

PTC3421 – Instrumentação Industrial

# Vazão – Parte I

---

V2019A

PROF. R. P. MARQUES

# Definições

---

**VAZÃO** é a quantidade de fluído (líquido, gasoso ou sólido particulado) que atravessa a seção transversal de um duto por unidade de tempo.

Diferenciamos

**VAZÃO MÁSSICA:** massa de fluído por unidade de tempo e

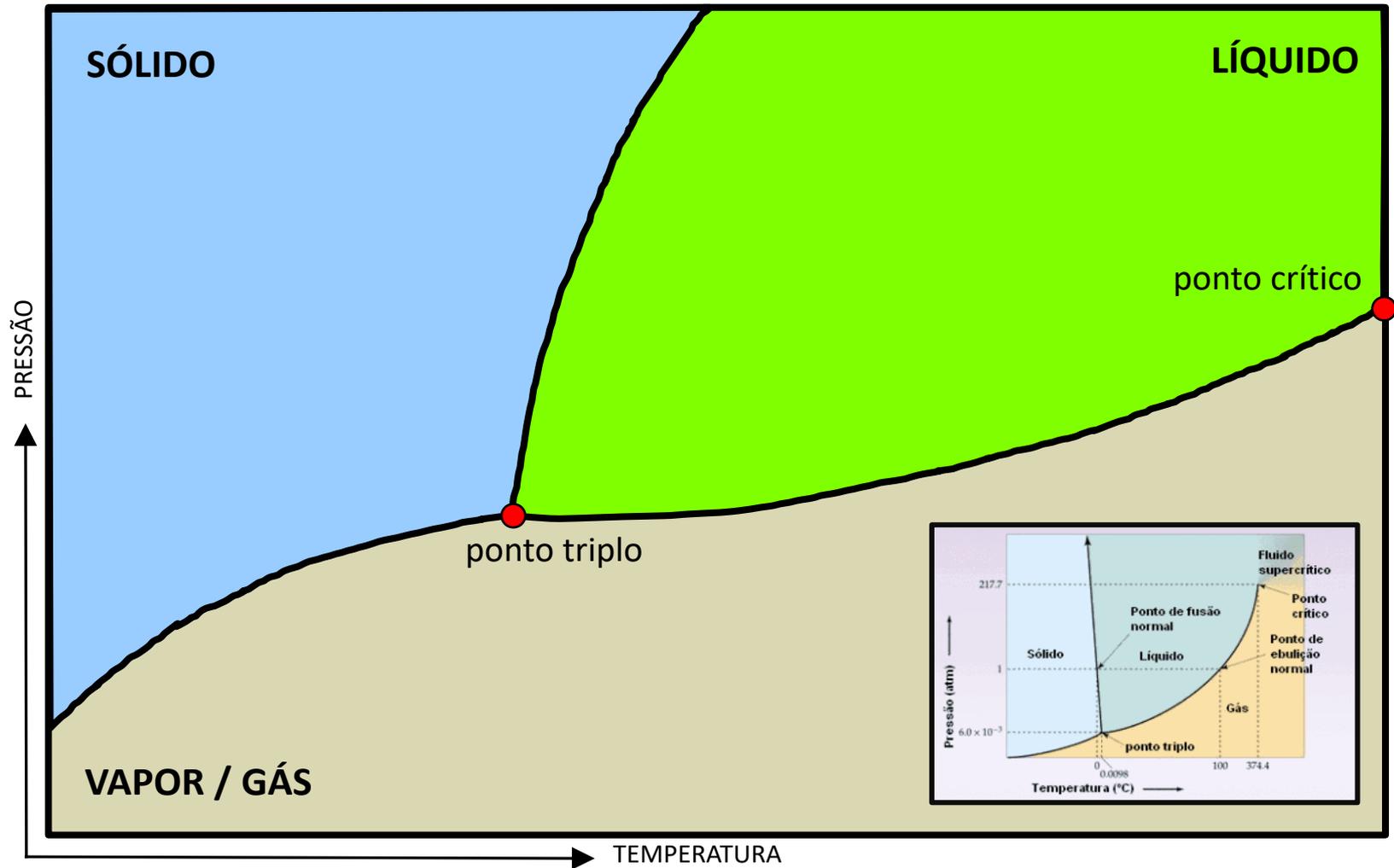
**VAZÃO VOLUMÉTRICA:** volume de fluído por unidade de tempo

A vazão mássica é medida em kg/s (unidades SI) enquanto a vazão volumétrica é medida em m<sup>3</sup>/s (unidades SI).

No caso de fluídos incompressíveis, as vazões mássica e volumétrica são relacionadas pela densidade  $\rho$  do fluído.

Para fluídos compressíveis é necessário ainda considerar a variação de densidade com temperatura e pressão.

# Diagrama de fases



# Diagrama de fases

---

**PONTO TRIPLO** é o estado em que sólido, vapor e líquido podem coexistir. No caso da água, o ponto triplo ocorre na temperatura de 273,16 K e pressão 611,73 Pa.

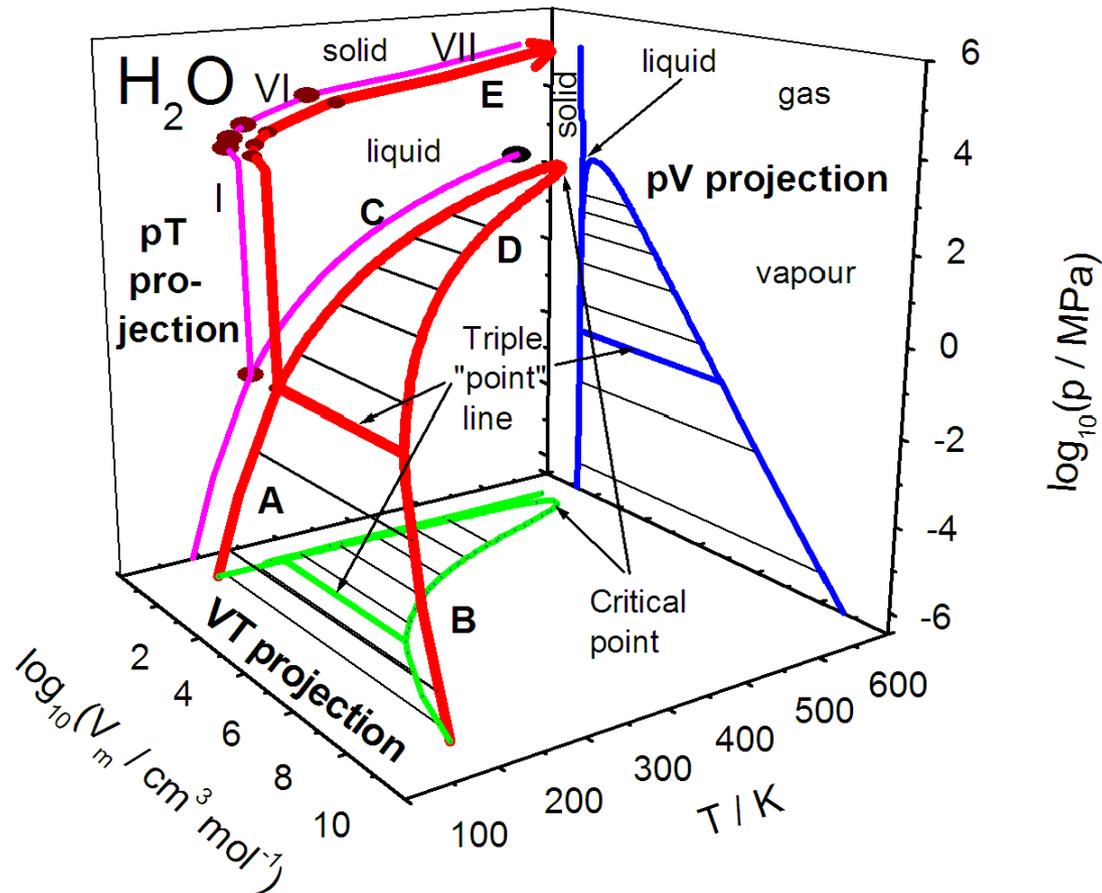
**PONTO CRÍTICO** é o estado a partir do qual não há mais distinção entre líquido e vapor. No caso da água, o ponto crítico ocorre na temperatura de 647 K e pressão 22,06 Mpa.

A rigor, uma terceira dimensão (e.g. volume específico ou entalpia) seria necessária para determinar o estado completo de um fluido.

Por exemplo, água a 100°C e 1atm pode estar na forma líquida ou de vapor ou mistura de ambos.

# Diagrama de fases

Este é um diagrama completo para a água (fora do escopo deste curso).



# Viscosidade

---

**VISCOSIDADE** é definida como a resistência que o fluido oferece ao escoamento.

Definimos

**VISCOSIDADE DINÂMICA**

$\tau$

e

**VISCOSIDADE CINEMÁTICA**

$\nu = \tau/\rho$   
( $\rho$  é a dens. do fluido)

A viscosidade dinâmica é medida em Pa·s (Pascal x segundo = Poise) ou usualmente em cP (centiPoise).

A viscosidade cinemática é medida em m<sup>2</sup>/s ou usualmente em cSt (centiStoke = 10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s).

# Regime de Escoamento

---

A viscosidade afeta o escoamento dos fluídos, fazendo com que a resistência ao movimento seja diferente em diferentes setores da seção transversal do tubo.

Usualmente a resistência ao movimento é maior nas bordas do que no centro da tubulação.

Com isso cria-se um perfil de velocidades que não é uniforme e estabelece-se um **regime de escoamento**.

Em baixas velocidades o escoamento é relativamente ordenado e é denominado **escoamento laminar**.

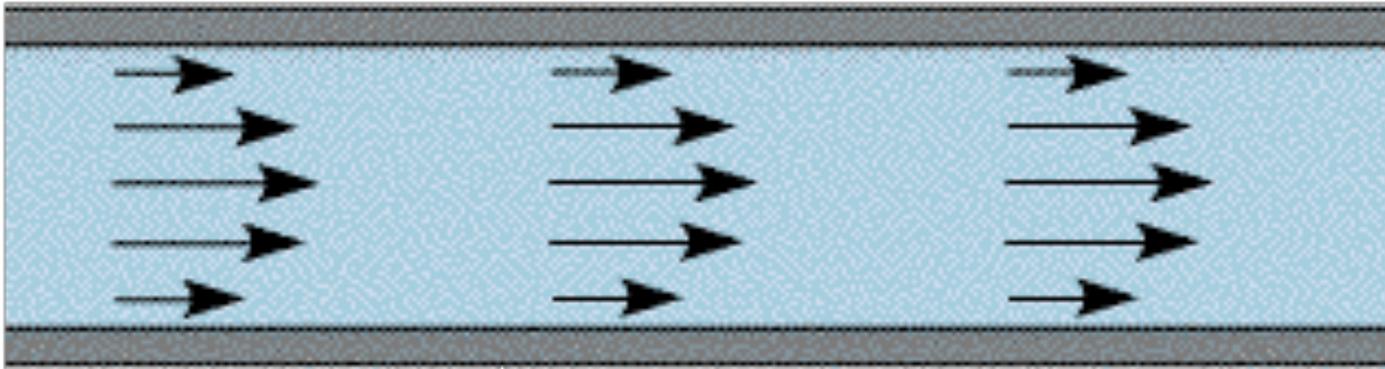
Com o aumento da velocidade (i.e. da vazão) os gradientes de velocidade ao longo da tubulação geram turbulência e turbilhões, desorganizando o fluxo e estabelecendo-se **escoamento turbulento**.

Outros fatores ainda entram em jogo, como variações no perfil ou rugosidade da tubulação ou presença de intrusões e diferenças de pressão e temperatura no fluído.

# Regime de Escoamento

---

ESCOAMENTO LAMINAR

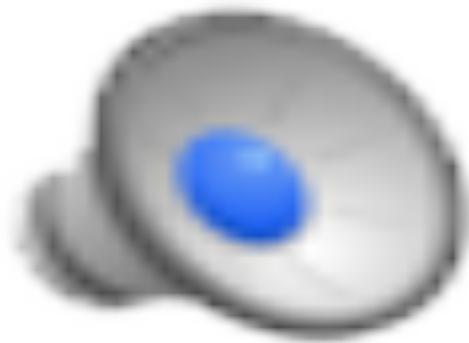


ESCOAMENTO TURBULENTO



# Regime de Escoamento

---



# Caveat

---

Vazão é um fenômeno complexo e há diversos princípios físicos envolvidos.

Dessa forma há uma infinidade de modos de medição de vazão baseados em princípios diversos.

Além disso, há uma infinidade de fatores que afetam as medidas de vazão.

Um problema comum à maioria dos sensores de vazão, é que eles interferem de maneira perceptível com o fluxo do fluido.

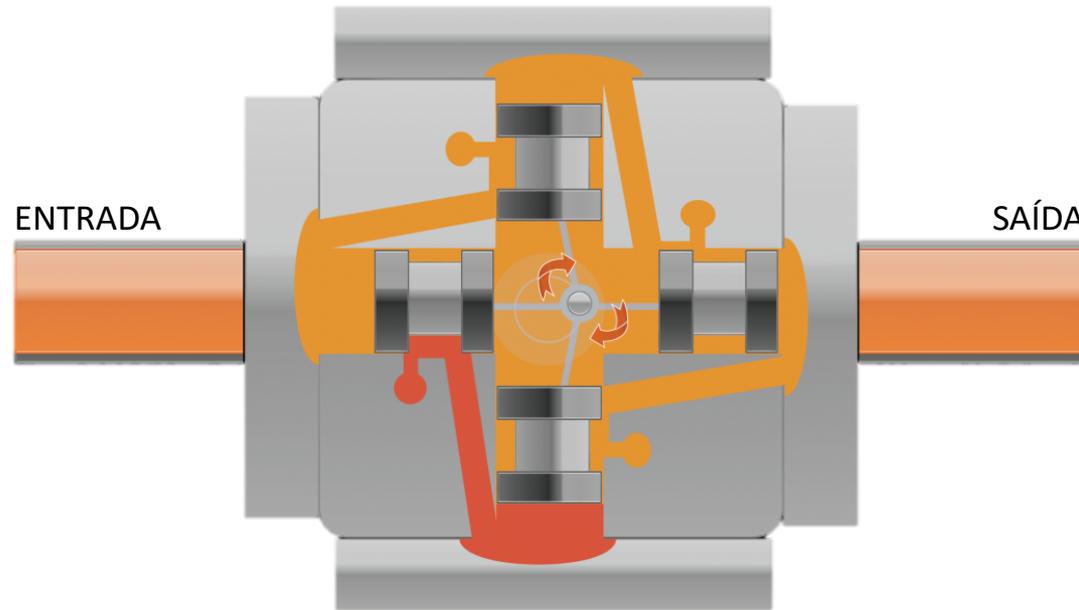
Resumindo, medição de vazão é um assunto bastante complexo.

# Sensores

MECÂNICOS	Pistões	Vazão volumétrica
	Engrenagens	Vazão volumétrica
	Rotâmetros	Vazão volumétrica
	Turbinas	Vazão volumétrica
	Vórtice	Vazão volumétrica
PRESSÃO	Placas de orifício	Vazão volumétrica
	Bocais de vazão	Vazão volumétrica
	Venturis	Vazão volumétrica
	Tubos de Pitot	Vazão volumétrica
	Medidores centrífugos	Vazão volumétrica
EFEITO CORIOLIS		Vazão mássica
ELETROMAGNÉTICOS		Vazão volumétrica
TÉRMICOS		Vazão mássica
ULTRASSOM (efeito Doppler, tempo de viagem)		Vazão volumétrica

# Pistões

## Pistões Lineares



O número de excursões do conjunto de pistões indica o volume de fluido deslocado.



# Pistões

## Pistões Lineares

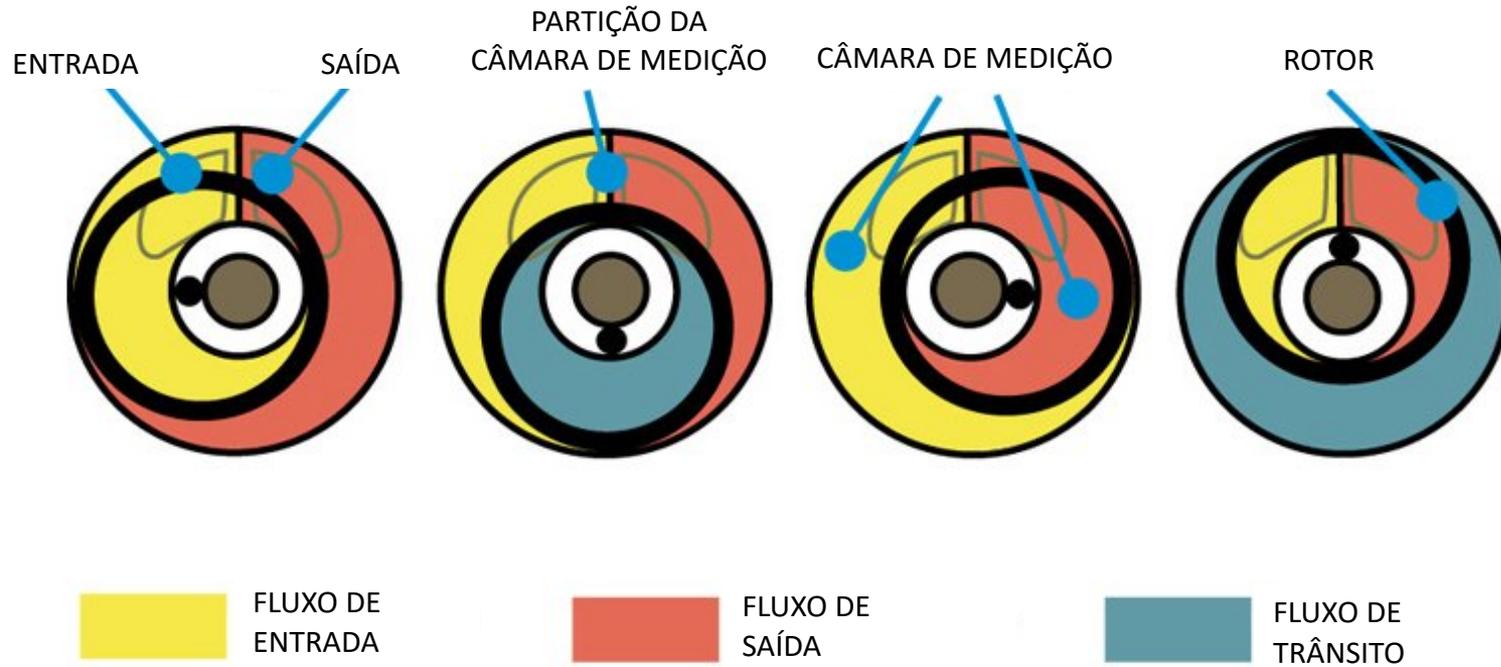
---



Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=h5UMvzf6xOI>

# Pistões

## Pistão Rotativo



# Pistões

## Pistão Rotativo

---



Disponível em [https://www.youtube.com/watch?v=m6gl\\_dMLZVk](https://www.youtube.com/watch?v=m6gl_dMLZVk)

# Pistões

## Pistão Rotativo

---



# Pistões

## Observações

---

A mecânica é relativamente complexa no caso dos pistões lineares e mais simples no caso de pistão rotativo.

Sensor adequado para vazões relativamente pequenas.

Como o volume deslocado associado à excursão do pistão é construtivamente determinado, esses sensores são bastante precisos.

A confiabilidade e repetibilidade também são muito boas.

A medida não é afetada pela composição do fluido, viscosidade, densidade, temperatura ou pressão.

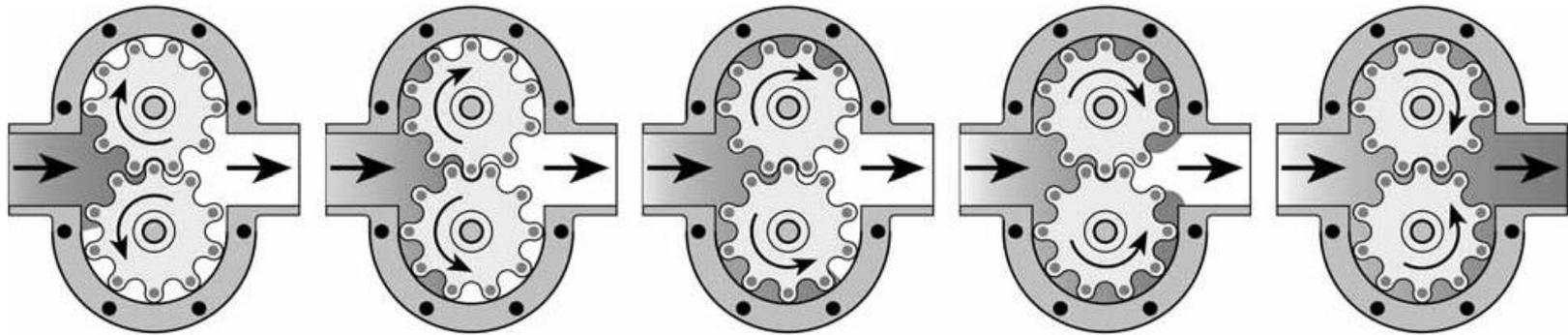
Não é necessário regularizar o fluxo para realizar a medição.

A medição interfere bastante no fluxo e gera uma perda de carga considerável, por isso é frequentemente utilizada na saída de bombas.

# Engrenagens

## Engrenagens Circulares

A operação é similar a dos sensores a pistão.



# Engrenagens

## Engrenagens Circulares

---

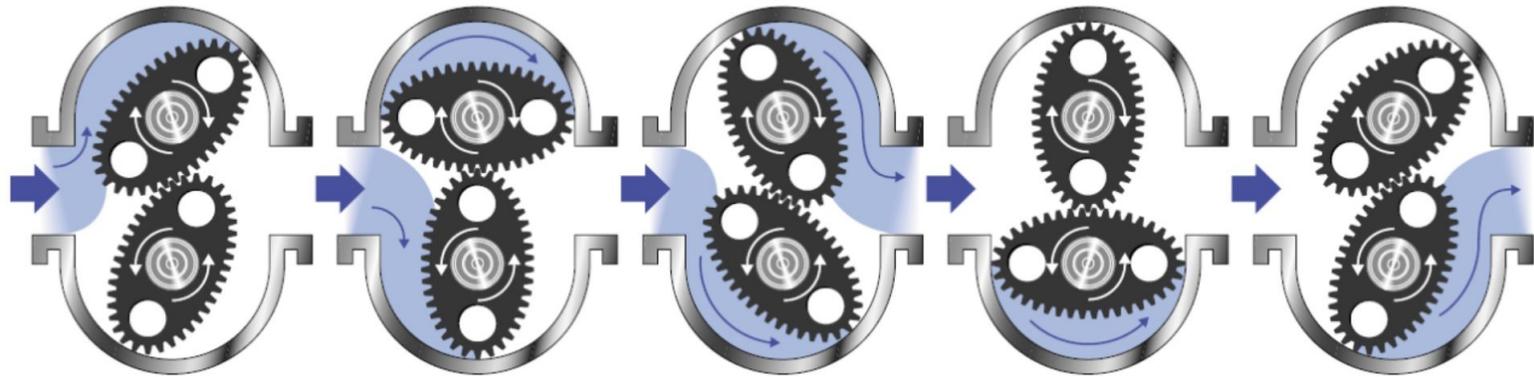


Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=pplr5hSQ-34>

# Engrenagens

## Engrenagens Ovais

Similar às engrenagens circulares.



# Engrenagens

## Engrenagens Ovais

---



Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=jhJgnY96smo>

# Engrenagens

## Observações

---

A mecânica é mais robusta do que nos sensores a pistão e o custo é relativamente baixo, porém o desgaste das engrenagens ao longo do tempo é um fator a se considerar. Além disso as partes mecânicas estão expostas ao fluido, o que pode ser um problema na presença de particulados ou impurezas misturadas ao fluido.

Sensor adequado para vazões relativamente pequenas.

Bastante preciso. Adequado para o cálculo de vazão acumulada.

A medida não é afetada pela composição do fluido, viscosidade, densidade, temperatura ou pressão.

Não é necessário regularizar o fluxo a montante para realizar a medição.

A medição interfere bastante no fluxo e gera uma perda de carga considerável, por isso é comumente utilizada na saída de bombas. Bombas de combustível (do tipo encontrado em postos de gasolina) frequentemente usam este tipo de sensor.

# Bombas Volumétricas

---

Dispositivos como os vistos acima (pistões, engrenagens) são denominados sensores de deslocamento positivo.

O mesmo princípio de operação pode ser utilizado para impor o fluxo do fluido ao invés de medi-lo.

Nos sensores, a quantidade de movimento associada à vazão desloca os pistões ou engrenagens.

Se ao contrário, impusermos o movimento do dispositivo, teremos uma vazão volumétrica controlada pela rotação do dispositivo.

Nesse caso temos uma bomba volumétrica ou bomba de deslocamento positivo. Tais equipamentos tem larga utilização em aplicações médicas, processos finos ou sistemas em que impor pequenas vazões com precisão seja necessário.