

CURSO INTENSIVO

TERMODINÂMICA E APLICAÇÕES DE ENGENHARIA

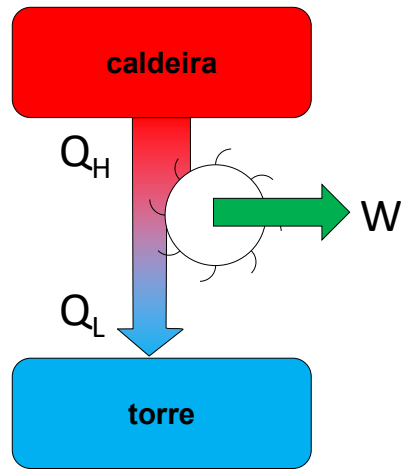
CICLOS DE POTÊNCIA A VAPOR – Parte 2 ciclos de vapor para refrigeração

Paulo Seleghim Jr.
Universidade de São Paulo

Attention to
Filler Words

AVISO IMPORTANTE:
amanhã a aula começará às 10h30..

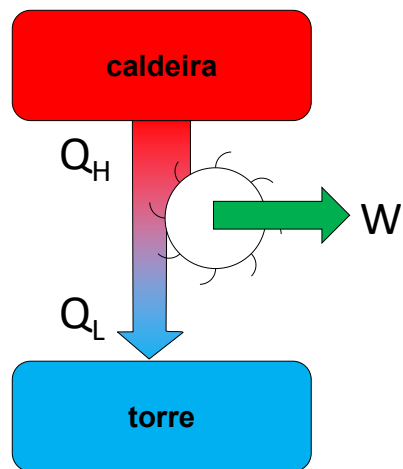
máquina térmica



$$\eta = \frac{W}{Q_H}$$



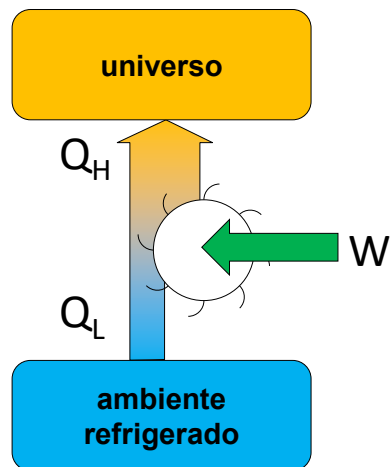
máquina térmica



$$\eta = \frac{W}{Q_H}$$



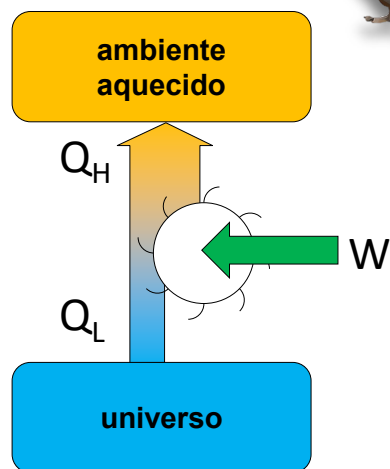
máquina frigorífica



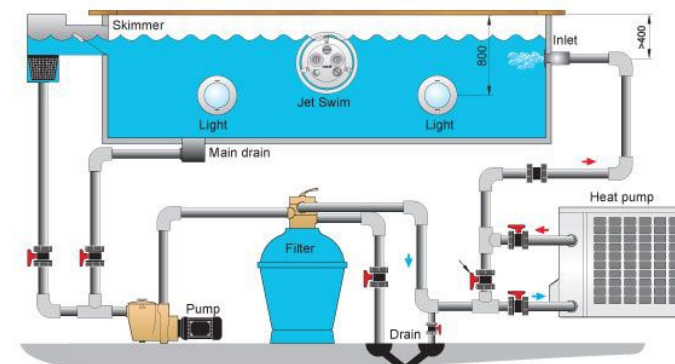
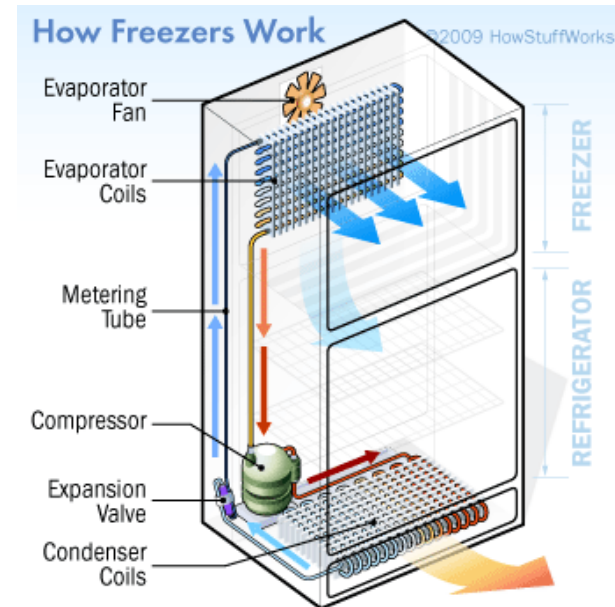
$$COP_{MF} = \frac{Q_L}{W}$$



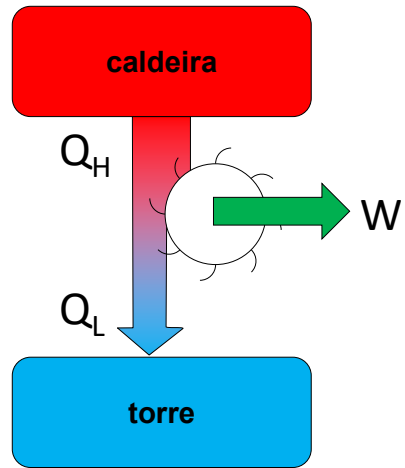
bomba de calor



$$COP_{BC} = \frac{Q_H}{W}$$



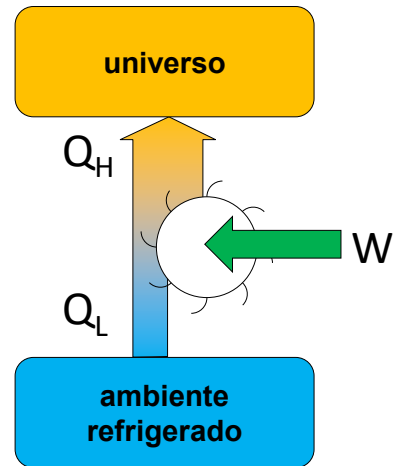
máquina térmica



$$\eta = \frac{W}{Q_H}$$



máquina frigorífica

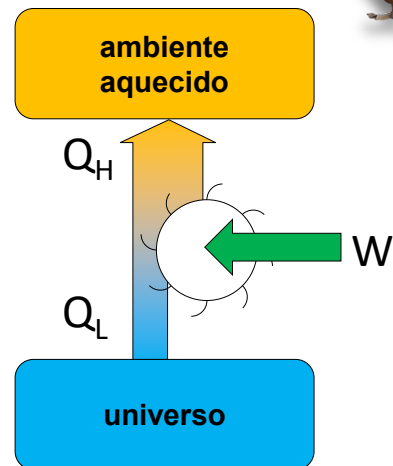


$$COP_{MF} = \frac{Q_L}{W}$$

$$COP_{MF} \xrightarrow{\text{Carnot}} \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1}$$

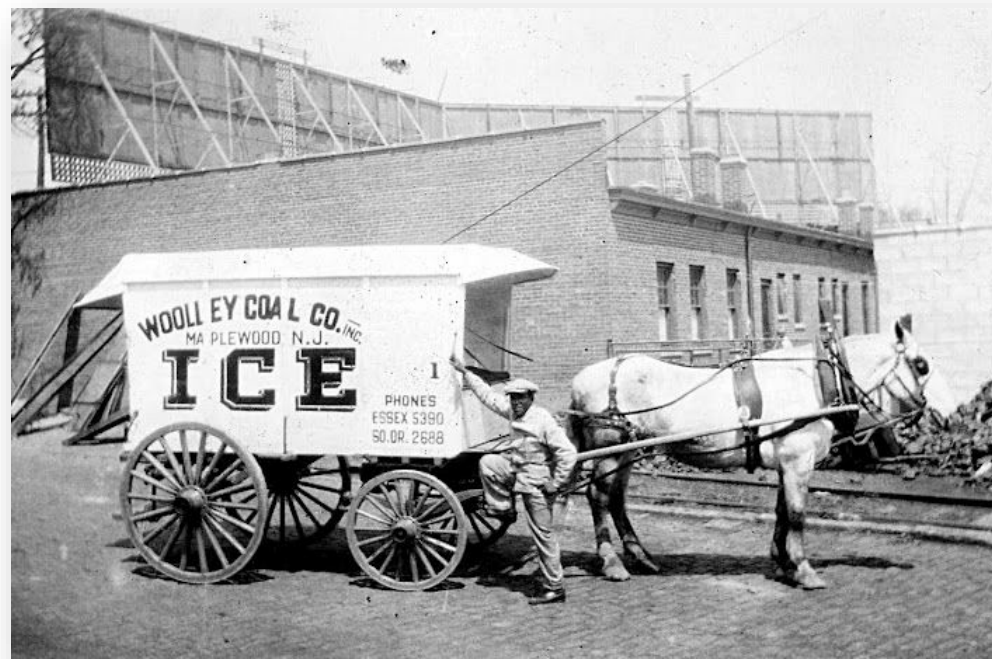
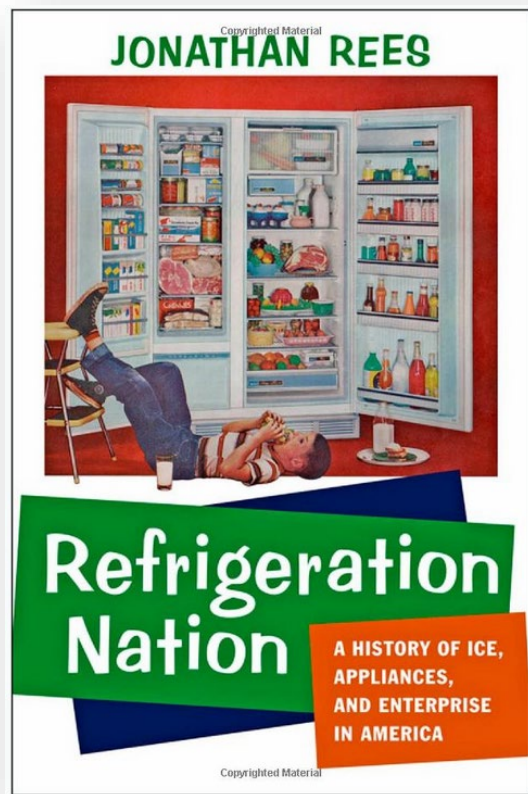


bomba de calor



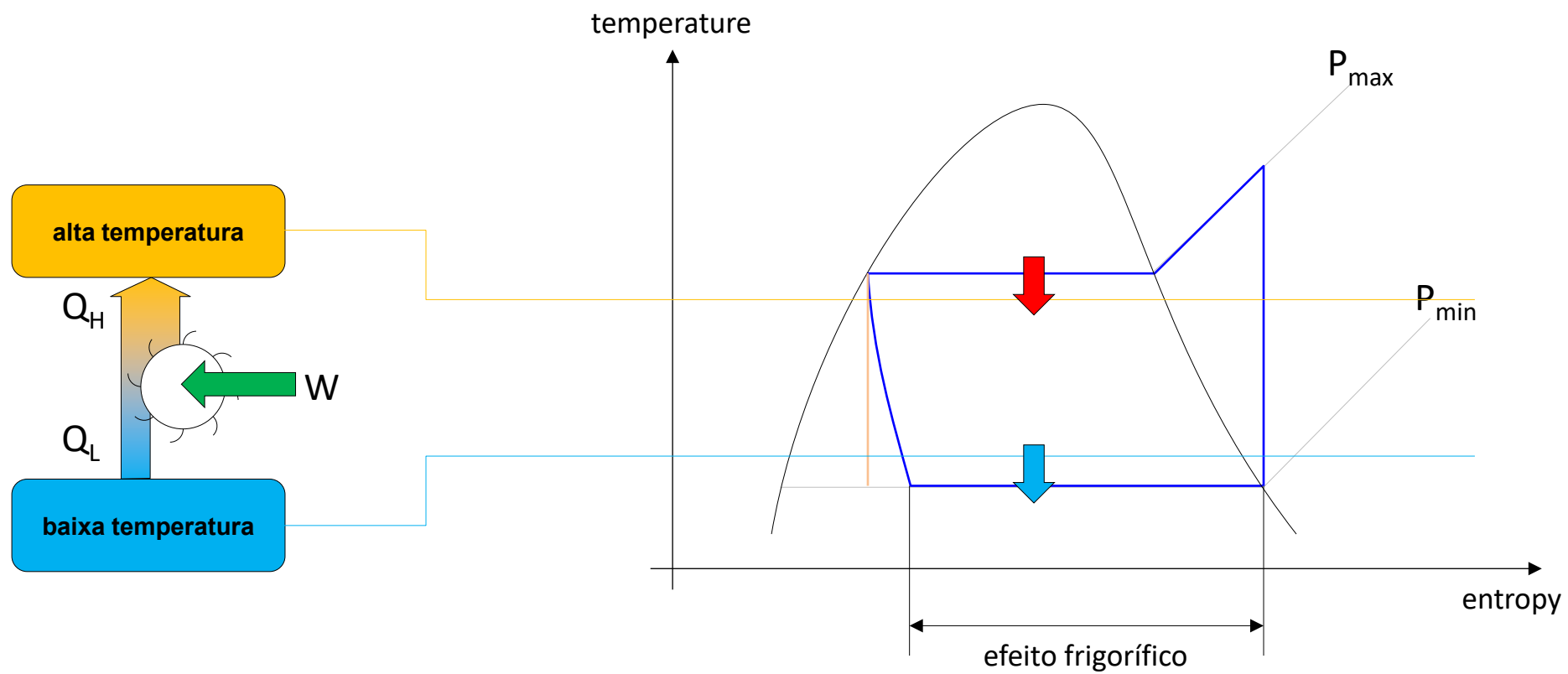
$$COP_{BC} = \frac{Q_H}{W}$$

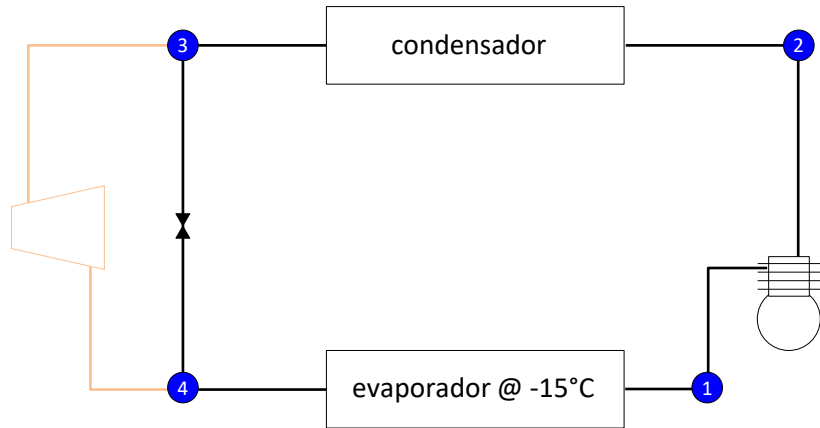
$$COP_{BQ} \xrightarrow{\text{Carnot}} \frac{1}{1 - \frac{T_L}{T_H}}$$



geladeira / armário

Como é possível o calor fluir “ao contrário” ?

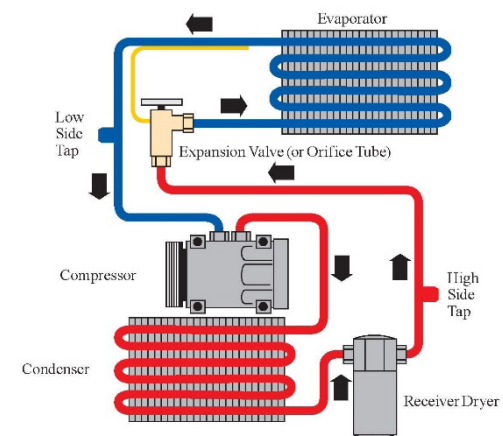
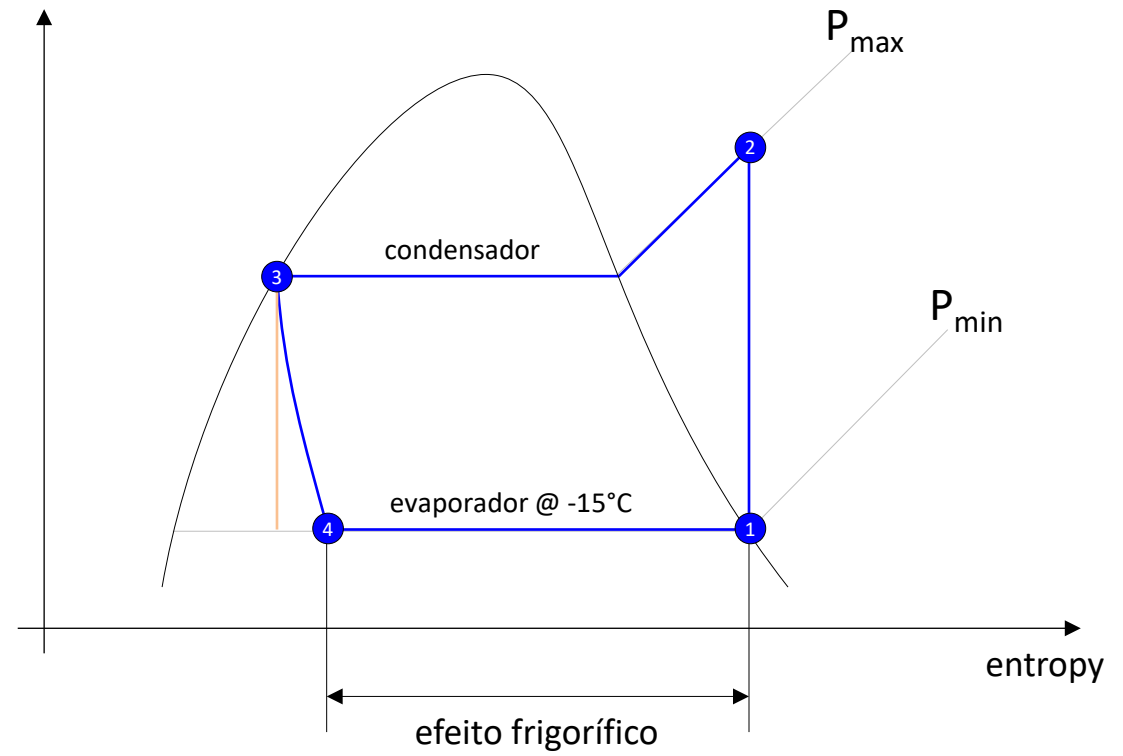


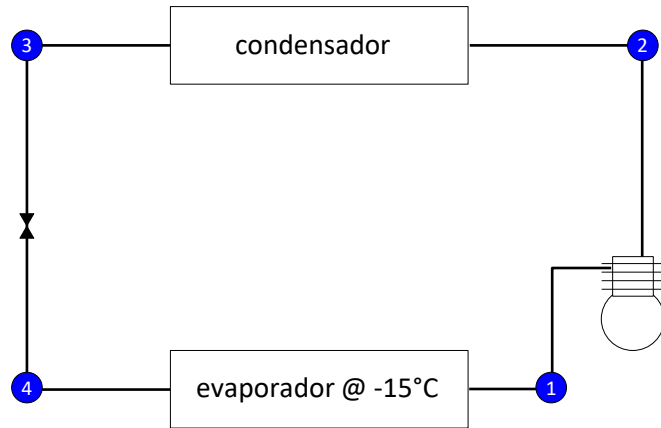


$$q_{34} - w_{34} = h_4 - h_3$$

$$\rightarrow h_3 = h_4$$

temperature

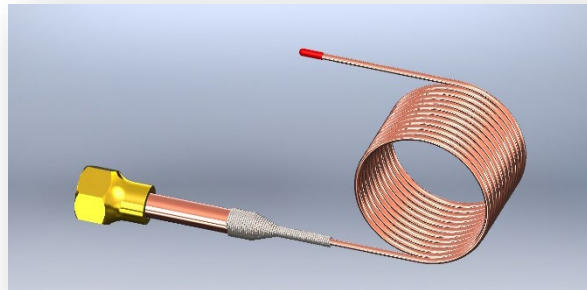
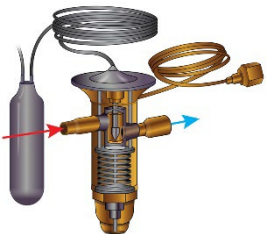
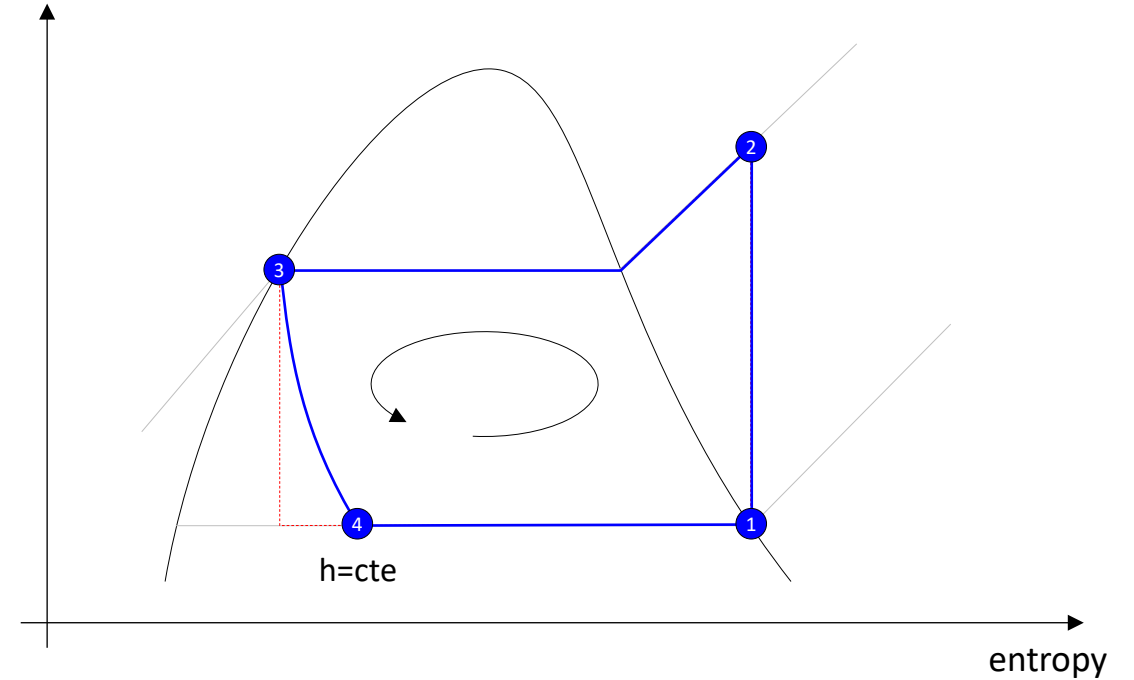




$$q_{34} - w_{34} = h_4 - h_3$$

$$\rightarrow h_3 = h_4$$

temperature



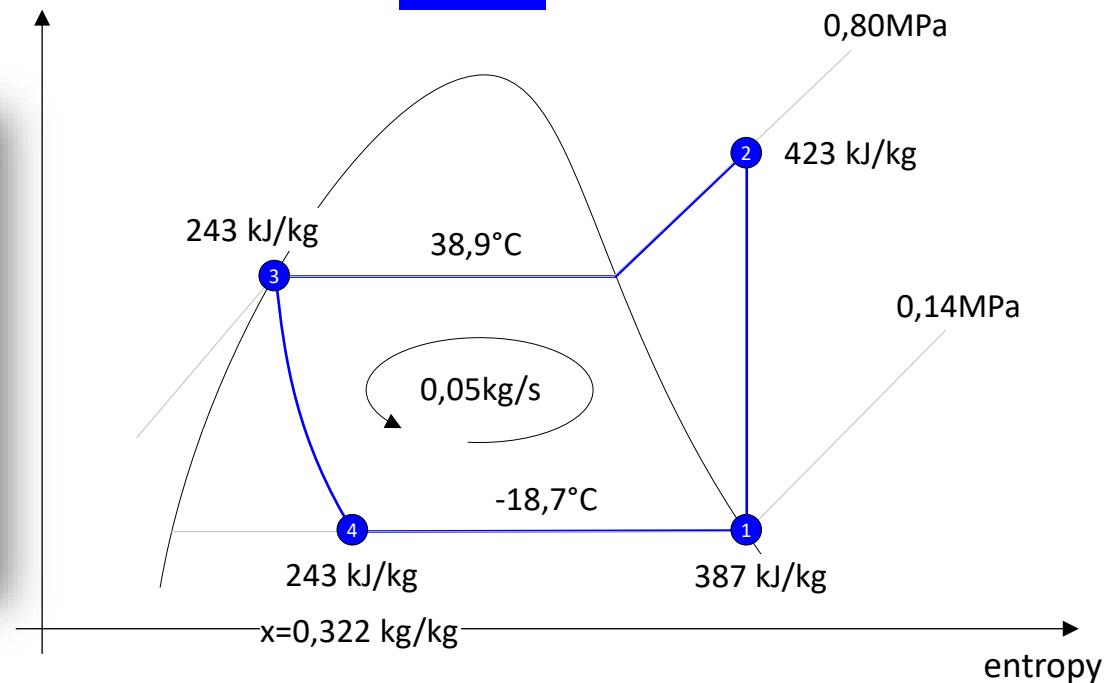
- 1-2: compressão isentrópica
- 2-3: rejeição isobárica de calor
- 3-4: expansão isentálpica
- 4-1: absorção isobárica de calor

	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Liquid Density (kg/m³)	Vapor Density (kg/m³)	Liquid Volume (m³/kg)	Vapor Volume (m³/kg)	Liquid Int. Energy (kJ/kg)	Vapor Int. Energy (kJ/kg)	Liquid Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Entropy (kJ/kg-K)
1	-18,760	1,4000	1354,5	7,1353	0,00073830	0,14015	175,14	367,70	175,24	387,32	0,90656	1,7402
2	31,327	8,0000	1182,2	39,025	0,00084585	0,025625	242,97	394,96	243,65	415,46	1,1497	1,7140
3												

	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Density (kg/m³)	Volume (m³/kg)	Int. Energy (kJ/kg)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)	Quality (kg/kg)
1	38,969	8,0000	37,211	0,026874	402,02	423,52	1,7402	Superheated
2	-18,760	1,4000	21,879	0,045706	237,25	243,65	1,1755	0,32256
3								

temperature

R-134a



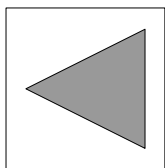
$$w_{12} = -(h_2 - h_1) = \dots = -36,20 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{23} = +(h_3 - h_2) = \dots = -179,87 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{41} = +(h_1 - h_4) = \dots = +143,67 \text{ kJ/kg}$$

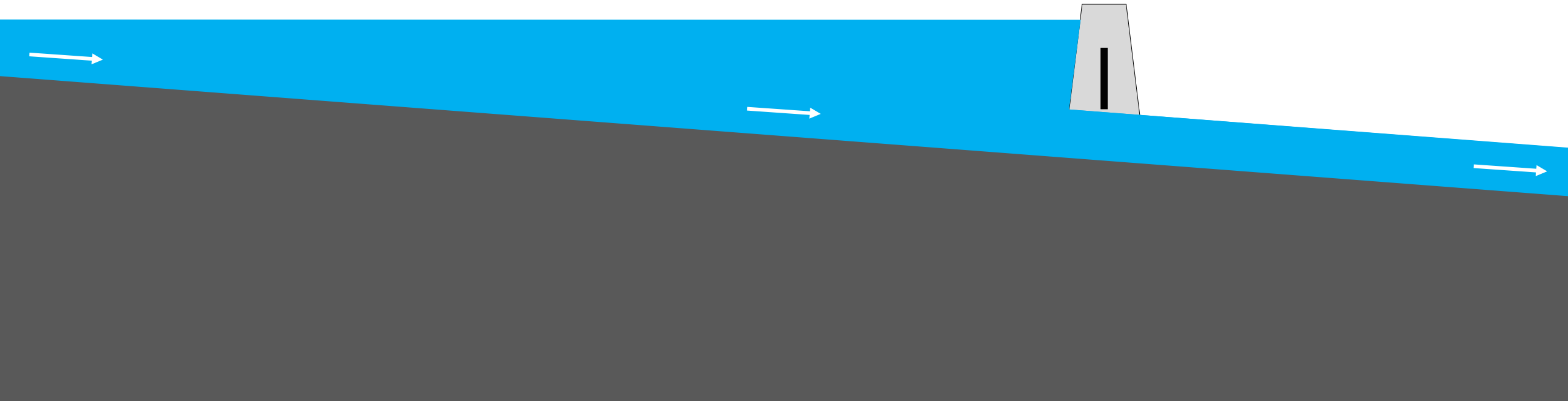
$$COP_{MF} = \frac{Q_L}{W} = 3,969$$

$$COP_{BC} = \frac{Q_H}{W} = 4,969$$

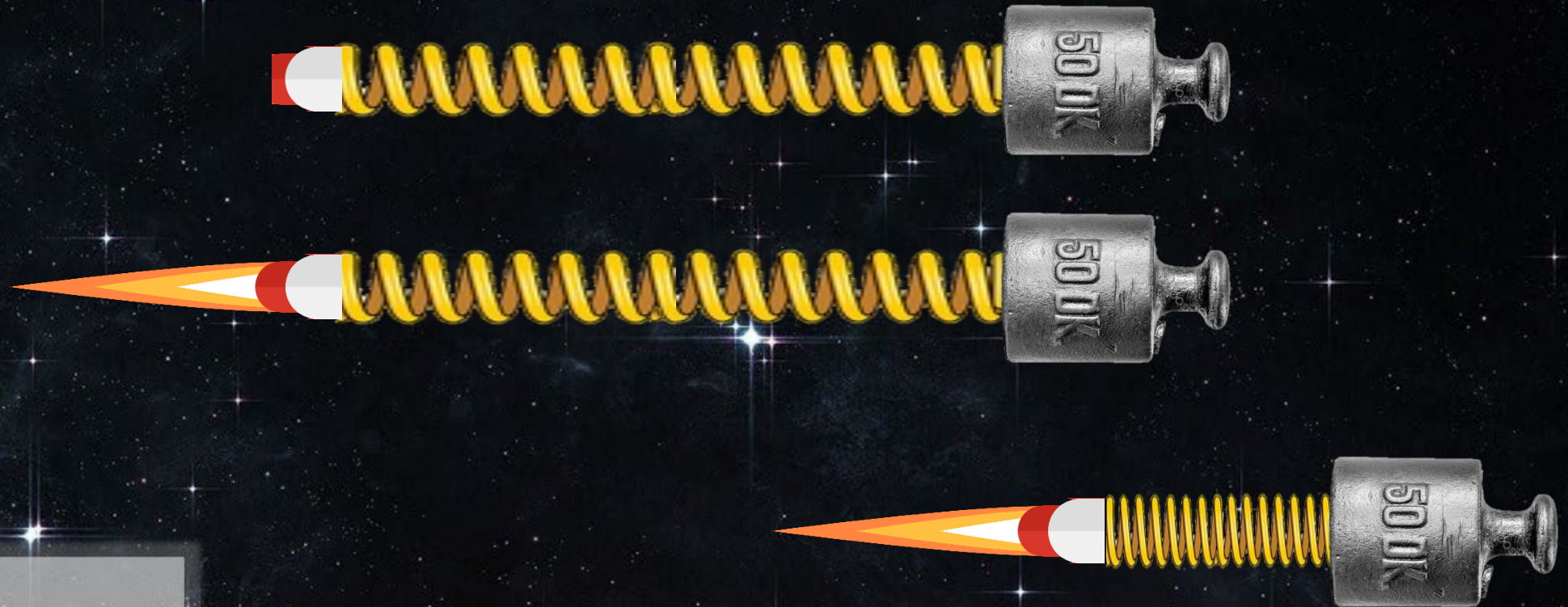


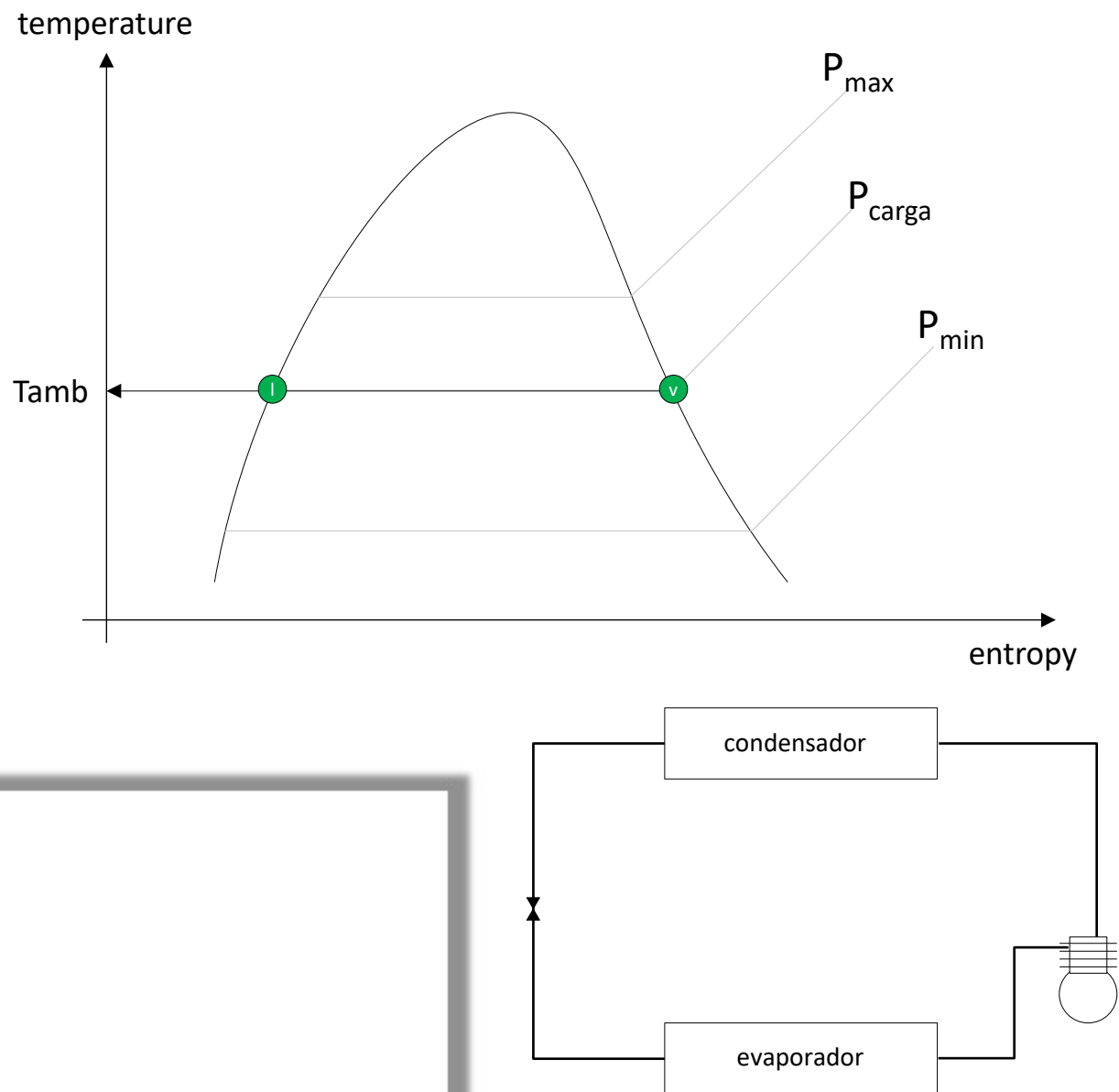
O que acontece na partida de uma MF ?

“partida” de barragem hidrelétrica...



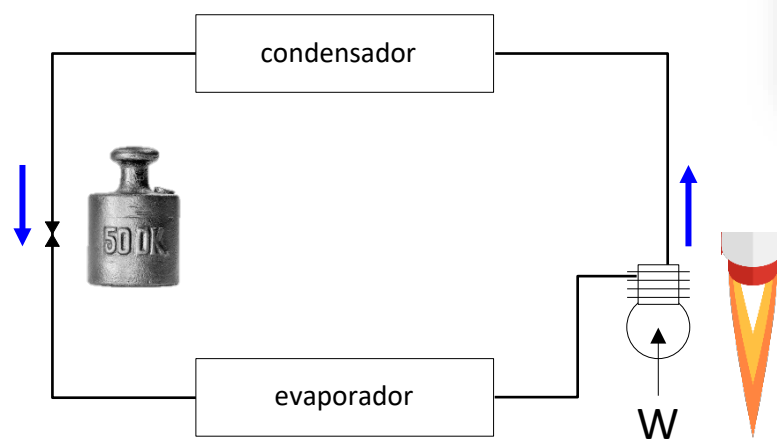
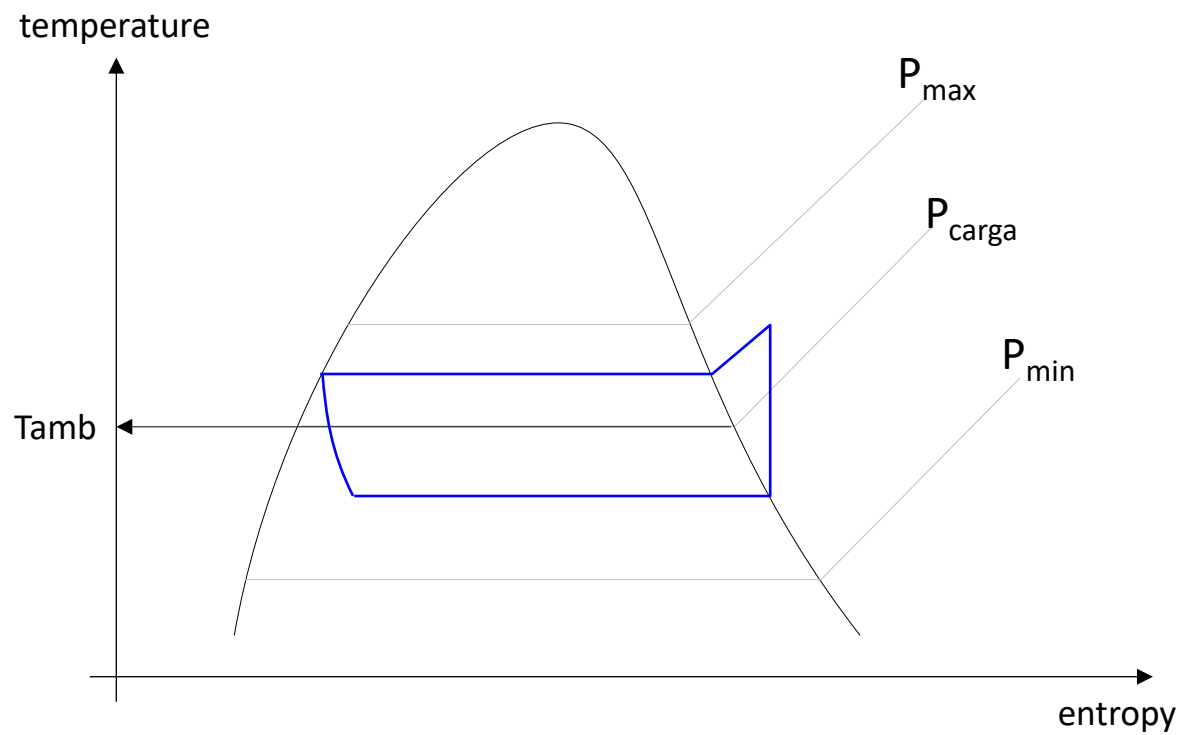
“partida” de uma massa no espaço...



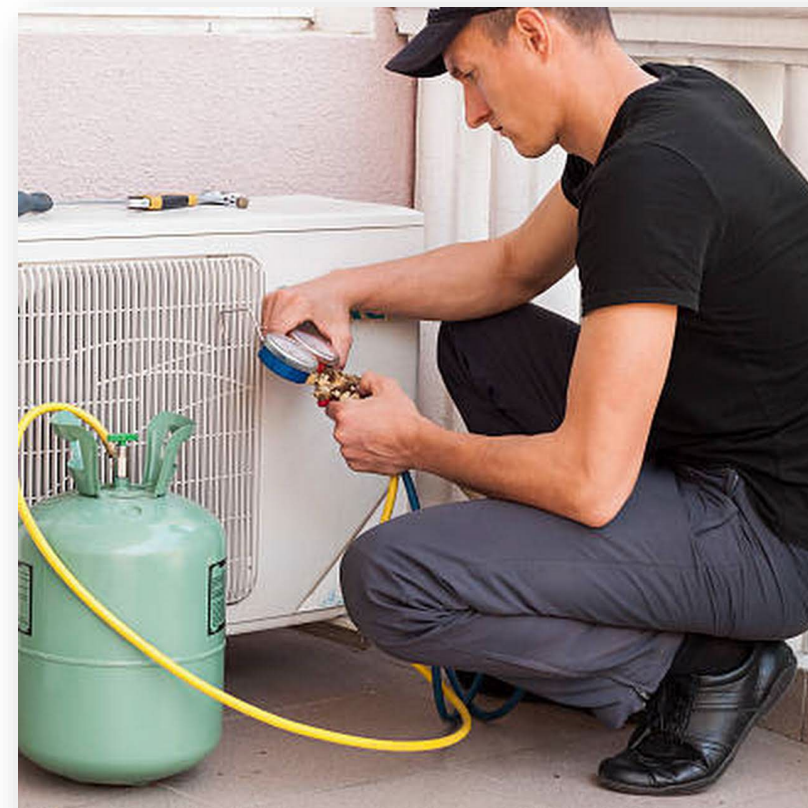


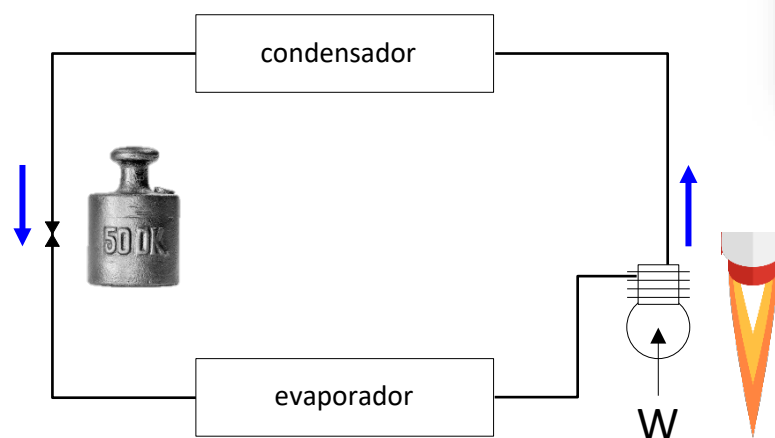
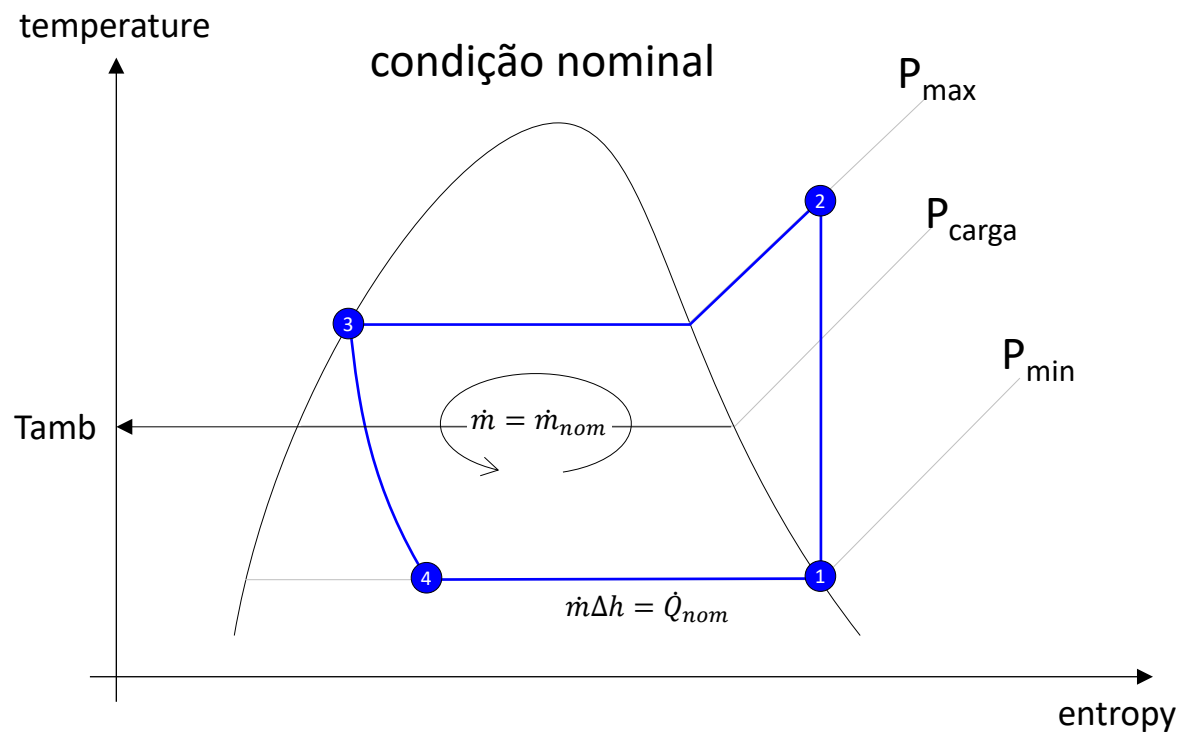
O QUE HÁ DE ERRADO NESTA FOTO ????



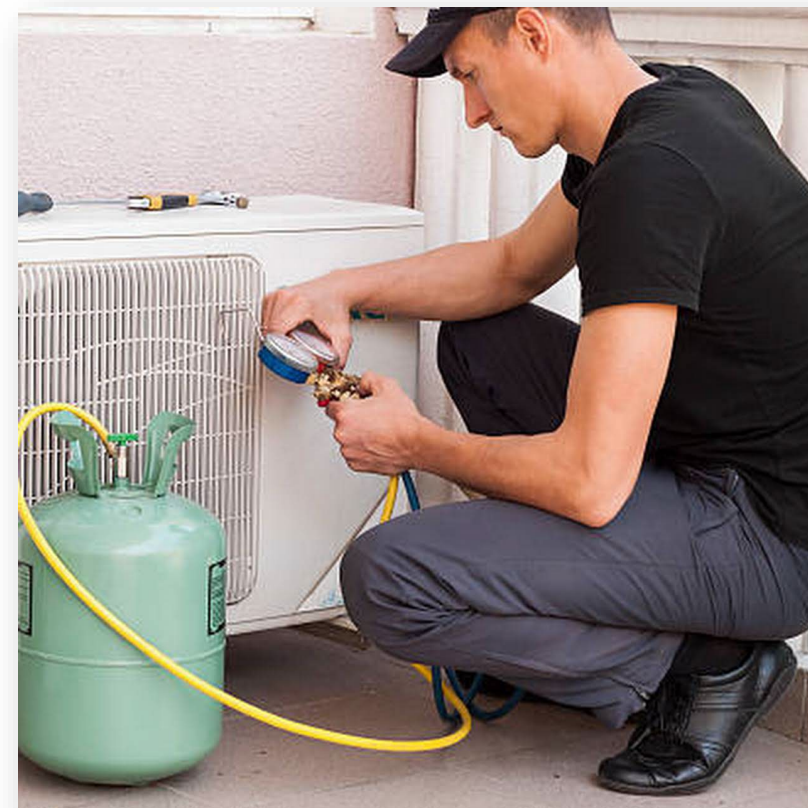


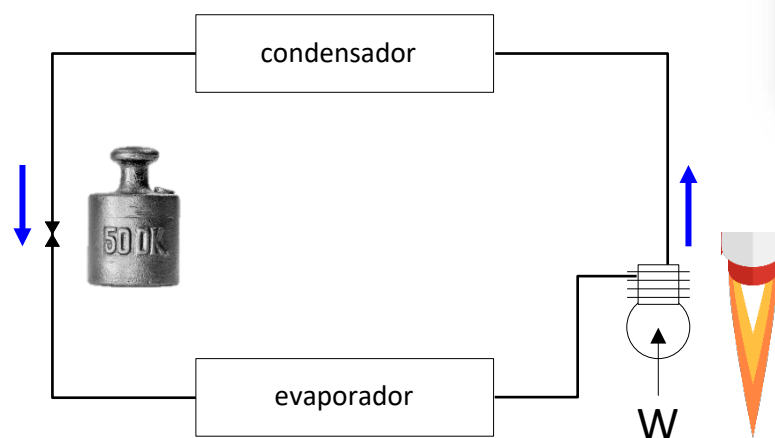
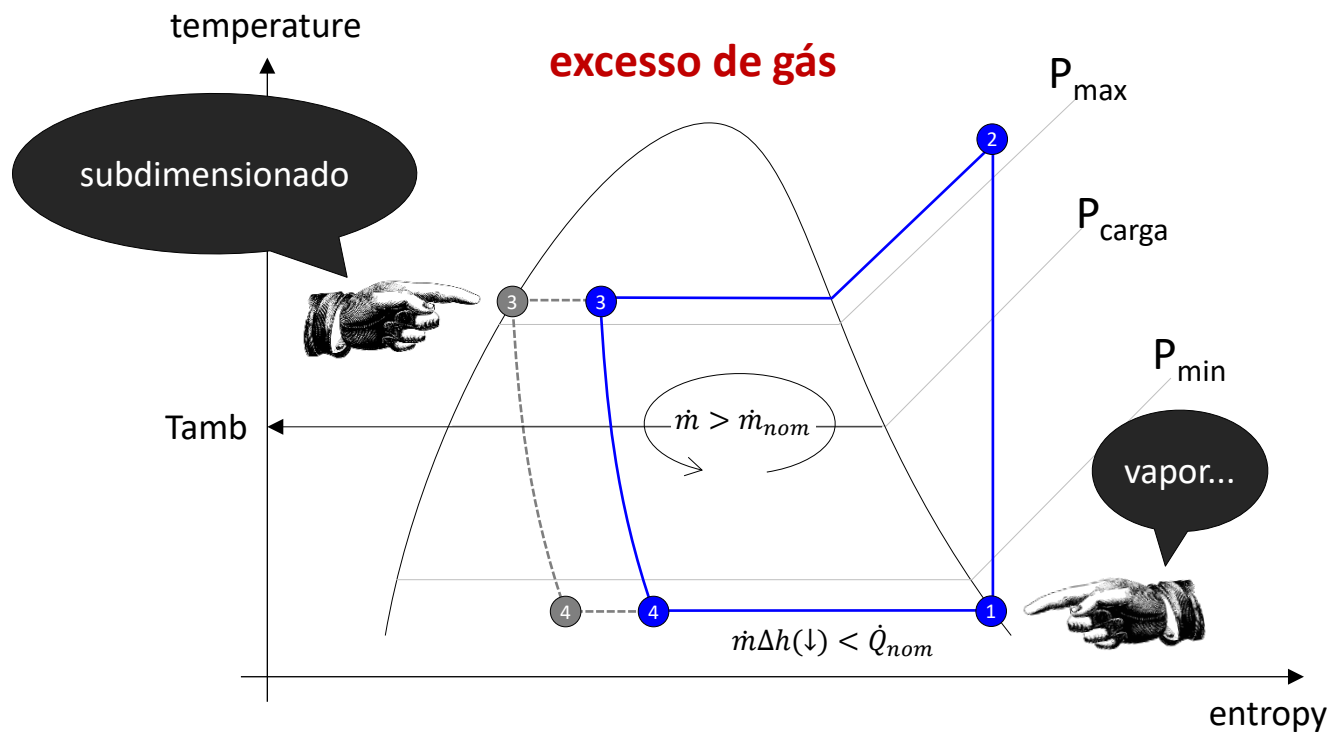
O QUE HÁ DE ERRADO NESTA FOTO ????





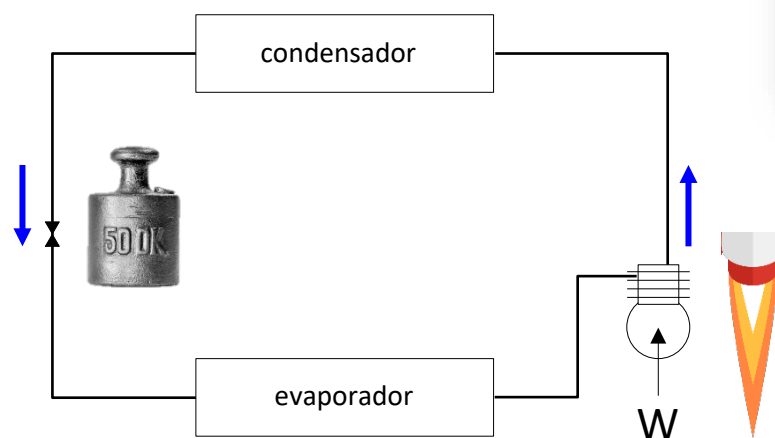
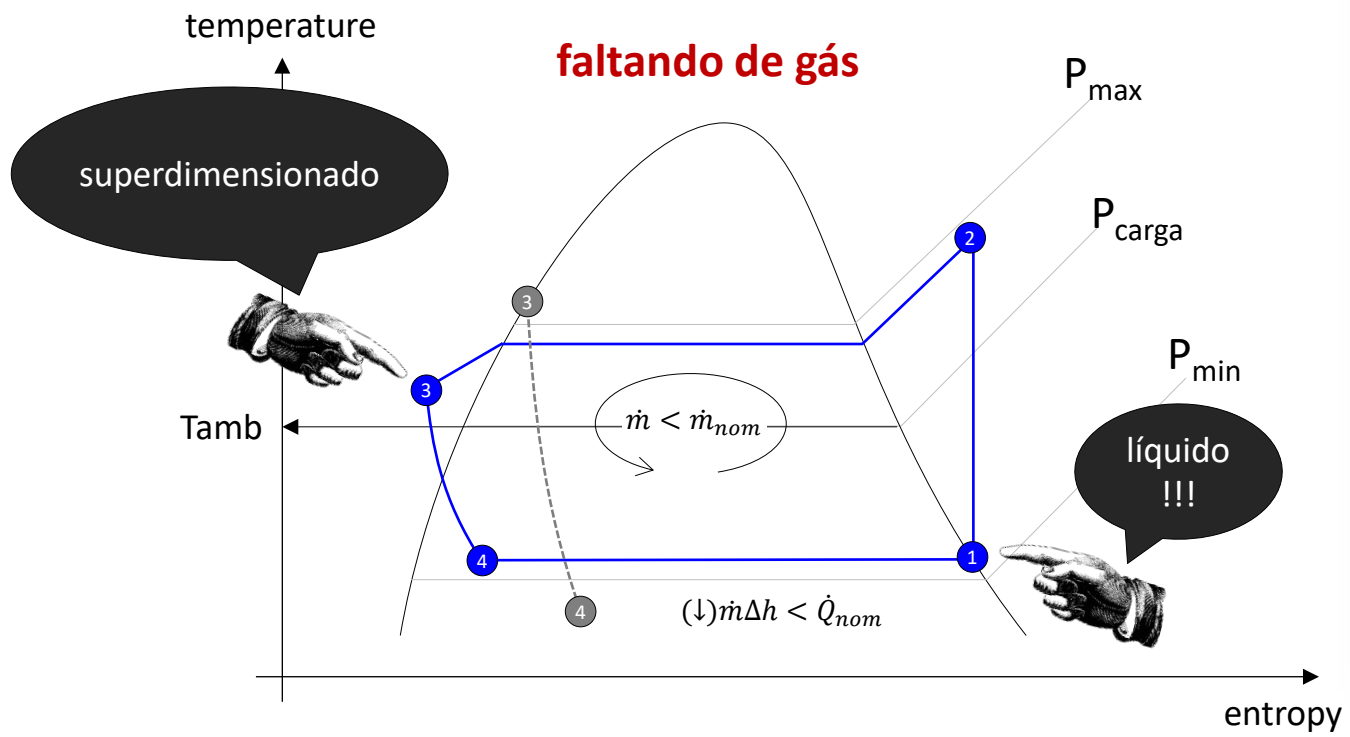
O QUE HÁ DE ERRADO NESTA FOTO ????

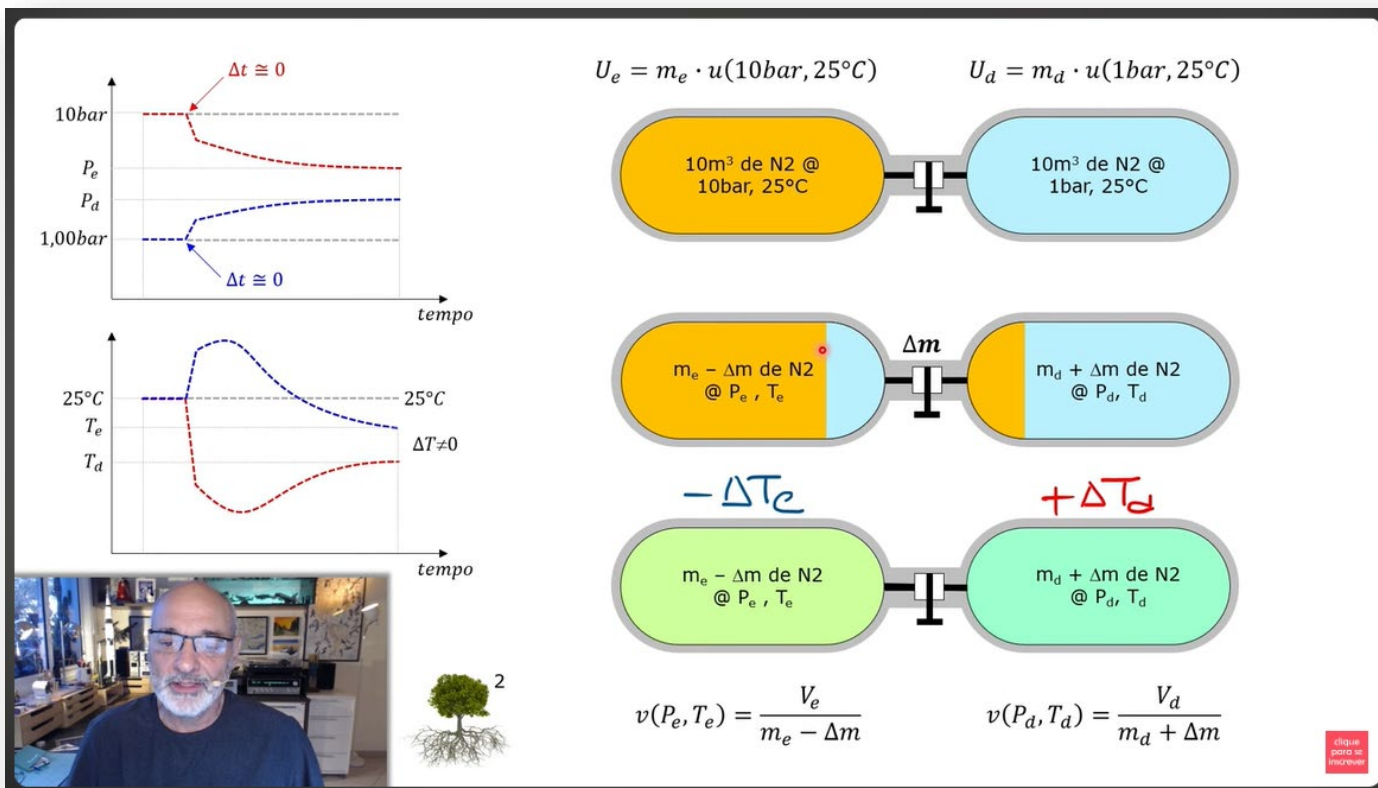




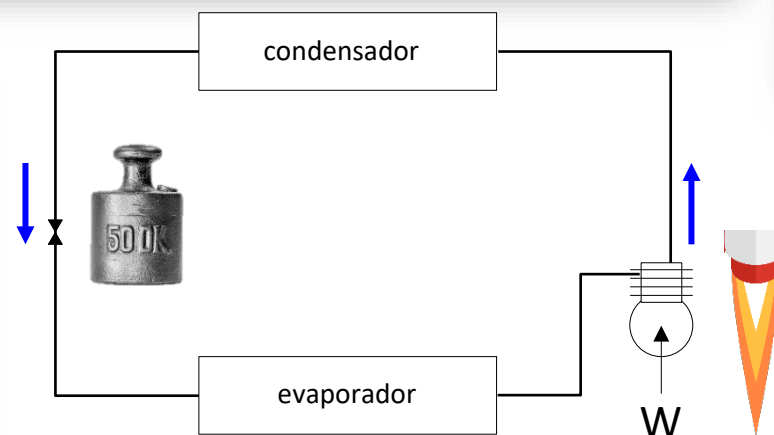
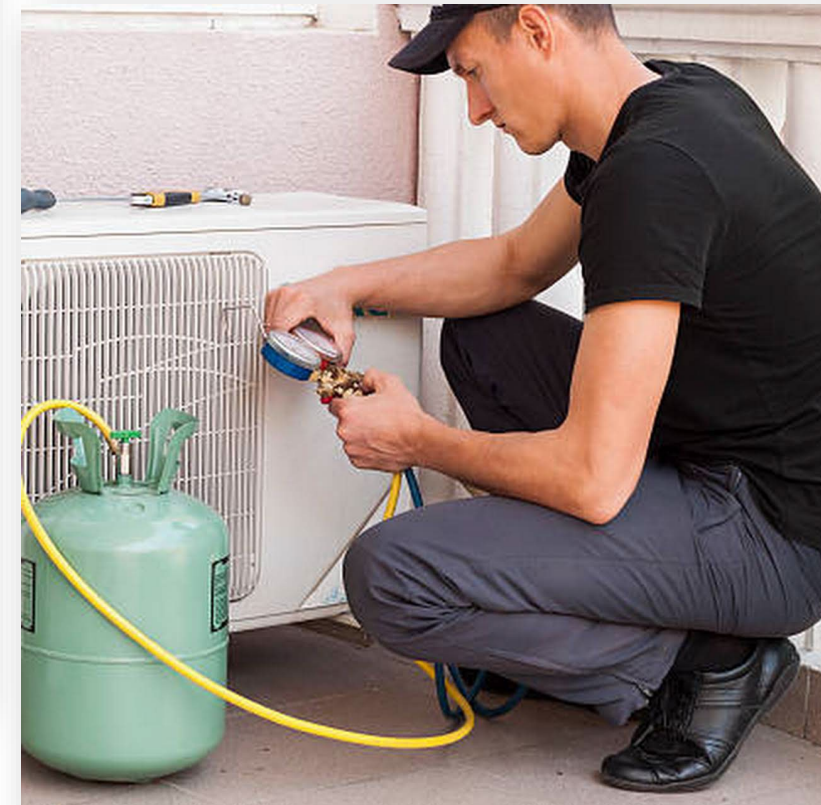
O QUE HÁ DE ERRADO NESTA FOTO ????

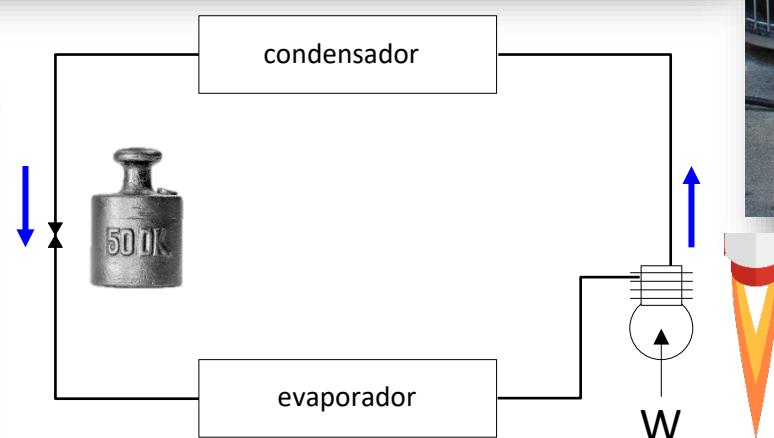
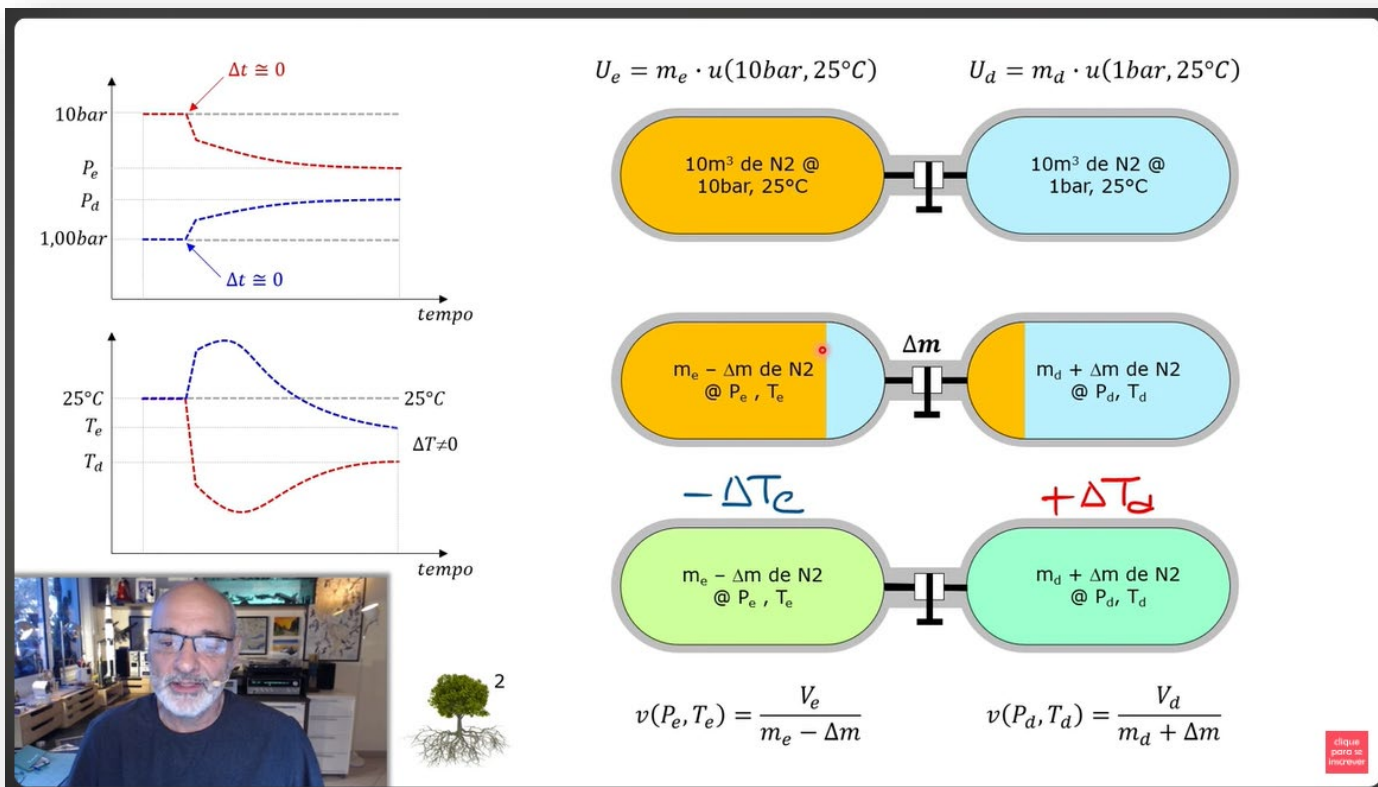




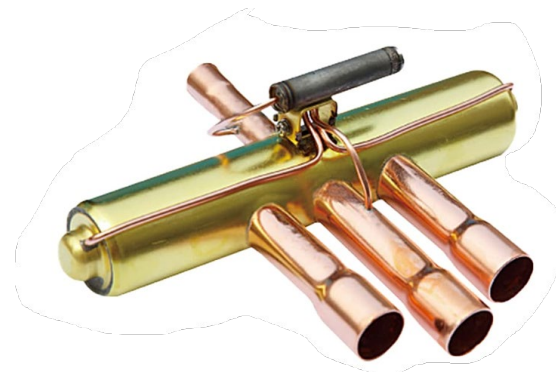
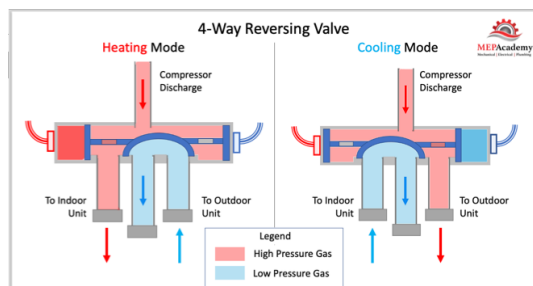
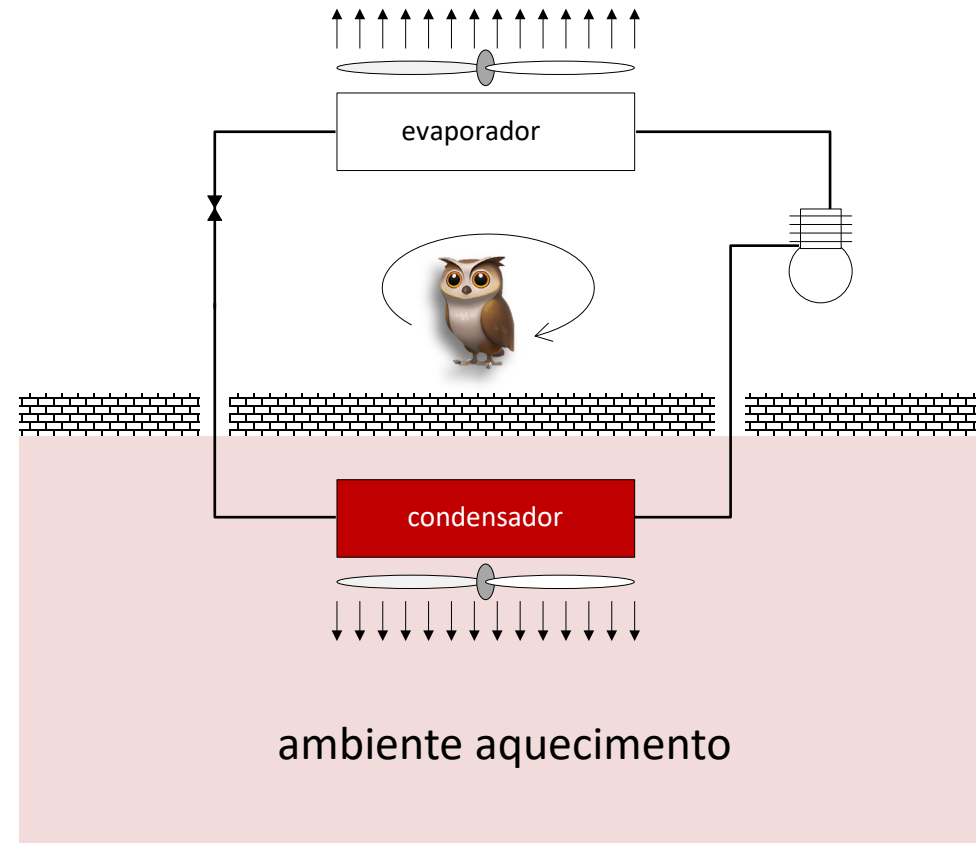
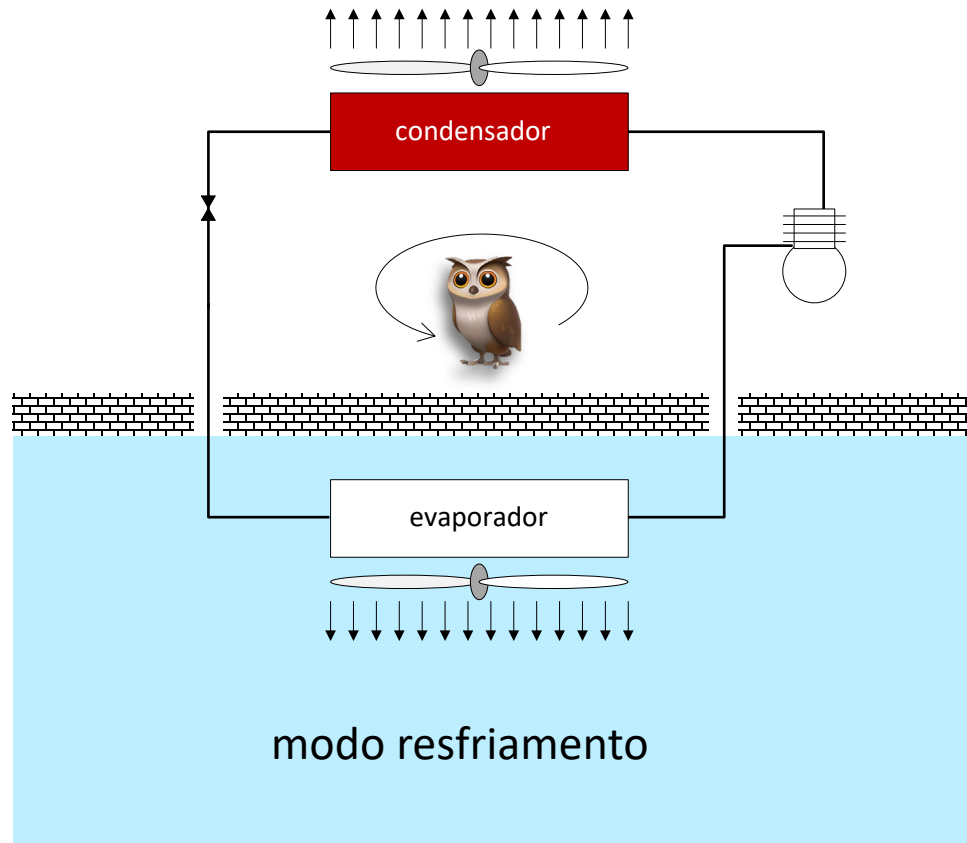


O QUE HÁ DE ERRADO NESTA FOTO ????





Condicionadores frio / quente...

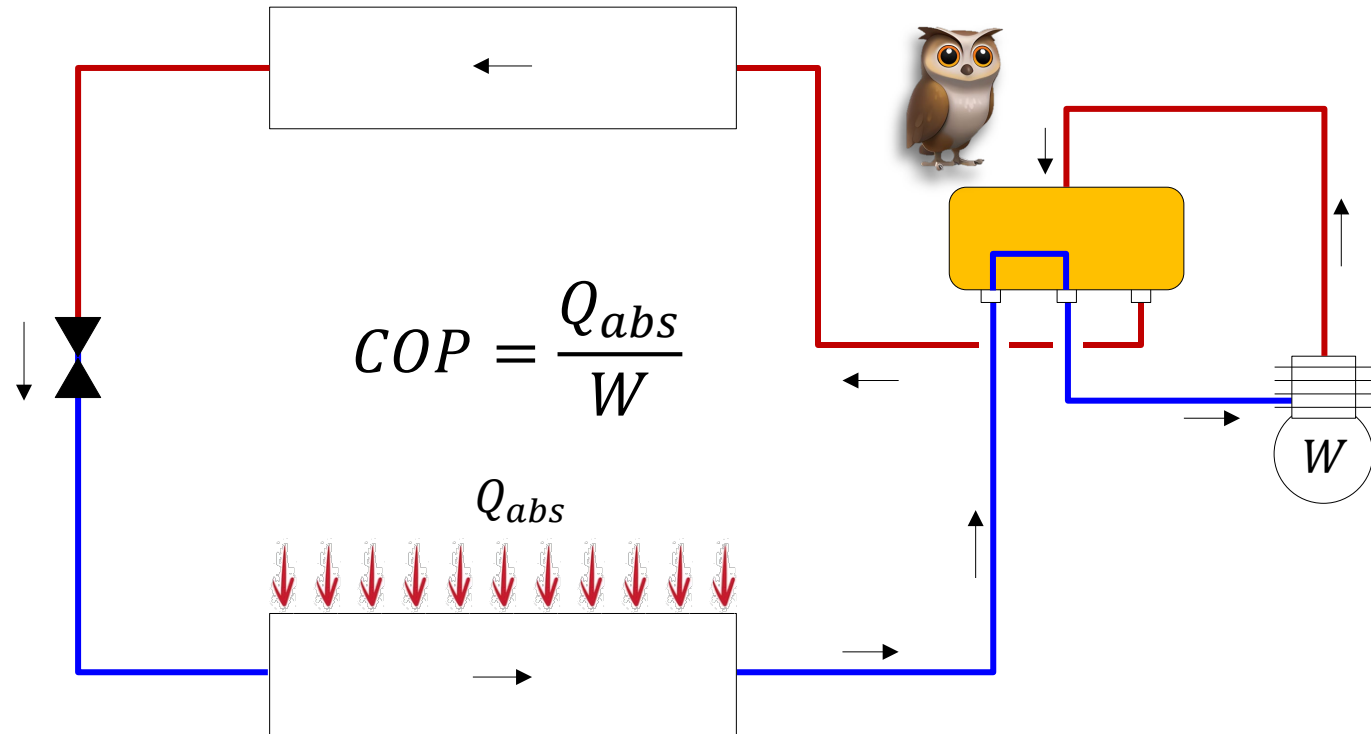


válvula inversora (“inverter”)

operação em modo resfriamento



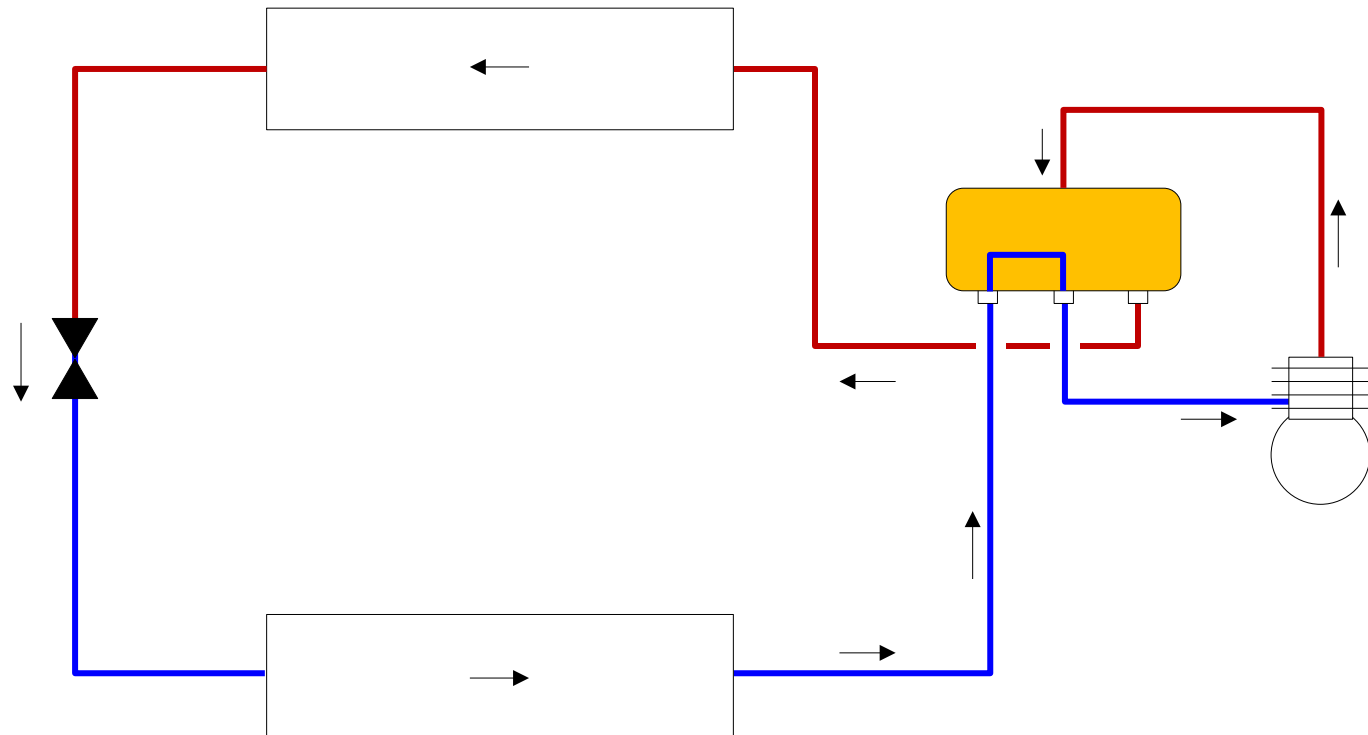
- ❄️ Modo refrigeração
- 💧 Modo desumidificação
- 🌀 Modo ventilação
- ☀️ Modo aquecimento
- 🔄 Modo automático



operação em modo aquecimento



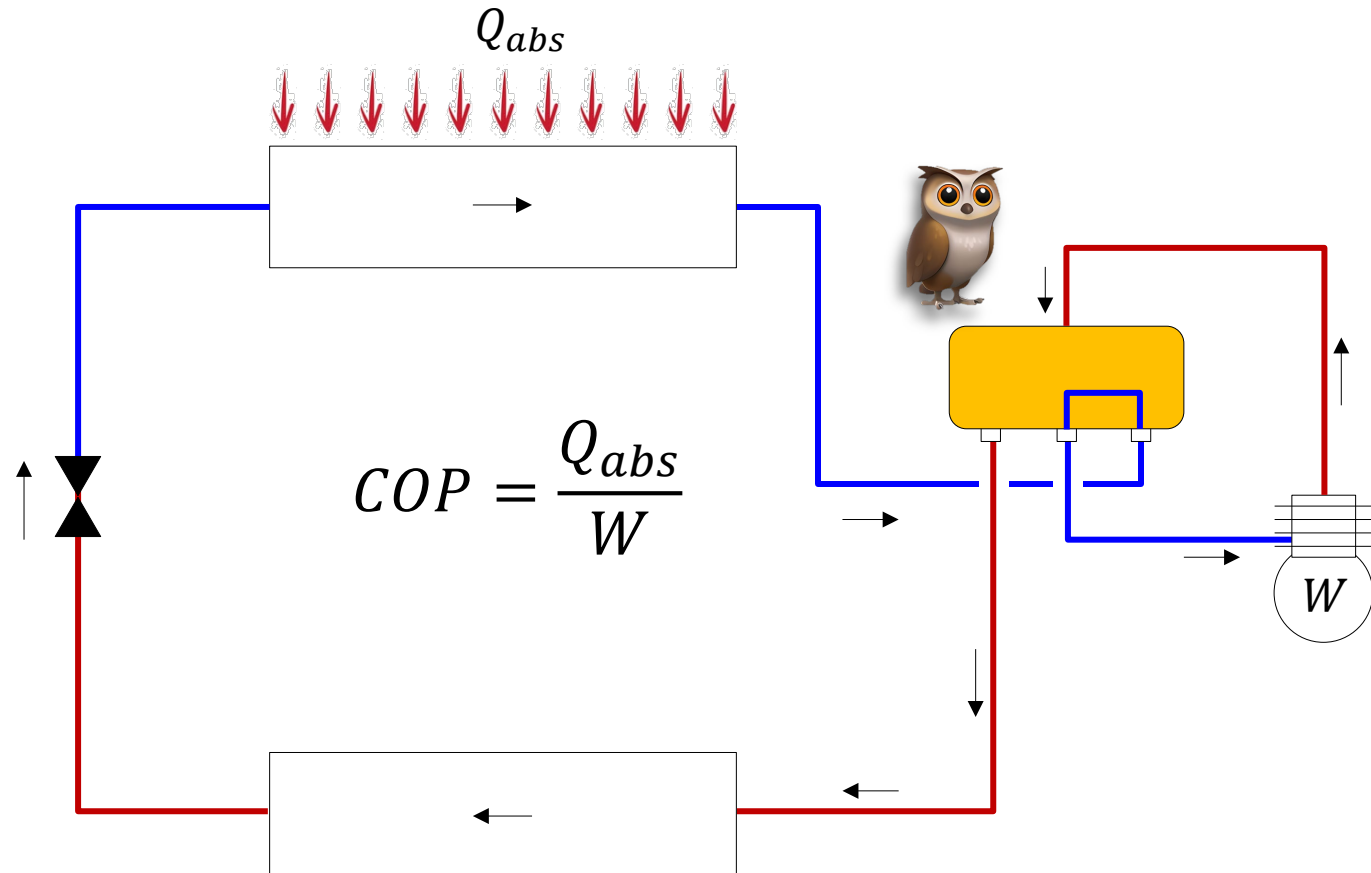
- ❄️ Modo refrigeração
- 💧 Modo desumidificação
- 🌀 Modo ventilação
- ☀️ Modo aquecimento
- 🔄 Modo automático



operação em modo aquecimento



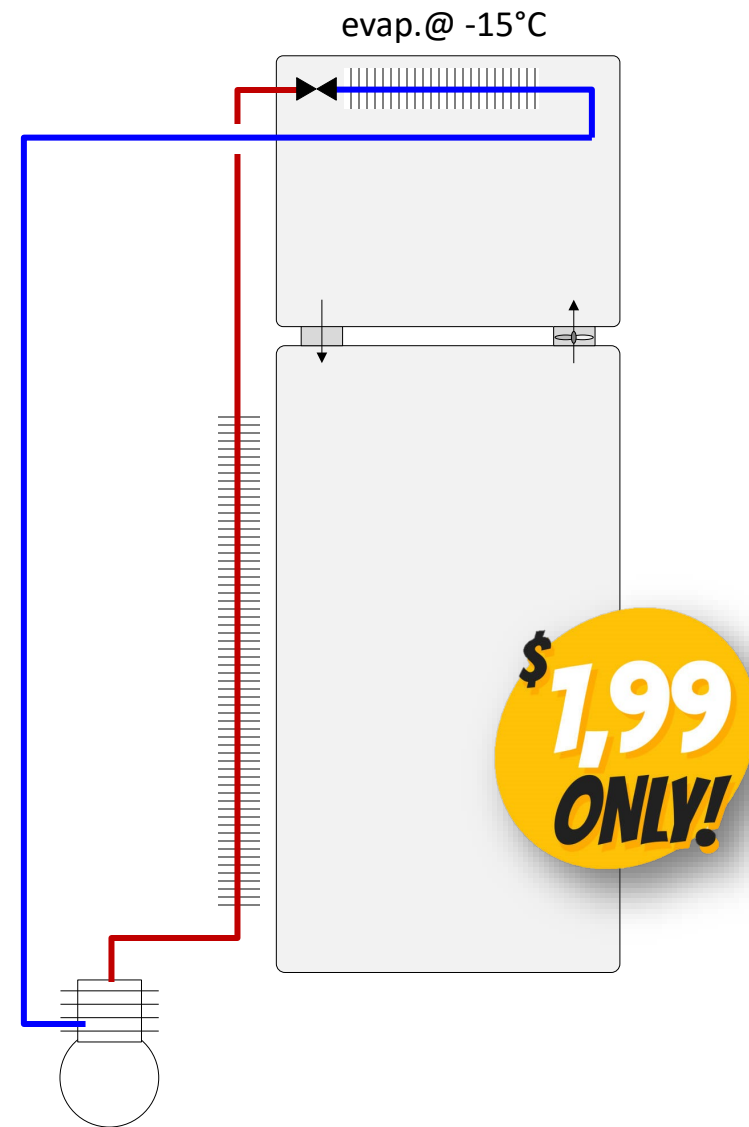
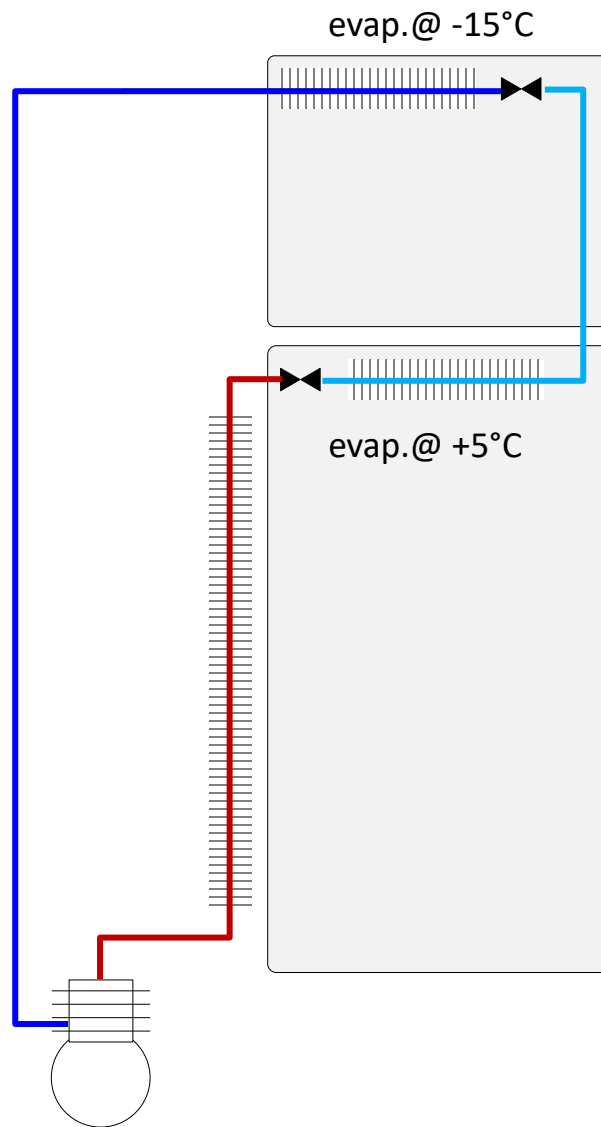
- ❄️ Modo refrigeração
- 💧 Modo desumidificação
- 🌀 Modo ventilação
- ☀️ Modo aquecimento
- 🔄 Modo automático

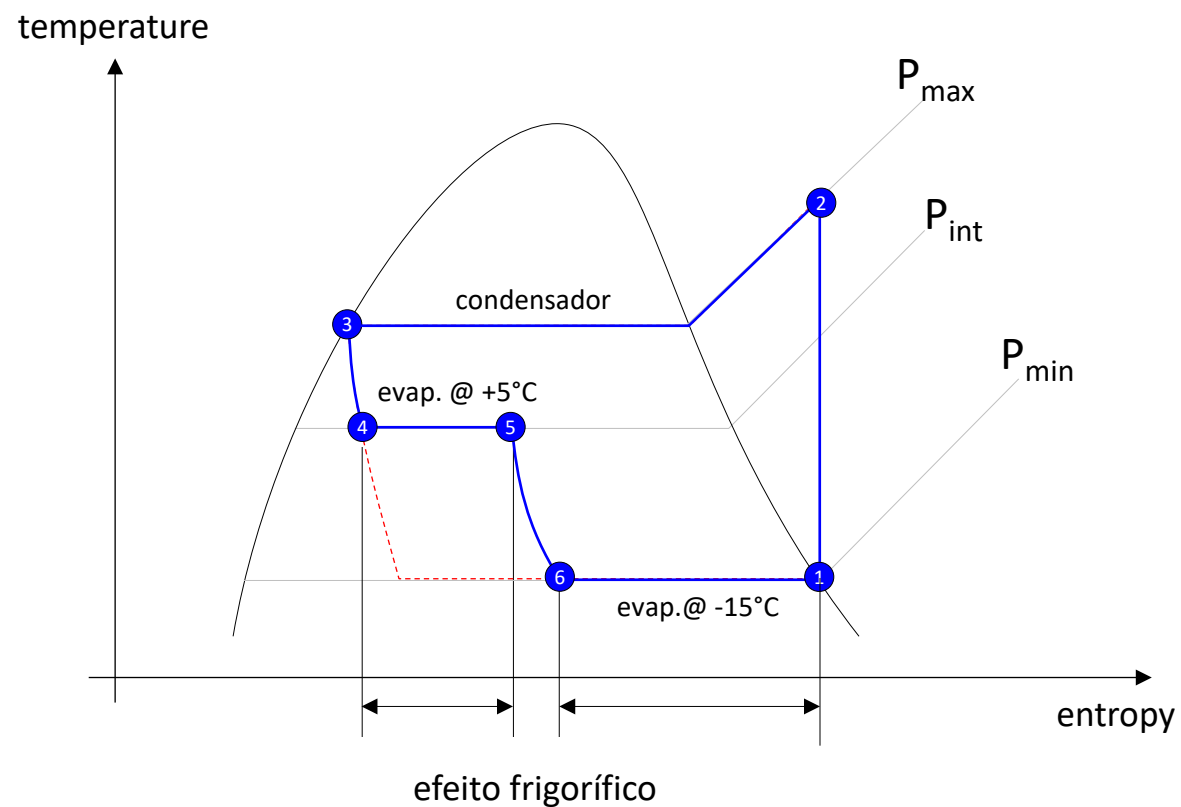
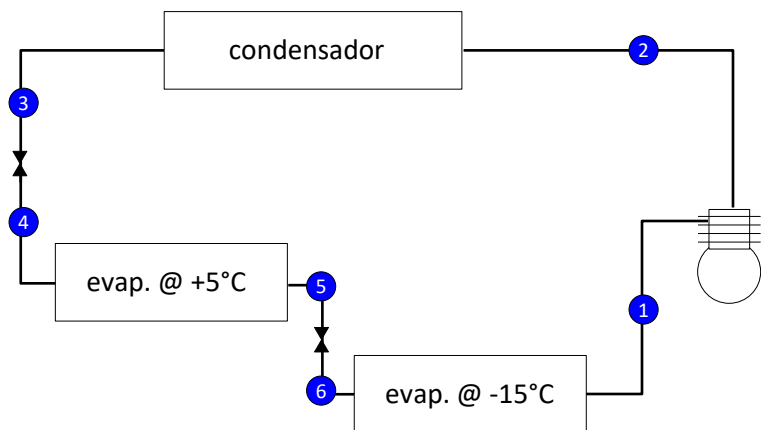


Ciclos de refrigeração especializados...



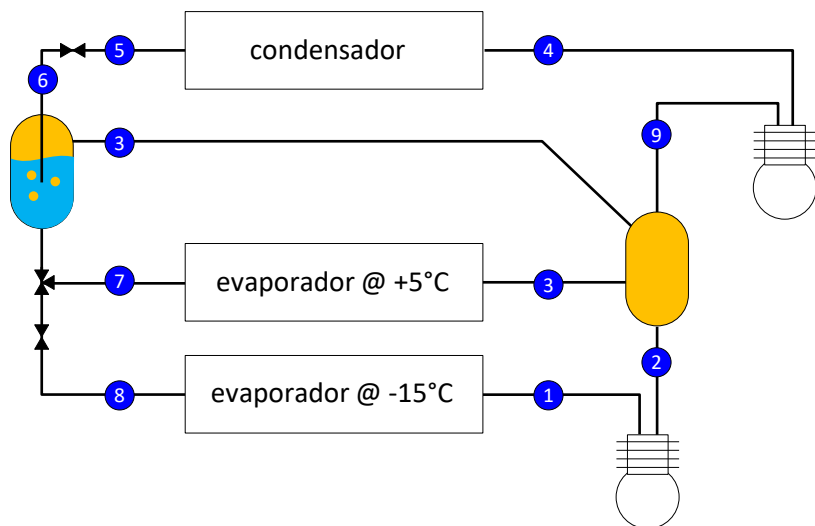
necessidade de frio a
diferentes
temperaturas



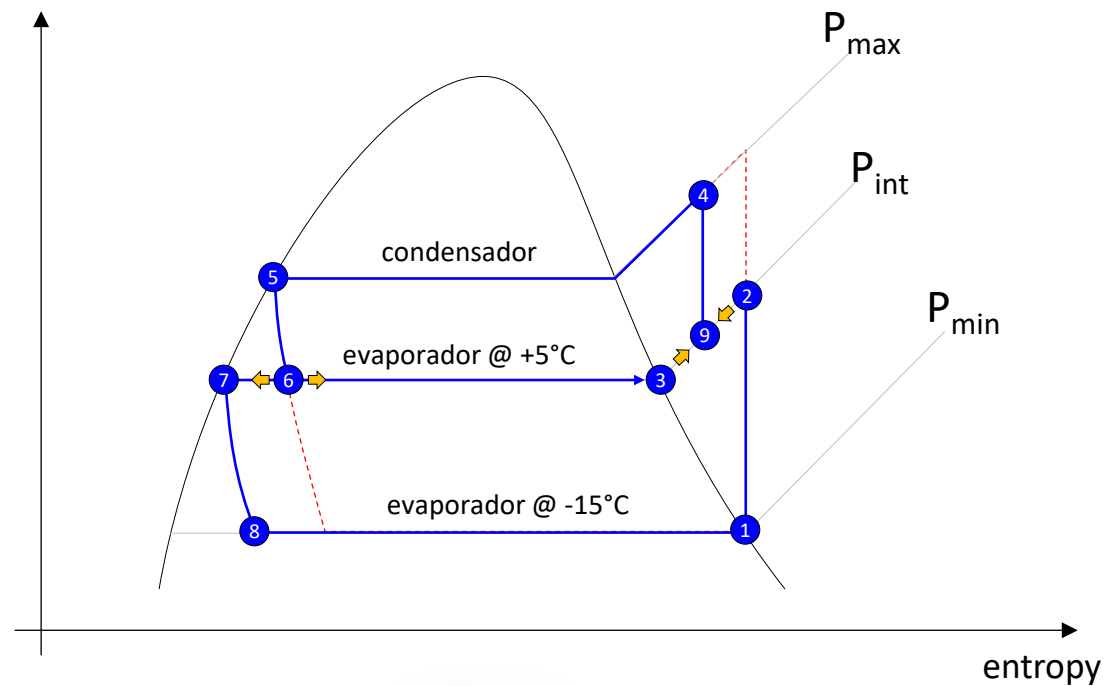


necessidade de frio a
diferentes
temperaturas

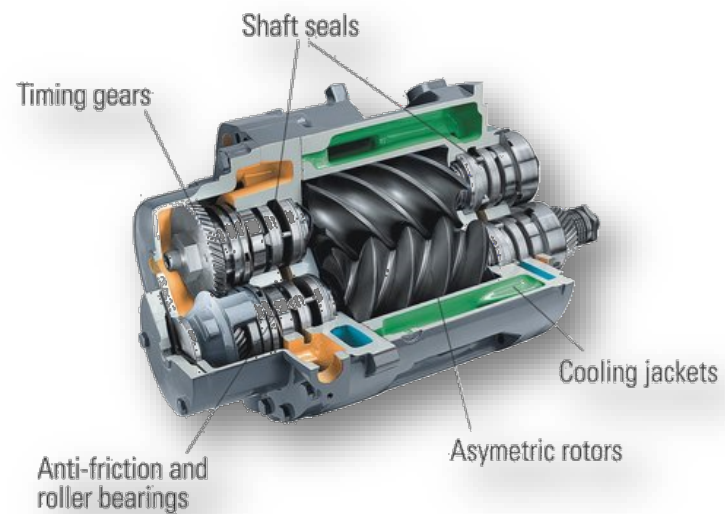
$$COP = \frac{Q_{45} + Q_{61}}{W_{12}}$$



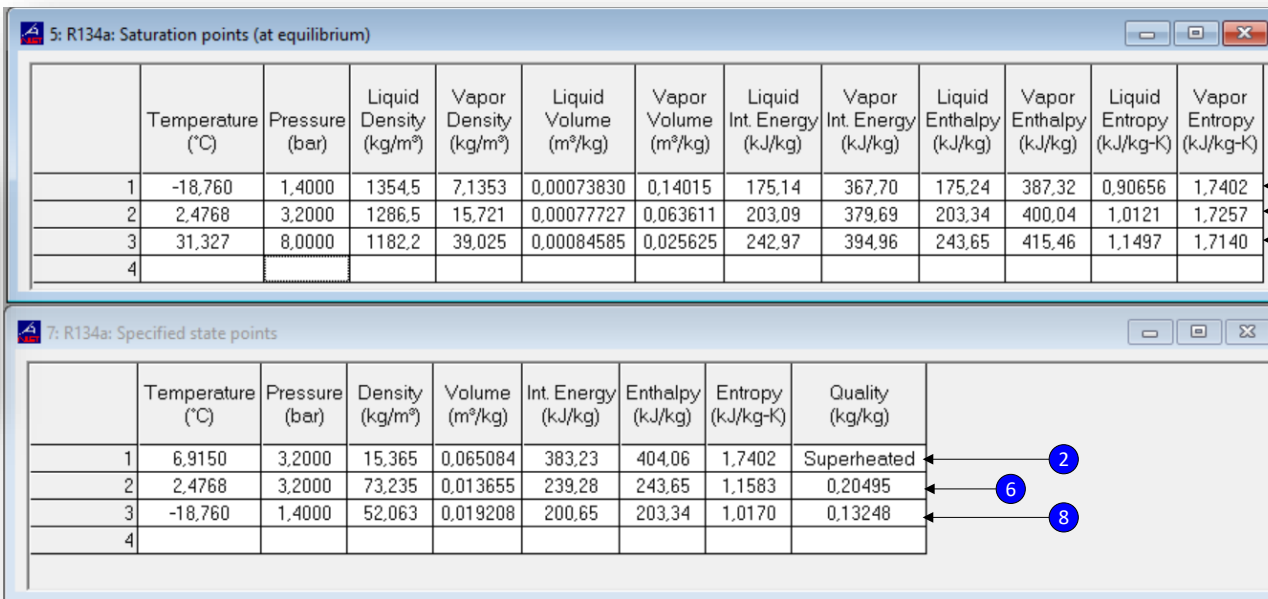
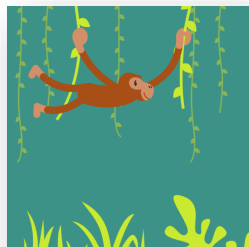
temperature



necessidade de frio a
diferentes
temperaturas



Otimização da pressão intermediária...



A 3x3 grid with the following numbers:

	1	
		7
	5	3

$$h_9 = x \cdot h_3 + (1 - x) \cdot h_2 \rightarrow h_9 = 403,24 \text{ kJ/kg}$$

$$s_9 = s(P_9, h_9) \rightarrow s_9 = 1,7373 \text{ kJ/kg/K}$$

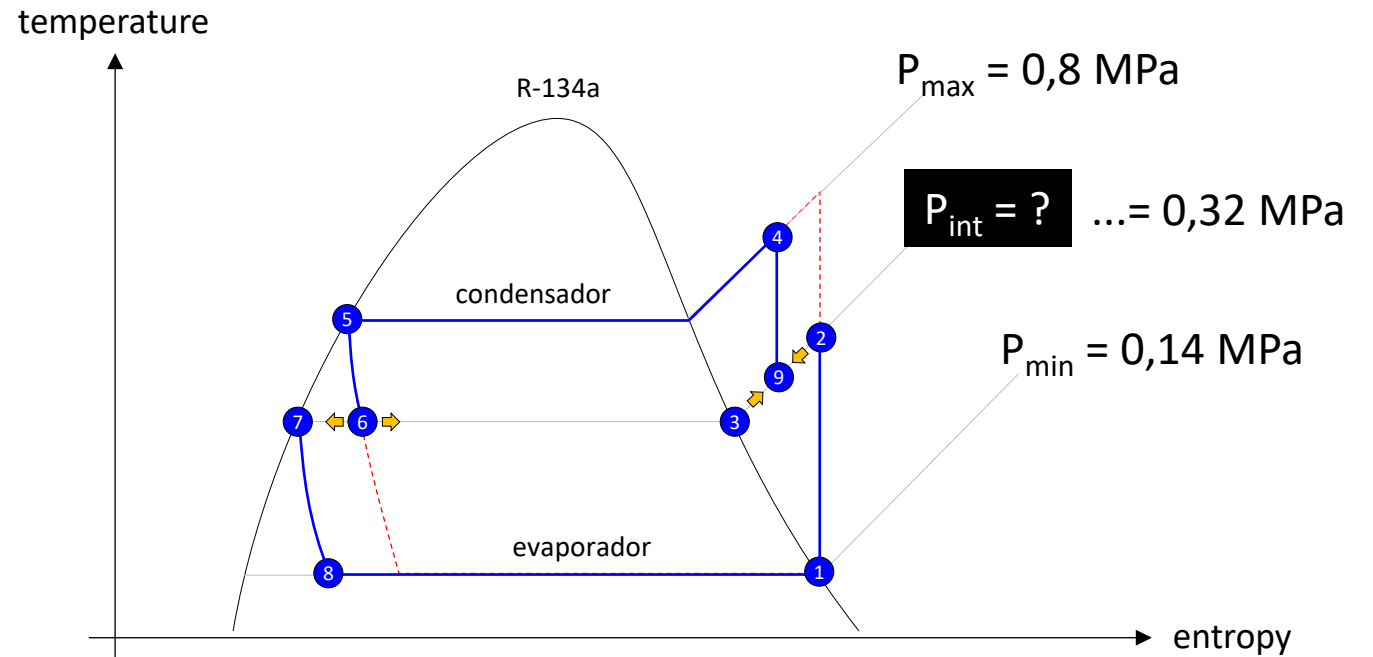
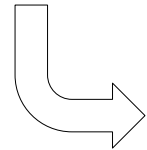
$$h_4 = h(P_4, s_4) \rightarrow h_4 = 422,62 \text{ kJ/kg}$$

$$w_{12} = \dots = -13,31 \text{ kJ/kg}$$

$$w_{94} = \dots = -19,38 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{45} = \dots = -178,97 \text{ kJ/kg}$$

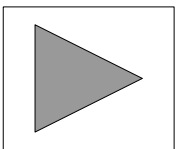
$$q_{81} = \dots = +146,27 \text{ kJ/kg}$$



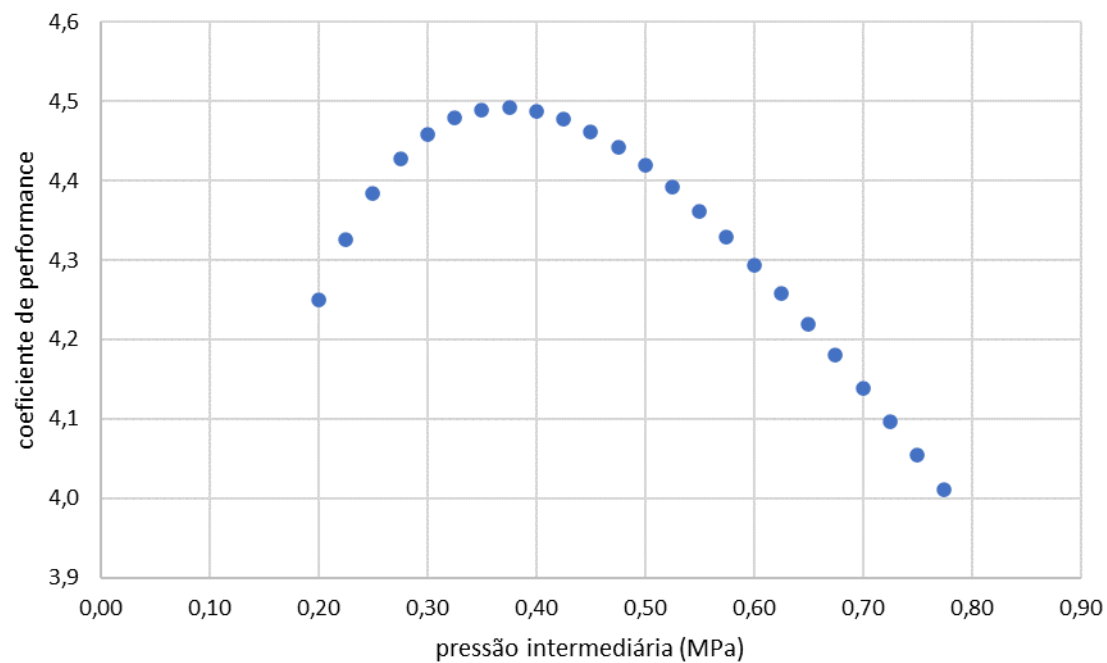
$$COP_{MF} = \frac{Q_L}{W} = \frac{146,27}{13,31 + 19,38} = 4,474$$

$$\Delta COP_{MF} = +12,7\% !!!$$

$$COP_{MF} = \frac{Q_L}{W} = 3,969$$



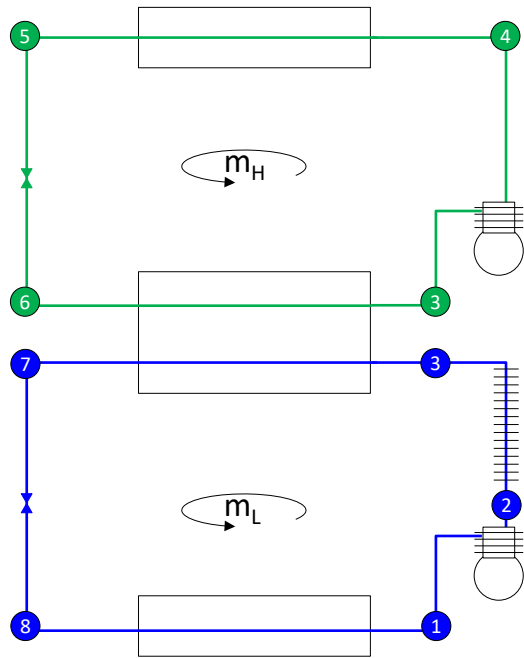
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU
1	fluid	R134a		P1	T1	h1	s1	Pint	P7	T7	h7	s7	P3	T3	h3	s3	P5	T5	h5	s5	P2	T2	h2	s2	P6	T6	h6	s6	P8	T8	h8	s8	s6	P9	T9	h9	s9	P4	T4	h4	s4	w12	w34	q45	q81	COP	
2	Pevap	0,14 MPa		0,1	-18,8	387,3	1,7	0,20	0,2	-10,1	186,6	1,0	0,2	-10,1	392,6	1,7	0,8	31,3	243,6	1,1	0,2	-8,0	394,4	1,7	0,2	-10,1	243,6	1,2	0,1	-18,8	186,6	1,0	0,3	0,2	-8,5	393,9	1,7	0,8	38,4	422,9	1,7	-5,1	-23,0	-179,3	145,1	4,249	
3	Pcond	0,8 Mpa		0,1	-18,8	387,3	1,7	0,23	0,2	-7,1	190,6	1,0	0,2	-7,1	394,4	1,7	0,8	31,3	243,6	1,1	0,2	-4,3	396,8	1,7	0,2	-7,1	243,6	1,2	0,1	-18,8	190,6	1,0	0,3	0,2	-5,0	396,2	1,7	0,8	38,3	422,8	1,7	-7,0	-26,6	-179,2	145,5	4,326	
4				0,1	-18,8	387,3	1,7	0,25	0,3	-4,3	194,3	1,0	0,3	-4,3	396,1	1,7	0,8	31,3	243,6	1,1	0,3	-1,0	399,0	1,7	0,3	-4,3	243,6	1,2	0,1	-18,8	194,3	1,0	0,2	0,3	-1,8	398,3	1,7	0,8	38,2	422,7	1,7	-8,8	-24,5	-179,1	145,8	4,384	
5				0,1	-18,8	387,3	1,7	0,28	0,3	-1,7	197,7	1,0	0,3	-1,7	397,6	1,7	0,8	31,3	243,6	1,1	0,3	2,0	400,9	1,7	0,3	-1,7	243,6	1,2	0,1	-18,8	197,7	1,0	0,2	0,3	1,2	400,2	1,7	0,8	38,1	422,7	1,7	-10,5	-22,5	-179,0	146,0	4,428	
6				0,1	-18,8	387,3	1,7	0,30	0,3	0,7	200,9	1,0	0,3	0,7	399,0	1,7	0,8	31,3	243,6	1,1	0,3	4,8	402,7	1,7	0,3	0,7	243,6	1,2	0,1	-18,8	200,9	1,0	0,2	0,3	3,9	401,9	1,7	0,8	38,1	422,6	1,7	-12,1	-20,7	-179,0	146,2	4,459	
7				0,1	-18,8	387,3	1,7	0,33	0,3	2,9	203,9	1,0	0,3	2,9	400,3	1,7	0,8	31,3	243,6	1,1	0,3	7,4	404,4	1,7	0,3	2,9	243,6	1,2	0,1	-18,8	203,9	1,0	0,2	0,3	6,5	403,6	1,7	0,8	38,1	422,6	1,7	-13,6	-19,1	-179,0	146,3	4,479	
8				0,1	-18,8	387,3	1,7	0,35	0,4	5,0	206,8	1,0	0,4	5,0	401,5	1,7	0,8	31,3	243,6	1,1	0,4	9,9	405,9	1,7	0,4	5,0	243,6	1,2	0,1	-18,8	206,8	1,0	0,2	0,4	8,9	405,1	1,7	0,8	38,1	422,6	1,7	-15,1	-17,5	-179,0	146,4	4,489	
9				0,1	-18,8	387,3	1,7	0,38	0,4	7,0	209,5	1,0	0,4	7,0	402,6	1,7	0,8	31,3	243,6	1,1	0,4	12,1	407,4	1,7	0,4	7,0	243,6	1,2	0,1	-18,8	209,5	1,0	0,2	0,4	11,2	406,5	1,7	0,8	38,1	422,6	1,7	-16,5	-16,1	-179,0	146,4	4,492	
10				0,1	-18,8	387,3	1,7	0,40	0,4	8,9	212,1	1,0	0,4	8,9	403,7	1,7	0,8	31,3	243,6	1,1	0,4	14,3	408,7	1,7	0,4	8,9	243,6	1,2	0,1	-18,8	212,1	1,1	0,2	0,4	13,4	407,9	1,7	0,8	38,1	422,6	1,7	-17,9	-14,7	-179,0	146,4	4,488	
11				0,1	-18,8	387,3	1,7	0,43	0,4	10,7	214,6	1,1	0,4	10,7	404,7	1,7	0,8	31,3	243,6	1,1	0,4	16,4	410,0	1,7	0,4	10,7	243,6	1,2	0,1	-18,8	214,6	1,1	0,2	0,4	15,5	409,2	1,7	0,8	38,1	422,7	1,7	-19,2	-13,4	-179,0	146,3	4,478	
12				0,1	-18,8	387,3	1,7	0,45	0,5	12,5	217,0	1,1	0,5	12,5	405,7	1,7	0,8	31,3	243,6	1,1	0,5	18,3	411,2	1,7	0,5	12,5	243,6	1,2	0,1	-18,8	217,0	1,1	0,1	0,5	17,5	410,4	1,7	0,8	38,2	422,7	1,7	-20,5	-12,2	-179,0	146,3	4,462	
13				0,1	-18,8	387,3	1,7	0,48	0,5	14,1	219,3	1,1	0,5	14,1	406,6	1,7	0,8	31,3	243,6	1,1	0,5	20,2	412,4	1,7	0,5	14,1	243,6	1,2	0,1	-18,8	219,3	1,1	0,1	0,5	19,4	411,6	1,7	0,8	38,2	422,7	1,7	-21,8	-11,1	-179,1	146,2	4,443	
14				0,1	-18,8	387,3	1,7	0,50	0,5	15,7	221,5	1,1	0,5	15,7	407,5	1,7	0,8	31,3	243,6	1,1	0,5	21,9	413,5	1,7	0,5	15,7	243,6	1,2	0,1	-18,8	221,5	1,1	0,1	0,5	21,2	412,8	1,7	0,8	38,3	422,8	1,7	-23,0	-10,0	-179,1	146,1	4,419	
15				0,1	-18,8	387,3	1,7	0,53	0,5	17,3	223,6	1,1	0,5	17,3	408,3	1,7	0,8	31,3	243,6	1,1	0,5	23,6	414,5	1,7	0,5	17,3	243,6	1,2	0,1	-18,8	223,6	1,1	0,1	0,5	22,9	413,8	1,7	0,8	38,3	422,8	1,7	-24,2	-9,0	-179,2	145,9	4,392	
16				0,1	-18,8	387,3	1,7	0,55	0,6	18,8	225,7	1,1	0,6	18,8	409,1	1,7	0,8	31,3	243,6	1,1	0,6	25,3	415,5	1,7	0,6	18,8	243,6	1,2	0,1	-18,8	225,7	1,1	0,1	0,6	24,6	414,9	1,7	0,8	38,3	422,9	1,7	-25,4	-8,0	-179,2	145,8	4,362	
17				0,1	-18,8	387,3	1,7	0,58	0,6	20,2	227,7	1,1	0,6	20,2	409,8	1,7	0,8	31,3	243,6	1,1	0,6	26,9	416,4	1,7	0,6	20,2	243,6	1,2	0,1	-18,8	227,7	1,1	0,1	0,6	26,3	415,9	1,7	0,8	38,4	422,9	1,7	-26,6	-7,1	-179,3	145,6	4,329	
18				0,1	-18,8	387,3	1,7	0,60	0,6	21,6	229,7	1,1	0,6	21,6	410,6	1,7	0,8	31,3	243,6	1,1	0,6	28,4	417,4	1,7	0,6	21,6	243,6	1,2	0,1	-18,8	229,7	1,1	0,1	0,6	27,8	416,8	1,7	0,8	38,5	423,0	1,7	-27,7	-6,2	-179,3	145,5	4,294	
19				0,1	-18,8	387,3	1,7	0,63	0,6	22,9	231,6	1,1	0,6	22,9	411,3	1,7	0,8	31,3	243,6	1,1	0,6	29,8	418,2	1,7	0,6	22,9	243,6	1,2	0,1	-18,8	231,6	1,1	0,1	0,6	29,4	417,8	1,7	0,8	38,5	423,1	1,7	-28,8	-5,3	-179,4	145,3	4,258	
20				0,1	-18,8	387,3	1,7	0,65	0,7	24,2	233,4	1,1	0,7	24,2	411,9	1,7	0,8	31,3	243,6	1,1	0,7	31,3	419,1	1,7	0,7	24,2	243,6	1,2	0,1	-18,8	233,4	1,1	0,1	0,7	30,9	418,7	1,7	0,8	38,6	423,1	1,7	-29,9	-4,4	-179,5	145,1	4,219	
21				0,1	-18,8	387,3	1,7	0,68	0,7	25,5	235,2	1,1	0,7	25,5	412,6	1,7	0,8	31,3	243,6	1,1	0,7	32,6	419,9	1,7	0,7	25,5	243,6	1,2	0,1	-18,8	235,2	1,1	0,0	0,7	32,3	419,5	1,7	0,8	38,6	423,2	1,7	-31,0	-3,6	-179,5	144,9	4,180	
22				0,1	-18,8	387,3	1,7	0,70	0,7	26,7	237,0	1,1	0,7	26,7	413,2	1,7	0,8	31,3	243,6	1,1	0,7	34,0	420,7	1,7	0,7	26,7	243,6	1,2	0,1	-18,8	237,0	1,1	0,0	0,7	33,7	420,4	1,7	0,8	38,7	423,2	1,7	-32,1	-2,9	-179,6	144,7	4,139	
23				0,1	-18,8	387,3	1,7	0,73	0,7	27,9	238,7	1,1	0,7	27,9	413,8	1,7	0,8	31,3	243,6	1,1	0,7	35,3	421,4	1,7	0,7	27,9	243,6	1,2	0,1	-18,8	238,7	1,2	0,0	0,7	35,1	421,2	1,7	0,8	38,8	423,3	1,7	-33,1	-2,1	-179,7	144,4	4,097	
24				0,1	-18,8	387,3	1,7	0,75	0,8	29,1	240,4	1,1	0,8	29,1	414,4	1,7	0,8	31,3	243,6	1,1	0,8	36,5	422,1	1,7	0,8	29,1	243,6	1,1	0,1	-18,8	240,4	1,2	0,0	0,8	36,4	422,0	1,7	0,8	38,8	423,4	1,7	-34,2	-1,4	-179,7	144,2	4,055	
25				0,1	-18,8	387,3	1,7	0,78	0,8	30,2	242,0	1,1	0,8	30,2	414,9	1,7	0,8	31,3	243,6	1,1	0,8	37,8	422,8	1,7	0,8	30,2	243,6	1,1	0,1	-18,8	242,0	1,2	0,0	0,8	37,7	422,8	1,7	0,8	38,9	423,5	1,7	-35,2	-0,7	-179,8	143,9	4,011	



$$COP_{MF,max} = 4,492$$

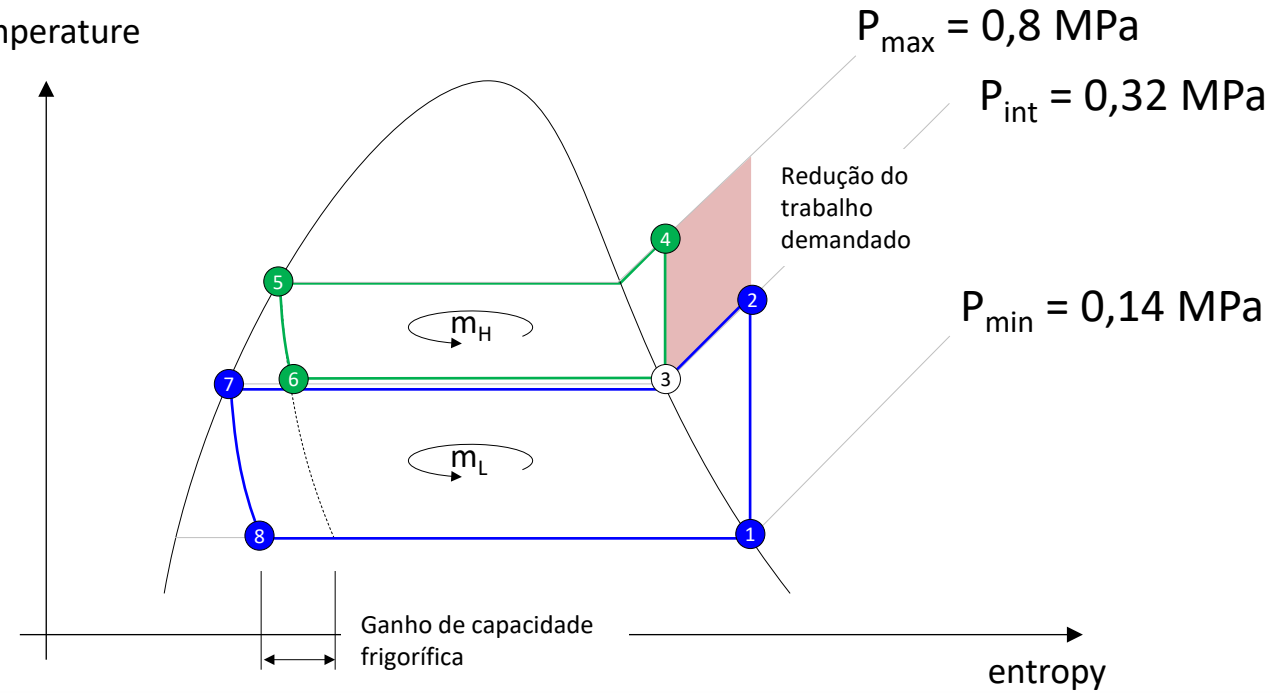
$$@ P_{int} = 0,38 \text{ MPa}$$

Ciclos de refrigeração especializados...



- Determinar m_H/m_L
- Determinar COP

temperature



12: R134a: Saturation points (at equilibrium)

	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Liquid Density (kg/m³)	Vapor Density (kg/m³)	Liquid Volume (m³/kg)	Vapor Volume (m³/kg)	Liquid Int. Energy (kJ/kg)	Vapor Int. Energy (kJ/kg)	Liquid Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Entropy (kJ/kg-K)
1	-18,760	1,4000	1354,5	7,1353	0,00073830	0,14015	175,14	367,70	175,24	387,32	0,90656	1,7402
2	2,4768	3,2000	1286,5	15,721	0,00077727	0,063611	203,09	379,69	203,34	400,04	1,0121	1,7257
3	31,327	8,0000	1182,2	39,025	0,00084585	0,025625	242,97	394,96	243,65	415,46	1,1497	1,7140
4												

14: R134a: Specified state points

	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Density (kg/m³)	Volume (m³/kg)	Int. Energy (kJ/kg)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)	Quality (kg/kg)
1	6,9150	3,2000	15,365	0,065084	383,23	404,06	1,7402	Superheated
2	34,679	8,0000	38,191	0,026184	398,08	419,03	1,7257	Superheated
3	2,4768	3,2000	73,235	0,013655	239,28	243,65	1,1583	0,20495
4	-18,760	1,4000	52,063	0,019208	200,65	203,34	1,0170	0,13248
5								

$$\left. \begin{aligned} Q_{reg} &= m_L \cdot (h_3 - h_7) \\ Q_{reg} &= m_H \cdot (h_3 - h_6) \end{aligned} \right\} \frac{m_L}{m_H} = \frac{(h_3 - h_6)}{(h_3 - h_7)} \stackrel{\text{def}}{=} \alpha$$

$$\alpha = \frac{404 - 244}{400 - 203} = 0,795$$

$$W_{12} = m_L \cdot (h_2 - h_1) \quad Q_{81} = m_L \cdot (h_1 - h_8)$$

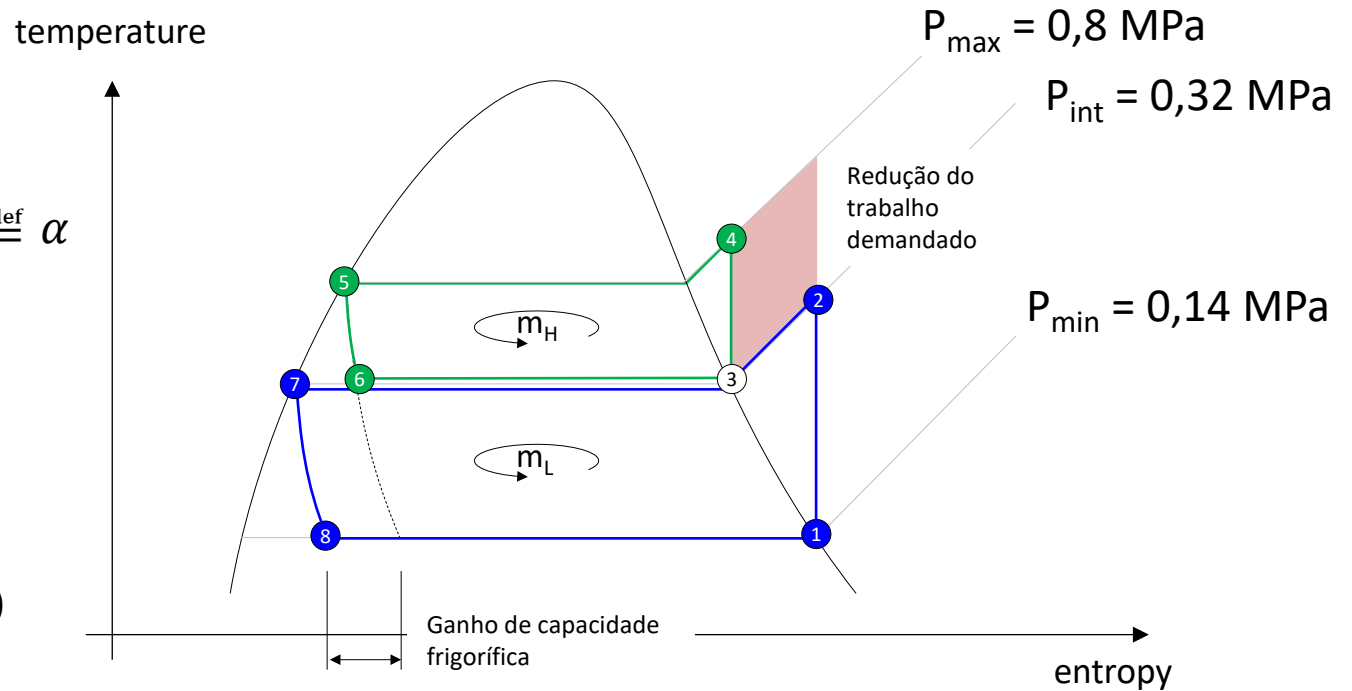
$$W_{34} = m_H \cdot (h_4 - h_3)$$

$$COP = \frac{Q_{81}}{W_{12} + W_{34}} = \frac{m_L \cdot (h_1 - h_8)}{m_L \cdot (h_2 - h_1) + m_H \cdot (h_4 - h_3)} = \frac{\alpha \cdot (h_1 - h_8)}{\alpha \cdot (h_2 - h_1) + (h_4 - h_3)}$$

$$COP = \frac{0,795 \cdot (387 - 203)}{0,795 \cdot (404 - 387) + (419 - 400)} = 4,529 \frac{kW \text{ de refrigeração}}{kW \text{ de eletricidade}}$$

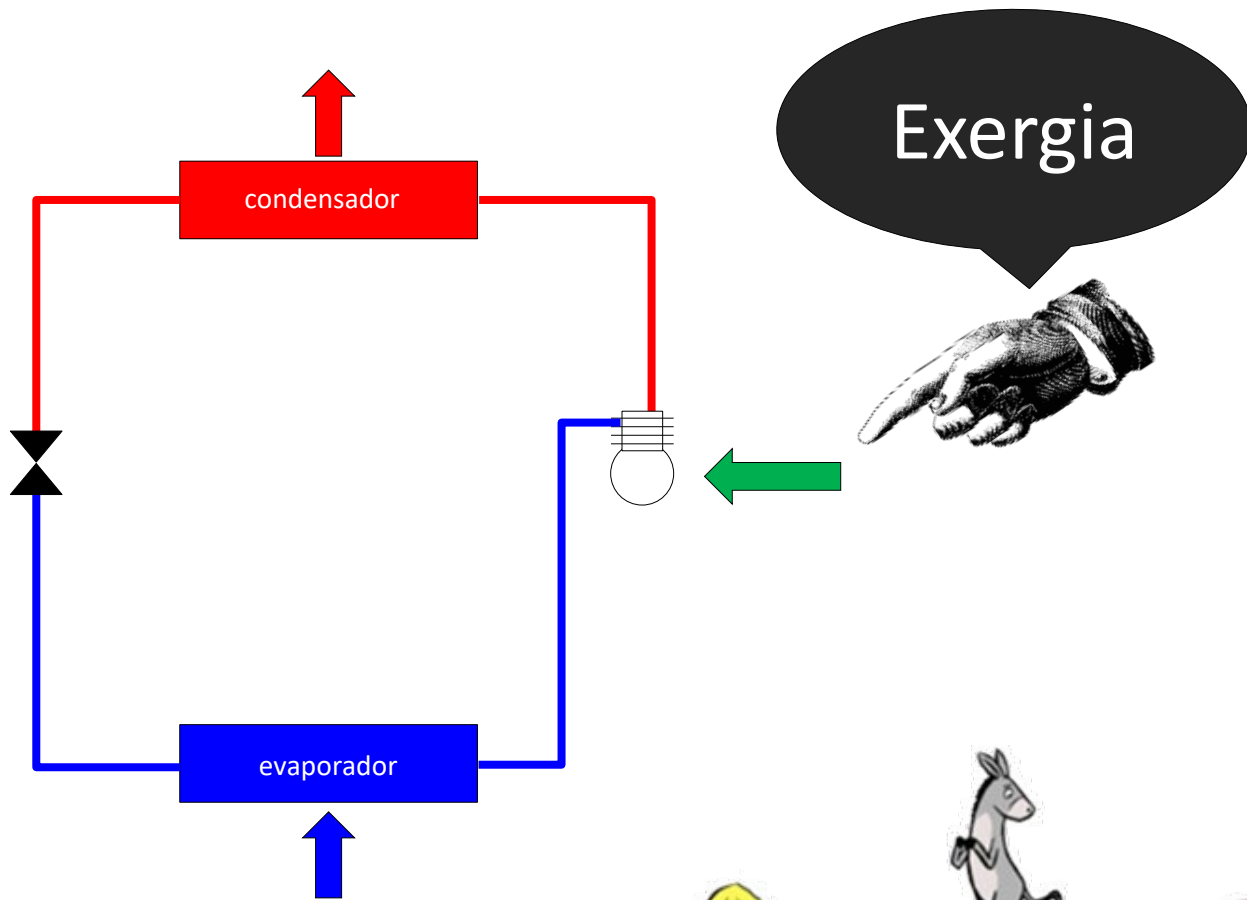
$$COP_{MF} = \frac{Q_L}{W} = 3,969$$

$$COP_{MF,max} = 4,492$$



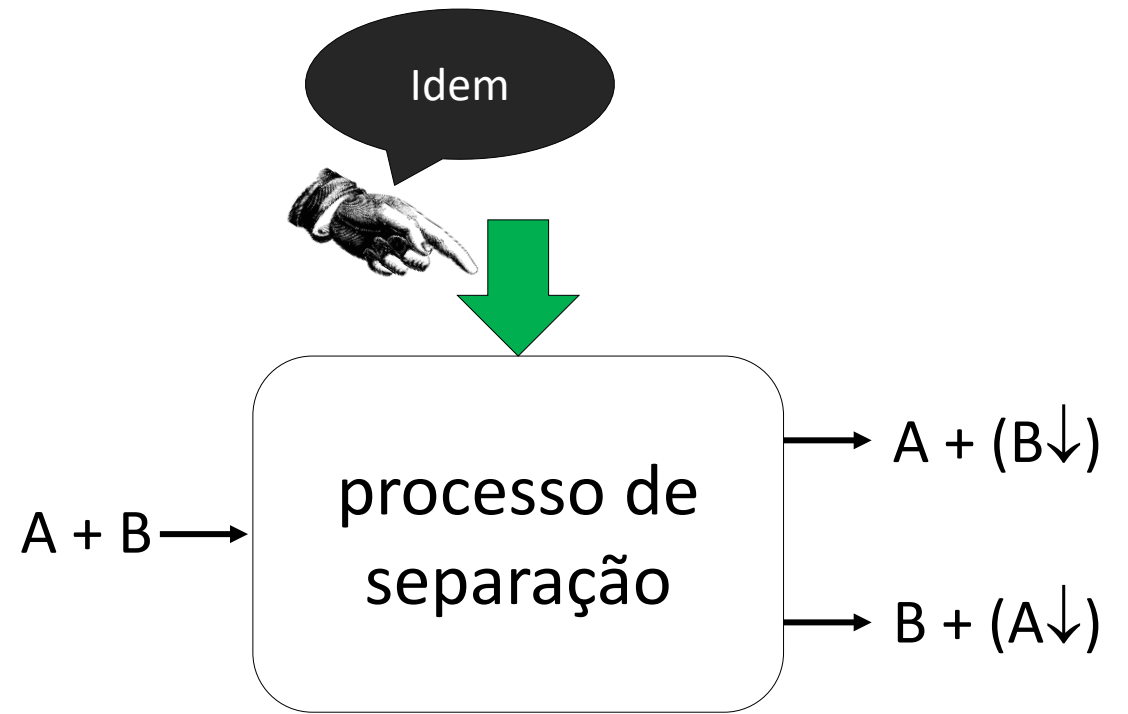
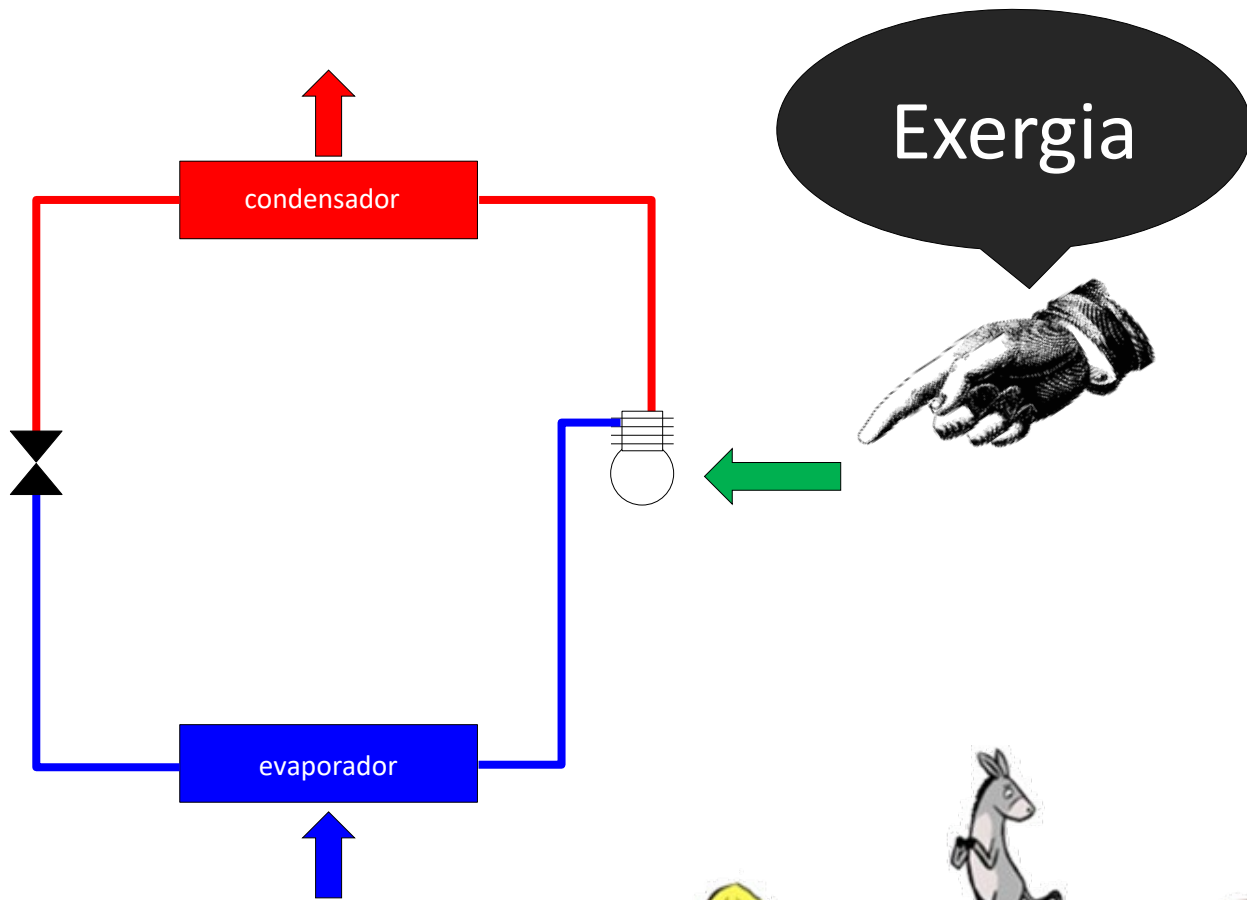
Questão: $P_{int} = 0,32 \text{ MPa}$ é a ideal ?

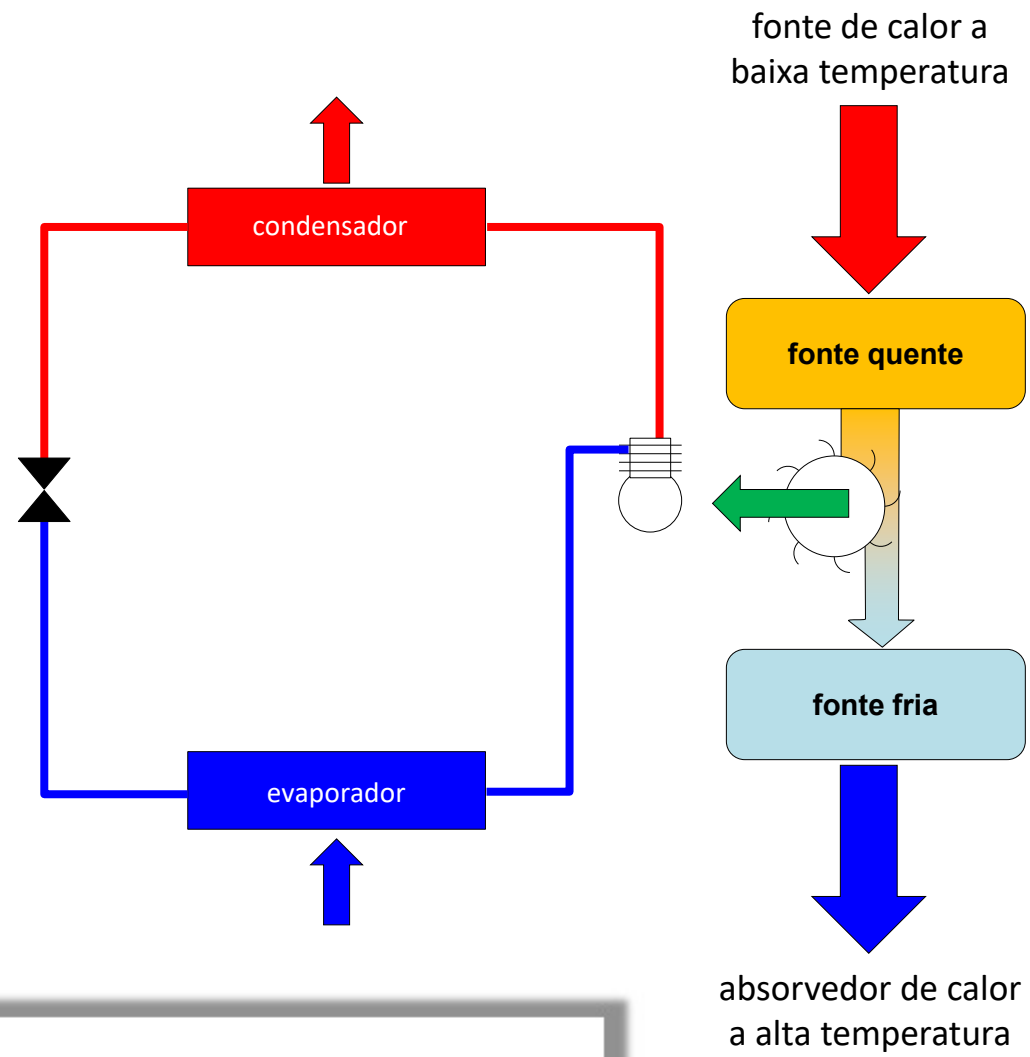
Ciclos frigoríficos passivos... .. "sort of" !



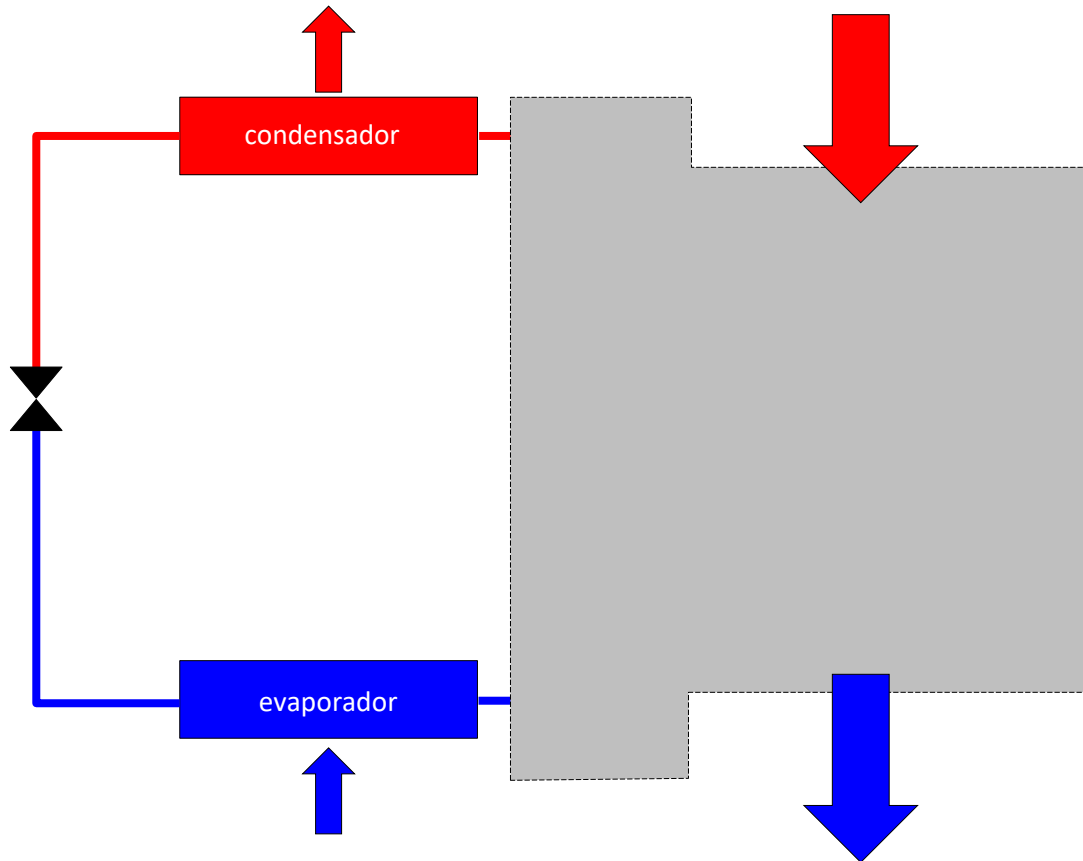
... "sort of" !



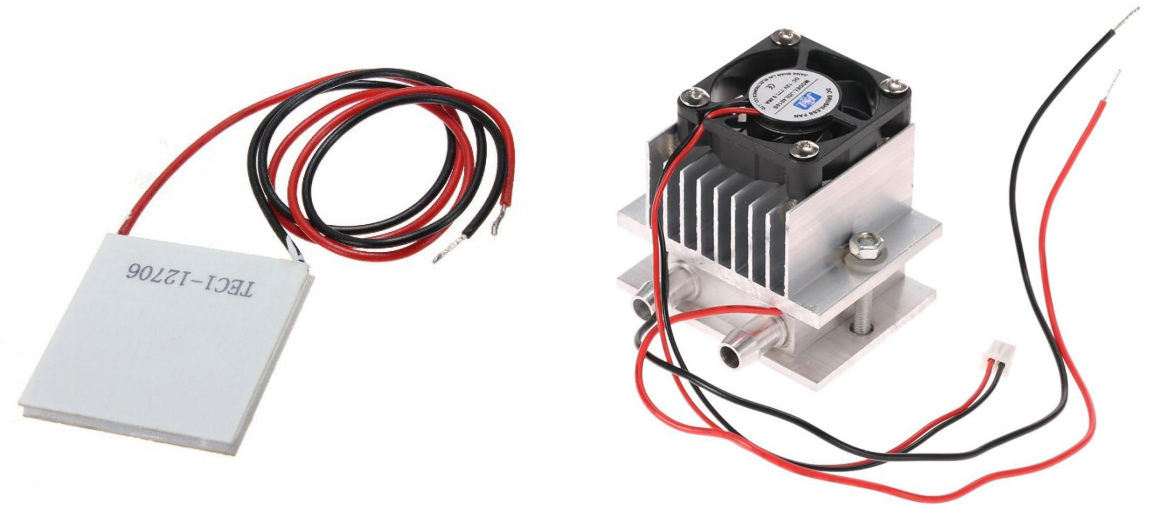


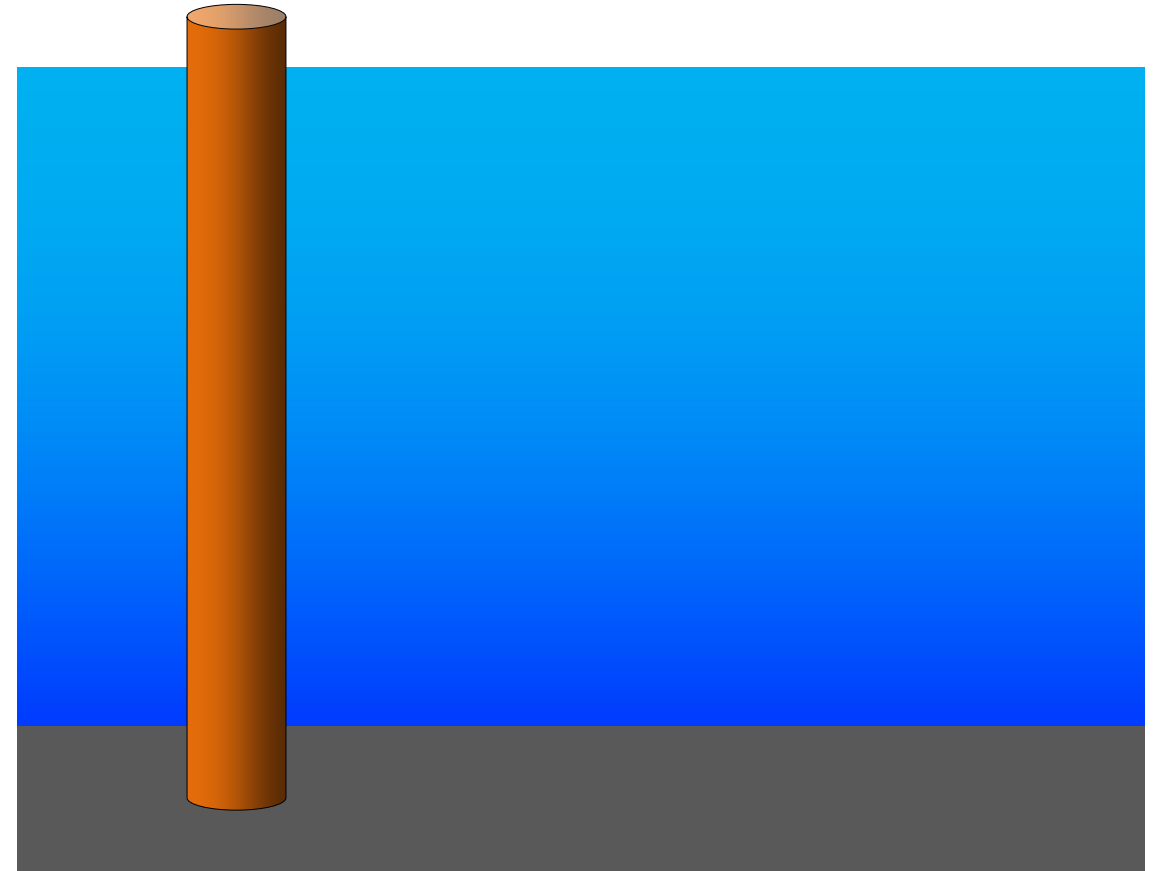
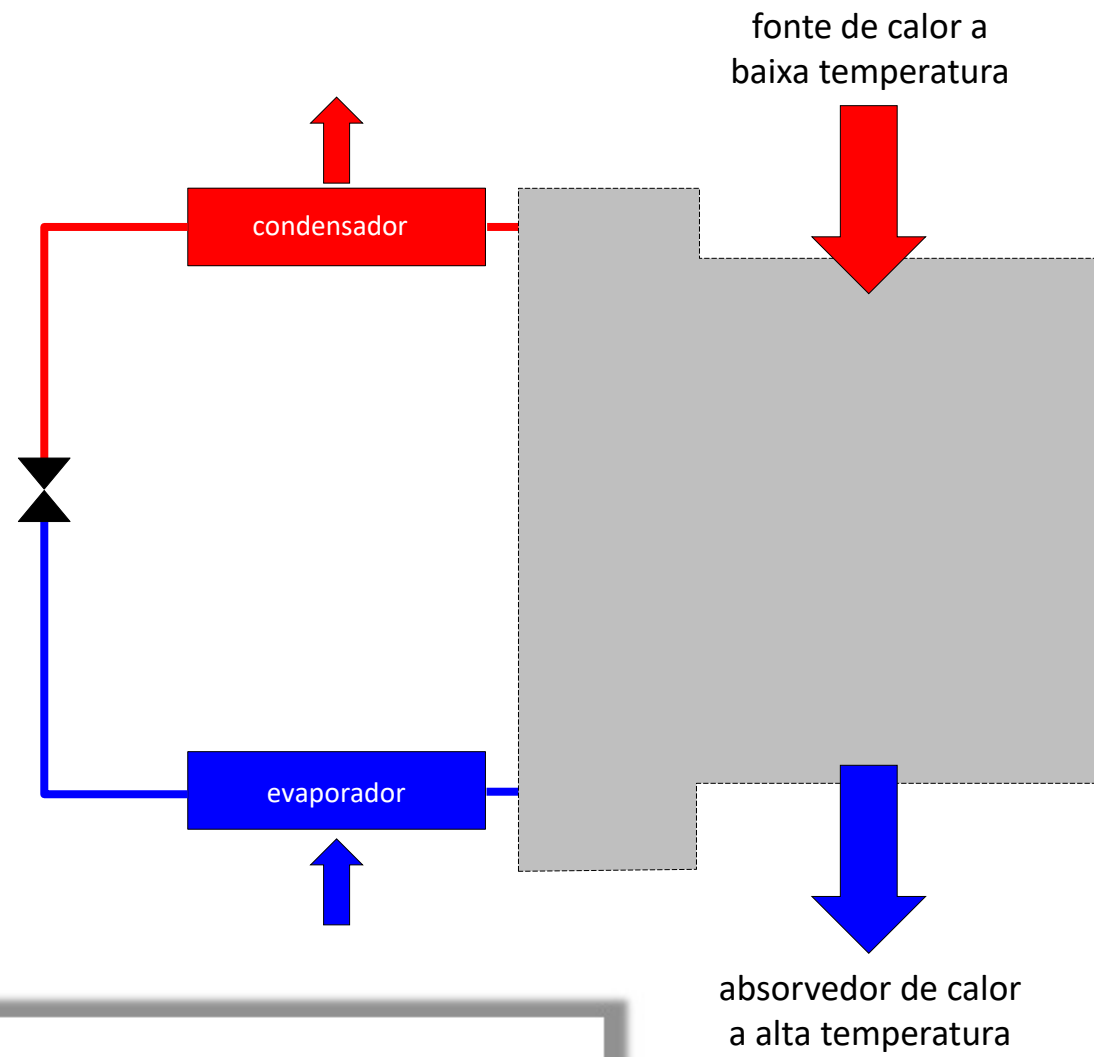


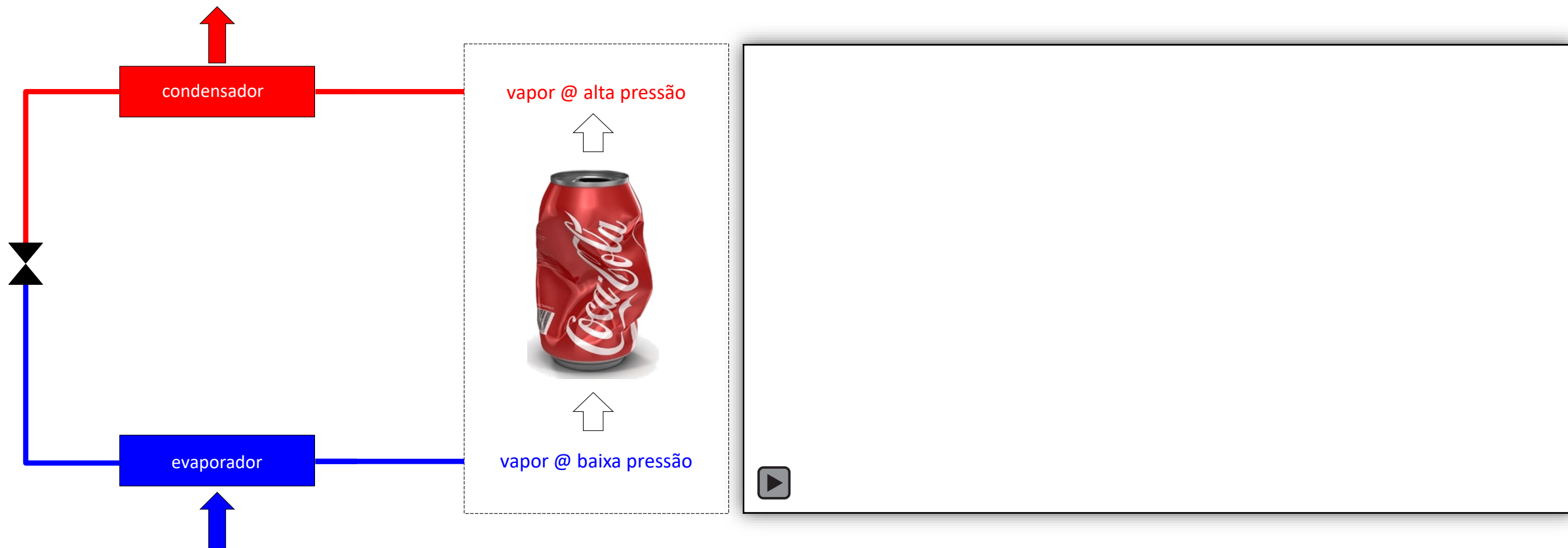
fonte de calor a
baixa temperatura



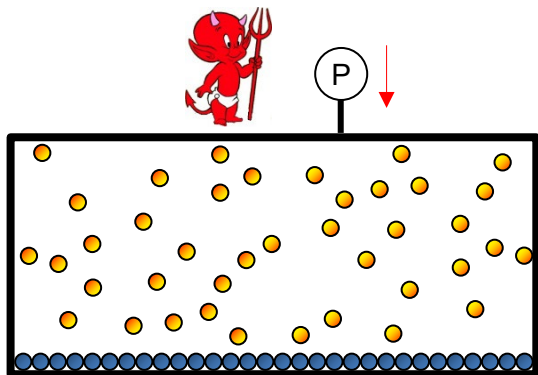
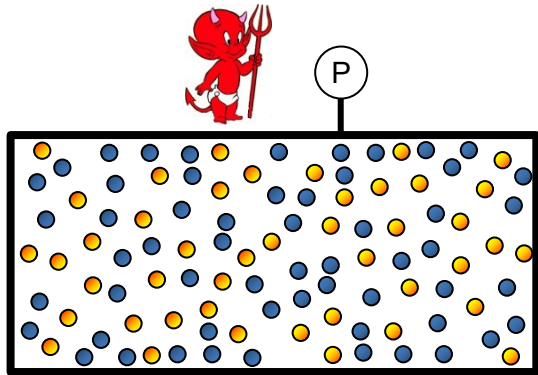
absorvedor de calor
a alta temperatura







**É possível substituir o sistema
eletromecânico por um sistema químico
(absorção) ??????**

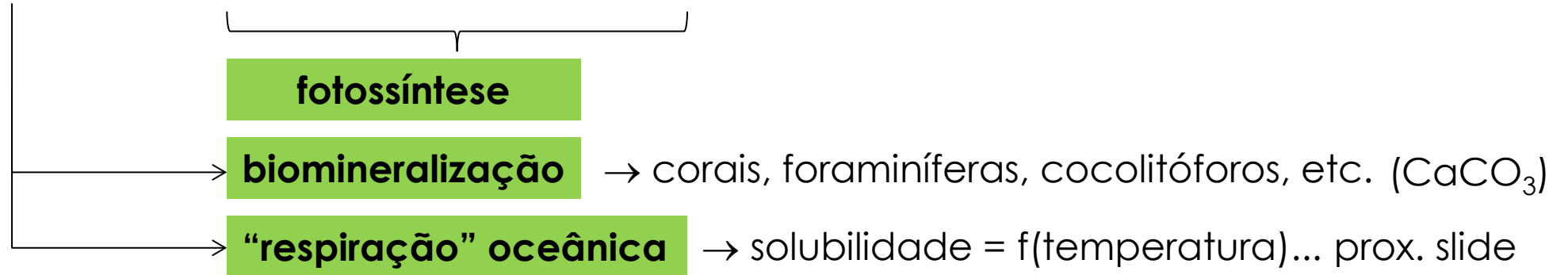


$$P_{\text{total}} = P_{\text{yellow}} + P_{\text{blue}}$$

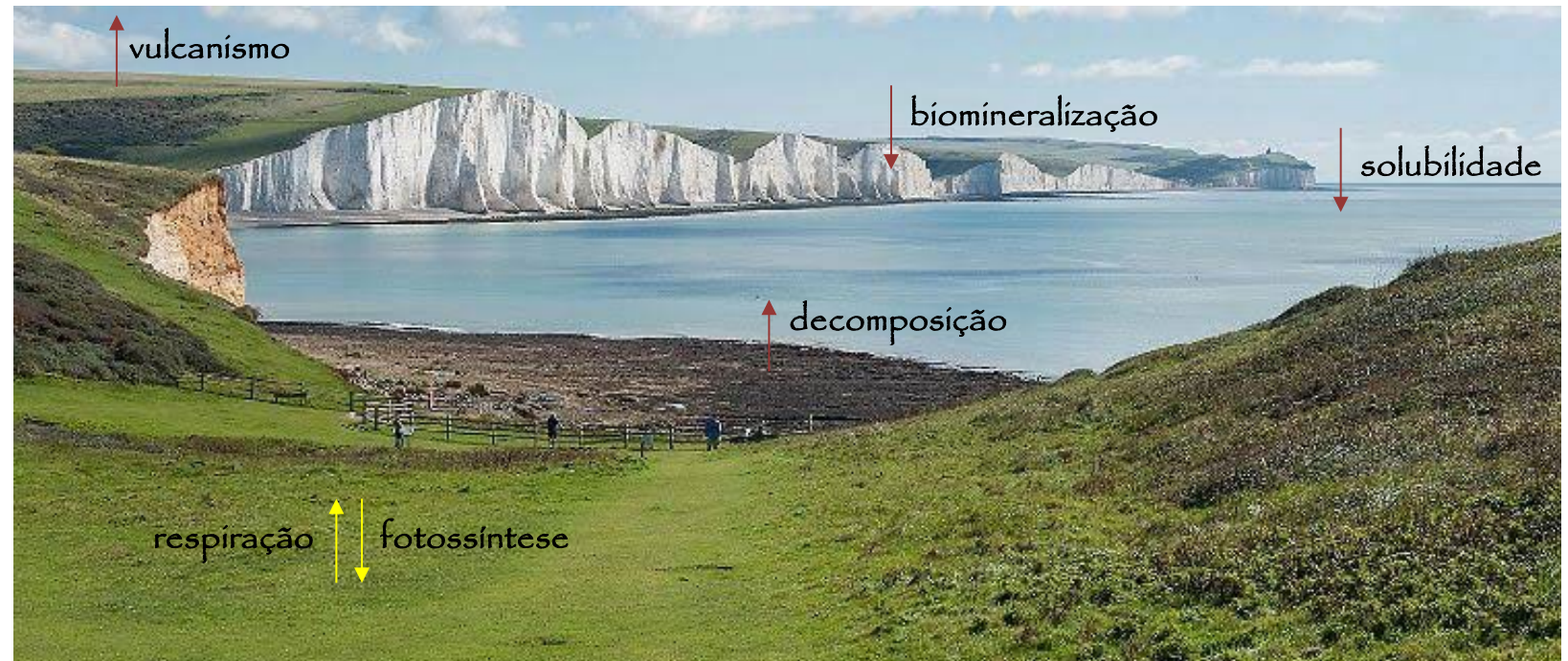
MYTHBUSTERS

PRINCIPAIS MECANISMOS DE EMISSÃO E SEQUESTRO DE CO₂

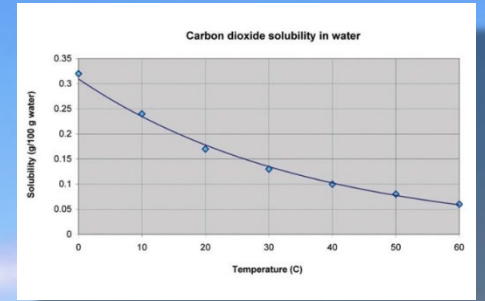
dióxido de carbono → carbono + água + luz → biomassa vegetal → biomassa não vegetal



850 Gt
38.000 Gt
100.000.000 Gt

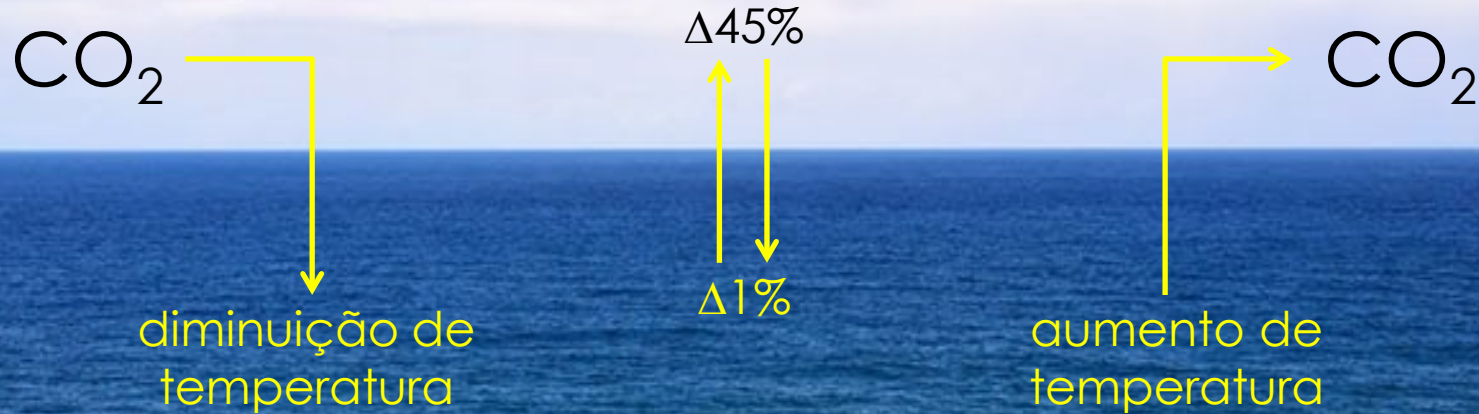


SEQUESTRO DE CO₂ POR DE SOLUBILIDADE



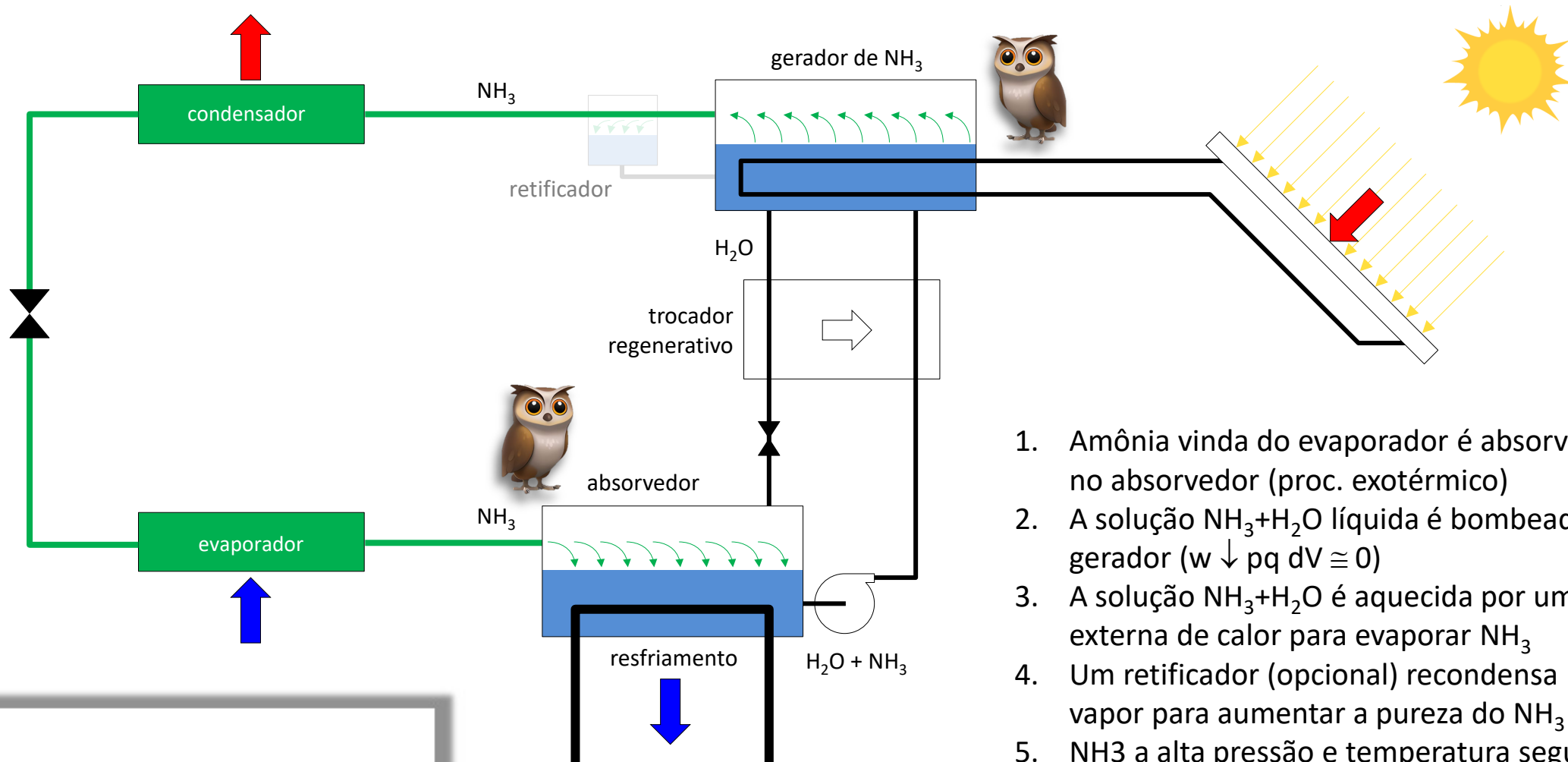
850 Gt de C na forma de CO₂ @ ~400ppm

1,8 Gt de C / ano



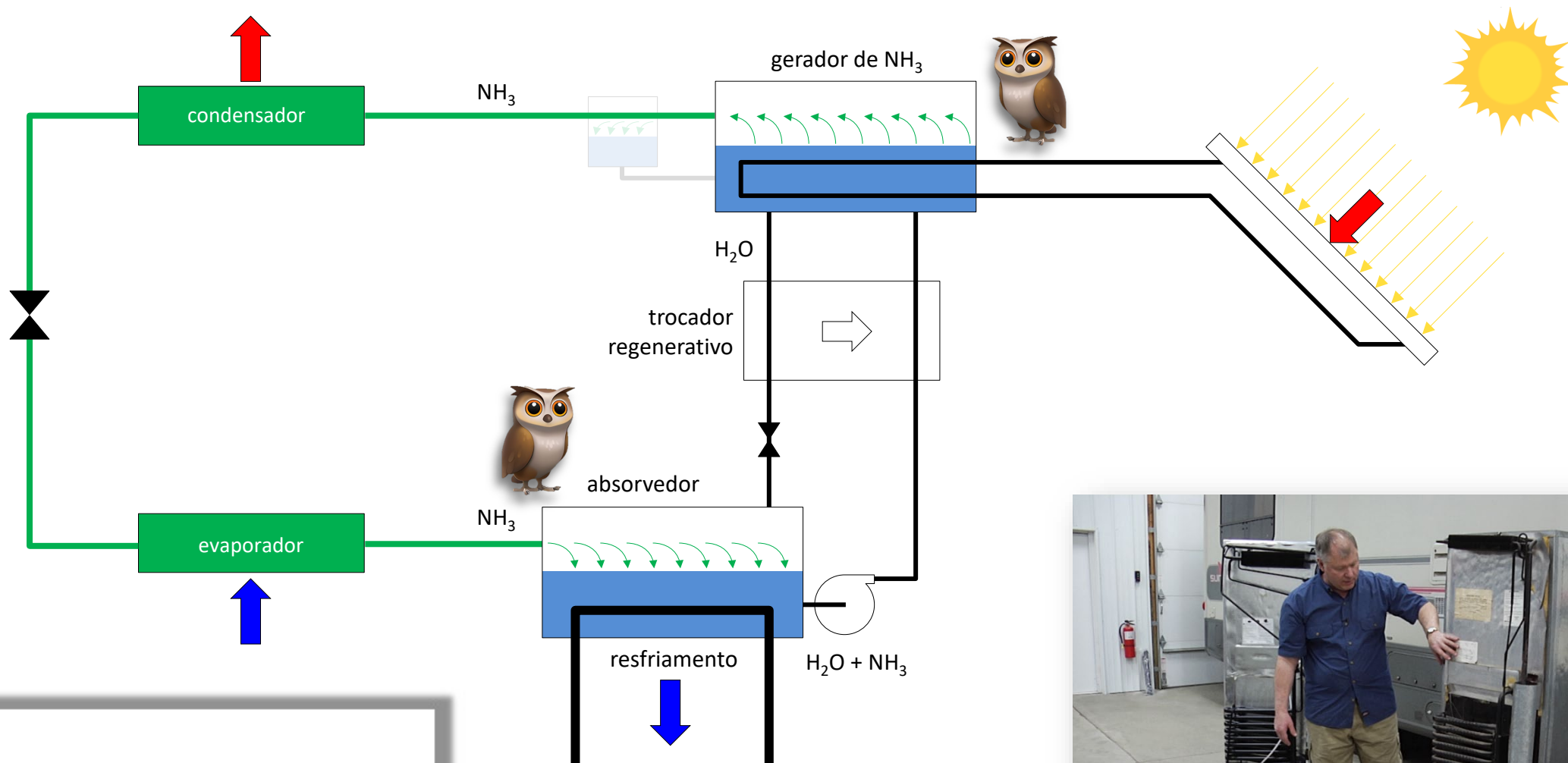
38.000 Gt de C dissolvido ← **bomba de solubildade**

100.000.000 Gt de C em rochas carbonáceas ← **bomba biológica**

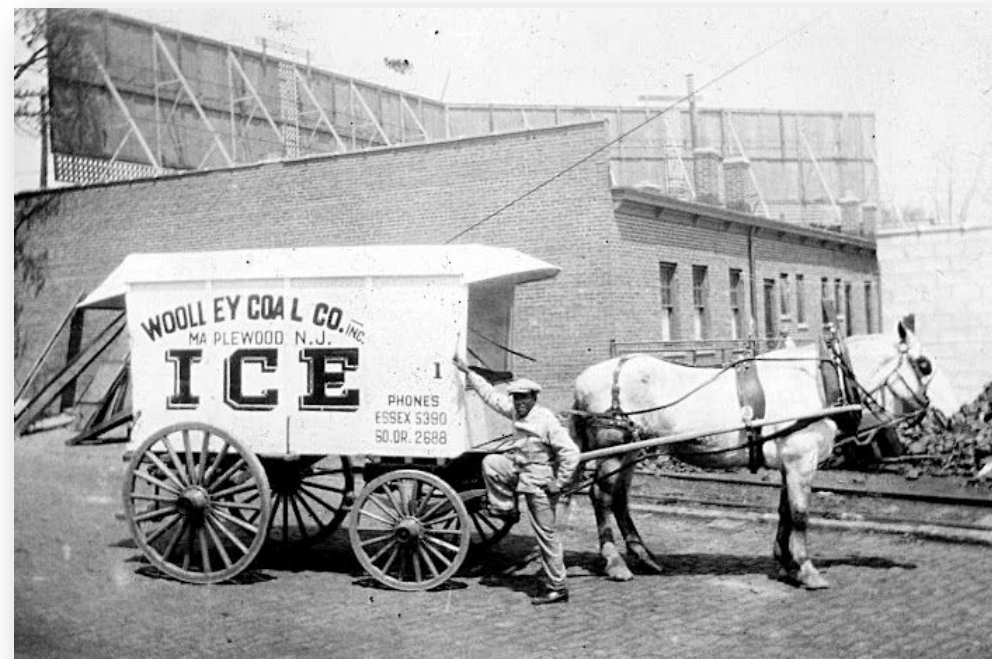
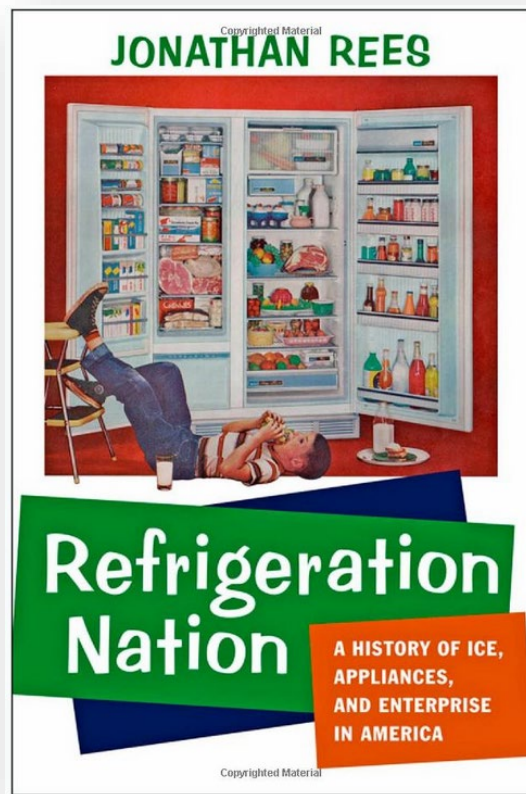


Geladeira solar ?!

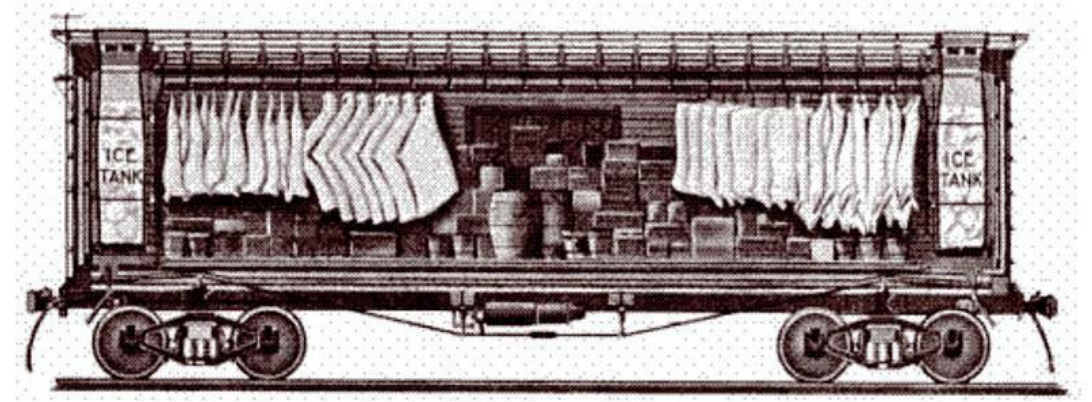
1. Amônia vinda do evaporador é absorvida pela água no absorvedor (proc. exotérmico)
2. A solução NH₃+H₂O líquida é bombeada para o gerador ($w \downarrow$ pq $dV \cong 0$)
3. A solução NH₃+H₂O é aquecida por uma fonte externa de calor para evaporar NH₃
4. Um retificador (opcional) recondensa parte do vapor para aumentar a pureza do NH₃
5. NH₃ a alta pressão e temperatura segue para o condensador da MF
6. Água contendo um pouco de NH₃ retorna ao absorvedor passando por um trocador regenerativo, sendo despressurizado numa válvula



Em sistemas mais complexos (NH₃ + H₂ + H₂O) a pressão total é cte e a bomba pode ser substituída por um termosifão



integrou mercados de
produção de carne (texas)
com o consumo (new york)



Curso de Termodinâmica

CICLOS A VAPOR **parte 2/2**



aula 13/20