



PECE Programa de
Educação Continuada
Escola Politécnica da USP



ERG-009 - FUNDAMENTOS DE TERMODINÂMICA E CICLOS DE POTÊNCIA

Aula 3

Professor:

José R. Simões-Moreira, Ph.D.

e-mail: jrsimoes@usp.br

sem respostas



**ESPECIALIZAÇÃO EM
ENERGIAS RENOVÁVEIS, GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**



Tabela A.5 — Propriedades de vários gases perfeitos a 25 °C e 100 kPa*

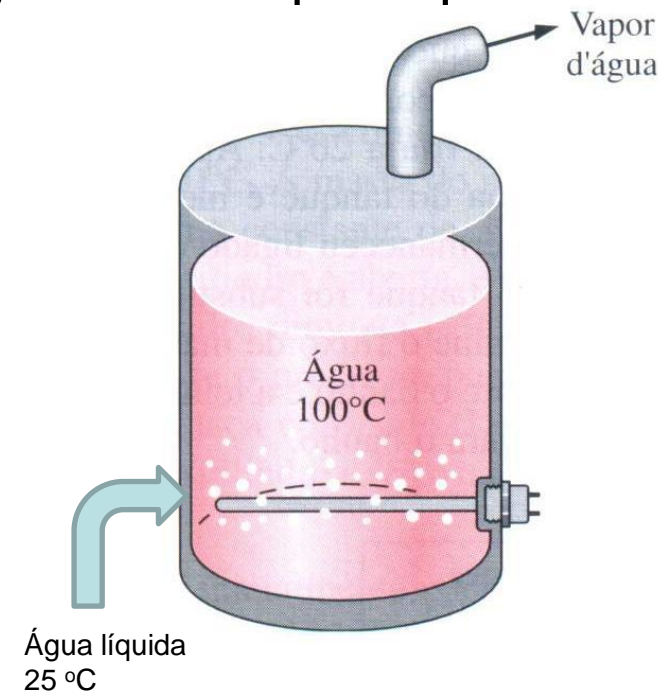
Gás	Fórmula química	Peso molecular	R kJ/kg K	c_{p0} kJ/kg K	c_{v0} kJ/kg K	k
Acetileno	C_2H_2	26,038	0,3193	1,6986	1,3793	1,231
Ar		28,97	0,2870	1,0035	0,7165	1,400
Amônia	NH_3	17,031	0,48819	2,1300	1,6418	1,297
Argônio	Ar	39,948	0,20813	0,5203	0,3122	1,667
Butano	C_4H_{10}	58,124	0,14304	1,7164	1,5734	1,091
Dióxido de Carbono	CO_2	44,01	0,18892	0,8418	0,6529	1,289
Monóxido de Carbono	CO	28,01	0,29683	1,0413	0,7445	1,400
Etano	C_2H_6	30,07	0,27650	1,7662	1,4897	1,186
Etanol	C_2H_5OH	46,069	0,18048	1,427	1,246	1,145
Etileno	C_2H_4	28,054	0,29637	1,5482	1,2518	1,237
Hélio	He	4,003	2,07703	5,1926	3,1156	1,667
Hidrogênio	H_2	2,016	4,12418	14,2091	10,0849	1,409
Metano	CH_4	16,04	0,51835	2,2537	1,7354	1,299
Metanol	CH_3OH	32,042	0,25948	1,4050	1,1455	1,227
Neônio	Ne	20,183	0,41195	1,0299	0,6179	1,667
Nitrogênio	N_2	28,013	0,29680	1,0416	0,7448	1,400
Óxido nítrico	NO	30,006	0,2771	0,993	0,716	1,387
Óxido nitroso	N_2O	44,013	0,18891	0,8793	0,6904	1,274
<i>n</i> -Octano	C_8H_{18}	114,23	0,07279	1,7113	1,6385	1,044
Oxigênio	O_2	31,999	0,25983	0,9216	0,6618	1,393
Propano	C_3H_8	44,097	0,18855	1,6794	1,4909	1,126
R-12	CCl_2F_2	120,914	0,06876	0,616	0,547	1,126
R-22	$CHClF_2$	86,469	0,09616	0,658	0,562	1,171
R-32	CF_2H_2	52,024	0,1598	0,822	0,662	1,242
R-125	CHF_2CF_3	120,022	0,06927	0,791	0,721	1,097
R-134a	CF_3CH_2F	102,03	0,08149	0,852	0,771	1,106
Vapor d'água	H_2O	18,015	0,46152	1,8723	1,4108	1,327
Dióxido de enxofre	SO_2	64,059	0,12979	0,6236	0,4938	1,263
Trióxido de enxofre	SO_3	80,058	0,10386	0,6346	0,5307	1,196

* ou na pressão de saturação se esta for menor do que 100 kPa



Exemplo 1

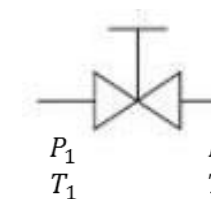
- Uma pequena caldeira produz vapor de água saturado a 100 °C por meio de uma resistência elétrica de 3 kW de potência. A água evaporada é reposta no estado líquido a 25 °C , como indicado. Determine a taxa de evaporação da água, sabendo que a pressão é normal.





Exemplo 2

- Refrigerante R134a no estado líquido saturado deixa uma unidade condensadora a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ e passa por uma válvula, reduzindo sua pressão para $415,8\text{ kPa}$. Desprezando a variação de energia cinética que ocorre no processo, determine o título após a válvula.





Exemplo 3

Instalações de potência geotérmicas captam fontes subterrâneas de água quente ou vapor d'água para a produção de eletricidade. Uma dessas instalações recebe água quente pressurizada a 10 bar e 160°C. Determine: (a) a taxa de calor por unidade de massa que pode ser recuperado se essa água for resfriada até 25°C; (b) Agora, suponha, que essa água sofra um processo de estrangulamento por meio de uma válvula até a pressão de 1 bar. Qual a fração de vapor de água saturado que pode ser obtido?



Exemplo 4

Um gás ideal se expande em uma turbina adiabática (isolada termicamente) de 1200 K, 600 kPa até 700 K. Determine a vazão volumétrica na entrada da turbina, em m^3/s , necessária para a produção de uma potência de 200 kW no eixo da turbina. Os valores médios dos calores específicos desse gás no intervalo da temperatura do problema são $C_p=1,13 \text{ kJ/kg.K}$ e $C_v=0,83 \text{ kJ/kg.K}$. $R=0,30 \text{ kJ/kg.K}$



Exemplo 5

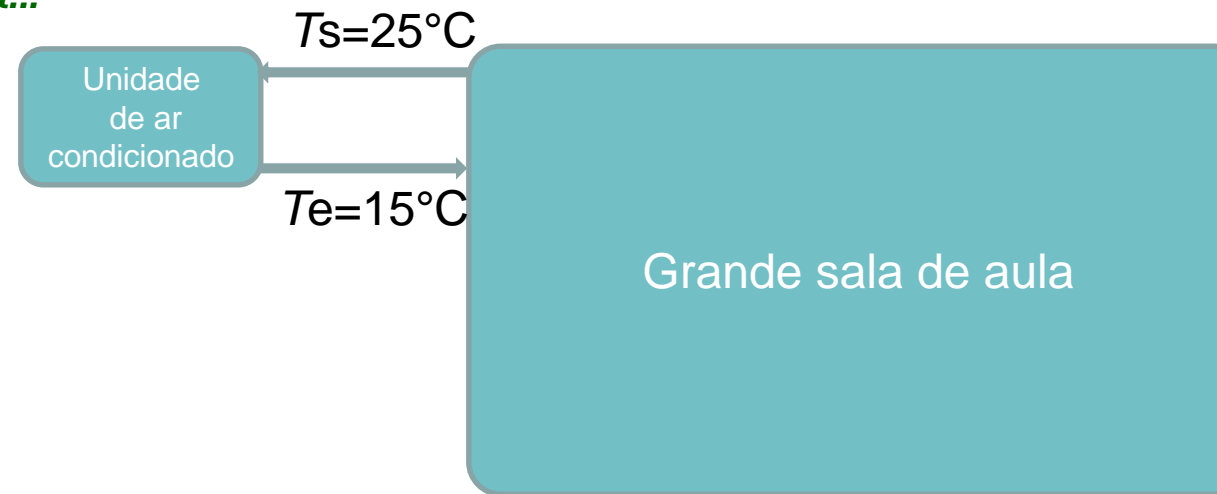
- Considere uma grande sala de aula em pleno Verão com 150 alunos, cada um dissipando 60 W de taxa de calor sensível (só aquecimento, sem evaporação da água*). Todas as luzes, com 6,0 kW de potência nominal, são mantidas acesas. A sala não tem paredes externas, e, portanto, o ganho de calor através das paredes e do teto é desprezível. Ar condicionado está disponível a 15°C, e a temperatura do ar de retorno não deve exceder 25°C. Determine o fluxo de massa de ar, em kg/s, que precisa ser fornecido para a sala para manter constante a temperatura média da sala. Qual a vazão volumétrica de ar nas condições de insuflamento?



(*) Os seres humanos também produzem “calor latente” associado com a energia (entalpia) de evaporação da água



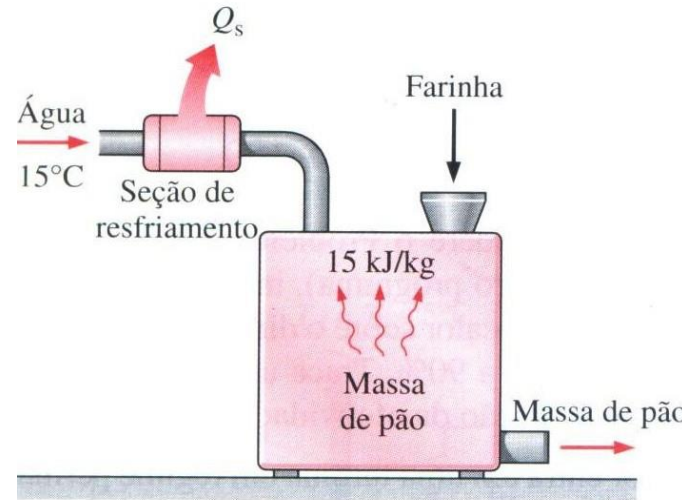
Exemplo 5 – cont...





Exemplo 6

Calor de hidratação da massa de pão, que é de 15 kJ/kg de pão, eleva a sua temperatura até níveis indesejados, a menos que algum mecanismo de resfriamento seja utilizado. Um modo prático de absorver o calor de hidratação é usar água fria no processamento da massa. Se uma receita pede a mistura de 2 kg de farinha para cada 1 kg de água, e a temperatura da água da cidade é de 15°C , determine a temperatura até a qual a água da cidade deve ser resfriada antes da mistura para que ela absorva todo o calor da hidratação quando a temperatura da água subir para 15°C . Assuma os calores específicos da farinha e da água como $1,76$ e $4,18 \text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}$, respectivamente e que a massa de pão e a farinha estejam também a 15°C .



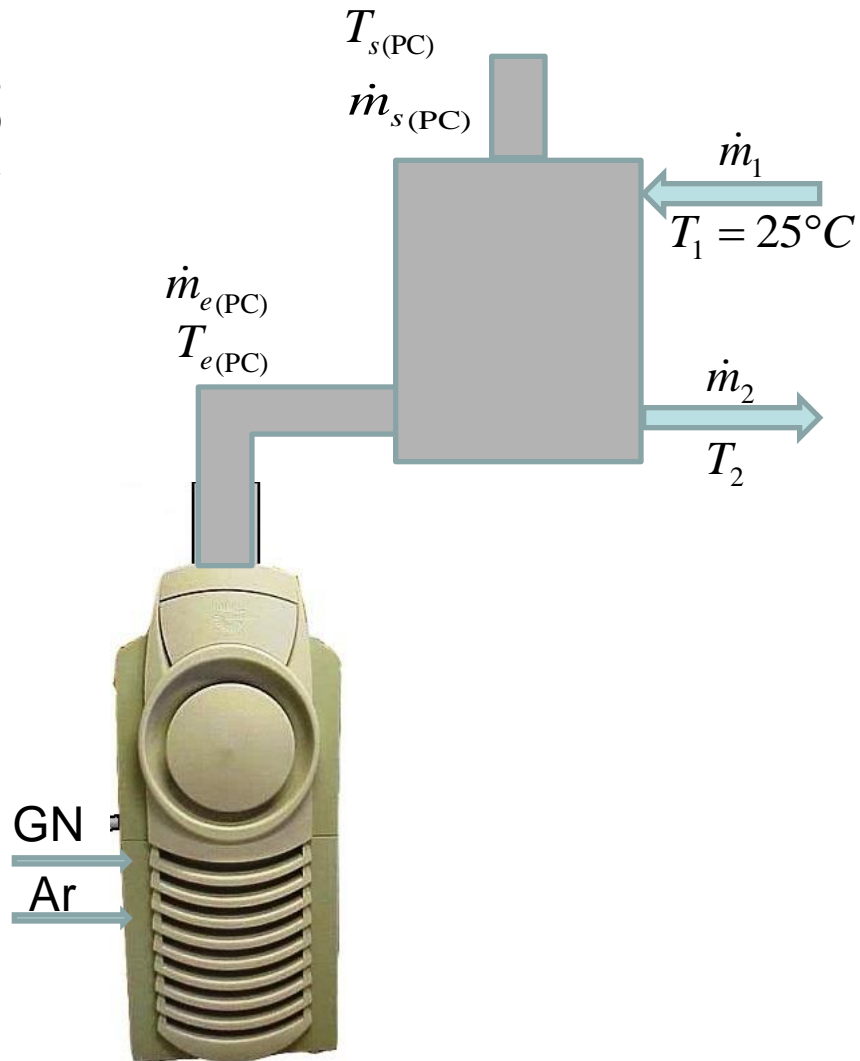


Exemplo 7

Considere uma microturbina a gás natural, cujos dados operacionais consultados no catálogo do fabricante são: vazão mássica e temperatura de saída da turbina, $0,31 \text{ kg/s}$ e 275 °C , respectivamente. Pede-se:

- A) a vazão de água quente que pode ser produzida se a água sair a $T_2=80\text{°C}$ e os produtos de combustão saírem a $T_{s(PC)}=50\text{°C}$
- B) a vazão de vapor produzido se o mesmo for vapor saturado a 115°C e a temperatura de saída dos produtos de combustão $T_{s(PC)}$. Admita temperatura de pinça de 10 °C .
- C) a vazão de vapor produzido se o mesmo for vapor saturado a 140°C e a temperatura de saída dos produtos de combustão $T_{s(PC)}$. Admita temperatura de pinça de 10 °C .
- D) a vazão de ar quente produzido

•Dados: $C_{p \text{ ar}}=1,005 \text{ kJ/kg.K}$
 $C_{p \text{ água}}= 4,18 \text{ kJ/kg.K}$





Exemplo 8

Considere um motor de combustão interna (MCI), cujos dados operacionais consultados no catálogo do fabricante são: vazão e Temperatura de saída na saída da MCI, 0,026 kg/s e 500°C, respectivamente

$$C_{p \text{ ar}} = 1,005 \text{ kJ/kg.K}$$

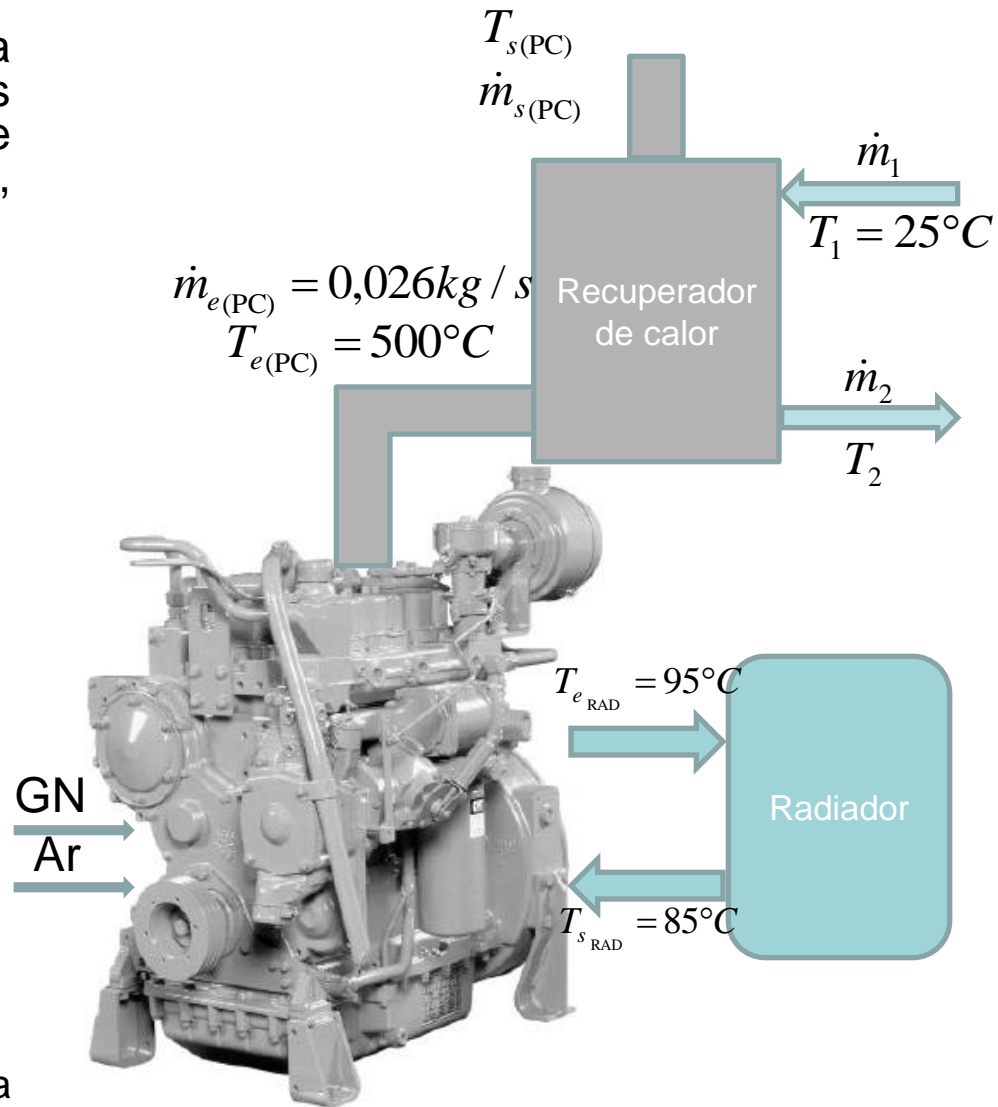
$$C_{p \text{ água}} = 4,18 \text{ kJ/kg.K}$$

A) a vazão de água quente que pode ser produzida se a água sair a $T_2 = 80^\circ\text{C}$ se os produtos de combustão saem a $T_{s(PC)} = 50^\circ\text{C}$

B) a vazão de vapor produzido se o mesmo for vapor saturado a 115°C e a temperatura de saída dos produtos de combustão $T_{s(PC)}$. Admita temperatura de pinça de 10°C .

C) a vazão de vapor produzido se o mesmo for vapor saturado a 140°C e a temperatura de saída dos produtos de combustão $T_{s(PC)}$. Admita temperatura de pinça de 10°C .

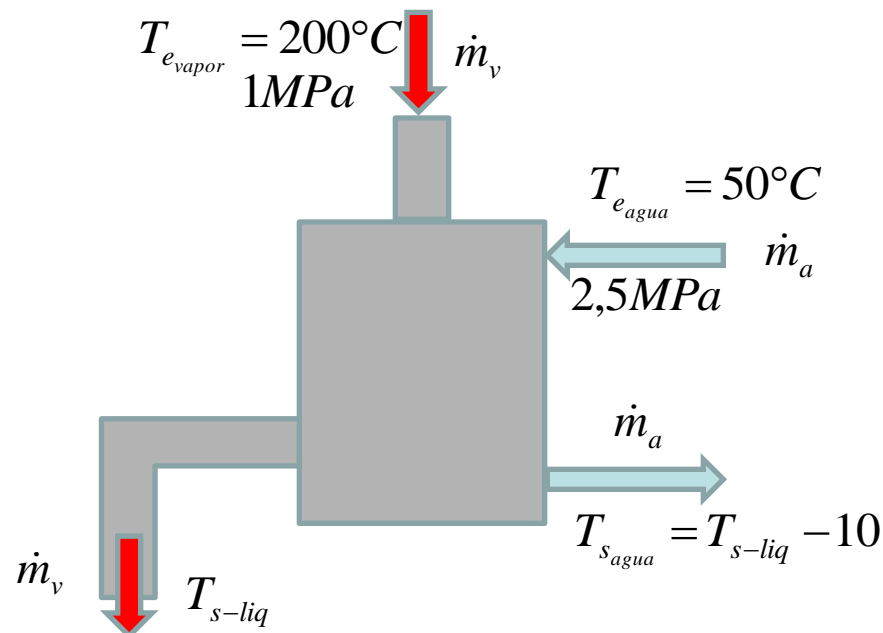
D) calcule a vazão de água do radiador, cuja a potência térmica dissipada é de 10 kW





Exemplo 9

Nas grandes usinas de potência a vapor, a água de alimentação é freqüentemente aquecida em um aquecedor de água de alimentação usando vapor de água extraído de uma turbina em algum estágio. Vapor de água entra no aquecedor de água de alimentação a 1 MPa e 200°C e sai como líquido saturado à mesma pressão. A água de alimentação entra no aquecedor a 2,5 MPa e 50°C e sai a 10°C abaixo da temperatura de saída do vapor d'água. Determine a razão entre os fluxos de massa do vapor de extração e da água de alimentação.





Exemplo 10

Um compressor de ar adiabático deve ser acionado por acoplamento direto com uma turbina a vapor adiabática que também está acionando um gerador. O vapor de água entra na turbina a 12,5 MPa e 500 °C à vazão de 25 kg/s e sai a 10 kPa e título de 0,92. O ar entra no compressor a 98 kPa e 295 K à uma vazão de 10 kg/s e sai a 1 MPa e 620 K. Determine a potência líquida fornecida ao gerador pela turbina.

