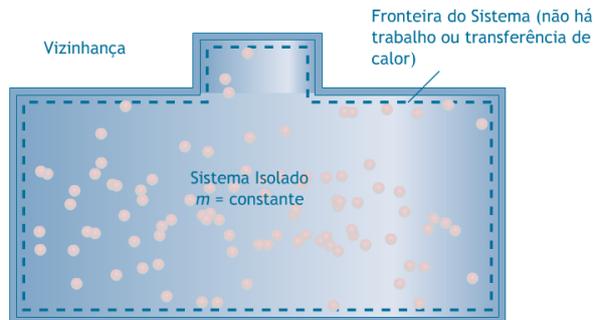


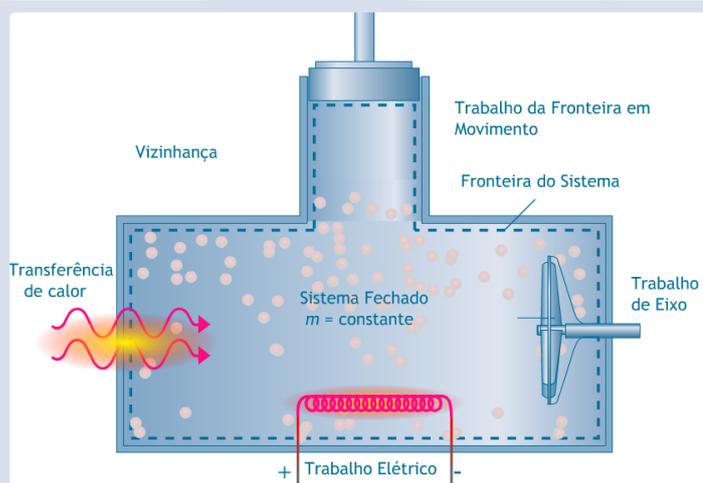
**Sistema Isolado**

Um tipo especial de sistema fechado que não interage de modo algum com sua vizinhança é denominado **sistema isolado**.

**Sistema Fechado**

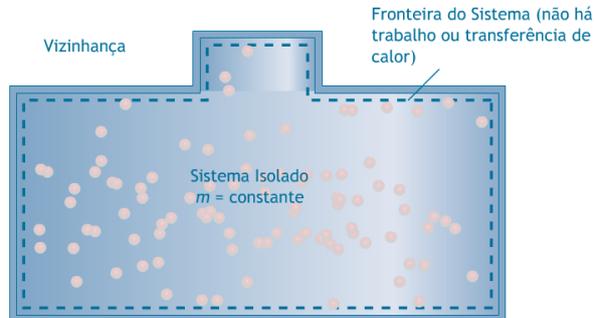
Um **sistema fechado** é definido quando uma quantidade fixa de matéria está em estudo.

Em um **sistema fechado**, não pode ocorrer transferência de massa através da fronteira do sistema, mas pode ocorrer transferência de energia através da fronteira do sistema por meio de trabalho e de transferência de calor.



### Sistema Isolado

Um tipo especial de sistema fechado que não interage de modo algum com sua vizinhança é denominado **sistema isolado**.

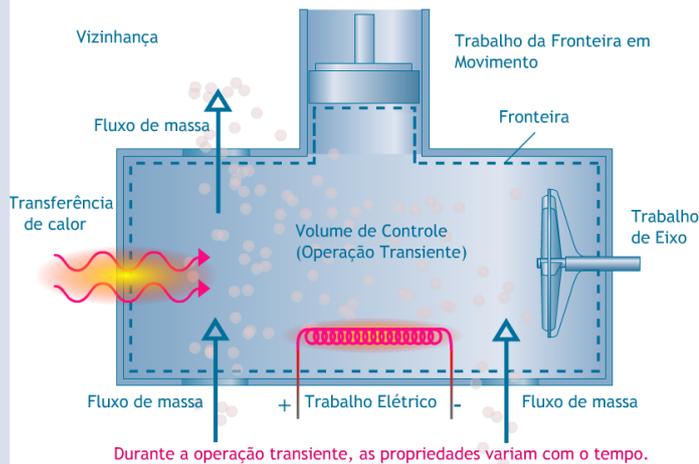


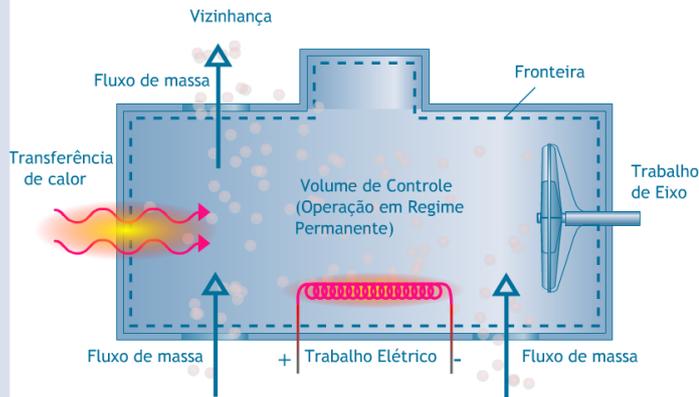
### Volume de Controle - Operação Transiente

Um **volume de controle** é uma região delimitada por uma fronteira prescrita, através da qual há fluxo de massa.

Em um **volume de controle**, massa cruza a fronteira (superfície de controle). Além da energia da massa que atravessa a fronteira, outras transferências de energia podem ocorrer através da fronteira por meio de trabalho e de transferência de calor.

Durante uma **operação transiente**, os valores das propriedades, das taxas de trabalho, de transferência de calor e de fluxo de massa podem variar com o tempo.





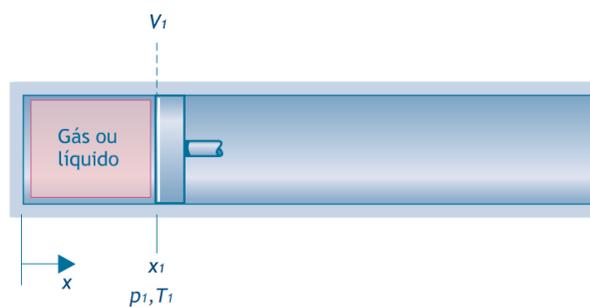
Durante a operação em regime permanente, as propriedades não variam com o tempo.

### Volume de Controle - Operação em Regime Permanente

Um **volume de controle** é uma região delimitada por uma fronteira prescrita, através da qual há fluxo de massa.

Em um **volume de controle**, massa cruza a fronteira (superfície de controle). Além da energia da massa que atravessa a fronteira, outras transferências de energia podem ocorrer através da fronteira por meio de trabalho e de transferência de calor.

Durante uma **operação em regime permanente**, os valores das propriedades não variam com o tempo.



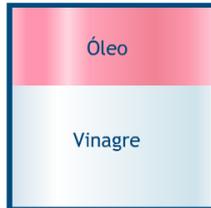
### Propriedade, Estado e Processo

O **estado** de um sistema é sua condição conforme descrito por suas propriedades. Uma **propriedade** é uma característica macroscópica de um sistema (tal como a pressão, a temperatura e o volume), para a qual um valor numérico pode ser atribuído em um dado tempo sem o conhecimento do comportamento prévio do sistema.



### Definições

As propriedades termodinâmicas podem ser classificadas em duas classes gerais: **extensivas** e **intensivas**.



#### Propriedade Extensiva

Uma propriedade é chamada **extensiva** quando o seu valor para o sistema como um todo é a **soma de seus valores para as partes** nas quais o sistema é dividido. Massa ( $m$ ), volume ( $V$ ), e energia ( $E$ ) são exemplos de propriedades extensivas. Assim, para os sistemas de óleo (O), de vinagre (V), e de óleo e vinagre (OV) apresentados, as propriedades extensivas associadas são

**Massa:**  $m_{OV} = m_O + m_V$

**Volume:**  $V_{OV} = V_O + V_V$

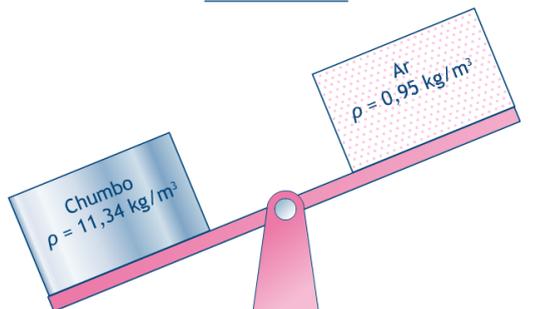
**Energia:**  $E_{OV} = E_O + E_V$

#### Propriedade Intensiva

Uma propriedade é chamada **intensiva** quando o seu valor para o sistema como um todo não corresponde à soma de seus valores para as partes nas quais o sistema é dividido. Em vez disso, os valores das propriedades intensivas **são independentes do tamanho ou da extensão do sistema**.

Massa específica ( $\rho$ ), volume específico ( $v$ ), pressão ( $p$ ), e temperatura ( $T$ ) são exemplos de propriedades intensivas.

### Comparação entre Massas Específicas (1m<sup>3</sup>) Chumbo X Ar



### Massa Específica

**Massa Específica ( $\rho$ )** é a massa por unidade de volume.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Como ela é independente do tamanho ou da extensão do sistema, a massa específica é uma propriedade intensiva. Unidades para a massa específica:  $\text{kg/m}^3$  ou  $\text{lb/ft}^3$ . Os Gases possuem massa específica muito menor do que os líquidos e os sólidos.



### Comparação entre Volumes Específicos (1kg) Chumbo X Ar

Chumbo  
 $v = 0,000009 \text{ m}^3/\text{kg}$

Ar  
 $v = 1,05 \text{ m}^3/\text{kg}$



### Volume Específico

O **Volume específico** ( $v$ ) é o volume por unidade de massa e é o inverso da massa específica

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho}$$

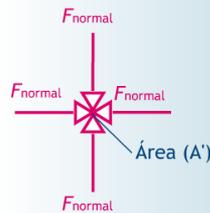
Como ele é independente do tamanho ou da extensão do sistema, o volume específico é uma propriedade intensiva. Unidades para o volume específico:  $\text{m}^3/\text{kg}$  ou  $\text{ft}^3/\text{lb}$ . Os gases possuem volume específico muito maior do que os líquidos e os sólidos.

A seguir, são indicados valores representativos do volume específico do ar e do vapor, dois gases frequentemente usados em aplicações termodinâmicas.

Substância	Volume Específico
Ar	$1,05 \text{ m}^3/\text{kg}$
Vapor	$1,70 \text{ m}^3/\text{kg}$



### Fluido em Repouso



$$p = \lim_{A \rightarrow A'} \left( \frac{F_{\text{normal}}}{A} \right)$$

### Pressão

Para um gás ou um líquido em repouso, nós consideramos a **pressão** ( $p$ ) como a força normal exercida sobre uma unidade de área.

A pressão é a razão entre a força compressiva normal ( $F_{\text{normal}}$ ) exercida por um gás ou líquido e uma área ( $A$ ). A pressão em um ponto especificado é definida como o limite

$$p = \lim_{A \rightarrow A'} \left( \frac{F_{\text{normal}}}{A} \right)$$

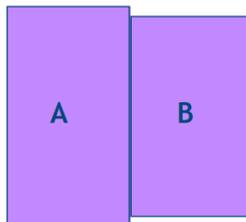
no qual  $A'$  é a menor área para a qual existe um valor definido da razão.

A pressão é uma propriedade intensiva. Unidades para a pressão:  $\text{kPa}$  ou  $\text{lbf}/\text{in}^2$



## Temperatura

O conceito de **temperatura** se encontra enraizado nas noções de corpo “quente” ou “frio”. Quando a temperatura de um corpo é alterada, outras propriedades também são alteradas.

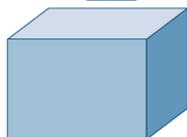


Considere os dois blocos de cobre, A e B, apresentados. O bloco B é mais “frio” do que o bloco A. Os dois blocos são colocados em contato e isolados da vizinhança, nos respectivos estados iniciais. Uma vez em contato, os dois blocos passam por uma interação térmica. Durante essa interação, o volume do bloco mais aquecido decresce um pouco com o tempo, enquanto o volume do bloco mais frio aumenta com o tempo. No devido tempo, no estado final, não serão observadas mudanças de volume, e os blocos, quando sujeitos ao tato, produzirão a mesma sensação térmica. Quando todas as mudanças em tais propriedades observáveis cessarem, a interação termina. Os dois blocos estarão em **equilíbrio térmico**.

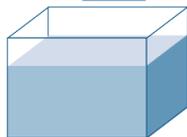
A **Temperatura ( $T$ )** é a propriedade física que determina se os blocos estão em equilíbrio térmico. Quando dois blocos estão em equilíbrio térmico, suas temperaturas são iguais. A temperatura é uma propriedade intensiva. Unidades para a temperatura: K e °R.



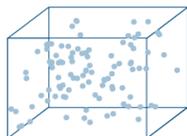
### Sólido



### Líquido



### Vapor



## Fase

O termo **fase** refere-se a uma quantidade de matéria que é homogênea como um todo, tanto em composição química como em estrutura física. Homogeneidade em estrutura física significa que a matéria é toda *sólida*, toda *líquida* ou toda *vapor* (ou, de forma equivalente, toda *gás*).

### Fase Sólida

Na **fase sólida**, uma substância mantém tanto o volume, quanto a forma. Gelo ( $H_2O$ ), sal ( $NaCl$ ) e cobre ( $Cu$ ) são exemplos de substâncias na fase sólida.

### Fase Líquida

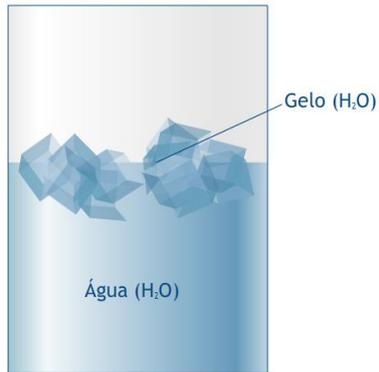
Na **fase líquida**, uma substância não possui forma fixa, mas assume a forma do seu recipiente. Se o volume do recipiente é maior do que o volume do líquido, o líquido terá uma superfície livre. Água líquida ( $H_2O$ ), óleo, e amônia líquida são exemplos de substâncias na fase líquida. Uma mistura de líquidos que são miscíveis (tal como a água e a amônia) forma uma *única* fase líquida. Uma mistura de líquidos que não são miscíveis (tal como óleo e vinagre) forma *duas* fases líquidas.

### Fase Vapor (Fase Gasosa)

Na **fase vapor** (ou **fase gasosa**), uma substância não mantém nem o volume, nem a forma, e preenche completamente o seu recipiente. Vapor ( $H_2O$ ), oxigênio ( $O_2$ ), e dióxido de carbono ( $CO_2$ ) são exemplos de substâncias na fase vapor ou fase gasosa. Gases como, por exemplo, o oxigênio e o nitrogênio podem estar misturados em qualquer proporção para formar uma *única* fase gasosa.

a. Fase

b. Substância Pura



### Substância Pura

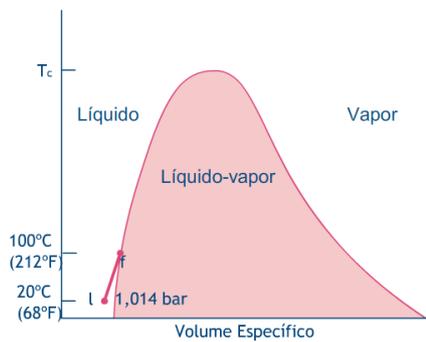
Uma **substância pura** é aquela cuja composição química é uniforme e invariável. Uma substância pura pode existir em mais de uma fase, mas sua composição química deve ser a mesma em cada fase.

Um sistema com duas fases, água líquida (H<sub>2</sub>O) e gelo (H<sub>2</sub>O) é um exemplo de uma substância pura porque cada fase possui a mesma composição química, H<sub>2</sub>O.

Uma mistura uniforme de gases (tal como o ar) também pode ser considerada uma substância pura desde que ela se mantenha como um gás e não reaja quimicamente.

a. Pressão = 1,014 bar

b. Pressão = 10 MPa



### Pressão = 1,014 bars

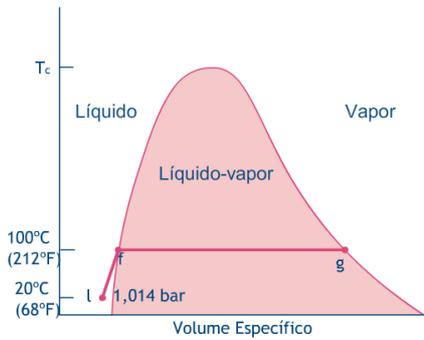
Transferindo-se calor para o sistema ocorre um aumento da temperatura para 100°C. Esta é a temperatura chamada **temperatura de saturação**, na qual ocorre a mudança de fase de líquido para vapor a uma pressão de 1,014 bar. Durante o processo a pressão constante há um leve aumento do volume. No estado f, a água está na condição de **líquido saturado** - qualquer transferência de calor adicional a uma pressão fixa resulta em formação de vapor sem qualquer variação da temperatura.

Aperte o Botão Iniciar para continuar a observar o processo de mudança de fase.



a. Pressão = 1,014 bar

b. Pressão = 10 MPa



### Pressão = 1,014 bars

A continuação da transferência de calor para o sistema resulta na formação de vapor sem qualquer variação da temperatura ou pressão, mas com variação considerável do volume. A água é uma **mistura líquido-vapor de duas fases** - uma mistura de líquido saturado e vapor saturado.

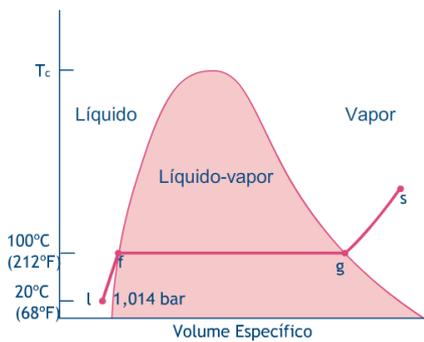
A continuação da transferência de calor para o sistema faz com que todo o líquido restante se transforme em vapor, sem qualquer variação da temperatura ou pressão, mas com considerável aumento do volume. A água se encontra na condição de **vapor saturado** - a última gota de líquido acaba de evaporar.

Aperte o Botão Iniciar para continuar a observar o processo de mudança de fase.



a. Pressão = 1,014 bar

b. Pressão = 10 MPa



### Pressão = 1,014 bars

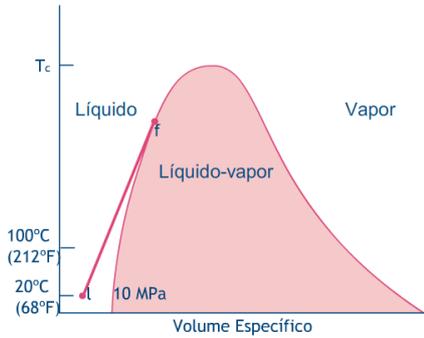
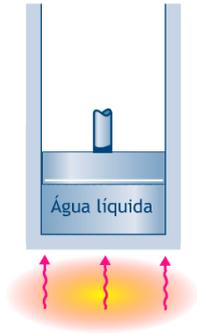
A continuação da transferência de calor para o sistema a uma pressão fixa resulta em um aumento de temperatura, de forma que esta ultrapassa  $100^\circ\text{C}$  (temperatura de saturação), e em um aumento do volume. A água se encontra na condição de **vapor superaquecido**.



a. Pressão = 1.014 bar

b. Pressão = 10 MPa

### Pressão = 10 MPa



Transferindo-se calor para o sistema ocorre um aumento da temperatura para  $311,06^\circ\text{C}$ . Esta é a temperatura chamada **temperatura de saturação**, na qual ocorre a mudança de fase de líquido para vapor a uma pressão de 10 MPa. Durante o processo a pressão constante há um leve aumento do volume. No estado f, a água está na condição de **líquido saturado** - qualquer transferência de calor adicional a uma pressão fixa resulta em formação de vapor sem qualquer variação de temperatura.

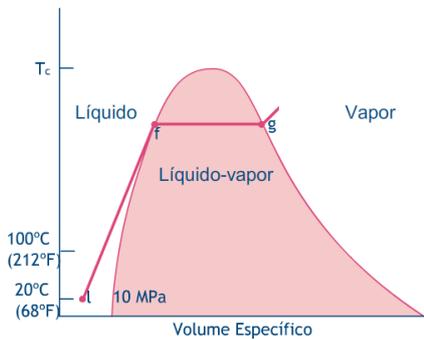
Aperte o Botão Iniciar para continuar a observar o processo de mudança de fase.



a. Pressão = 1.014 bar

b. Pressão = 10 MPa

### Pressão = 10 MPa



A continuação da transferência de calor para o sistema resulta na formação de vapor sem qualquer variação da temperatura ou pressão, mas com variação considerável do volume. A água é uma **mistura líquido-vapor de duas fases** - uma mistura de líquido saturado e vapor saturado.

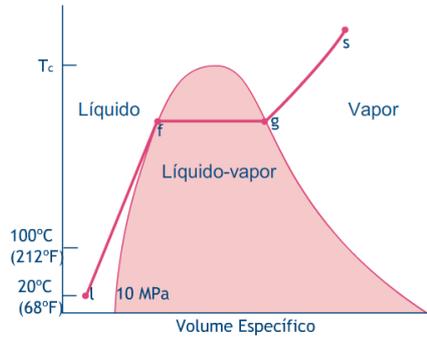
A continuação da transferência de calor para o sistema faz com que todo o líquido restante se transforme em vapor, sem qualquer variação da temperatura ou pressão, mas com considerável aumento do volume. A água se encontra na condição de **vapor saturado** - a última gota de líquido acaba de evaporar.

Aperte o Botão Iniciar para continuar a observar o processo de mudança de fase.



a. Pressão = 1.014 bar

b. Pressão = 10 MPa



### Pressão = 10 MPa

A continuação da transferência de calor para o sistema a uma pressão fixa resulta em um aumento de temperatura, de forma que esta ultrapassa 311,06°C (temperatura de saturação), e em um aumento do volume. A água se encontra na condição de **vapor superaquecido**.

