

MÁQUINAS TÉRMICAS

PROPRIEDADES DE UMA SUBSTÂNCIA PURA

Substância Pura

É aquela que tem composição química invariável e homogênea.

Pode existir em mais de uma fase.

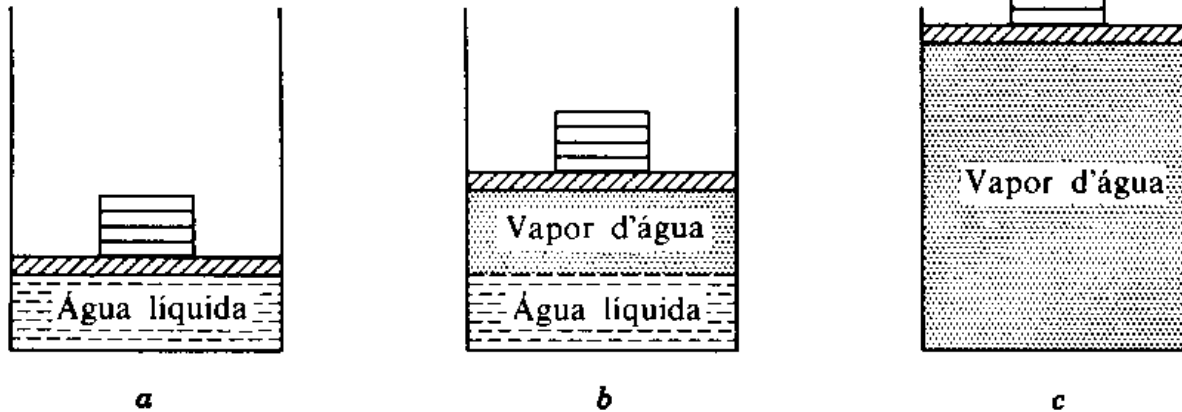
Água líquida + vapor ou água líquida + gelo.

Ar líquido + ar gasoso não é uma substância pura (composições diferentes).

Como uma mistura gasosa pode exibir, desde que não haja mudança de fase, algumas características de uma substância pura ela é considerada como tal.

MÁQUINAS TÉRMICAS

Equilíbrio de Fases de uma Substância Pura



a. $P = 0,1 \text{ MPa}$ e $T = 15 \text{ °C}$ — calor $\rightarrow P = \text{cte}; T = \uparrow$; vol.espec. = \uparrow

b. $P = 0,1 \text{ MPa}$ e $T = 99,6 \text{ °C}$ — calor \rightarrow mudança de fase: $P = \text{cte}; T = \text{cte}$; vol.espec. = \uparrow

c. $P = 0,1 \text{ MPa}$ e vapor — calor $\rightarrow P = \text{cte}; T \uparrow > 99,6 \text{ °C}$; vol.espec. = \uparrow

$T = 99,6 \text{ °C}$ — Temperatura de saturação a $P = 0,1 \text{ MPa}$.

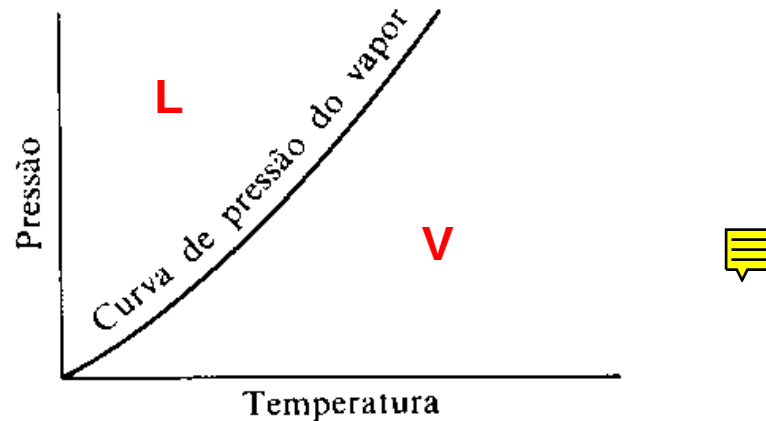
$P = 0,1 \text{ MPa}$ — Pressão de saturação a $T = 99,6 \text{ °C}$.



Substância pura tem uma relação definida entre pressão de saturação e temperatura de saturação.

MÁQUINAS TÉRMICAS

Curva de Pressão de Vapor de uma Substância Pura



Líquido saturado - líquido a temperatura e pressão de saturação.

Líquido sub-resfriado - temperatura do líquido mais baixa que a temperatura de saturação.

Líquido comprimido – pressão maior que a pressão de saturação.

Vapor saturado - vapor a temperatura e pressão de saturação.

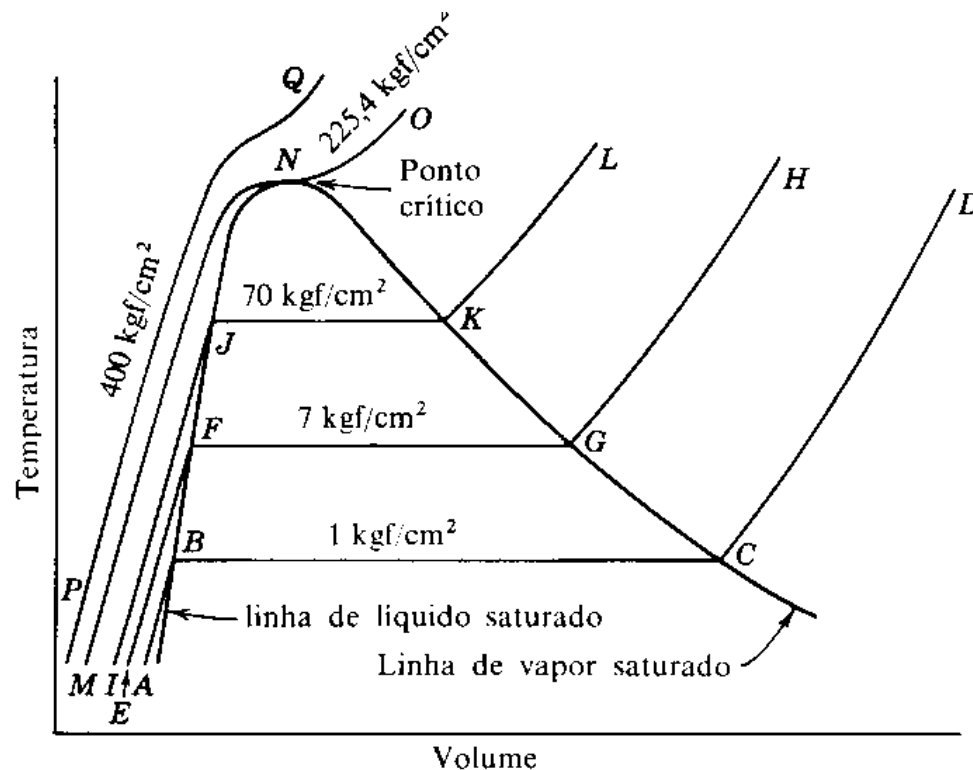
Vapor superaquecido - temperatura do vapor mais alta que a temperatura de saturação.

Saturação: Mistura = $x\%$ (m) de vapor + $(1-x)\%$ (m) água – x = título (steam quality).

Vapor superaquecido - temperatura e pressão são independentes.

Gases são vapores altamente superaquecidos.

MÁQUINAS TÉRMICAS



Pressão constante = 0,1 MPa

A – estado inicial (15 °C).

B – líquido saturado (100 °C).

AB – Processo de aquecimento até saturação.

C – Vapor saturado.

BC – Processo de mudança de fase ($T = \text{cte}$).

CD – Processo de superaquecimento do vapor.

Pressão constante = 0,7 MPa

E – estado inicial (15 °C); volume pouco menor.

F – líquido saturado (164,2 °C).

EF – Processo de aquecimento até saturação.

G – Vapor saturado.

FG – Energia ($F \rightarrow G$) < ($B \rightarrow C$)

GH – Processo de superaquecimento do vapor.

MÁQUINAS TÉRMICAS



Pressão constante = 70 kgf/cm^2

Linha IJKL – Temp. saturação = $284,5 \text{ °C}$

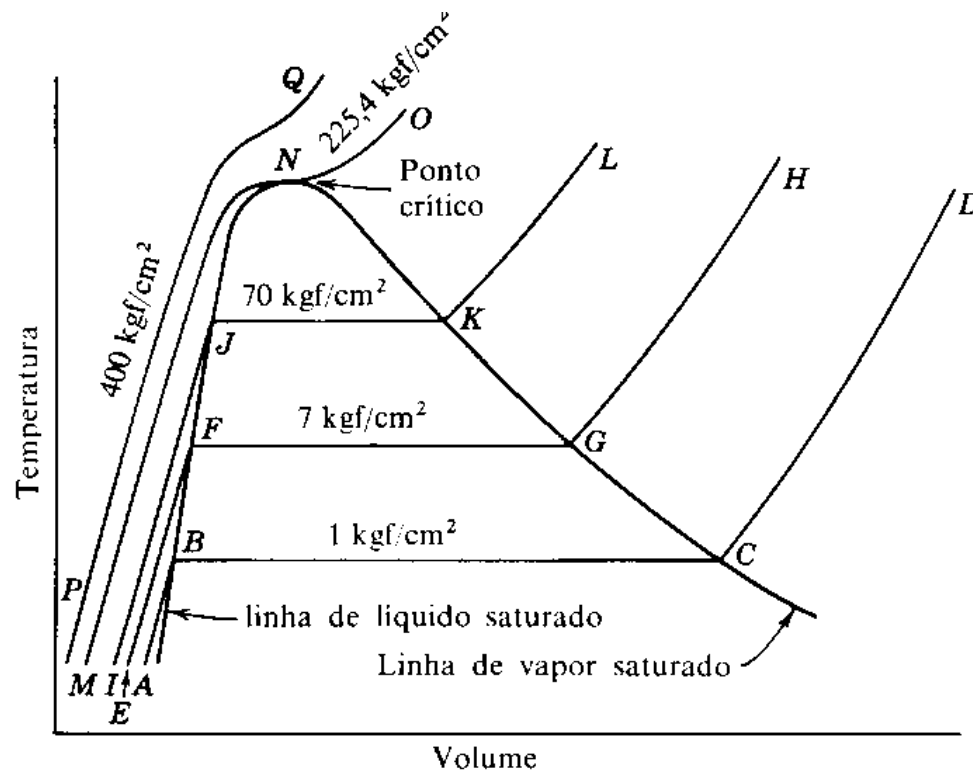
Pressão constante = $225,4 \text{ kgf/cm}^2$

A linha MNO não é de evaporação a temperatura constante, mas o ponto N é um ponto de inflexão com inclinação nula.

N – Ponto crítico; os estados de líquido saturado e vapor saturado são idênticos.

$$P_{\text{crítico}} = 225,4 \text{ kgf/cm}^2 ; T_{\text{crítico}} = 374 \text{ °C}$$

Um processo a pressão constante maior que a pressão crítica é representado pela linha PQ. Nunca haverá duas fases presentes: quando teremos líquido e quando teremos vapor?



MEC 011

MÁQUINAS TÉRMICAS

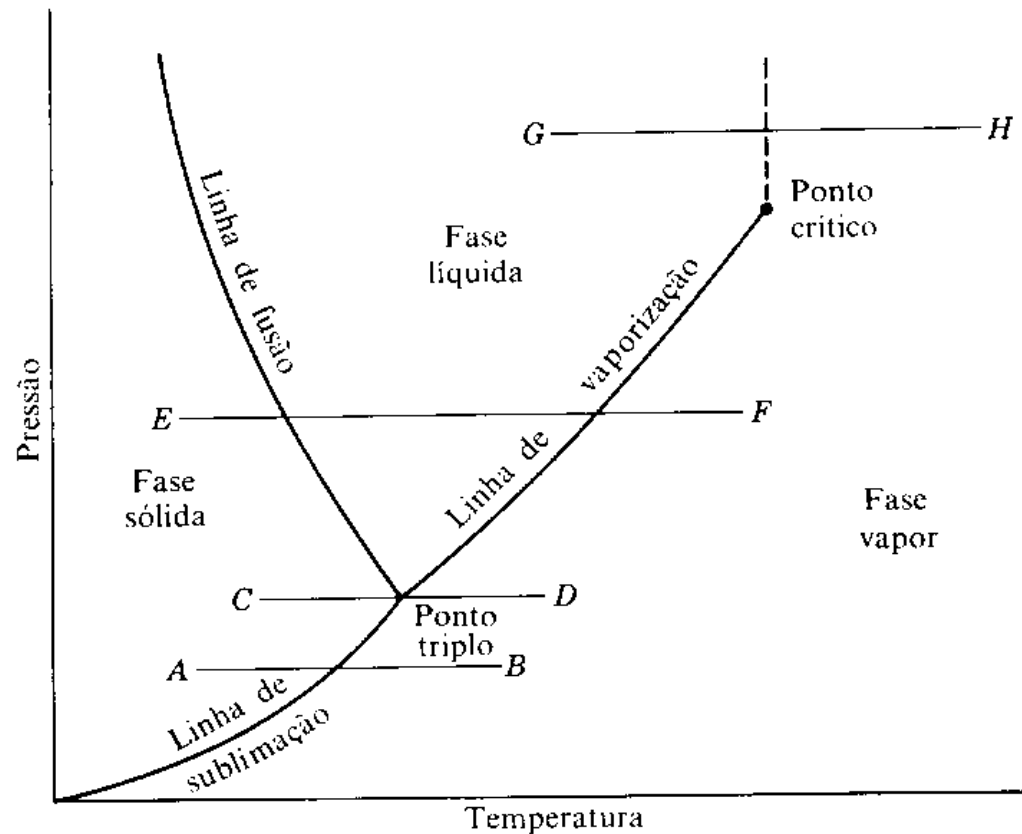
Alguns dados no ponto crítico

	Temperatura crítica, °C	Pressão crítica, MPa	Volume crítico, m³/kg
Água	374,14	22,09	0,003155
Dióxido de carbono	31,05	7,39	0,002143
Oxigênio	-118,35	5,08	0,002438
Hidrogênio	-239,85	1,30	0,032192



Equilíbrio sólido – líquido – vapor

Ponto Triplo da Água.



MÁQUINAS TÉRMICAS

Consideremos uma experiência com o conjunto êmbolo-cilindro. Suponhamos que o cilindro contenha 1 kg de gelo à -20°C e 100 kPa.

Quando calor é transferido ao gelo, a pressão permanece constante, o volume específico aumenta ligeiramente e a temperatura cresce até atingir 0°C , ponto no qual o gelo funde enquanto a temperatura permanece constante. Linha EF.

Nesse estado o gelo é denominado sólido saturado.

O volume específico da maioria das substâncias cresce durante o processo de fusão mas a água é uma exceção. O volume específico da água líquida é menor do que o volume específico da água sólida.

Quando todo o gelo tiver fundido, qualquer transferência de calor adicional provoca um aumento na temperatura do líquido.

Se a pressão inicial do gelo a -20°C for 0,260 kPa, uma transferência de calor ao gelo resulta primeiramente num aumento da temperatura até -10°C . Neste ponto, entretanto, o gelo passa diretamente da fase sólida para a de vapor, num processo conhecido como sublimação. Qualquer transferência de calor adicional implica no superaquecimento do vapor. Linha AB.

MÁQUINAS TÉRMICAS

Consideremos que a pressão e a temperatura iniciais do gelo sejam iguais a 0,6113 kPa e -20°C . Linha CD.

Como resultado da transferência de calor, a temperatura cresce até $0,01^{\circ}\text{C}$. Entretanto, ao atingir esse ponto (denominado ponto triplo), qualquer transferência adicional de calor poderá resultar numa parte do gelo passando a líquido e outra passando a vapor (neste ponto é possível a existência das três fases em equilíbrio).

O ponto triplo é definido como o estado no qual as três fases podem coexistir em equilíbrio.

A pressão e a temperatura do ponto triplo, para algumas substâncias puras, estão apresentadas na Tabela a seguir. [Slide 10](#)

Ao longo da linha de sublimação, as fases sólida e vapor estão em equilíbrio, ao longo da linha de fusão as fases sólida e líquida estão em equilíbrio e ao longo da linha de vaporização estão em equilíbrio as fases líquida e vapor. O único ponto no qual todas as três fases podem existir em equilíbrio é o ponto triplo. A linha de vaporização termina no ponto crítico porque não existe uma distinção clara entre as fases líquida e vapor acima deste ponto.

Na linha GH, não existe distinção entre as fases líquida e vapor.

MÁQUINAS TÉRMICAS

Alguns dados no ponto triplo

	Temperatura, °C	Pressão, kPa
Hidrogênio (normal)	-259	7,194
Oxigênio	-219	0,15
Nitrogênio	-210	12,53
Mercúrio	-39	0,000 000 13
Água	0,01	0,611 3
Zinco	419	5,066
Prata	961	0,01
Cobre	1083	0,000 079

A temperatura absoluta do hidrogênio, nas condições ambientes, é da ordem de 20 vezes maior do que sua temperatura crítica.

MÁQUINAS TÉRMICAS

A temperatura crítica da água é $374,14\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($647,29\text{ K}$).

Assim, na condição ambiente, a temperatura da água é menor do que a metade da temperatura crítica.

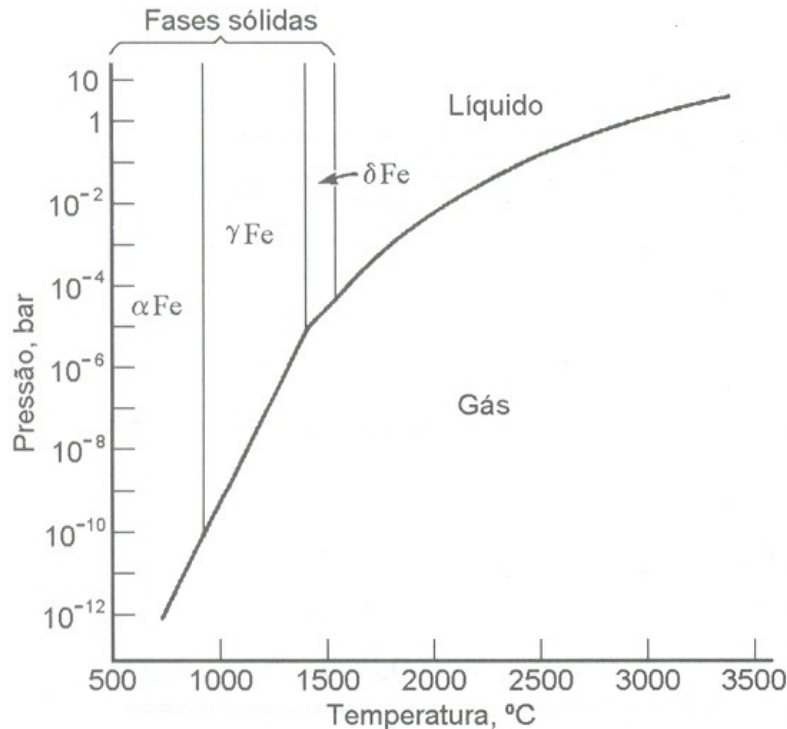
A maioria dos metais apresenta temperatura crítica muito mais alta do que a da água.

Ao se considerar o comportamento de uma substância num dado estado, é sempre interessante comparar este dado estado com o crítico ou com o ponto triplo.

Por exemplo, se a pressão for maior que a crítica, será impossível ter as fases líquida e vapor em equilíbrio.

Outro exemplo: os estados em que é possível a fusão a vácuo de um dado metal podem ser determinados pela observação das propriedades do ponto triplo. O ferro, para uma pressão um pouco acima de 5 Pa (pressão de ponto triplo), fundir-se-á a uma temperatura de aproximadamente $1.535\text{ }^{\circ}\text{C}$ (temperatura do ponto triplo).

MÁQUINAS TÉRMICAS

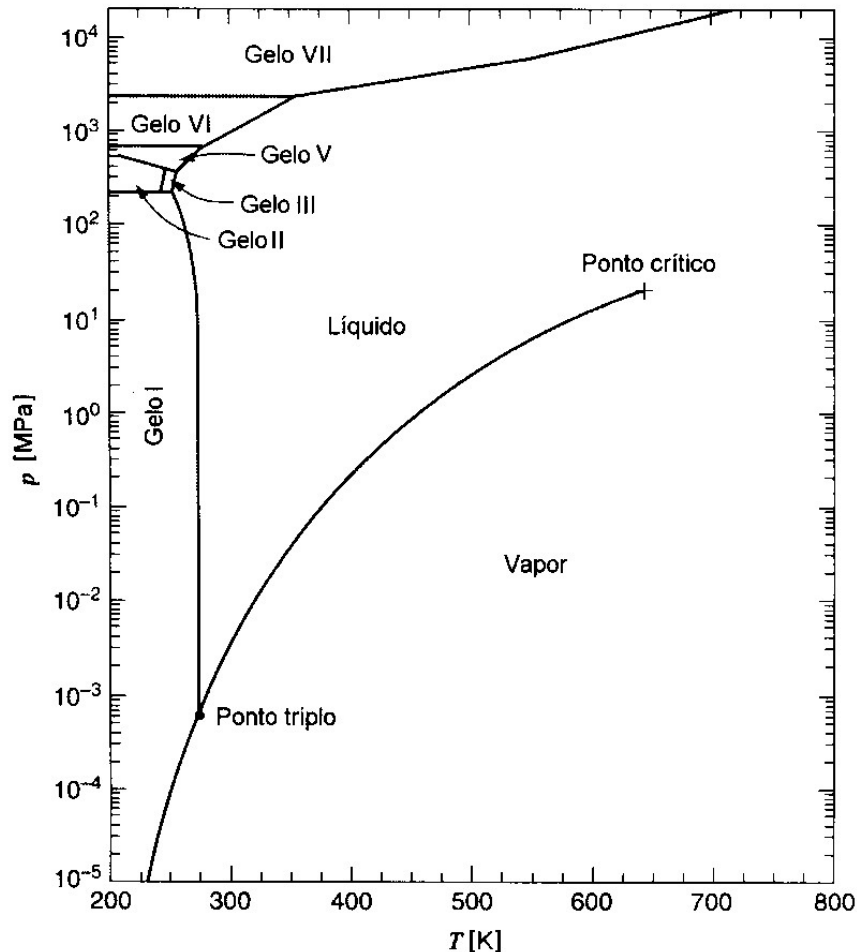


Uma substância pura pode existir em diferentes fases sólidas.

A mudança de uma fase sólida para outra é chamada transformação alotrópica.

A Fig. mostra um diagrama pressão - temperatura para o ferro onde estão indicadas três fases sólidas, a fase líquida e a fase vapor.

MÁQUINAS TÉRMICAS



A Fig. mostra algumas fases sólidas da água.

É evidente que uma substância pura pode apresentar diversos pontos triplos, mas somente um envolvendo sólido, líquido e vapor em equilíbrio.

Outros pontos triplos para uma substância pura podem envolver duas fases sólidas e uma líquida, duas fases sólidas e uma vapor, ou três fases sólidas.

MÁQUINAS TÉRMICAS

Propriedades Independentes de uma Substância Pura

O estado de uma substância pura simples compressível é definido por duas propriedades (variáveis de estado) independentes.

No estado de saturação, pressão e temperatura não são independentes. Duas propriedades independentes, tal como volume específico e pressão são requeridas para definir o estado de saturação da substância pura.

O estado do ar, que é uma mistura de gases de composição definida, que não é uma substância pura, é determinado pela especificação de duas propriedades, desde que permaneça na fase gasosa e desta forma pode ser tratado como uma substância pura.

MÁQUINAS TÉRMICAS

Equações de Estado para a Fase Vapor de uma Substância Compressível Simples

A partir de observações experimentais estabeleceu-se que o comportamento p - v - T dos gases a baixa massa específica é dado, com boa precisão, pela seguinte equação de estado:

$$p\bar{v} = \bar{R}T$$

onde a constante universal dos gases vale:

$$\bar{R} = 8314,5 \frac{N \cdot m}{kmol \cdot K} = 8,3145 \frac{kN \cdot m}{kmol \cdot K} = 8,3145 \frac{kJ}{kmol \cdot K}$$

MÁQUINAS TÉRMICAS

Dividindo por M , o peso molecular do gás, obtém-se a equação de estado na base mássica:

$$\frac{p\bar{v}}{M} = \frac{\bar{R}T}{M} \Rightarrow pv = RT \text{ onde } R = \frac{\bar{R}}{M}$$

R é a constante para um gás particular. (valores tabelados).

Equação de estado a partir do volume total:

$$pV = n\bar{R}T = mRT \quad \text{ou} \quad \frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

Os gases que apresentam massa específica baixa seguem, com boa aproximação, as conhecidas leis de Boyle e Charles, os quais basearam suas afirmações em observações experimentais (rigorosamente falando, nenhuma dessas afirmações deveria ser chamada de lei já que são apenas aproximadamente verdadeiras e, mesmo assim, só são válidas quando o valor da massa específica for baixo).

Lei de Boyle - A temperatura constante, o volume ocupado por uma quantidade fixa de um gás é inversamente proporcional à sua pressão. $P \cdot V = k = \text{constante}$.

Lei de Charles e Gay-Lussac - A volume constante, a pressão de uma massa fixa de um gás varia linearmente com a temperatura.

QUAL A MASSA DE AR DENTRO DA SALA?

MÁQUINAS TÉRMICAS

Exemplo: Qual a massa de ar contida numa sala de 6 m x 10 m x 4 m se a pressão e a temperatura forem iguais a 100 kPa e 25°C? Admita que o ar se comporta como um gás perfeito.

$$R_{ar} = 0,287 \frac{kN m}{kg K}$$

$$m = \frac{pV}{RT} = \frac{100 kN / m^2 * 240 m^3}{0,287 kN m / kg K * 298,2 K} = 280,5 kg$$

Exemplo: Um tanque com capacidade de 0,5 m³ e contém 10 kg de um gás perfeito que apresenta peso molecular igual a 24. A temperatura é de 25°C. Qual é a pressão no gás?

$$R = \frac{\bar{R}}{M} = \frac{8,3145 kN m / kmol K}{24 kg / kmol} = 0,34644 kN m / kg K$$

$$p = \frac{mRT}{V} = \frac{10 kg * 0,34644 kN m / kg K * 298,2 K}{0,5 m^3} = 2066 kPa$$

MÁQUINAS TÉRMICAS

A equação de estado anterior é chamada equação de estado dos gases perfeitos.

Todos os gases e vapores apresentam comportamento próximo daquele do gás perfeito quando a massa específica apresenta valores muito baixos.

Nestas condições podemos utilizar a equação de estado dos gases perfeitos para avaliar o comportamento p - v - T destes gases e vapores.

Em situações onde a massa específica apresenta valores maiores, o comportamento p - v - T pode desviar substancialmente do previsto pela equação de estado dos gases perfeitos.

O uso dessa equação é bastante conveniente, nos cálculos termodinâmicos, devido a sua simplicidade.

No entanto, duas questões podem ser levantadas:

Primeira: O que é uma baixa massa específica? Ou, em outras palavras, em qual faixa de massa específica a equação dos gases perfeitos simula o comportamento do gás real com uma boa precisão?

Segunda: em quanto o comportamento de um gás real, a uma dada pressão e uma dada temperatura, desvia daquele do gás perfeito?

MÁQUINAS TÉRMICAS

Para responder a ambas as questões, introduzimos o conceito de fator de compressibilidade Z , que é definido pela relação

$$Z = \frac{p\bar{v}}{\bar{R}T} \Rightarrow p\bar{v} = Z\bar{R}T$$

Observe que, para um gás perfeito, $Z = 1$ e que o afastamento de Z em relação à unidade é uma medida do desvio de comportamento do gás real em relação ao previsto pela equação de estado dos gases perfeitos.

MÁQUINAS TÉRMICAS

TABELAS DE PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS

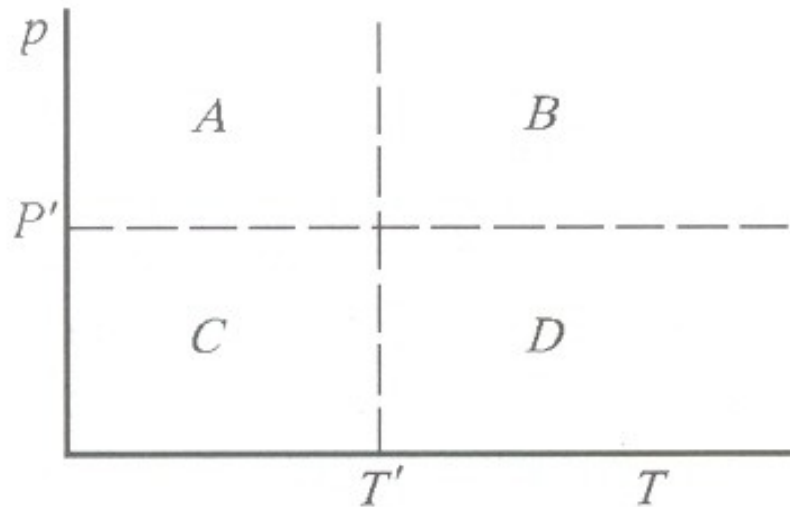
Existem tabelas de propriedades termodinâmicas para muitas substâncias e, em geral, todas elas são apresentadas da mesma forma.

Vamos nos referir às tabelas de vapor d'água.

O vapor d'água é largamente empregado em instalações geradoras e processos industriais. Uma vez entendidas as tabelas de vapor, as outras tabelas termodinâmicas podem ser usadas imediatamente.

Antes de discutirmos detalhadamente as tabelas de vapor é interessante examinar as idéias que propiciaram a construção destas tabelas e também explorar as dificuldades que os estudantes freqüentemente encontram no início do estudo da termodinâmica.

MÁQUINAS TÉRMICAS

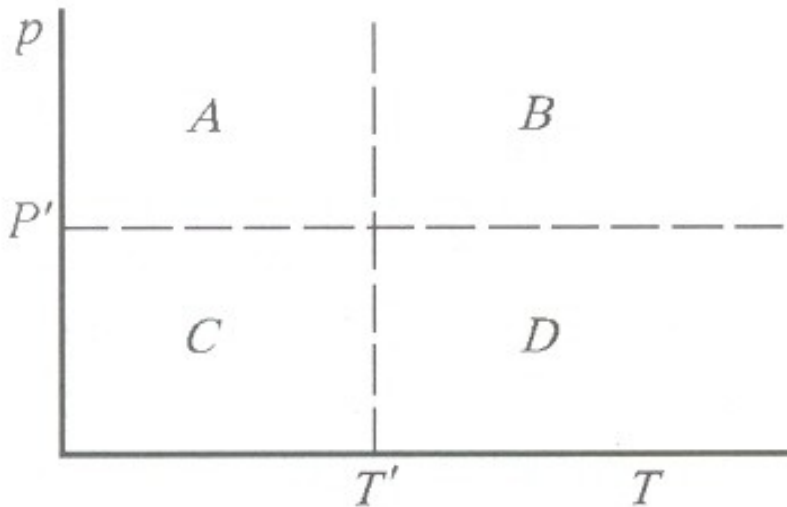


As tabelas de vapor são compostas por 4 tabelas separadas, como por exemplo, as tabelas A, B, C e D da Fig. ao lado.

Cada uma destas está relacionada com uma região diferente e referente a um certa faixa de valores de T e p .

Para cada conjunto de pontos T e p (um estado), a tabela também contém valores de quatro outras propriedades termodinâmicas, ou seja: v , u , h e s .

MÁQUINAS TÉRMICAS



Se os valores de T e p são fornecidos, podemos compara-los com os valores de fronteira (T' e P') e assim determinaremos em qual das quatro tabelas (A, B, C, D) estão os valores adequados para v , u , h e s .

Por exemplo: A tabela A é a correta somente se $T < T'$ e $p > P'$.

MÁQUINAS TÉRMICAS

A principal dificuldade é que qualquer estado termodinâmico pode ser especificado por qualquer par de propriedades (p , T , v , u , h e s) independentes. Assim, o nosso objetivo é a determinação das quatro propriedades restantes a partir das duas propriedades independentes fornecidas.

Se as propriedades fornecidas não são a temperatura e a pressão, pode não ser óbvia a escolha da tabela onde se encontra o estado fornecido.

Além do problema de se obter a tabela de propriedades adequada, existe um outro problema que é o da interpolação.

Esta é necessária quando uma ou as duas propriedades termodinâmicas dadas não são exatamente iguais aos valores que constam na tabela.

As tabelas computadorizadas não apresentam os problemas anteriormente descritos, mas o estudante precisa aprender o significado, o método de construção das tabelas e as limitações destas.

O motivo para esta afirmação é: a possibilidade de ocorrer situações onde será necessário utilizar tabelas impressas ainda é muito grande.



P bar a		T °C	200	250	300	350	400
9 (175°C)	v_g 0.2149	v	0.2305	0.2597	0.2874	0.3144	0.3410
	u_g 2581	u	2628	2714	2796	2877	2959
	h_g 2774	h	2835	2948	3055	3160	3266
	s_g 6.623	s	6.753	6.980	7.176	7.352	7.515
10 (180°C)	v_g 0.1944	v	0.2061	0.2328	0.2582	0.2825	0.3065
	u_g 2584	u	2623	2711	2794	2875	2957
	h_g 2778	h	2829	2944	3052	3158	3264
	s_g 6.586	s	6.695	6.926	7.124	7.301	7.464
15 (198°C)	v_g 1317	v	0.1324	0.1520	0.1697	0.1865	0.2029
	u_g 2595	u	2597	2697	2784	2868	2952
	h_g 2792	h	2796	2925	3039	3147	3266
	s_g 6.445	s	6.452	6.711	6.919	7.102	7.268



<div> <div>10</div> <div>(175°C)</div> </div>	s_g 6.623	s	6.753	6.98
	v_g 0.1944	v	0.2061	0.2328
	u_g 2584	u	2623	2711
	h_g 2778	h	2829	2941
	s_g 6.586	s	6.695	6.920
<div> <div>12</div> <div>(180°C)</div> </div>	v_g 1.317	v	0.1324	0.1520
	u_g 2595	u	2597	2697
	h_g 2792	h	2796	2921
	s_g 6.445	s	6.452	6.711
<div> <div>15</div> <div>(198°C)</div> </div>				



<p>10 (175°C)</p>	s_g 6.623	s	6.753	6.98
	v_g 0.1944	v	0.2061	0.2328
	u_g 2524	u	2623	2711
	h_g 2778	h	2829	2941
<p>12 (180°C)</p>	s_g 6.586	s	6.695	6.920
	v_g 1.317	v	0.1324	0.1520
	u_g 2595	u	2597	2697
	h_g 2792	h	2796	2921
<p>15 (198°C)</p>	s_g 6.445	s	6.452	6.711

→ A1



(175°C)	s_g 6.623	s	6.753	6.98
	v_g 0.1944	v	0.2061	0.2328
10	u_g 2584	u	2623	271
	h_g 2778	h	2829	294
(180°C)	s_g 6.586	s	6.695	6.92
12	v_g 1.317	v	0.1324	0.152
	u_g 2595	u	2597	269
15	h_g 2792	h	2796	292
(198°C)	s_g 6.445	s	6.452	6.71



T °C	200	250	300·325·350		4
✓	0.2305	0.2597	0.2874	0.3144	0.3
u	2628	2714	2796	2877	2
h	2835	2948	3055	3160	3
s	6.753	6.980	7.176	7.352	7
v	0.2061	0.2328	0.2582	0.2825	0.3
u	2623	2711	2794	2875	2



T °C	200	250	300 · 325 · 350	400
v	0.2305	0.2597	0.2874	0.3144
u	2628	2714	2796	2877
h	2835	2948	3055	3160
s	6.753	6.980	7.176	7.352
v	0.2061	0.2328	0.2582	0.2825
u	2623	2711	2794	2875

↓
B1



T °C	200	250	300 · 325 · 350	400
✓	0.2305	0.2597	0.2874	0.3144
u	2628	2714	2796	2877
h	2835	2948	3055	3160
s	6.753	6.980	7.176	7.352
v	0.2061	0.2328	0.2582	0.2825
u	2623	2711	2794	2875



B1



B2



P bar a		T °C	200	250	300	325	350	400
9 (175°C)	v_g 0.2149	v	0.2305	0.2597	0.2874	0.3144	0.3410	
	u_g 2581	u	2628	2714	2796	2877	2959	
	h_g 2774	h	2835	2948	3055	3160	3266	
	s_g 6.623	s	6.753	6.980	7.176	7.352	7.515	
10 (180°C)	v_g 0.1944	v	0.2061	0.2328	0.2582	0.2825	0.3065	
	u_g 2584	u	2623	2711	2794	2875	2957	
	h_g 2778	h	2829	2944	3052	3158	3264	
	s_g 6.586	s	6.695	6.926	7.124	7.301	7.464	
12 (185°C)	v_g 1.317	v	0.1324	0.1520	0.1697	0.1865	0.2029	
	u_g 2595	u	2595	2627	2704	2868	2952	
	h_g 2792	h	2792	2925	3039	3147	3266	
	s_g 6.445	s	6.452	6.711	6.919	7.107	7.268	
15 (198°C)								

$$h(12, 325) = ?$$



P bar a		T °C	200	250	300	325	350	400
9 (175°C)	v_g	0.2149	v	0.2305	0.2597	0.2874	0.3144	0.3410
	u_g	2581	u	2628	2714	2796	2877	2959
	h_g	2774	h	2835	2948	3055	3160	3266
	s_g	6.623	s	6.753	6.980	7.176	7.352	7.515
10 (180°C)	v_g	0.1944	v	0.2061	0.2328	0.2582	0.2825	0.3065
	u_g	2584	u	2623	2711	2794	2875	2957
	h_g	2778	h	2829	2944	3052	3158	3264
	s_g	6.586	s	6.695	6.926	7.124	7.301	7.464
15 (198°C)	v_g	0.1317	v	0.1324	0.1520	0.1697	0.1865	0.2029
	u_g	2595	u	2595	2697	2794	2868	2952
	h_g	2792	h	2792	2925	3039	3147	3266
	s_g	6.445	s	6.452	6.711	6.919	7.102	7.268

$$h(12, 325) = C$$



P bar a		T °C	200	250	300·325·350	400	
9 (175°C)	v_g 0.2149	v	0.2305	0.2597	0.2877	0.3144	0.3410
	u_g 2581	u	2628	2714	2796	2877	2959
	h_g 2774	h	2835	2948	3055	3160	3266
	s_g 6.623	s	6.753	6.980	7.176	7.352	7.515
10 (180°C)	v_g 0.1944	v	0.2061	0.2328	0.2482	0.2825	0.3065
	u_g 2584	u	2623	2711	2794	2875	2957
	h_g 2778	h	2829	2944	3052	3158	3264
	s_g 6.586	s	6.695	6.926	7.124	7.301	7.464
15 (198°C)	v_g 0.1317	v	0.1324	0.1520	0.1697	0.1865	0.2029
	u_g 2595	u	2597	2697	2784	2868	2952
	h_g 2792	h	2796	2925	3039	3147	3266
	s_g 6.445	s	6.452	6.711	6.919	7.102	7.268

Handwritten annotations:

- B1** (green) is written vertically over the 300, 325, and 350 columns.
- A1** (red) is written vertically over the 200 and 250 columns.
- A red horizontal line is drawn under the **h** row for the 10 bar section, extending from the 200 column to the 300 column.

wiki How to Do a Double Linear Interpolation



P bar a		T °C	200	250	300	325	350	400
9 (175°C)	v_g 0.2149	v	0.2305	0.2597	0.2871	0.3144	0.3410	
	u_g 2581	u	2628	2714	2796	2877	2959	
	h_g 2774	h	2835	2948	3055	3160	3266	
	s_g 6.623	s	6.753	6.980	7.176	7.352	7.515	
10 (180°C)	v_g 0.1944	v	0.2061	0.2328	0.2482	0.2825	0.3065	
	u_g 2584	u	2623	2711	2794	2875	2957	
	h_g 2778	h	2829	2944	3052	3158	3264	
	s_g 6.586	s	6.695	6.926	7.124	7.301	7.464	
15 (198°C)	v_g 0.1317	v	0.1324	0.1520	0.1697	0.1865	0.2029	
	u_g 2595	u	2597	2697	2784	2868	2952	
	h_g 2792	h	2796	2925	3039	3147	3266	
	s_g 6.445	s	6.452	6.711	6.919	7.102	7.268	



P bar a		T °C	200	250	300	325	350	400
9 (175°C)	v_g 0.2149	v	0.2305	0.2597	0.2874	0.3144	0.3410	
	u_g 2581	u	2628	2714	2796	2877	2959	
	h_g 2774	h	2835	2948	3055	3160	3266	
	s_g 6.623	s	6.753	6.980	7.176	7.352	7.515	
10 (180°C)	v_g 0.1944	v	0.2061	0.2328	0.2582	0.2825	0.3065	
	u_g 2584	u	2623	2711	2794	2875	2957	
	h_g 2778	h	2829	2941	3052	3158	3264	
	s_g 6.586	s	6.695	6.926	7.124	7.301	7.464	
15 (198°C)	v_g 0.1317	v	0.1324	0.1520	0.1697	0.1865	0.2029	
	u_g 2595	u	2597	2697	2784	2868	2952	
	h_g 2792	h	2796	2925	3039	3147	3266	
	s_g 6.445	s	6.452	6.711	6.919	7.102	7.268	

A1

B2



P bar a		T °C	200	250	300	325	350	400
9 (175°C)	v_g 0.2149	v	0.2305	0.2597	0.2874	0.3144	0.3410	
	u_g 2581	u	2628	2714	2796	2877	2959	
	h_g 2774	h	2835	2948	3055	3160	3266	
	s_g 6.623	s	6.753	6.980	7.176	7.352	7.515	
10 (180°C)	v_g 0.1944	v	0.2061	0.2328	0.2582	0.2825	0.3065	
	u_g 2584	u	2623	2711	2794	2875	2957	
	h_g 2778	h	2829	2944	3052	3158	3264	
	s_g 6.586	s	6.695	6.926	7.124	7.301	7.464	
15 (198°C)	v_g 1.317	v	0.1324	0.1520	0.1697	0.1865	0.2029	
	u_g 2595	u	2597	2697	2784	2868	2952	
	h_g 2792	h	2796	2925	3039	3147	3266	
	s_g 6.445	s	6.452	6.711	6.919	7.107	7.268	

B2

A1

C1,2



P bar a		T °C	200	250	300	325	350	400
9 (175°C)	v_g 0.2149	v	0.2305	0.2597	0.2871	0.3144	0.3410	
	u_g 2581	u	2628	2714	2796	2877	2959	
	h_g 2774	h	2835	2948	3055	3160	3266	
	s_g 6.623	s	6.753	6.980	7.176	7.352	7.515	
10 (180°C)	v_g 0.1944	v	0.2061	0.2328	0.2582	0.2825	0.3065	
	u_g 2584	u	2623	2711	2794	2875	2957	
	h_g 2778	h	2829	2944	3052	3158	3264	
	s_g 6.586	s	6.695	6.926	7.124	7.301	7.464	
15 (198°C)	v_g 0.1317	v	0.1324	0.1520	0.1697	0.1865	0.2029	
	u_g 2595	u	2597	2697	2784	2868	2952	
	h_g 2792	h	2796	2925	3039	3147	3266	
	s_g 6.445	s	6.452	6.711	6.919	7.102	7.268	



P bar a		T °C	200	250	300	325	350	400
9 (175°C)	v_g 0.2149	v	0.2305	0.2597	0.2877	0.3144	0.3410	
	u_g 2581	u	2628	2714	2796	2877	2959	
	h_g 2774	h	2835	2948	3055	3160	3266	
	s_g 6.623	s	6.753	6.980	7.176	7.352	7.515	
10 (180°C)	v_g 0.1944	v	0.2061	0.2328	0.2582	0.2825	0.3065	
	u_g 2584	u	2623	2711	2794	2875	2957	
	h_g 2778	h	2829	2944	3052	3158	3264	
	s_g 6.586	s	6.695	6.926	7.124	7.301	7.464	
12 15 (198°C)	v_g 1317	v	0.1324	0.1520	0.1697	0.1865	0.2029	
	u_g 2595	u	2597	2697	2784	2868	2952	
	h_g 2792	h	2796	2925	3039	3147	3266	
	s_g 6.445	s	6.452	6.711	6.919	7.102	7.268	

B1

A2

3039 = 2.1

wiki How to Do a Double Linear Interpolation



P bar a		T °C	200	250	300	325	350	400
9 (175°C)	v_g 0.2149	v	0.2305	0.2597	0.2874	0.3144	0.3410	
	u_g 2581	u	2628	2714	2796	2877	2959	
	h_g 2774	h	2835	2948	3055	3160	3266	
	s_g 6.623	s	6.753	6.980	7.176	7.352	7.515	
10 (180°C)	v_g 0.1944	v	0.2061	0.2328	0.2582	0.2825	0.3065	
	u_g 2584	u	2623	2711	2794	2875	2957	
	h_g 2778	h	2829	2944	3052	3158	3264	
	s_g 6.586	s	6.695	6.926	7.124	7.301	7.464	
12 15 (198°C)	v_g 1.317	v	0.1324	0.1520	0.1697	0.1865	0.2029	
	u_g 2595	u	2597	2697	2784	2868	2952	
	h_g 2792	h	2796	2925	3039	3147	3266	
	s_g 6.445	s	6.452	6.711	6.919	7.107	7.268	

B2

A2



P bar a		T °C	200	250	300	325	350	400
9 (175°C)	v_g 0.2149	✓	0.2305	0.2597	0.2874	0.3144	0.3410	
	u_g 2581	u	2628	2714	2796	2877	2959	
	h_g 2774	h	2835	2948	3055	3160	3266	
	s_g 6.623	s	6.753	6.980	7.176	7.352	7.515	
10 (180°C)	v_g 0.1944	v	0.2061	0.2328	0.2582	0.2825	0.3065	
	u_g 2584	u	2623	2711	2794	2875	2957	
	h_g 2778	h	2829	2944	3052	3158	3264	
	s_g 6.586	s	6.695	6.926	7.121	7.291	7.464	
12 15 (198°C)	v_g 1317	v	0.1324	0.1520	0.1697	0.1865	0.2029	
	u_g 2595	u	2597	2697	2784	2868	2952	
	h_g 2792	h	2796	2925	3039	3147	3266	
	s_g 6.445	s	6.452	6.711	6.919	7.102	7.268	

B2

C2,2

A2



(equation 1)

$C =$

$$\left[\left(\frac{B_2 - B}{B_2 - B_1} \right) C_{1,1} + \left(\frac{B - B_1}{B_2 - B_1} \right) C_{1,2} \right] \left(\frac{A_2 - A}{A_2 - A_1} \right) + \left[\left(\frac{B_2 - B}{B_2 - B_1} \right) C_{2,1} + \left(\frac{B - B_1}{B_2 - B_1} \right) C_{2,2} \right] \left(\frac{A - A_1}{A_2 - A_1} \right)$$



(equation 2)

C =

$$\left[\left(\frac{350-325}{350-300} \right) 3052 + \left(\frac{325-300}{350-300} \right) 3158 \right] \left(\frac{15-12}{15-10} \right) +$$

$$\left[\left(\frac{350-325}{350-300} \right) 3039 + \left(\frac{325-300}{350-300} \right) 3147 \right] \left(\frac{12-10}{15-10} \right)$$

$$\Rightarrow C = 3100.2$$

MÁQUINAS TÉRMICAS

	B1	B	B2
A1	C11		C12
A		C	
A2	C21		C22

(equation 1)

C =

$$\left[\left(\frac{B2-B}{B2-B1} \right) C_{1,1} + \left(\frac{B-B1}{B2-B1} \right) C_{1,2} \right] \left(\frac{A2-A}{A2-A1} \right) + \left[\left(\frac{B2-B}{B2-B1} \right) C_{2,1} + \left(\frac{B-B1}{B2-B1} \right) C_{2,2} \right] \left(\frac{A-A1}{A2-A1} \right)$$

MEC 011
MÁQUINAS TÉRMICAS

TABELA COMPUTADORIZADA

CATT 3

Baixe no Site da editora
www.blucher.com.br/termo