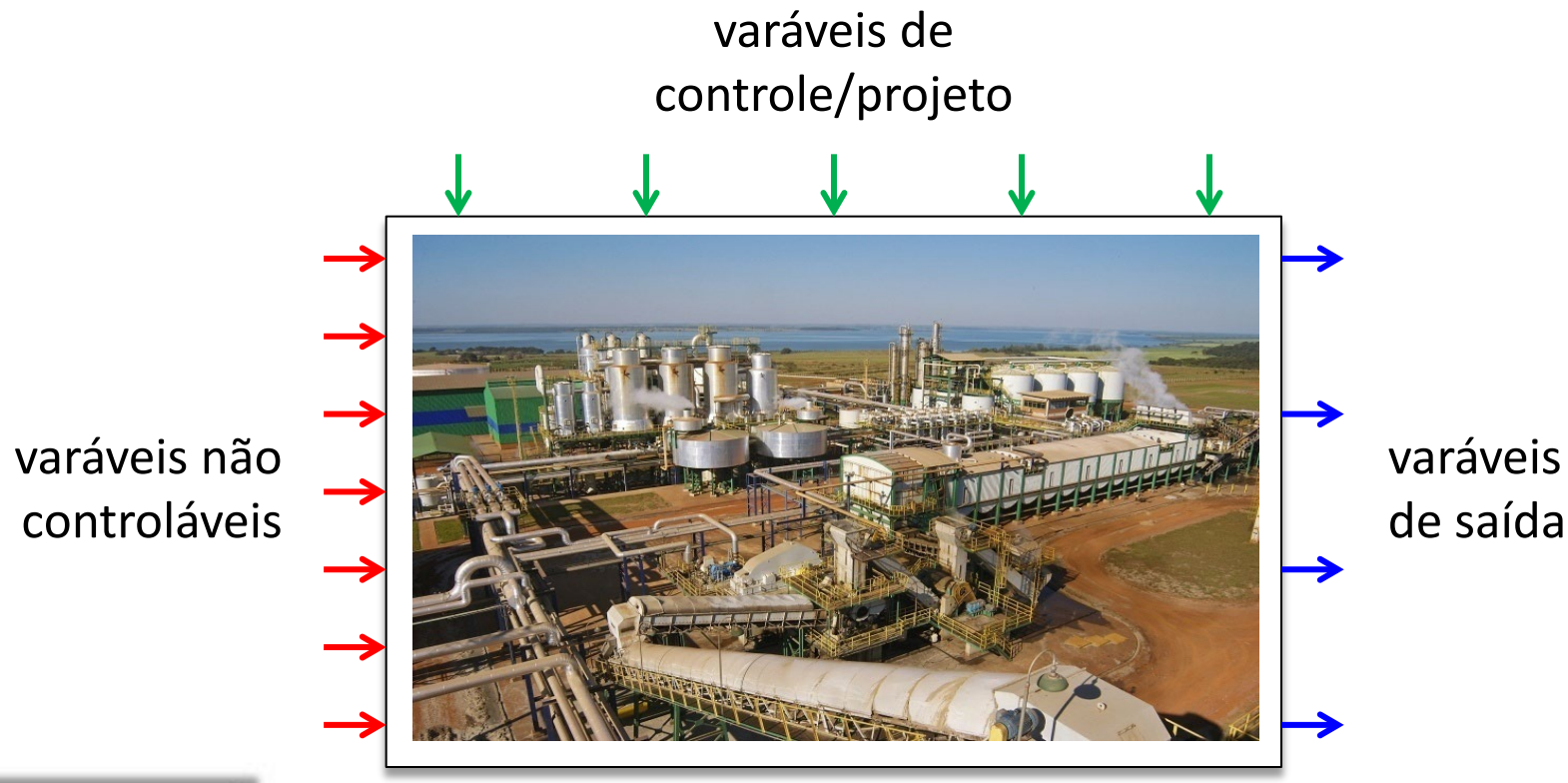
C) O emprego da regeneração interna de calor...

D) Hipóteses quanto às condições de operação do projeto...

E) É impossível dizer...

2

Usina de cana 1G / Biorrefinaria 1G2G...



Usina Vertente
Guaraci / SP

As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

configuração do sistema de extração

configuração do ciclo de Rankine

pureza do oxigênio produzido

tecnologia de filtragem de sólidos

potência no pré-evaporador

taxa de processamento

teor de fibra na cana

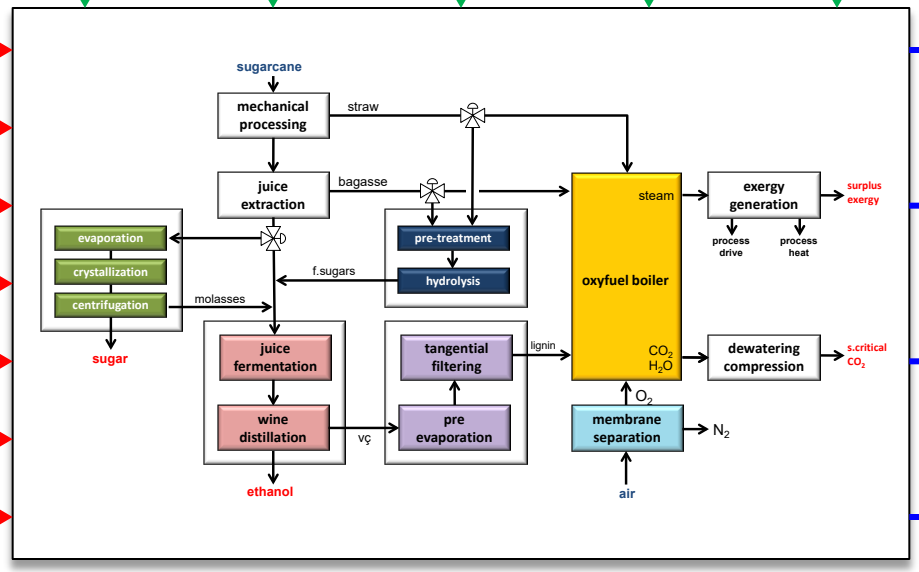
impurezas minerais

mortandade leveduras

contaminantes químicos

temperatura ambiente

etc.



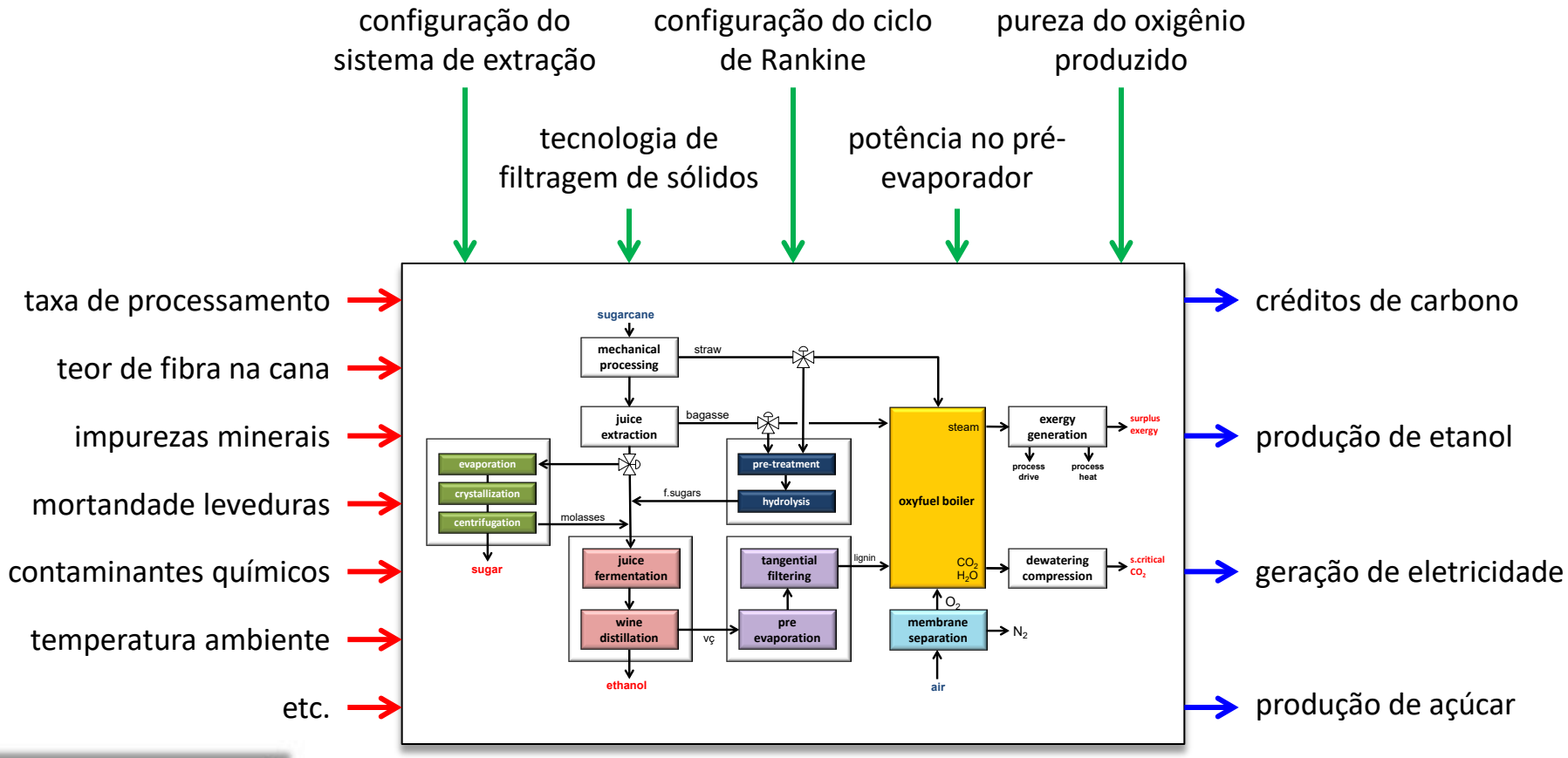
créditos de carbono

produção de etanol

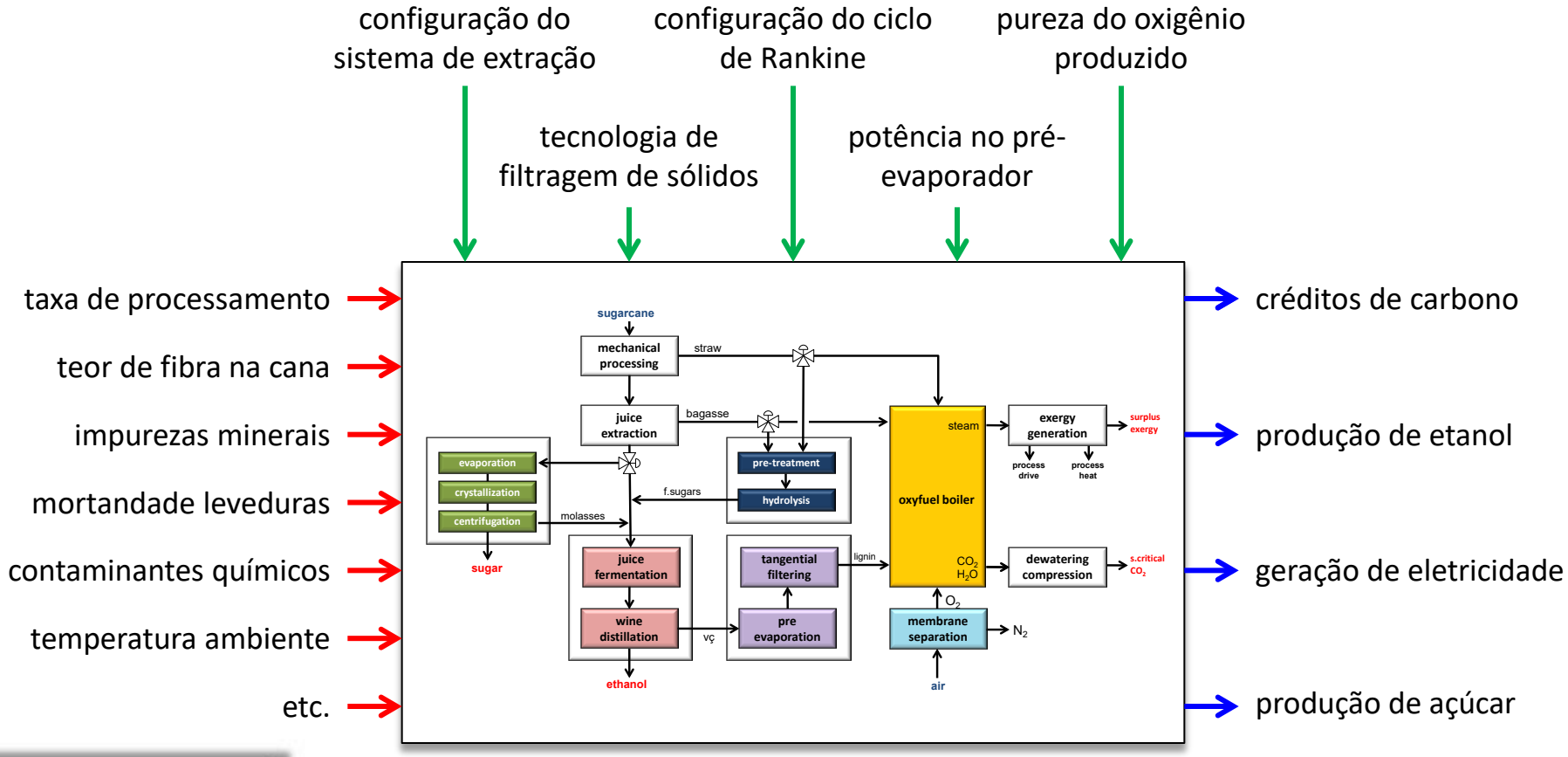
geração de eletricidade

produção de açúcar

As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.



OTIMIZAÇÃO DO PROJETO: como determinar as variáveis de projeto que maximizem as variáveis de saída, em relação a condições nominais arbitradas (variáveis não controláveis) ?



OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL: como manipular as variáveis de controle de maneira a otimizar as variáveis de saída, dadas as flutuações das variáveis não controláveis ?

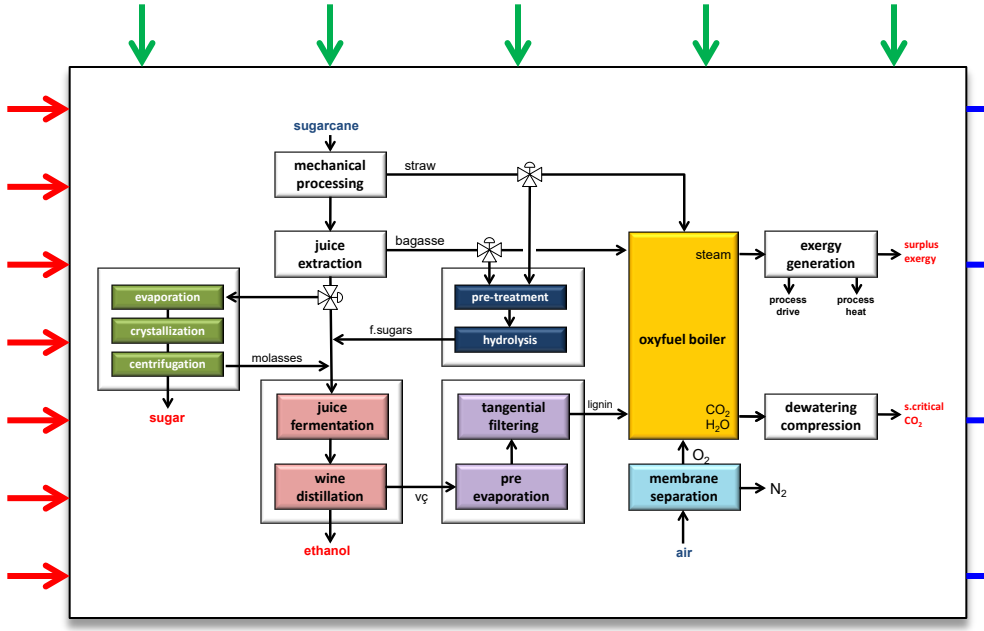
Projeto de um Processo Transformativo...

varáveis de
controle/projeto

$$\vec{x} = [x_1 \quad x_2 \quad \dots \quad x_N]$$

varáveis não
controláveis

$$\vec{\delta} = \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \vdots \\ \delta_N \end{bmatrix}$$



$\phi_1(\vec{x}, \vec{\delta})$

$\phi_2(\vec{x}, \vec{\delta})$

$\phi_3(\vec{x}, \vec{\delta})$

$\phi_4(\vec{x}, \vec{\delta})$

varáveis
de saída

$$\text{Min/Max } \phi_k(\vec{x}, \vec{\delta}) \;/\; \vec{f}(\vec{x}, \vec{\delta}) = 0$$

Equações de modelagem do sistema (p.e. balanços de massa e energia)

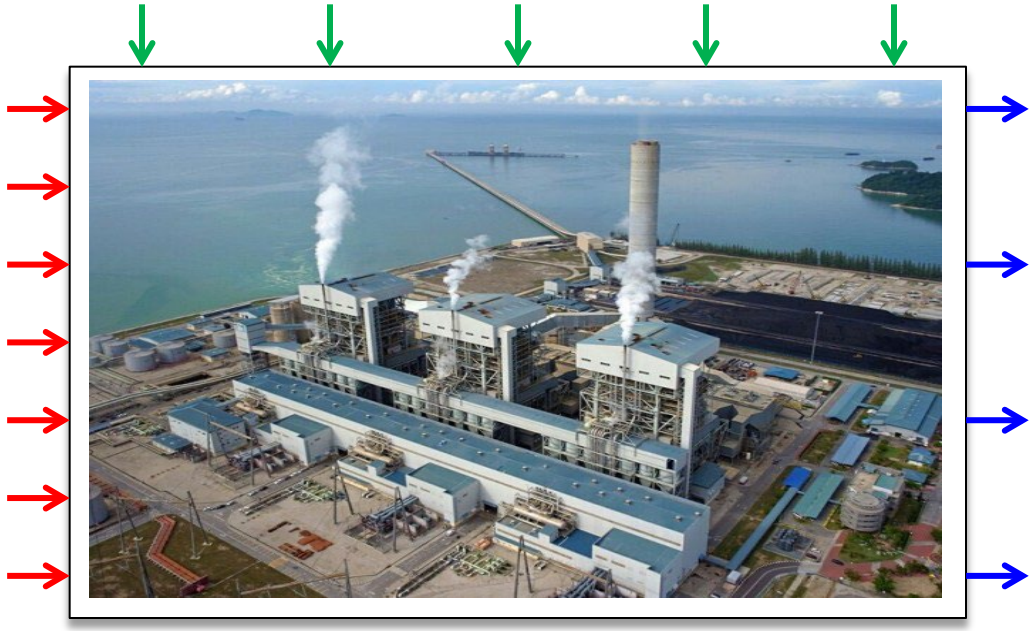
As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

Exemplo de aplicação desenvolvido nesta aula...

Central Termelétrica de Grande Porte...

varáveis de
controle/projeto

varáveis não
controláveis



varáveis
de saída

Manjung 4 ALSTOM
1000 MW (Malaysia)

https://youtu.be/W2AD34CPI7E

As questões postadas no Chat do YouTube
serão respondidas ao final da aula.

1. STF100 steam turbine
2. GIGATOP turbogenerator
3. Two-pass boiler
4. HP/LP heaters
5. Feedwater tank
6. Condenser
7. Bus duct
8. Coal silos

Manjung 4 ALSTOM
1000 MW (Malaysia)

https://youtu.be/W2AD34CPI7E

Central Termelétrica de Grande Porte...

As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

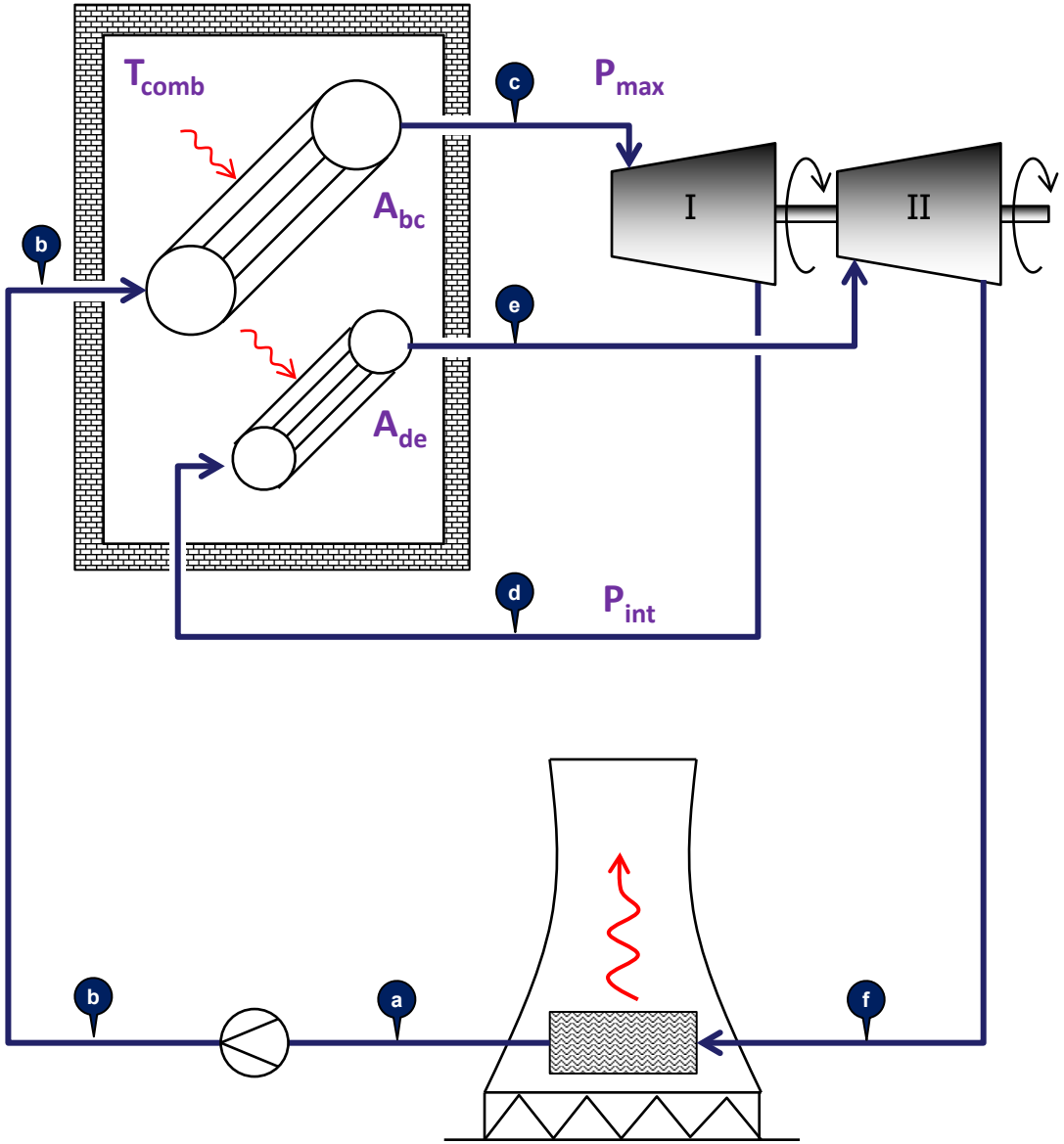
Parâmetros de desempenho (ϕ)

1) Potência nas turbinas
2) Rendimento ↑
3) CAPEX + OPEX ↓

Restrições

1) $m = 10kg/s$
2) $T_{cond} = 100ºC$
3) $P_{max} \leq 150bar$
4) $P_{int} \geq 70bar$
5) $T_{comb} \leq 700ºC$
6) $x_f \geq 0,9$

Funções de Custo...



As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

Parâmetros de desempenho (ϕ)

1) **Potência nas turbinas**
2) **Rendimento ↑**
3) **CAPEX + OPEX ↓**

$$\phi \overset{\text{def}}{=} rendimento\ (+)\ \ e\ \ CAPEX\ (-)$$

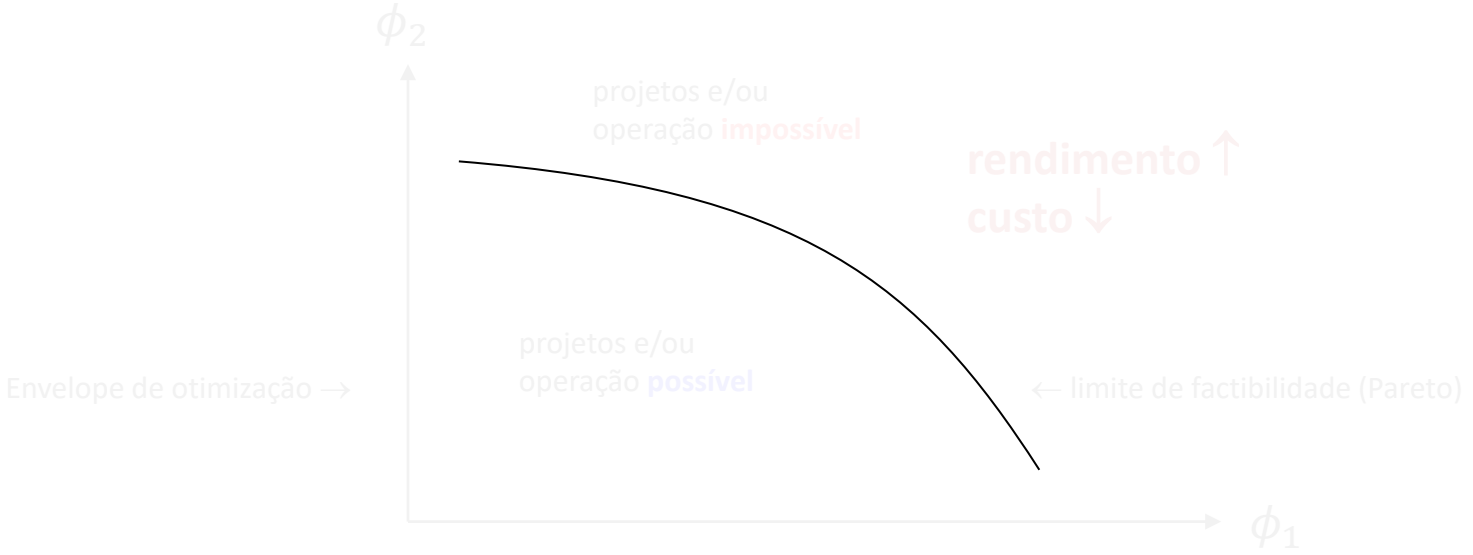
Restrições

1) **m = 10kg/s**
2) **T_{cond} = 100ºC**
3) **$P_{max} \leq$ 150bar**
4) **$P_{int} \geq$ 70bar**
5) **$T_{comb} \leq$ 700ºC**
6) **$x_f \geq$ 0,9**

mono-objetivo → $\phi \overset{e.g.}{=} \omega\left(\frac{\eta}{\eta_{ref}}\right) + (1-\omega)\left(\frac{Cpx_{ref}}{Cpx}\right)$

multi-objetivo → $\phi_1 \overset{\text{def}}{=} \left(\frac{\eta}{\eta_{ref}}\right)\ \ e\ \ \phi_2 \overset{\text{def}}{=} \left(\frac{Cpx_{ref}}{Cpx}\right)$

Funções de Custo...

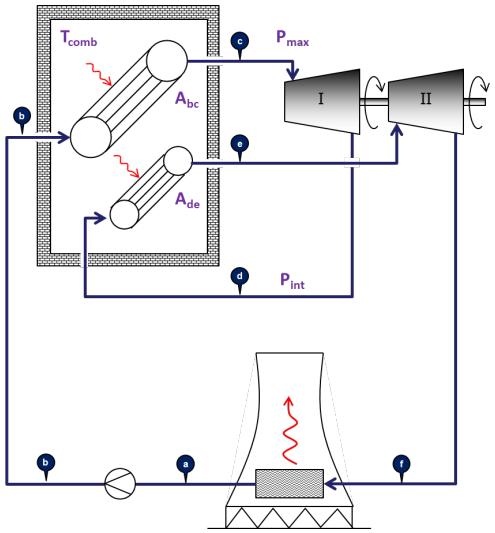


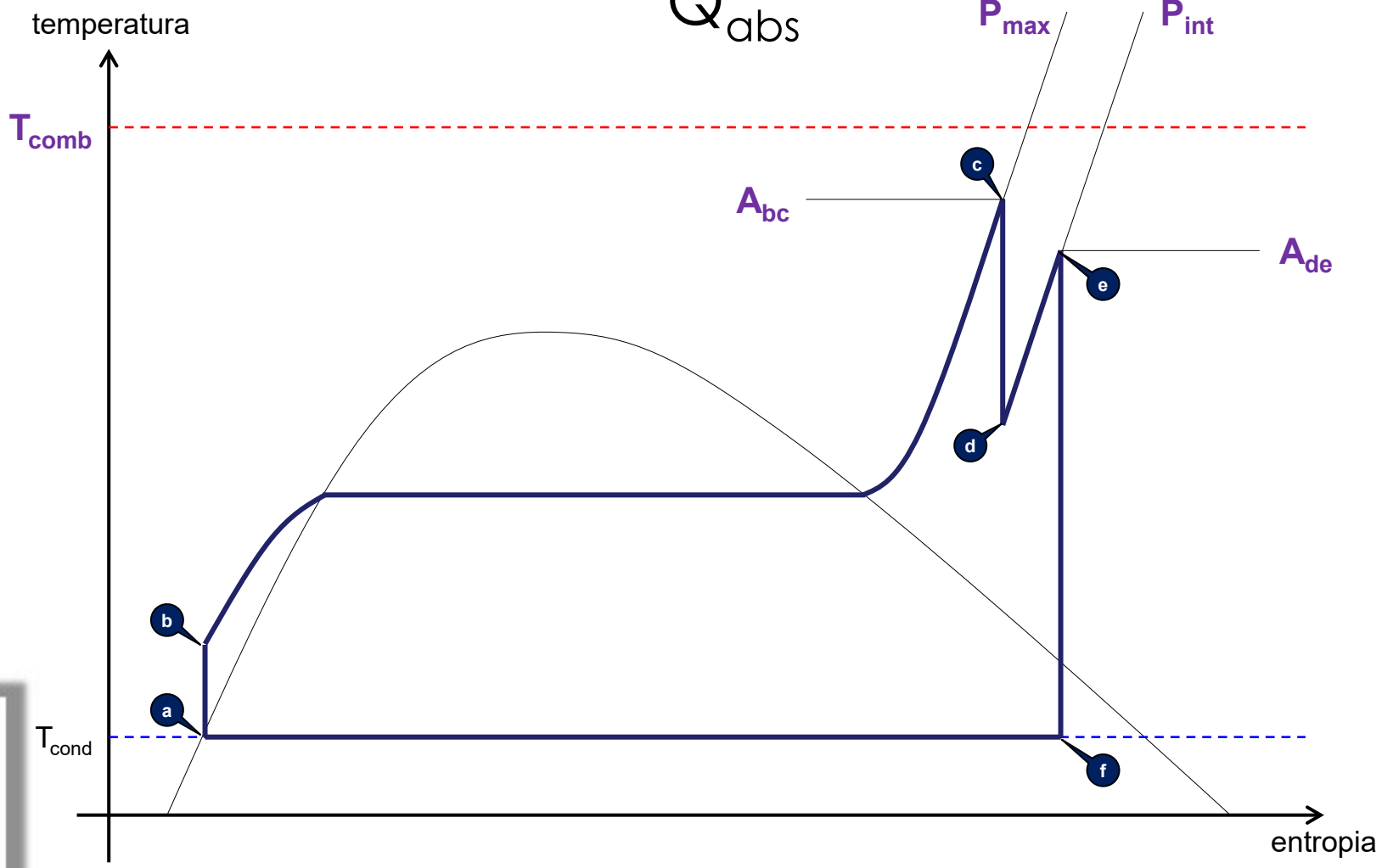
As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

Modelagem do sistema industrial...

As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

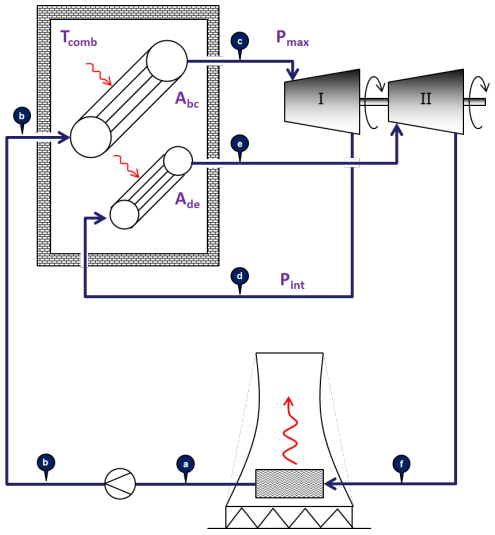
$$\eta_{term} = \frac{W_{líq}}{Q_{abs}}$$

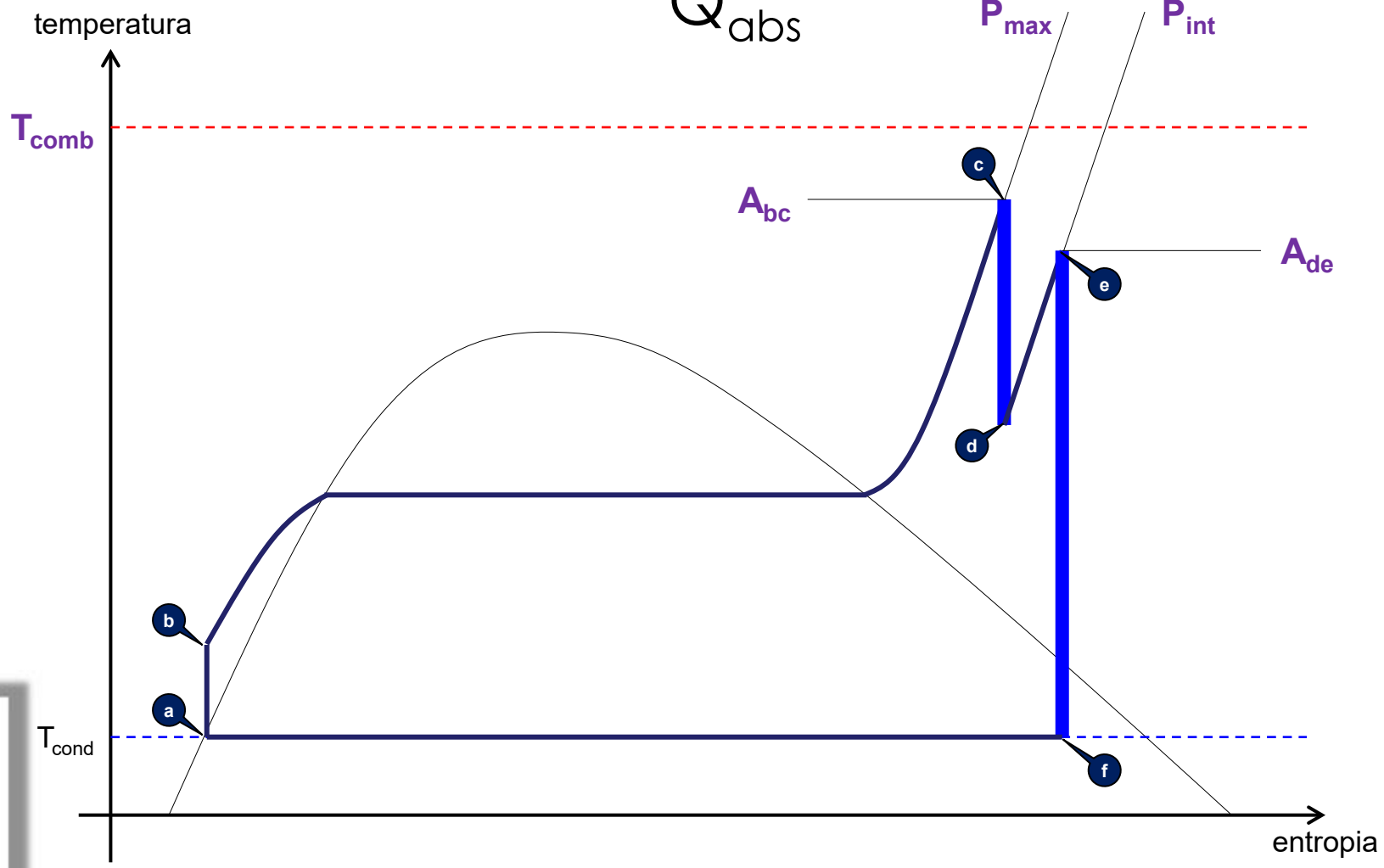




As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

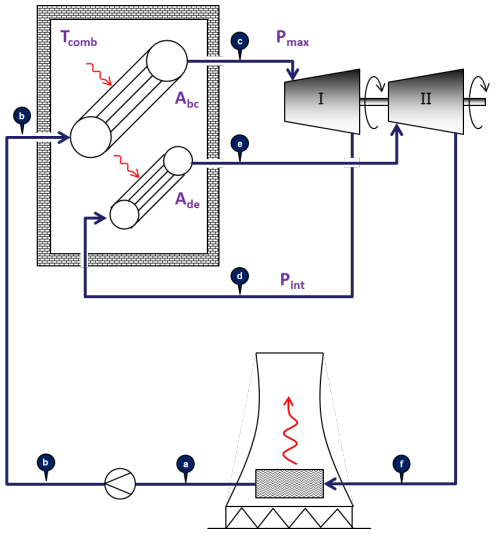
$$\eta_{term} = \frac{W_{líq}}{Q_{abs}}$$

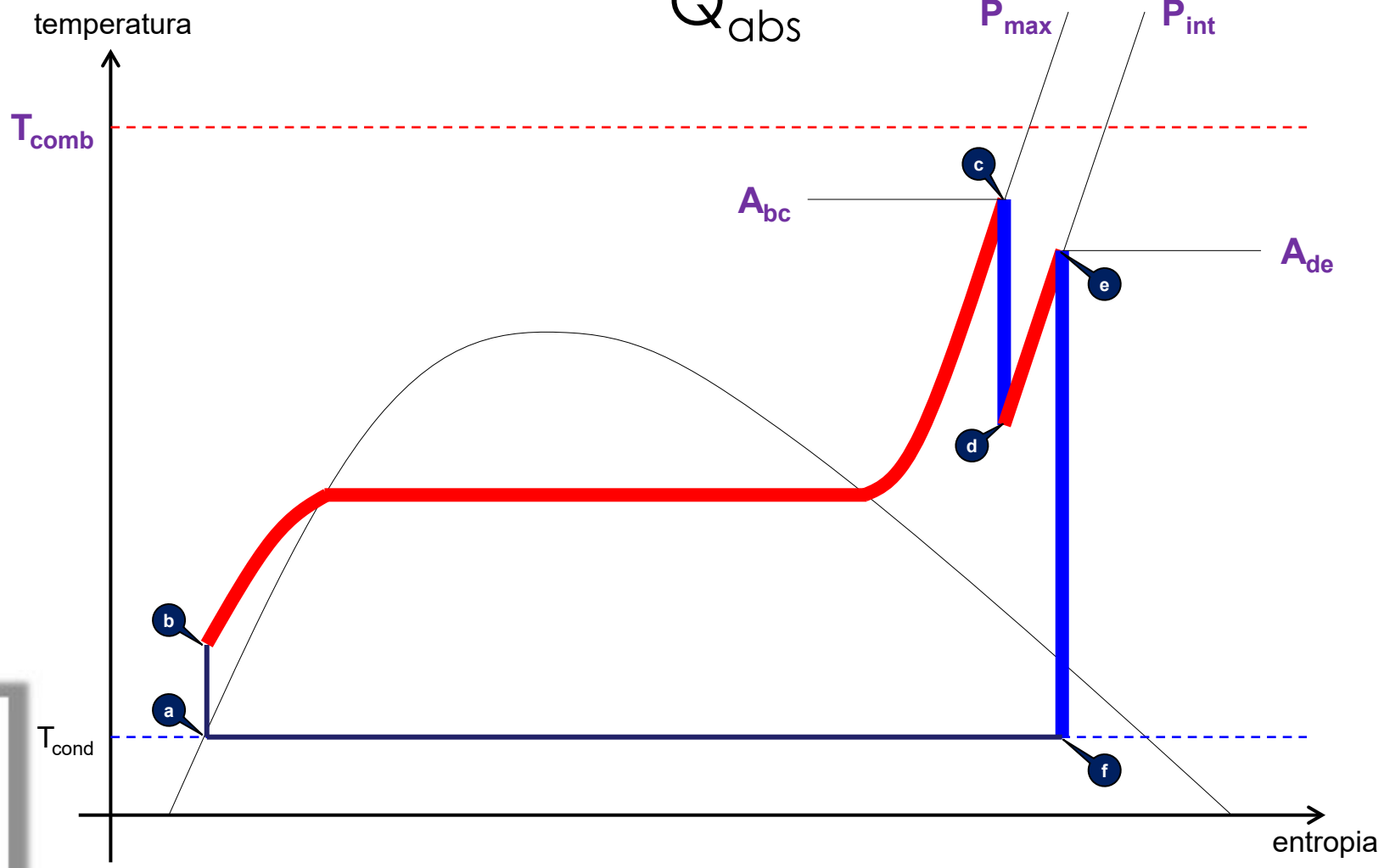




As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

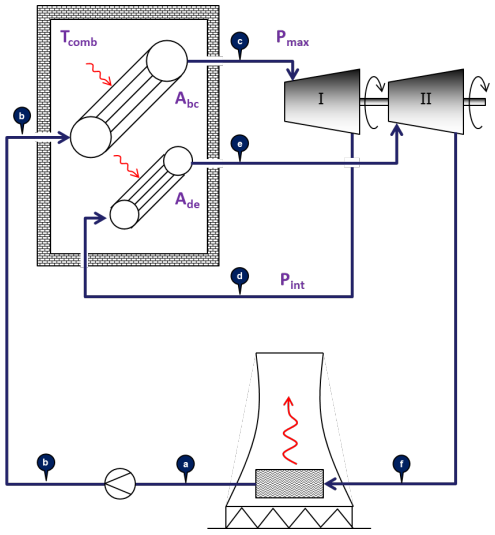
$$\eta_{term} = \frac{W_{líq}}{Q_{abs}}$$

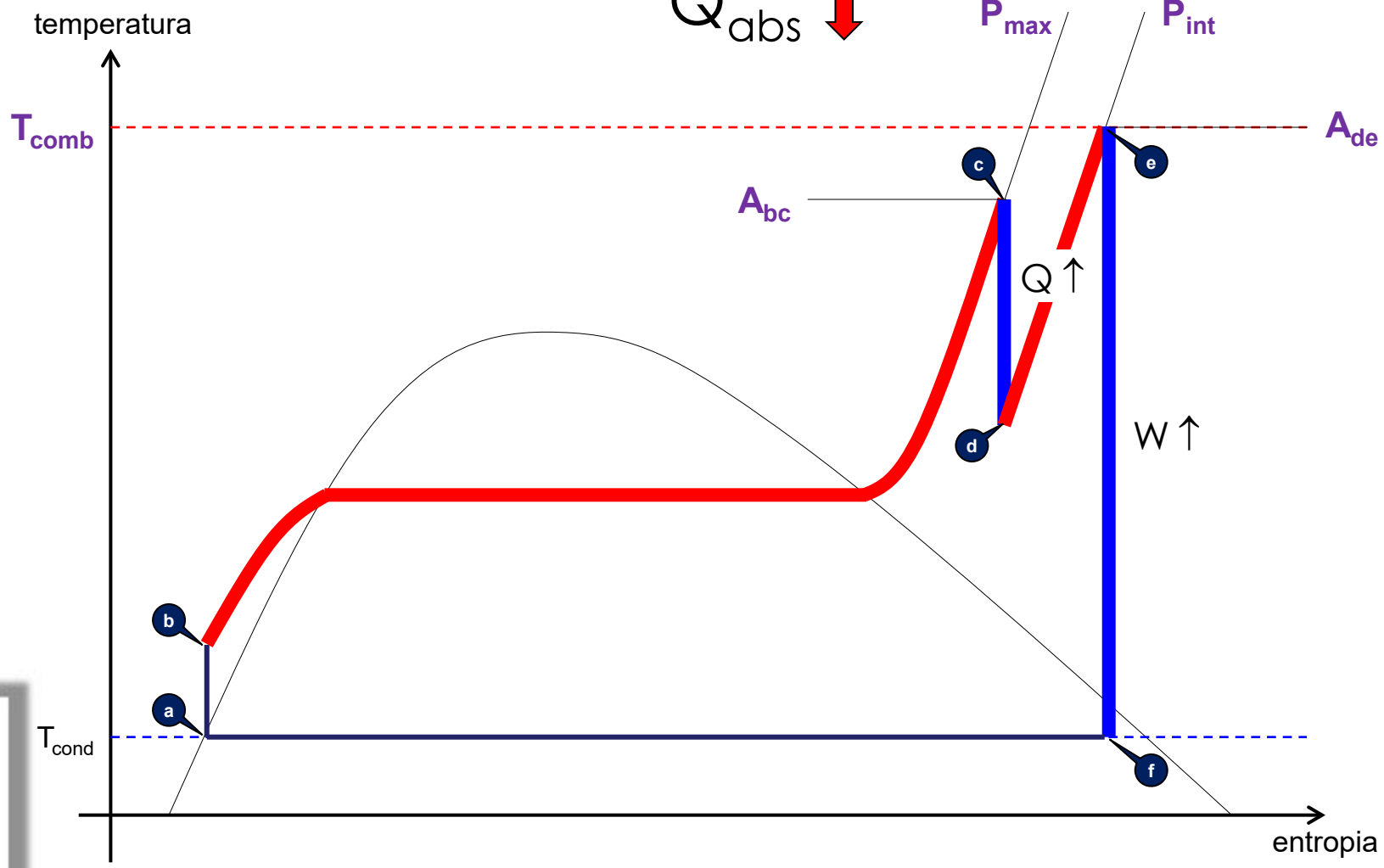




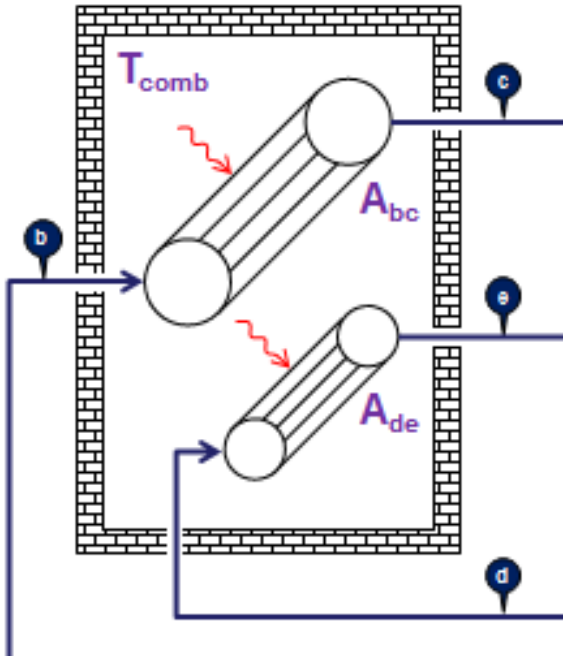
As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

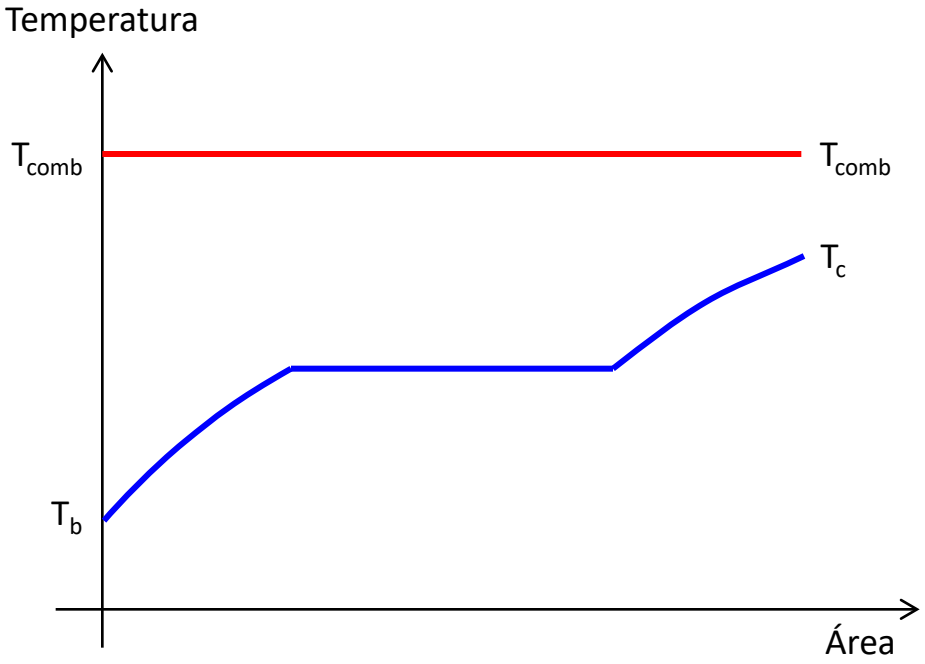
$$\eta_{term} = \frac{W_{líq}}{Q_{abs}} \updownarrow ?$$





As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.



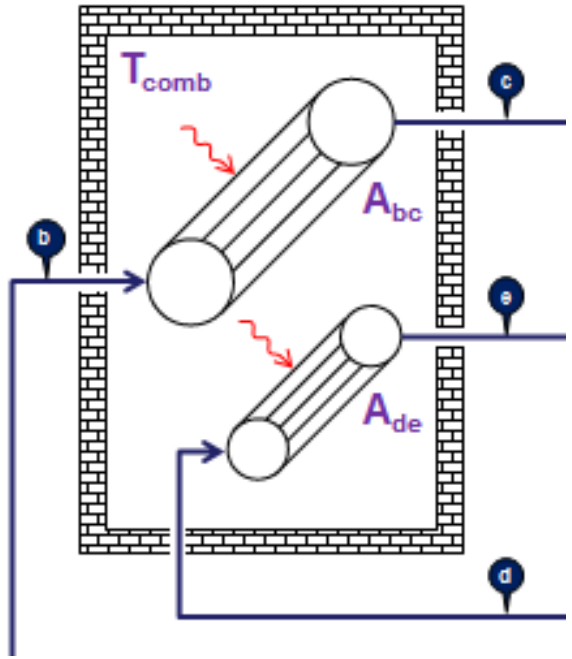


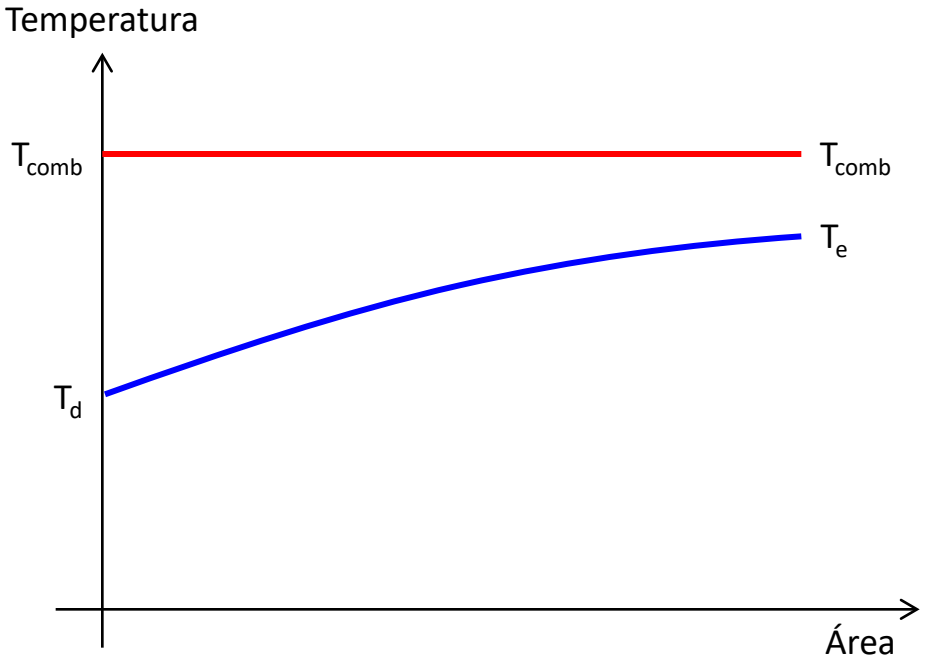
$$Q_{bc} = m \cdot (h_c - h_b)$$

$$Q_{bc} = UA_{bc} \cdot [(T_{comb} - T_b) - (T_{comb} - T_c)] / \ln\left(\frac{T_{comb} - T_b}{T_{comb} - T_c}\right)$$

$$(T_{comb} - T_c) = (T_{comb} - T_b) \cdot \exp\left[\frac{-UA_{bc}}{m} \cdot \left(\frac{T_c - T_b}{h_c - h_b}\right)\right]$$

As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.





$$Q_{de} = m \cdot (h_e - h_d)$$

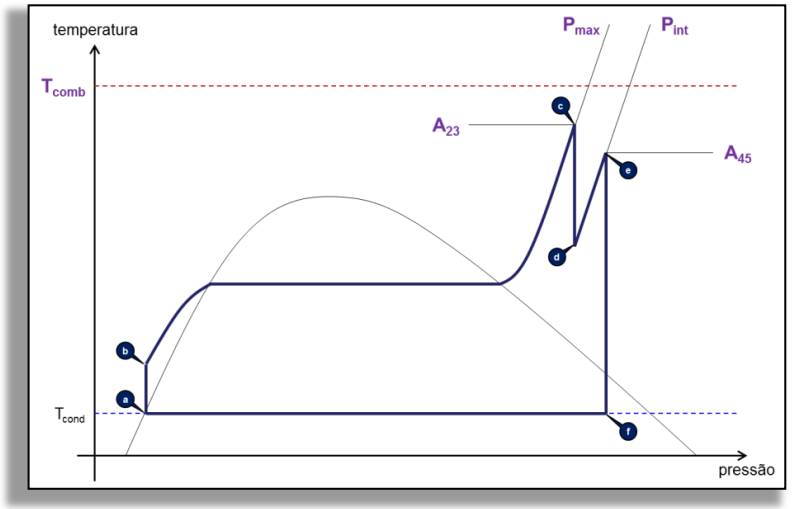
$$Q_{de} = UA_{de} \cdot [(T_{comb} - T_d) - (T_{comb} - T_e)] / \ln\left(\frac{T_{comb} - T_d}{T_{comb} - T_e}\right)$$

$$(T_{comb} - T_e) = (T_{comb} - T_d) \cdot \exp\left[\frac{-UA_{de}}{m} \cdot \left(\frac{T_e - T_d}{h_e - h_d}\right)\right]$$

As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

Fluxograma de Cálculos

$$\vec{f}(\vec{x},\vec{\delta}) = 0$$



$$(T_{comb} - T_c) = (T_{comb} - T_b) \cdot \exp\left[\frac{-UA_{bc}}{m} \cdot \left(\frac{T_c - T_b}{h(T_c) - h_b}\right)\right]$$

$$(T_{comb} - T_e) = (T_{comb} - T_d) \cdot \exp\left[\frac{-UA_{de}}{m} \cdot \left(\frac{T_e - T_d}{h(T_e) - h_d}\right)\right]$$

As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

Métodos de solução:
ITERAÇÃO FUNCIONAL

As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

Solução pelo método da iteração funcional...

$$f(x) = 0 \rightarrow x = h(x)$$

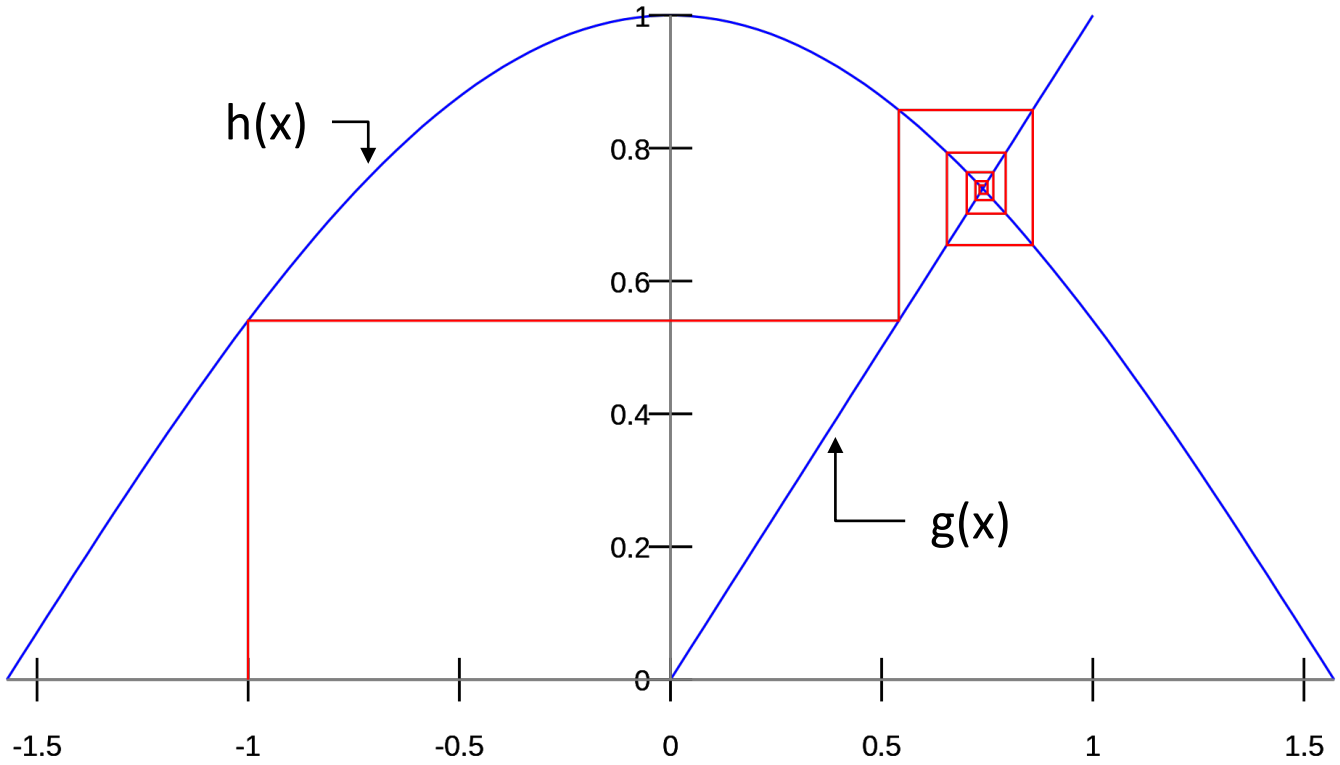
$$x_1 = h(x_0)$$

$$x_2 = h(x_1)$$

$$x_3 = h(x_2)$$

$$\vdots$$

$$x_{k+1} = h(x_k)$$



As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

Exemplo de aplicação...

$$f(x) = \cos(x) - x = 0$$

$$\rightarrow \; x = \cos(x) = h(x)$$

$$\rightarrow \; x_{k+1} = \cos(x_k)$$

$$f(x) = \cos(x) - x = 0$$

$$x = 2 \cdot [\cos(x) - x/2]$$

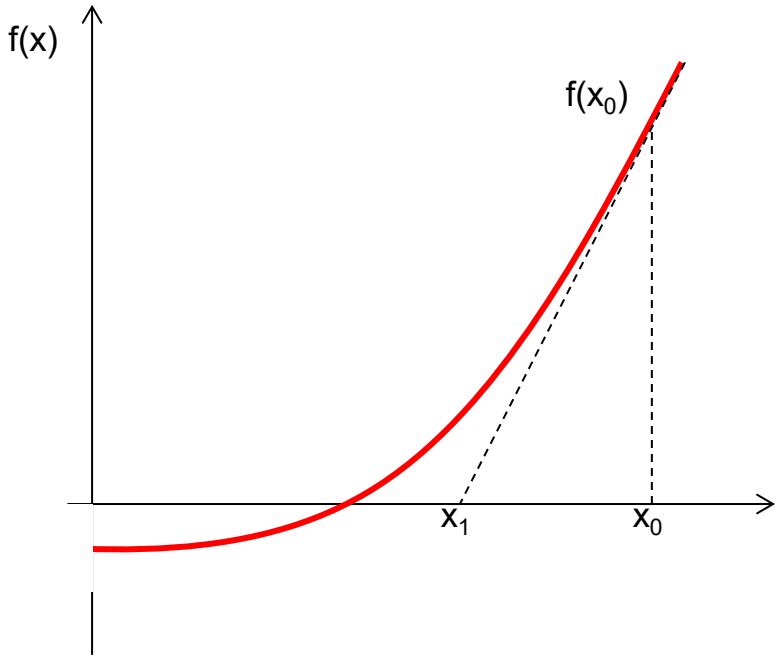
$$x_{k+1} = 2 \cdot [\cos(x_k) - x_k/2]$$

As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

Métodos de solução:
NEWTON – RAPHSON

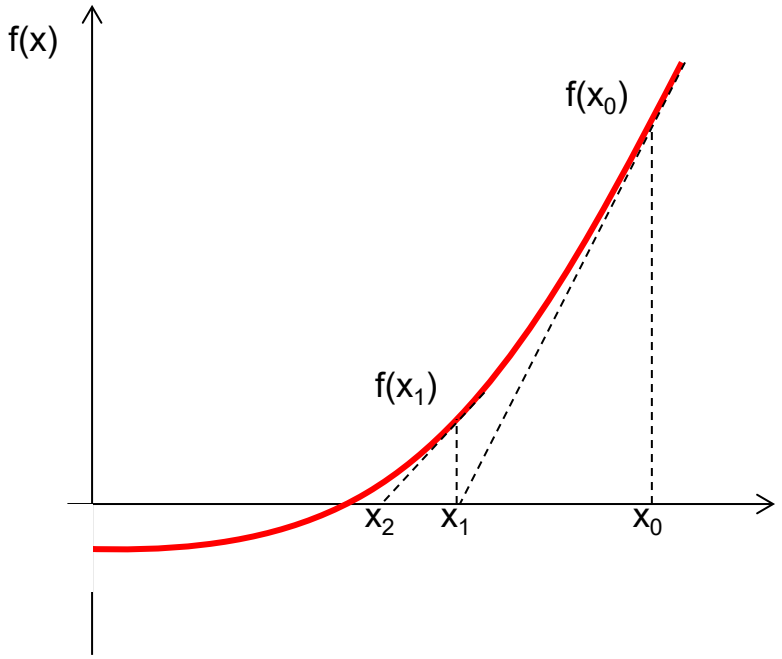
As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

Solução pelo método de Newton-Raphson: 1D

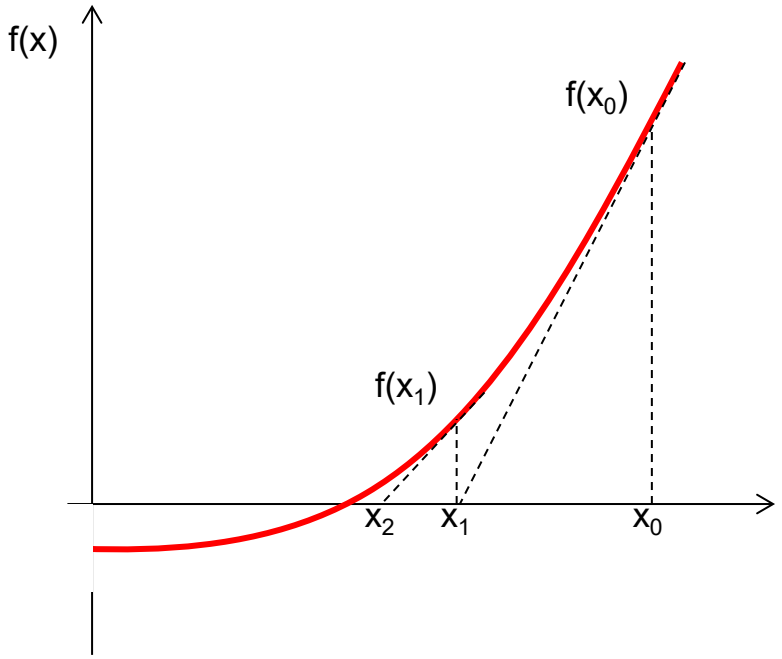


As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

Solução pelo método de Newton-Raphson: 1D



Solução pelo método de Newton-Raphson: 1D



Equação da reta tangente:

$$y = a \cdot x + b$$

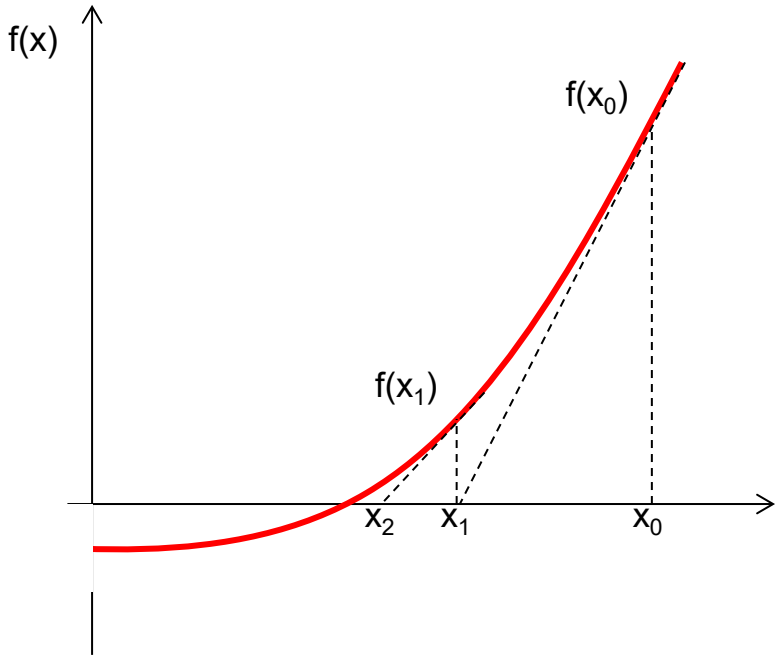
$$a = f'(x_0)$$

$$f(x_0) = f'(x_0) \cdot x_0 + b$$

$$b = f(x_0) - f'(x_0) \cdot x_0$$

As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

Solução pelo método de Newton-Raphson: 1D



Equação da reta tangente:

$$y = a \cdot x + b$$

$$a = f'(x_0)$$

$$f(x_0) = f'(x_0) \cdot x_0 + b$$

$$b = f(x_0) - f'(x_0) \cdot x_0$$

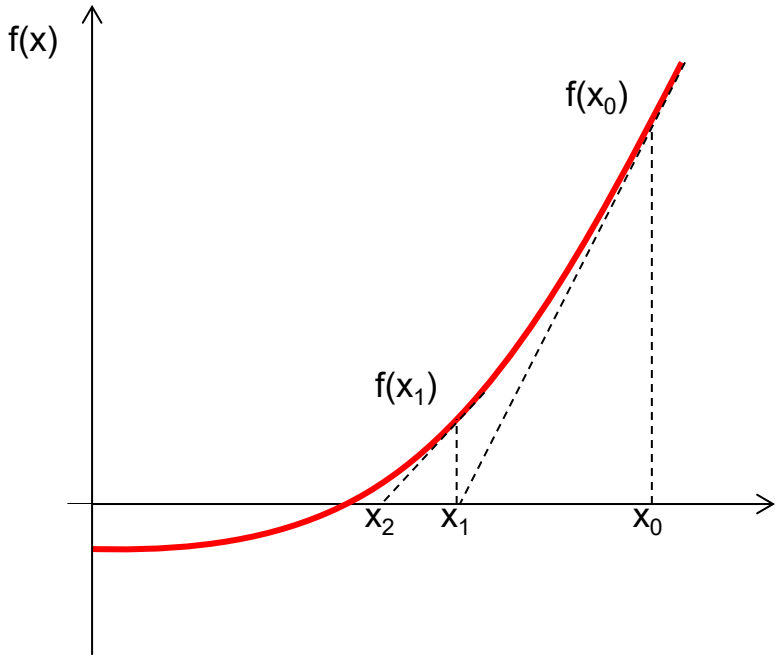
Raiz da reta tangente:

$$x = -b / a$$

$$x_1 = x_0 - \frac{f(x_0)}{f'(x_0)}$$

As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

Solução pelo método de Newton-Raphson: 1D



Equação da reta tangente:

$$y = a \cdot x + b$$

$$a = f'(x_0)$$

$$f(x_0) = f'(x_0) \cdot x_0 + b$$

$$b = f(x_0) - f'(x_0) \cdot x_0$$

Raiz da reta tangente:

$$x = -b / a$$

$$x_1 = x_0 - \frac{f(x_0)}{f'(x_0)}$$

Fórmula de recorrência

$$x_{k+1} = x_k - \frac{1}{f'(x_k)} \times f(x_k)$$

As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

Exemplo de aplicação...

$$f(x) = \cos(x) - x = 0$$

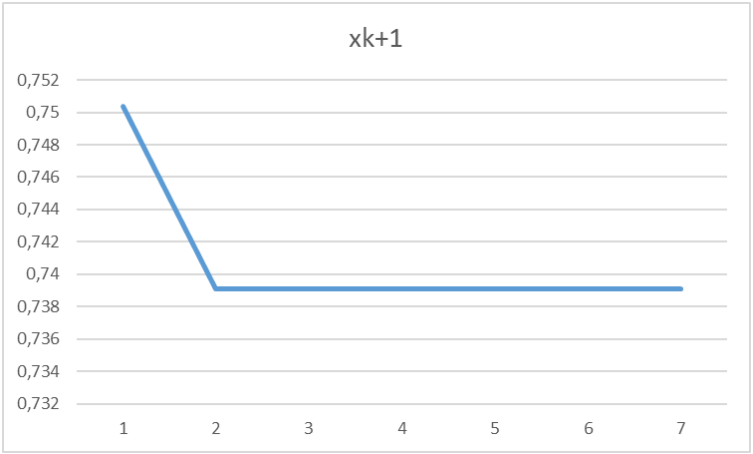
$$f'(x) = -\sin(x) - 1$$

Fórmula de recorrência

$$x_{k+1} = x_k - \frac{1}{f'(x_k)} \times f(x_k)$$

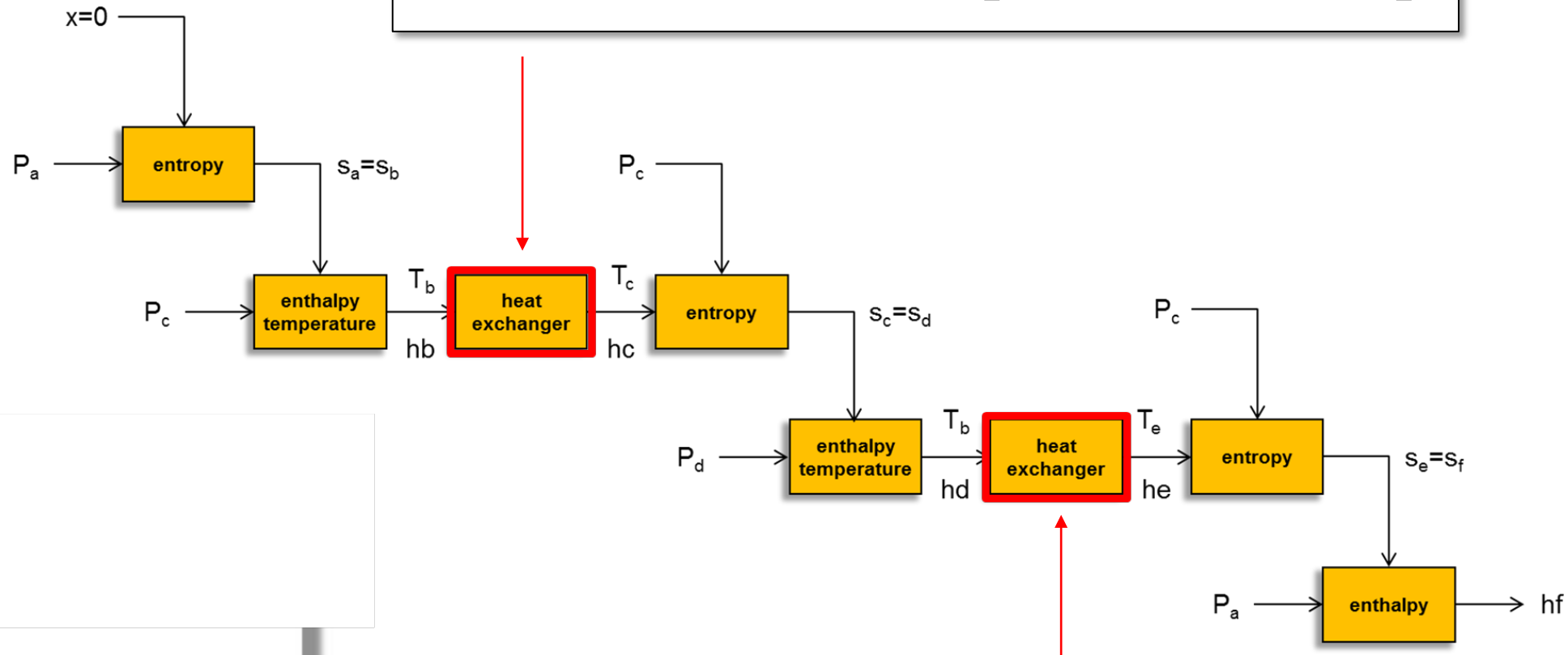
$$x_{k+1} = x_k - \frac{\cos(x_k) - x_k}{-\sin(x_k) - 1}$$

xk	f(xk)	f'(xk)	xk+1
1	-0,4597	-1,84147	0,750364
0,750364	-0,01892	-1,6819	0,739113
0,739113	-4,6E-05	-1,67363	0,739085
0,739085	-2,8E-10	-1,67361	0,739085
0,739085	0	-1,67361	0,739085
0,739085	0	-1,67361	0,739085
0,739085	0	-1,67361	0,739085



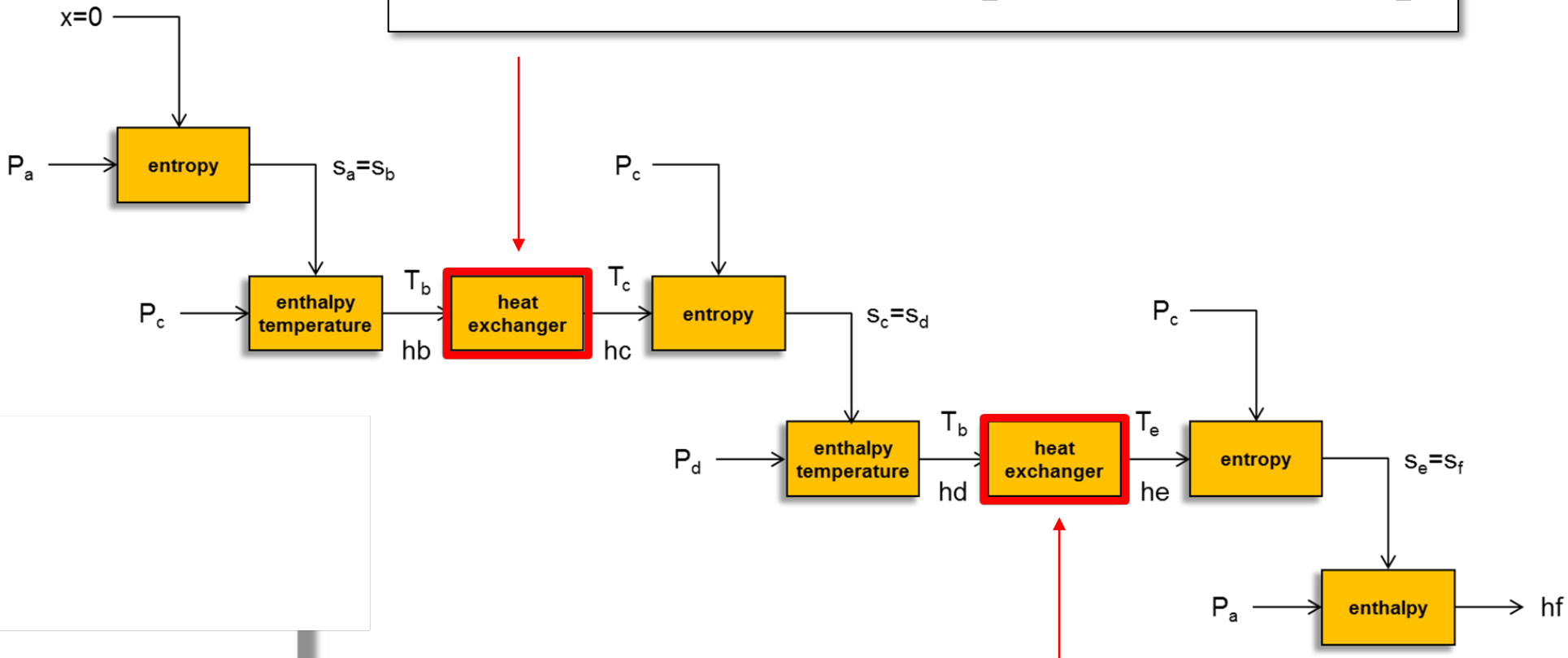
As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

$$(T_{comb} - T_c) = (T_{comb} - T_b) \cdot \exp\left[\frac{-UA_{bc}}{m} \cdot \left(\frac{T_c - T_b}{h(T_c) - h_b}\right)\right]$$



$$(T_{comb} - T_e) = (T_{comb} - T_d) \cdot \exp\left[\frac{-UA_{de}}{m} \cdot \left(\frac{T_e - T_d}{h_e(T_e) - h_d}\right)\right]$$

$$(T_{comb} - T_c) = (T_{comb} - T_b) \cdot \exp\left[\frac{-UA_{bc}}{m} \cdot \left(\frac{T_c - T_b}{h(T_c) - h_b}\right)\right]$$



$$(T_{comb} - T_e) = (T_{comb} - T_d) \cdot \exp\left[\frac{-UA_{de}}{m} \cdot \left(\frac{T_e - T_d}{h_e(T_e) - h_d}\right)\right]$$

$$(T_{comb} - T_c) = (T_{comb} - T_b) \cdot \exp\left[\frac{-UA_{bc}}{m} \cdot \left(\frac{T_c - T_b}{h(T_c) - h_b}\right)\right]$$

$$f = (T_{comb} - T_c) - (T_{comb} - T_b) \cdot \exp\left[\frac{-UA_{bc}}{m} \cdot \left(\frac{T_c - T_b}{h(T_c) - h_b}\right)\right]$$

$$\frac{df}{dT_c} = \frac{f(T_c + \varepsilon) - f(T_c)}{\varepsilon}$$

$$f(T_c + \varepsilon) = (T_{comb} - (T_c + \varepsilon)) - (T_{comb} - T_b) \cdot \exp\left[\frac{-UA_{bc}}{m} \cdot \left(\frac{(T_c + \varepsilon) - T_b}{h(T_c + \varepsilon) - h_b}\right)\right]$$

$$\varepsilon \leq 1\% \text{ de } T_c$$

As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

$$(T_{comb} - T_e) = (T_{comb} - T_d) \cdot \exp\left[\frac{-UA_{de}}{m} \cdot \left(\frac{T_e - T_d}{h(T_e) - h_d}\right)\right]$$

$$f = (T_{comb} - T_e) - (T_{comb} - T_d) \cdot \exp\left[\frac{-UA_{de}}{m} \cdot \left(\frac{T_e - T_d}{h(T_e) - h_d}\right)\right]$$

$$\frac{df}{dT_e} = \frac{f(T_e + \varepsilon) - f(T_e)}{\varepsilon}$$

$$f(T_e + \varepsilon) = (T_{comb} - (T_e + \varepsilon)) - (T_{comb} - T_d) \cdot \exp\left[\frac{-UA_{de}}{m} \cdot \left(\frac{(T_e + \varepsilon) - T_d}{h(T_e + \varepsilon) - h_d}\right)\right]$$

$$\varepsilon \leq 1\% \text{ de } T_e$$

As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

T1 Rankine com reaquecimento - simulação.xlsm - Excel

Paulo Seleghim

Arquivo | Página Inicial | Inserir | Layout da Página | Fórmulas | Dados | Revisão | Exibir | Suplementos | Diga-me o que você deseja fazer | Compartilhar

Normal | Visualização da Quebra de Página | Layout da Página | Modos de Exibição Personalizados — Modos de Exibição de Pasta de Trabalho

Régua | Barra de Fórmulas | Linhas de Grade | Títulos — Mostrar

Zoom | 100% | Zoom na Seleção — Zoom

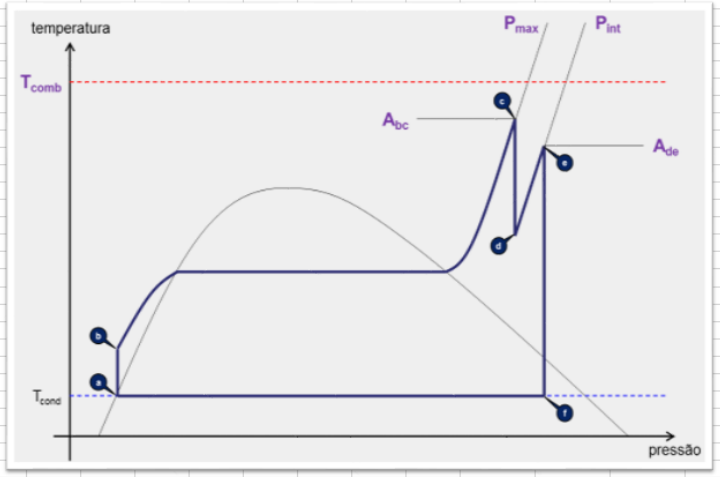
Nova Janela | Organizar Tudo | Congelar Painéis | Dividir | Ocultar | Reexibir | Exibir Lado a Lado | Rolagem Sincronizada | Redefinir Posição da Janela | Alternar Janelas — Janela

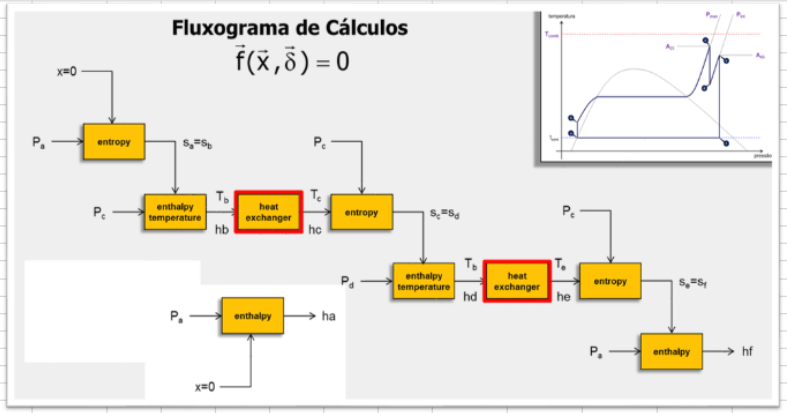
Macros — Macros

Q42

	A	B	C
1	parâmetros		
2			
3	m	10	kg/s
4	Tcond	100	oC
5	Pmax	150	bar
6	Pint	70	bar
7	Tcomb	700	oC
8	xf	0,9	kg/kg
9	U	1	kW/K/m2
10			
11	Abc	200	m2
12	Ade	50	m2
13			
14	Wab	-154,962	kW
15	Qbc	33566,3	kW
16	Wcd	2947,8	kW
17	Qde	3438,03	kW
18	Wef	11853,6	kW
19			
20	Rend	0,396	kW/kW
21			
22	erro1	0,0000	
23	erro2	0,0000	

	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ
1	Ta	Pa	ha	sa	Pb	sb	Tb	hb	Pc	Tc,k	fk	fk	Tc,k+1	erro	hc	sc	sd	Pd	hd	Td	Te,k	fk	fk	Te,k+1	erro	Pe	he	se	Pf	sf	hf	xf
	oC	bar	kJ/kg	kJ/kg/K	bar	kJ/kg/K	oC	kJ/kg	bar	oC	oC	nd	oC	oC	kJ/kg	kJ/kg/K	kJ/kg/K	bar	kJ/kg	oC	oC	oC	nd	oC	oC	bar	kJ/kg	kJ/kg/K	bar	kJ/kg/K	kJ/kg	kg/kg
2	100	1,01418	419,166	1,30721	150	1,30721	101,021	434,662	150	681,1054	0,0000	-0,9368	681,1054	0,0000	3791,29	6,9076	6,9076	70	3496,51	535,322	679,8817	0,0000	-1,0002	679,8817	0,0000	70	3840,31	7,29887	1,01418	7,29887	2654,95	0,99086





Planilha1

Pronto

74%

Pesquisar na Web e no Windows

POR PTB2 09:11 01/08/2016

As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

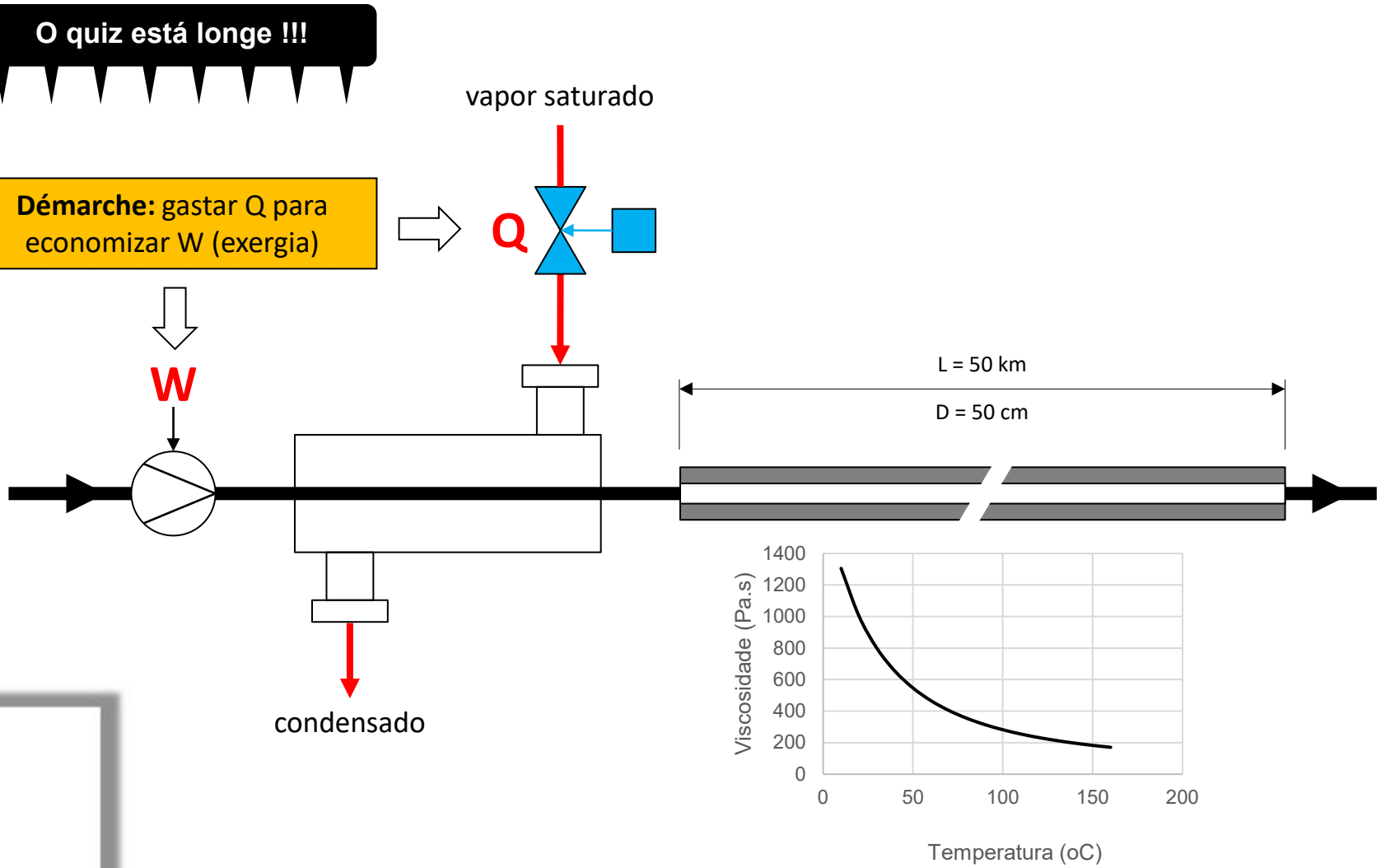
Método de Newton - Raphson:
N equações × N incógnitas

As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

$$\Rightarrow \quad x_{k+1} = x_k - \frac{1}{f'(x_k)} \times f(x_k)$$

As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

Sistema de pré-aquecimento de óleo “baiano”...



As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

T1 Aquecimento de óleo para reduzir a potência de bombeio.xlsm - Excel — Paulo Seleghim

Arquivo | Página Inicial | Inserir | Layout da Página | Fórmulas | Dados | Revisão | Exibir | Suplementos | Diga-me o que você deseja fazer | Compartilhar

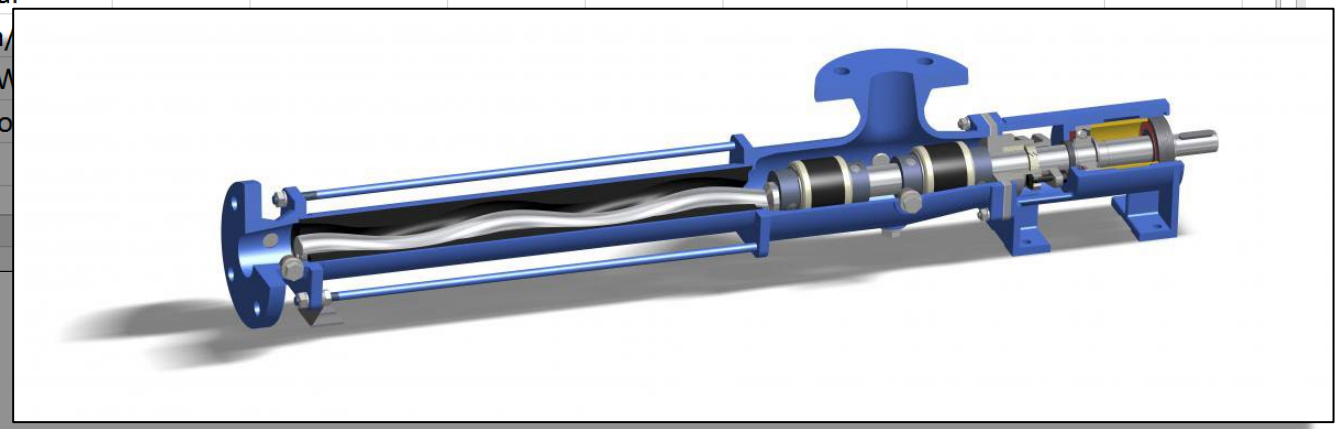
Normal | Visualização da Quebra de Página | Layout da Página | Modos de Exibição Personalizados — Modos de Exibição de Pasta de Trabalho
Régua | Barra de Fórmulas | Linhas de Grade | Títulos — Mostrar
Zoom | 100% | Zoom na Seleção — Zoom
Nova Janela | Organizar Tudo | Congelar Painéis | Dividir | Ocultar | Reexibir | Exibir Lado a Lado | Rolagem Sincronizada | Redefinir Posição da Janela | Alternar Janelas — Janela
Macros — Macros

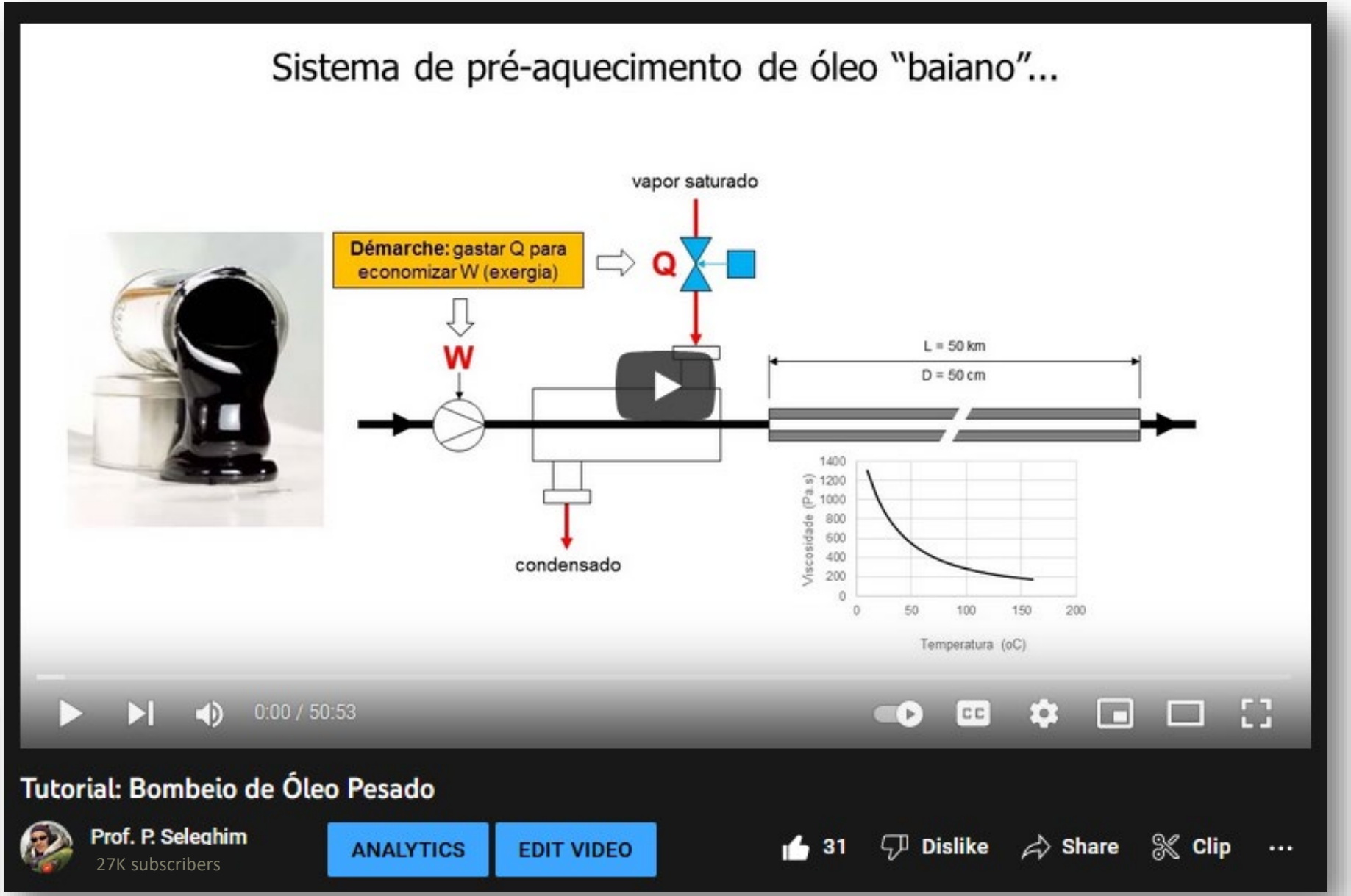
A1 | parâmetros

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	**parâmetros**					xk			fk			móleo	Tsf	
2	Cp	4,19	kJ/kg/K		móleo	0,64796256	kg/s	f1	0	oC	f1	-36,0056364	-1	
3	ρ	998	kg/m3		Tsf	87,3154972	oC	f2	0,00E+00	Bar	f2	-235,518819	1,39722013	
4														
5	Tef	20	oC			xk			fk			1	2	
6	Tq	100	oC		móleo	0,64796256	kg/s	dmóleo	0	kg/s	1	-0,00488835	-0,003498624	
7	UA	5	kW/k		Tsf	87,3154972	oC	dTsf	0	oC	2	-0,8239919	0,1259702	
8														
9	Pmax	150	bar											
10	mmax	5	kg/s		**Desempenho**									
11	n	1,2	nd		μ	3,27914E-01	Pa.s							
12					Re	33,546	nd							
13	D	7,50E-02	m		f	1,908	nd	= 64/Re						
14	L	50000	m		P	137,082	bar							
15	e	1	mm		V	8,818	m/							
16					Wbba	534,013	kW							
17	eps	0,01	any		TT	94,506	ho							
18														
19														

Planilha1

Pronto





https://www.youtube.com/watch?v=6SIqQKqvMzs

Método de Newton - Raphson:
N equações × N incógnitas

As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

Solução pelo método de Newton-Raphson: ND

$$x_{k+1} = x_k - \frac{1}{f'(x_k)} \times f(x_k)$$

As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

Solução pelo método de Newton-Raphson: ND

$$x_{k+1} = x_k - \frac{1}{f'(x_k)} \times f(x_k)$$

$$[x_{k+1}] = [x_k] - [Jac]^{-1}[f(x_k)]$$

As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

Solução pelo método de Newton-Raphson: ND

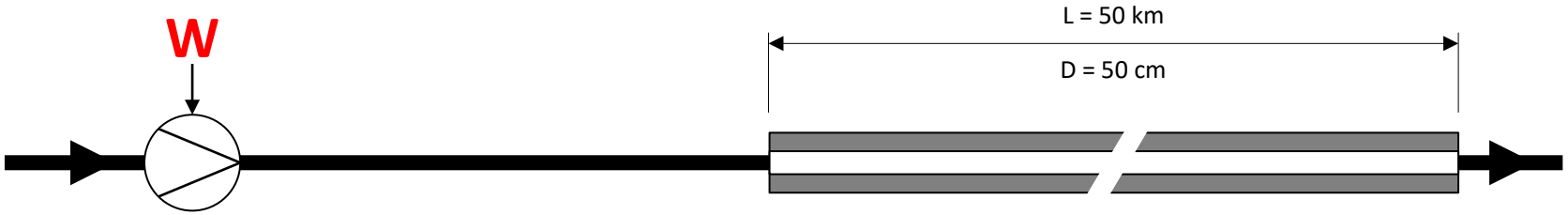
$$x_{k+1} = x_k - \frac{1}{f'(x_k)} \times f(x_k)$$

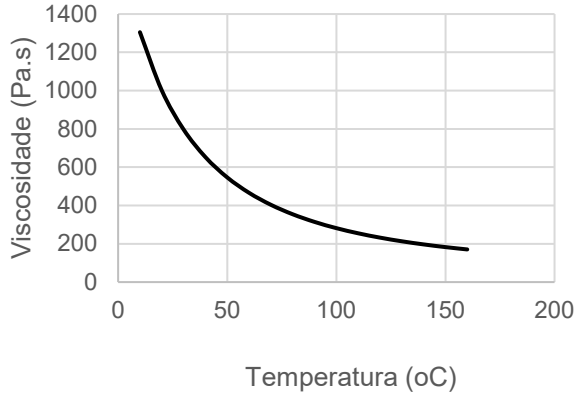
$$[x_{k+1}] = [x_k] - [Jac]^{-1}[f(x_k)]$$

$$[Jac] = \begin{bmatrix} \partial f_1 / \partial x_1 & \partial f_1 / \partial x_2 & \cdots & \partial f_1 / \partial x_N \\ \partial f_2 / \partial x_1 & \partial f_2 / \partial x_2 & \cdots & \partial f_2 / \partial x_N \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \partial f_N / \partial x_1 & \partial f_N / \partial x_2 & \cdots & \partial f_N / \partial x_N \end{bmatrix}$$

As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

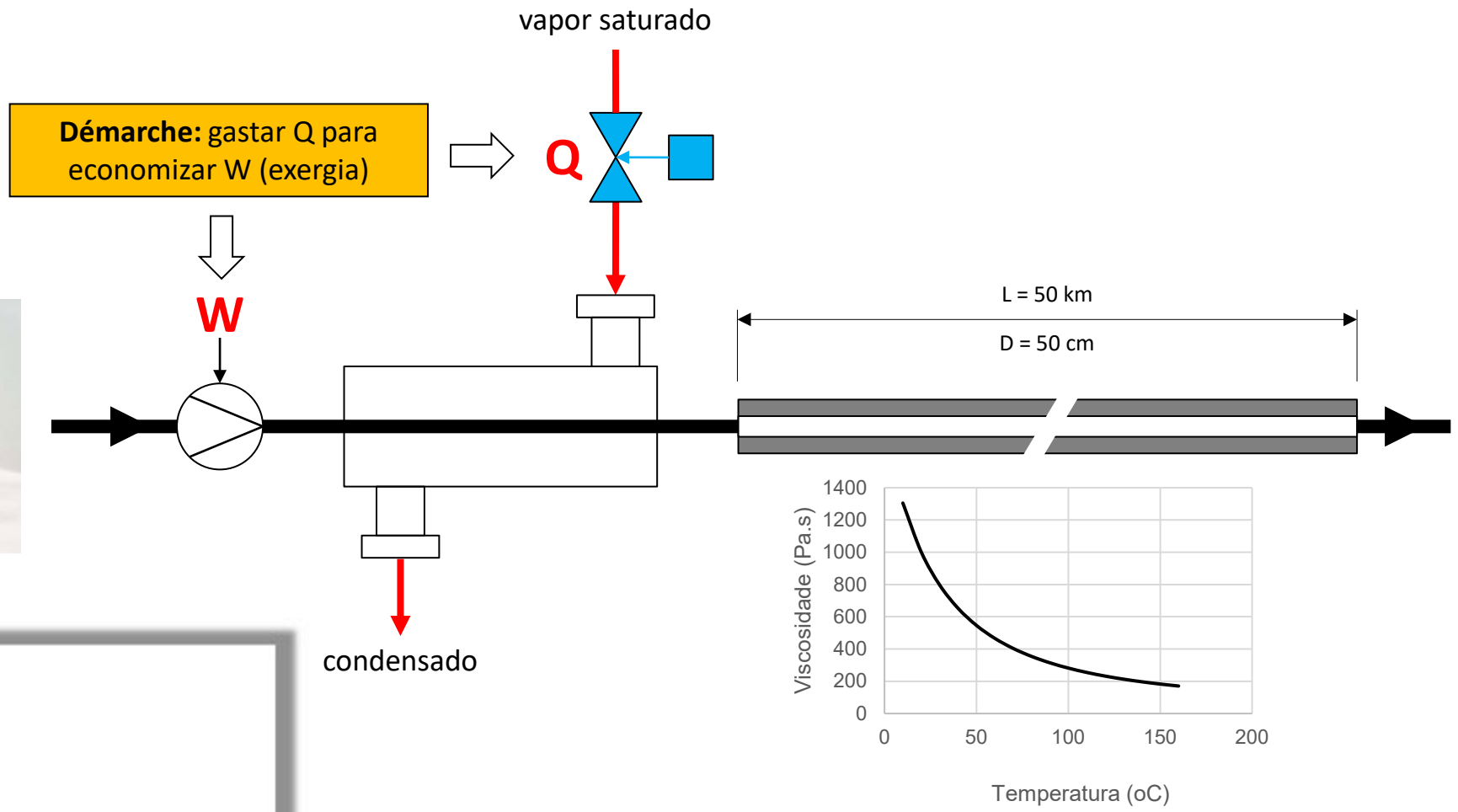
Sistema de pré-aquecimento de óleo “baiano”...





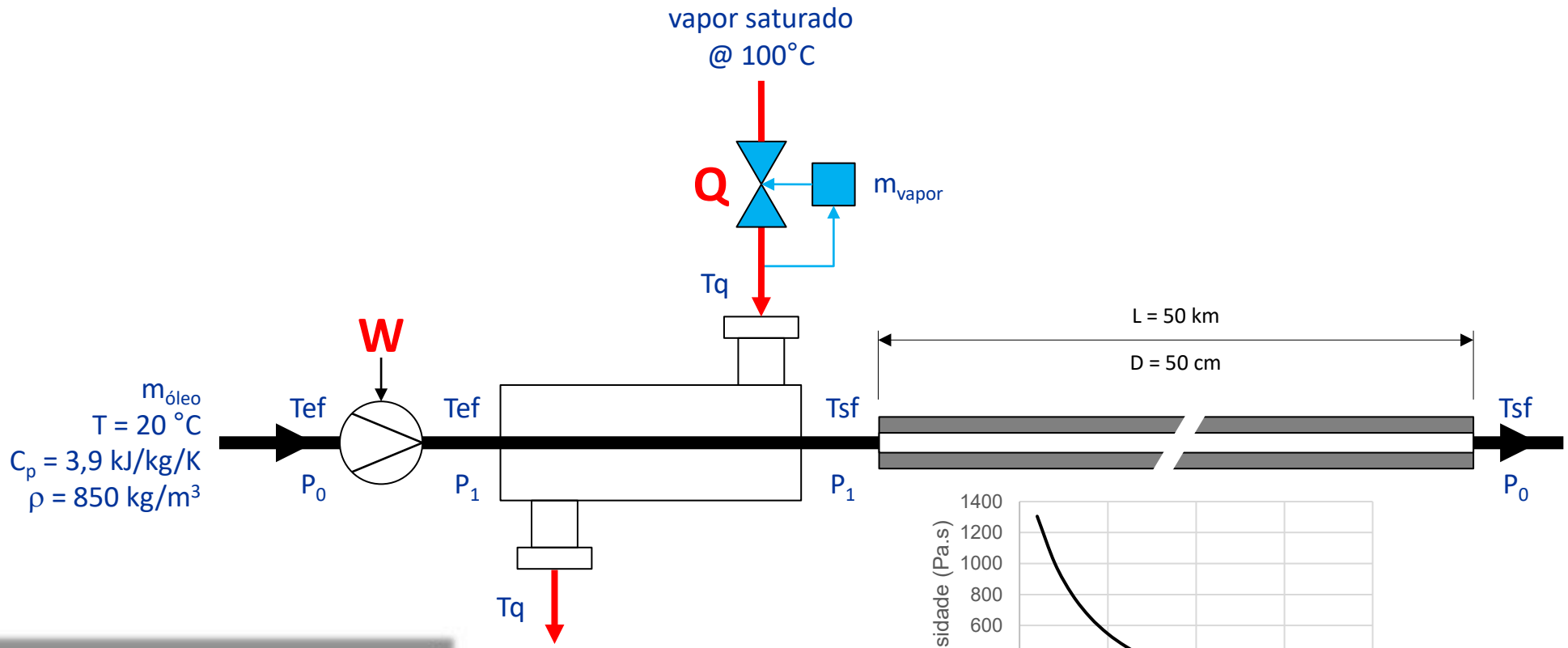
As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

Sistema de pré-aquecimento de óleo “baiano”...



As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

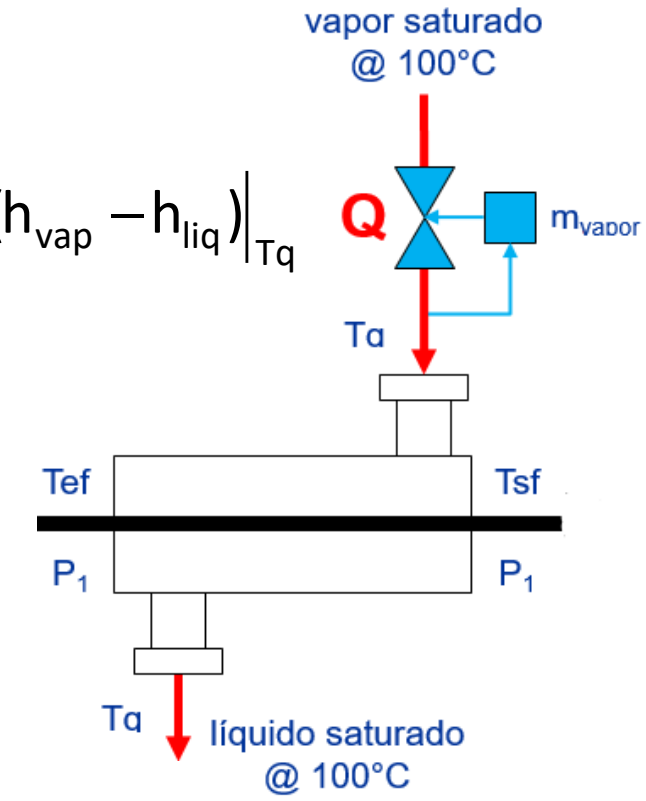
Sistema de pré-aquecimento de óleo "baiano"...



$$\mu(T) = 6.7109 \cdot 10^{-6} \cdot T^4 - 2.9844 \cdot 10^{-3} \cdot T^3 + \ldots$$
$$\ldots + 5.0341 \cdot 10^{-1} \cdot T^2 - 4.0864 \cdot 10^{+1} \cdot T + 1.6546 \cdot 10^{+3} \quad [\mu] = Pa \cdot s, [T] = °C$$

As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

Equacionamento do pré-aquecedor:



$$Q = m_{vapor} \cdot (h_{vap} - h_{liq})\Big|_{Tq}$$

$$Q = m_{óleo} Cp_{óleo} \cdot (Tsf - Tef)$$

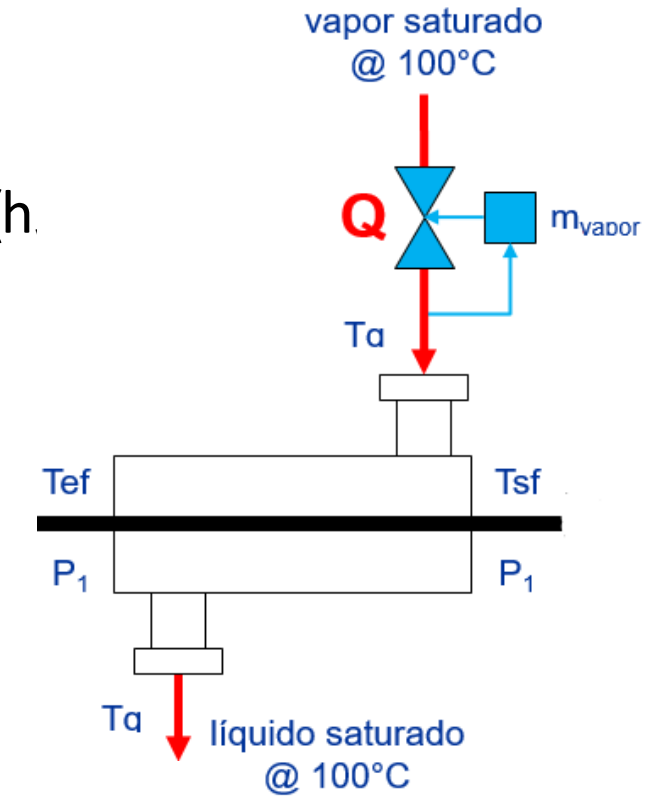
$$Q = UA \cdot \frac{[(Tq - Tsf) - (Tq - Tef)]}{\ln\left(\frac{Tq - Tsf}{Tq - Tef}\right)}$$

$$(Tq - Tsf) = (Tq - Tef) \cdot \exp\left(\frac{-UA}{m_{óleo} Cp_{óleo}}\right)$$

As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

Equacionamento do pré-aquecedor:

$$Q = m_{vapor} \cdot (h$$



$$Q = m_{óleo} Cp_{óleo} \cdot (Tsf - Tef)$$

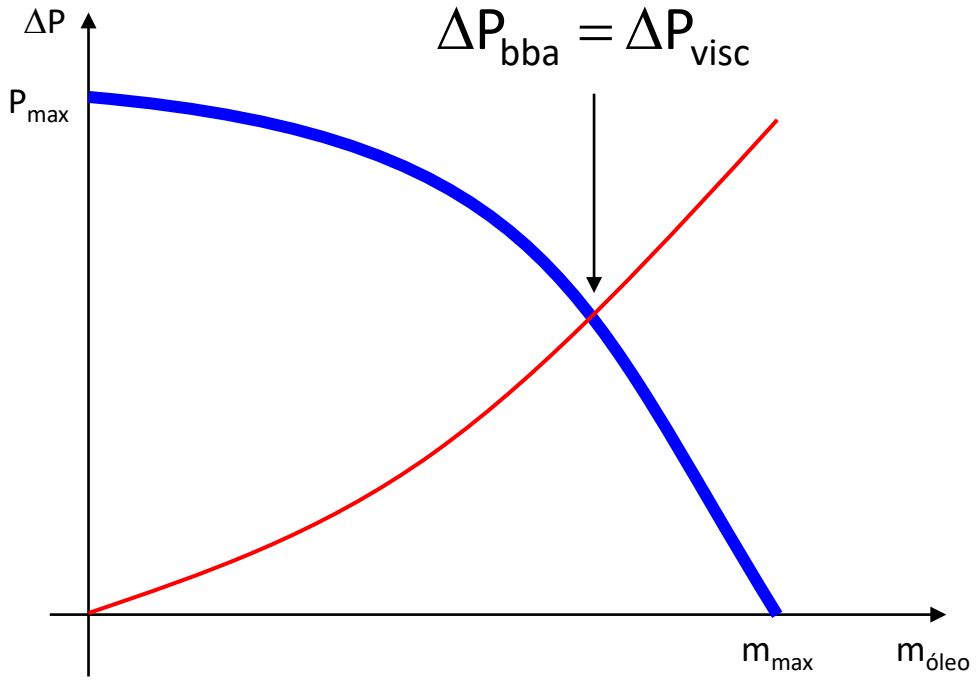
$$Q = UA \cdot \frac{[(Tq - Tsf) - (Tq - Tef)]}{\ln\left(\frac{Tq - Tsf}{Tq - Tef}\right)}$$

$$(Tq - Tsf) = (Tq - Tef) \cdot \exp\left(\frac{-UA}{m_{óleo} Cp_{óleo}}\right)$$

$$f_1 = (Tq - Tsf) - (Tq - Tef) \cdot \exp\left(\frac{-UA}{m_{óleo} Cp_{óleo}}\right)$$

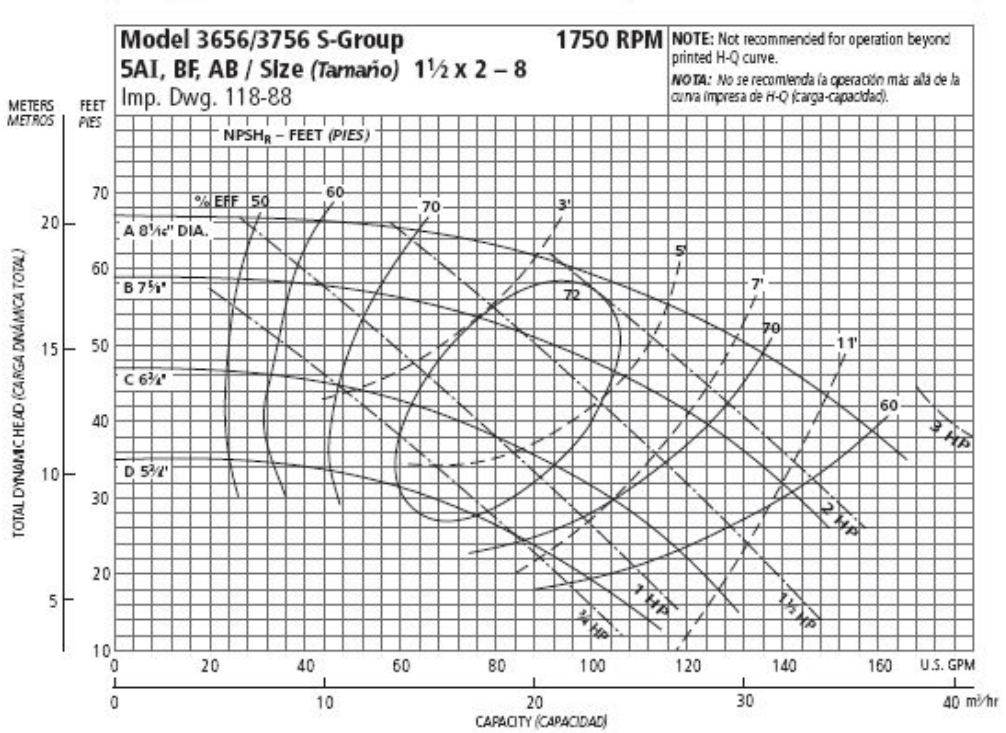
As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

Equacionamento da bomba + tubulação



$$\Delta P_{bba} = \Delta P_{visc}$$

$$\Delta P_{bba} = P_{max} \cdot \left[1 - \left(\frac{m_{óleo}}{m_{max}} \right)^{n} \right]$$



Optional Impeller *Impulsor optativo*	
Ordering Code *Código de pedido*	**Dia.** *Diá.*
A	8¹⁄₁₆"
B	7⅝
C	6¾
D	5¾

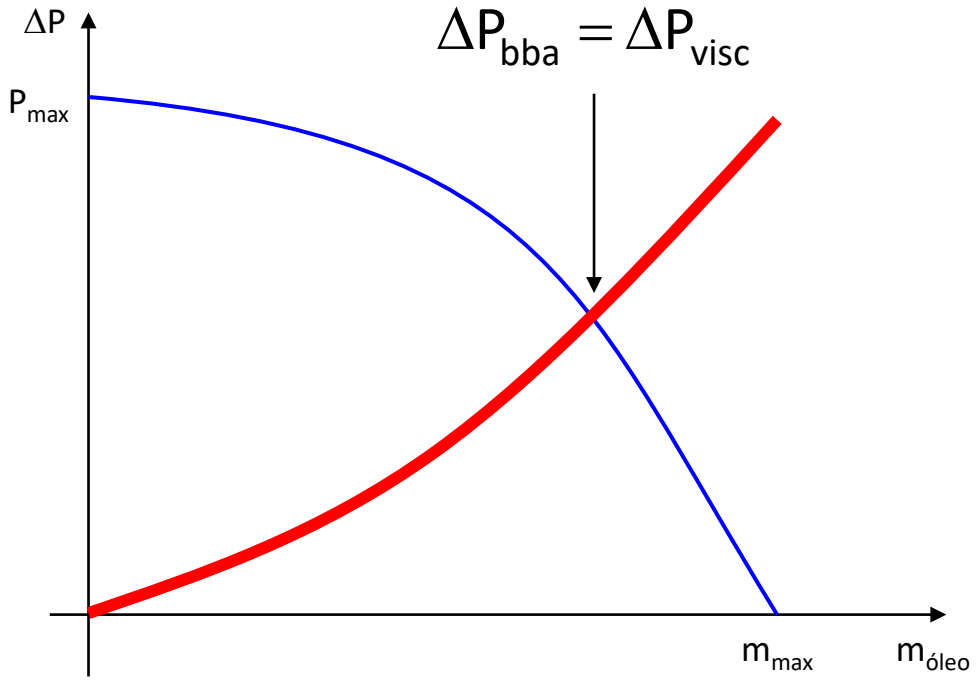
NOTE: Pump will pass a sphere to 5/16" diameter.

NOTA: La bomba dejará pasar una esfera de hasta 5/16 de pulgada de diámetro.

Os parâmetros P_{max}, m_{max} e n podem ser obtidos das curvas fornecidas pelo fabricante...

As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

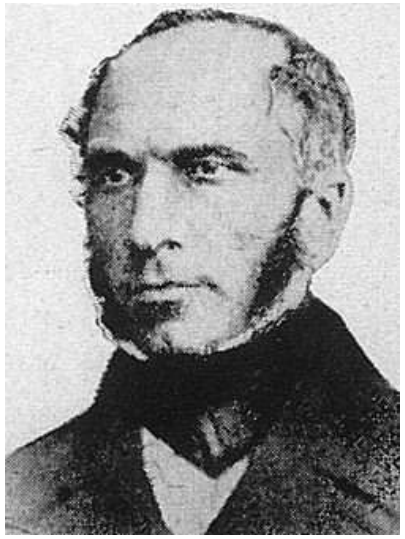
Equacionamento da bomba + tubulação



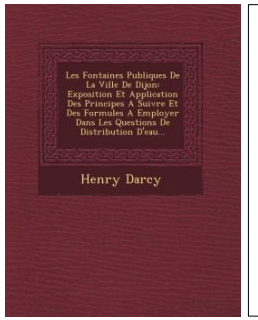
$$\Delta P_{visc} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \rho \frac{V^2}{2}$$

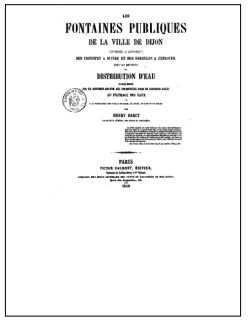
$$f = f(Re , e/D)$$

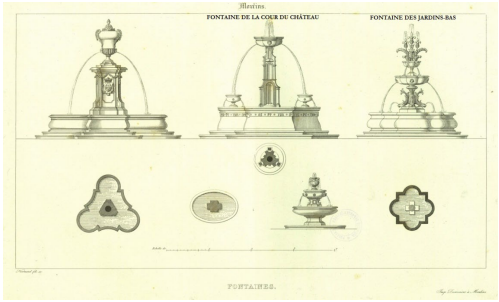
fator de atrito



Henry Darcy

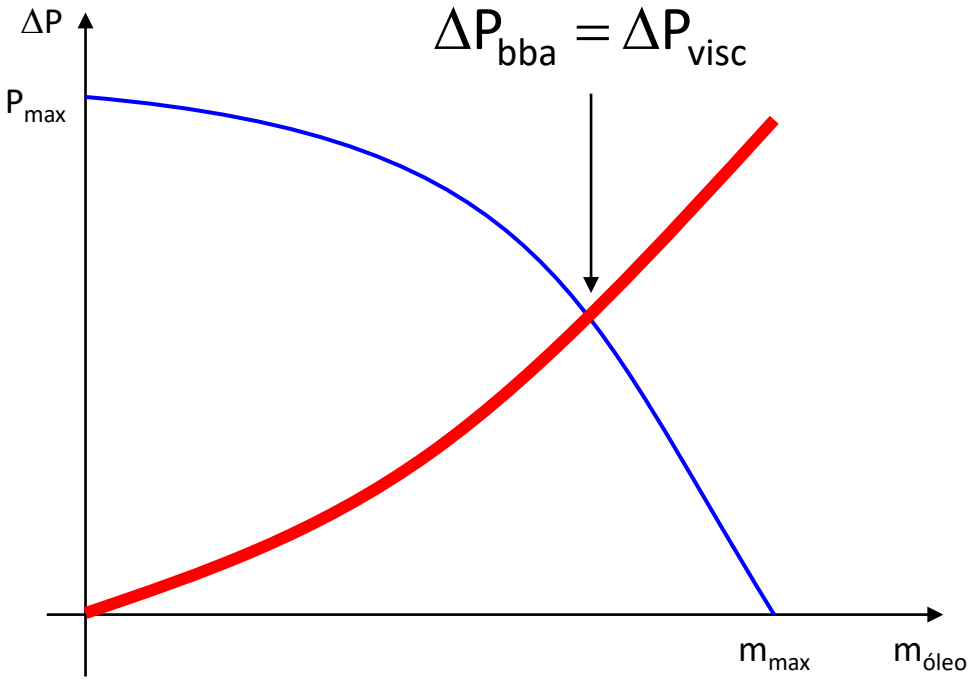






As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

Equacionamento da bomba + tubulação



$$\Delta P_{visc} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \rho \frac{V^2}{2}$$

$$f = f(\ Re\ ,\ e/D\ )$$

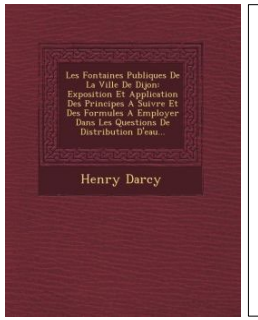
fator de atrito

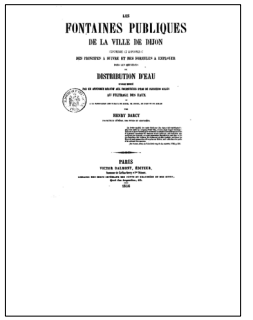
$$m_{óleo} = \rho V \pi D^2 / 4$$

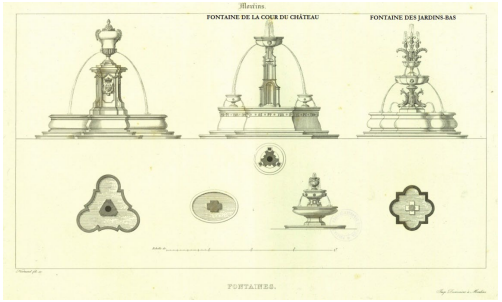
$$\Downarrow$$

$$\Delta P_{visc} = f \cdot 0{,}8106 \frac{L}{\rho D^5} \cdot m^2$$

Henry Darcy

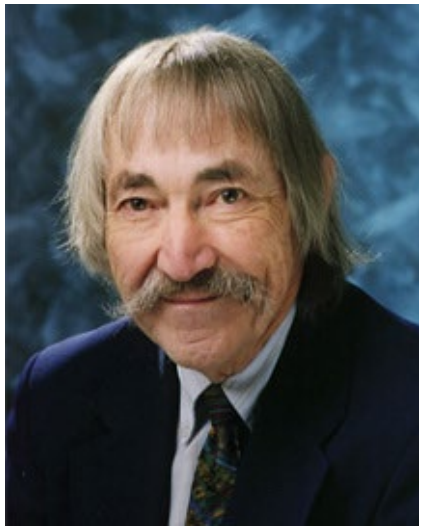




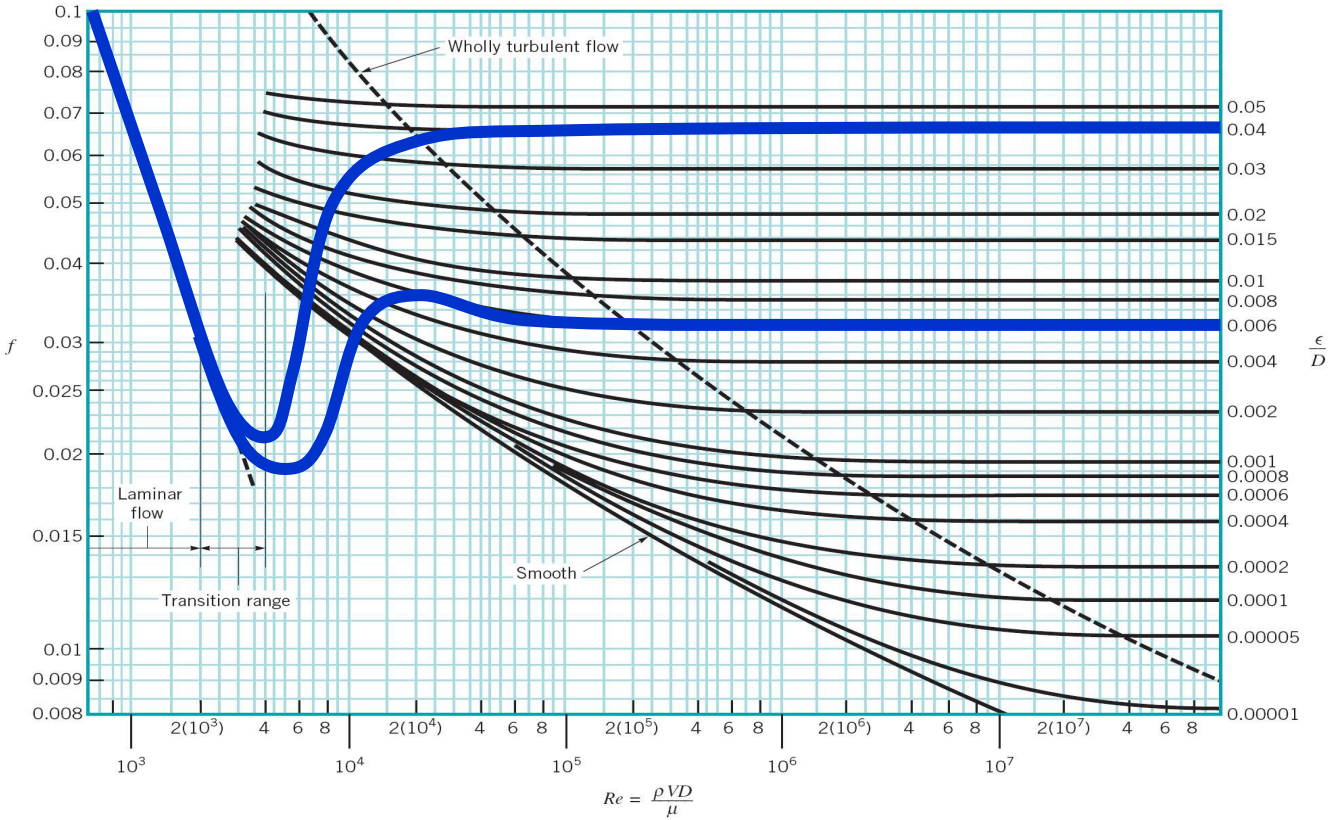


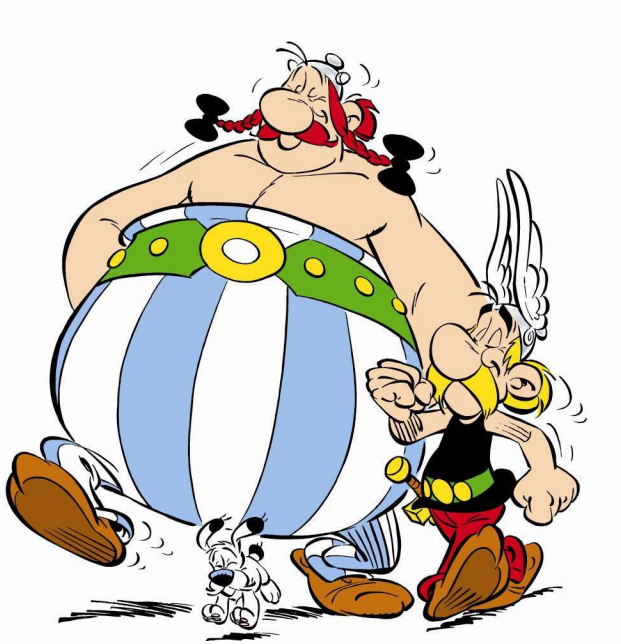
As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

Equacionamento da bomba + tubulação



Stuart W. Churchill





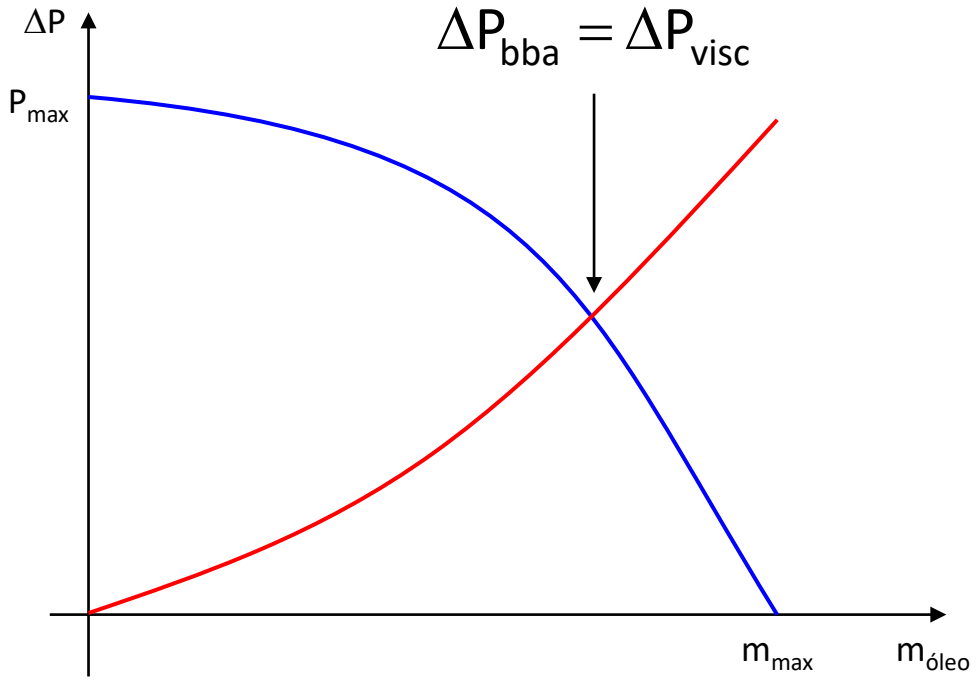
$$f = 8 \cdot \left[\left(\frac{8}{Re} \right)^{12} + (A+B)^{-1,5} \right]^{1/12}$$

$$A = \left\{ 2{,}457 \ln \left(\left(\left(\frac{7}{Re} \right)^{0,9} + 0{,}27 \cdot \frac{\varepsilon}{D} \right)^{-1} \right) \right\}^{16}$$

$$B = \left(\frac{37530}{Re} \right)^{16} \qquad Re = \frac{4 \cdot m}{\mu \pi D}$$

As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

Equacionamento da bomba + tubulação



$$\Delta P_{bba} = P_{max} \cdot \left[1 - \left(\frac{m_{óleo}}{m_{max}} \right)^{n} \right]$$

$$\Delta P_{visc} = f(Re) \cdot 0{,}8106 \frac{L}{\rho D^5} \cdot m^2$$

$$f_2 = P_{max} \cdot \left[1 - \left(\frac{m_{óleo}}{m_{max}} \right)^{n} \right] - f(Re) \cdot 0{,}8106 \frac{L}{\rho D^5} \cdot m_{óleo}^2$$

As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

Equacionamento da bomba + tubulação

$$f_2 = P_{max} \cdot \left[1 - \left(\frac{m_{óleo}}{m_{max}} \right)^n \right] - f(Re) \cdot 0{,}8106 \frac{L}{\rho D^5} \cdot m^2$$

$$Re = \frac{4 \cdot m_{óleo}}{\mu \pi D}$$

T = Tsf

$$\mu(T) = 6.7109 \cdot 10^{-6} \cdot T^4 - 2.9844 \cdot 10^{-3} \cdot T^3 + \ldots$$

$$\ldots + 5.0341 \cdot 10^{-1} \cdot T^2 - 4.0864 \cdot 10^{+1} \cdot T + 1.6546 \cdot 10^{+3}$$

As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

$$f_1(m_{óleo}, Tsf) = (Tq - Tsf) - (Tq - Tef) \cdot \exp\left(\frac{-UA}{m_{óleo} Cp_{óleo}}\right)$$

$$f_2(m_{óleo}, Tsf) = P_{max} \cdot \left[1 - \left(\frac{m_{óleo}}{m_{max}}\right)^n\right] - f(Re) \cdot 0{,}8106 \frac{L}{\rho D^5} \cdot m_{óleo}^2$$

$$\begin{bmatrix} m_{óleo} \\ Tsf \end{bmatrix}_{k+1} = \begin{bmatrix} m_{óleo} \\ Tsf \end{bmatrix}_k - [Jac]_k^{-1} \cdot \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{bmatrix}_k$$

As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

T1 Aquecimento de óleo para reduzir a potência de bombeio.xlsm - Excel — Paulo Seleghim

Arquivo | Página Inicial | Inserir | Layout da Página | Fórmulas | Dados | Revisão | Exibir | Suplementos | Diga-me o que você deseja fazer | Compartilhar

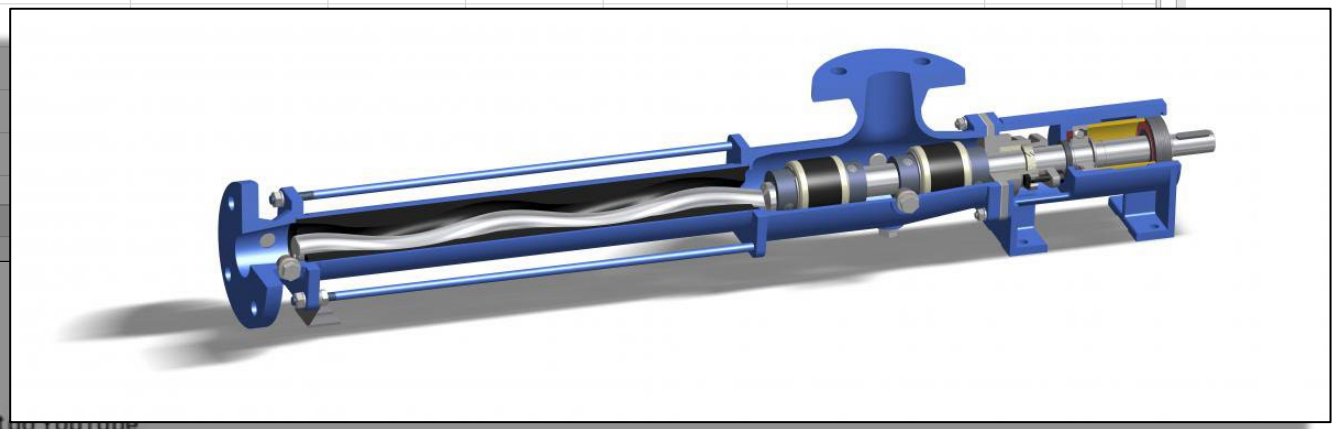
Normal | Visualização da Quebra de Página | Layout da Página | Modos de Exibição Personalizados — Modos de Exibição de Pasta de Trabalho
Régua | Barra de Fórmulas | Linhas de Grade | Títulos — Mostrar
Zoom | 100% | Zoom na Seleção — Zoom
Nova Janela | Organizar Tudo | Congelar Painéis | Dividir | Ocultar | Reexibir | Exibir Lado a Lado | Rolagem Sincronizada | Redefinir Posição da Janela | Alternar Janelas — Janela
Macros — Macros

A1 | parâmetros

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	**parâmetros**					xk			fk			móleo	Tsf	
2	Cp	4,19	kJ/kg/K		móleo	0,64796256	kg/s	f1	0	oC	f1	-36,0056364	-1	
3	ρ	998	kg/m3		Tsf	87,3154972	oC	f2	0,00E+00	Bar	f2	-235,518819	1,39722013	
4														
5	Tef	20	oC			xk			fk			1	2	
6	Tq	100	oC		móleo	0,64796256	kg/s	dmóleo	0	kg/s	1	-0,00488835	-0,003498624	
7	UA	5	kW/k		Tsf	87,3154972	oC	dTsf	0	oC	2	-0,8239919	0,1259702	
8														
9	Pmax	150	bar											
10	mmax	5	kg/s			**Desempenho**								
11	n	1,2	nd		μ	3,27914E-01	Pa.s							
12					Re	33,546	nd							
13	D	7,50E-02	m		f	1,908	nd	= 64/Re						
14	L	50000	m		P	137,082	bar							
15	e	1	mm		V	8,818	m/min							
16					Wbba	534,013	kW							
17	eps	0,01	any		TT	94,506	horas							
18														
19														

Planilha1

Pronto



As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

Q#3: no exemplo anterior qual a vantagem de se aquecer o óleo entes de bombeá-lo ?

A) Contribui para mitigar o aquecimento global ...

B) Permite economizar CAPEX...

C) Permite economizar OPEX...

D) Dá verossimilhança às condições nominais de projeto...

E) É impossível dizer...

3