

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA
CELSO SUCKOW DA FONSECA – RIO DE JANEIRO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
DISCIPLINA DE SISTEMAS FLUIDOMECÂNICOS
PROFº MARCELO BRUM**

TRABALHO DE SISTEMAS FLUIDOMECÂNICOS

PROPRIEDADES GERAIS DOS FLUIDOS

GRUPO:

Alberdo d'O. Rezende

Fabiano da S. Lima

Gustavo C. Mazzei

Sandro Kozio

I – INTRODUÇÃO

Podemos definir um fluido como uma matéria que se deforma continuamente sob ação de uma tensão de cisalhamento, isto é, um fluido não oferece resistência a uma força tangencial a sua superfície. Tratamos, assim, um fluido como matéria infinitamente divisível.

A seguir apresentaremos as propriedades relativas aos fluidos.

II – PROPRIEDADES

II.1 – Massa Específica

Massa específica em um ponto é definida como massa por unidade de volume. Então, a massa específica média dentro do volume, V, será dada por:

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

Esta fórmula nos conduz a massa específica média de uma quantidade de um fluido. Em outras palavras, o volume, V, deve ser suficientemente grande, a fim de fornecer um valor da massa específica significativa e reproduzível num local, e ainda pequeno o suficiente para compensar as variações espaciais da massa específica. Abaixo as unidades usuais de massa específica:

	g/cm ³	kg/m ³	lbm/ft ³
g/cm ³	1	10 ³	62,428
kg/m ³	10 ⁻³	1	0,62428 x 10 ⁻¹
lbm/ft ³	0,16018 x 10 ⁻¹	16,018	1

II.2 – Densidade

Densidade de uma substância é a razão entre a massa específica desta substância e a massa específica de uma substância de referência em condições padrão. Para substâncias em estado líquido ou sólido a substância de referência é a água. Para as substâncias em estado gasoso a substância de referência é o ar. Com relação às condições-padrão, há uma certa divergência quanto à sua fixação, principalmente no tocante à temperatura, embora haja um consenso geral com relação à pressão, tida como pressão atmosférica ao nível do mar.

Os três valores-padrão da temperatura, para água como substância de referência, são:

- 4°C (39,2°F) - temperatura em que a água apresenta maior peso específico;
- 20°C (68°F) - temperatura recomendada pela ISO (International Standardization Organization);
- 15°C (59°F) - temperatura usada como padrão pelo API (American Petroleum Institute).

Tradicionalmente, contudo, a temperatura de 60°F tem sido consagrada nos cálculos de densidade e será o valor a ser adotado no texto. A diferença do peso específico da água a 60°F e a 59°F é desprezível para os cálculos de engenharia.

Deve-se observar que a densidade de uma substância é referida a uma determinada temperatura, isto é, a densidade de um fluido na temperatura T será a razão entre a massa específica do fluido na temperatura T e a massa específica da água a 60°F.

Existe uma forma de designar a densidade de um petróleo através do seu grau API:

$$^{\circ} \text{API} = \frac{141,5}{d_{60/60}} - 131,5$$

onde $d_{60/60}$ é a densidade do petróleo a 60°F referido à massa específica da água à temperatura, também, de 60°F. Por exemplo, um petróleo de $d_{60/60} = 0,86$ tem 33° API.

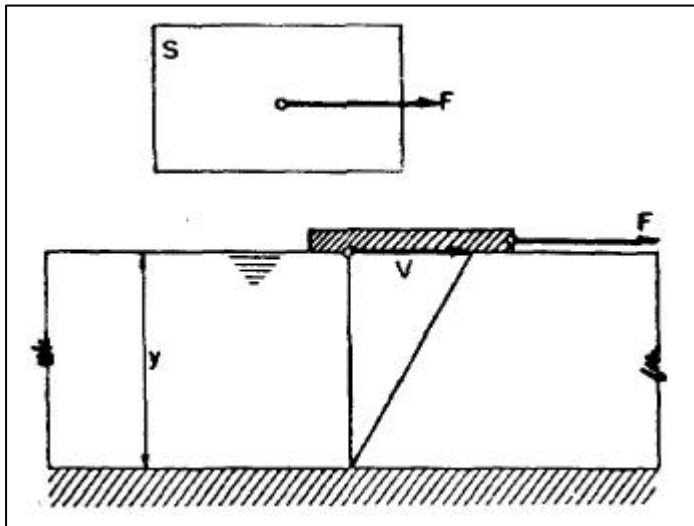
II.3 – Peso Específico

É a razão entre o peso de um fluido e o volume por ele ocupado.

II.4 – Viscosidade

É a resistência que o fluido oferece ao escoamento devido ao atrito interno das moléculas do fluido. A viscosidade pode ser definida como viscosidade absoluta, cinemática e relativa.

Para entender estes conceitos é necessário entender o conceito de fluido newtoniano.



II.4.1 – Fluido Newtoniano ®

quando a deformação causada no fluido é proporcional a tensão de cisalhamento aplicada, independente da variação do seu estado, diz-se, então, que o fluido é newtoniano.

II.4.2 - Viscosidade Absoluta –

Levando em consideração o conceito de fluido newtoniano, viscosidade absoluta é a constante de proporcionalidade

entre a tensão de cisalhamento e deformação causada no fluido.

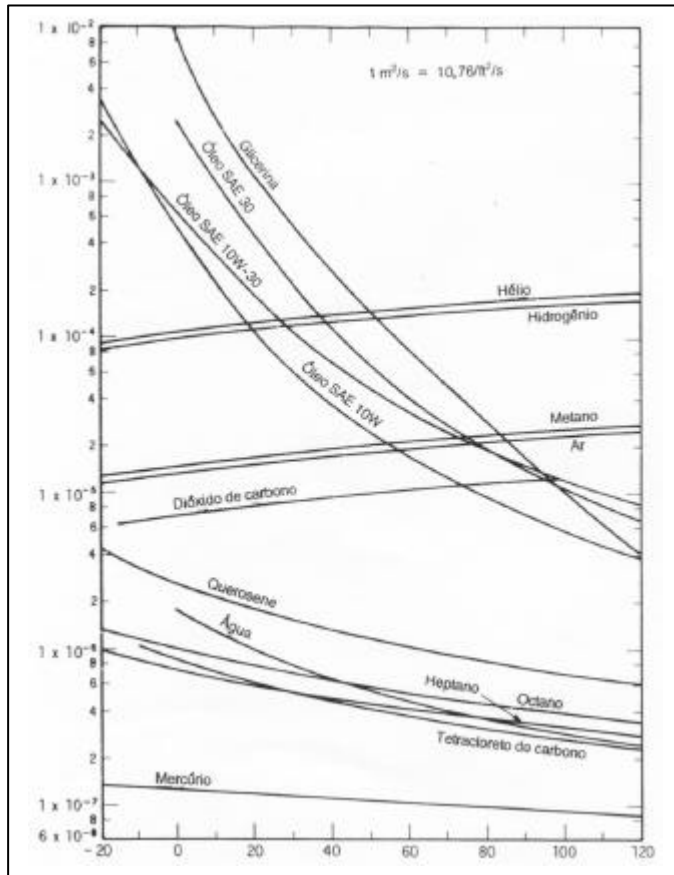
	cP	Pa . s	lbm / ft . s	slug / ft . s lbf . s / ft ²
cP	1	10 ⁻³	0,672 x 10 ⁻³	0,209 x 10 ⁻⁴
Pa . s	10 ³	1	0,672	0,209 x 10 ⁻¹
lbm / ft . s	1 487	1,487	1	0,311 x 10 ⁻¹
slug / ft . s lbf . s / ft ²	47 900	47,9	32,174 (4)	1

II.4.3 – Viscosidade Cinemática – É a relação entre a viscosidade absoluta μ e a massa específica ρ .

Observações:

1- Quanto maior a viscosidade, maior será a resistência ao escoamento.

2- Nos líquidos, devido a incompressibilidade, a viscosidade cinemática praticamente não varia com a pressão. Nos gases a elevação da pressão aumenta a massa específica e, em consequência, reduz a viscosidade cinemática. Para ambos, a viscosidade é alterada em função da temperatura.

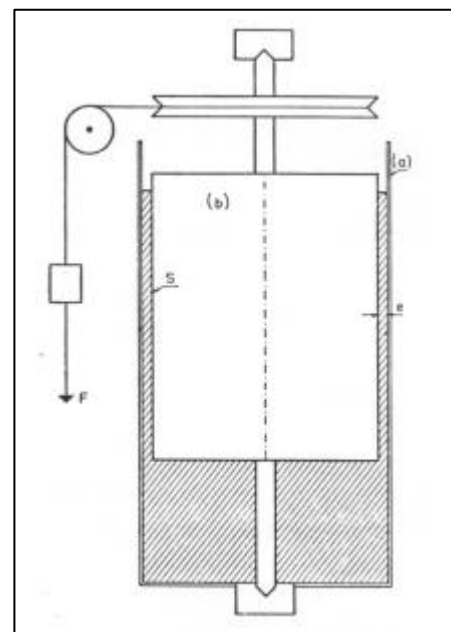


O gráfico ao lado mostra a variação da viscosidade (eixo y) em função da variação da temperatura (eixo x)

Na determinação experimental da viscosidade absoluta (por meio de dispositivos denominados viscosímetros) utilizam-se equações relativas a fenômenos nos quais a viscosidade é uma das grandezas.

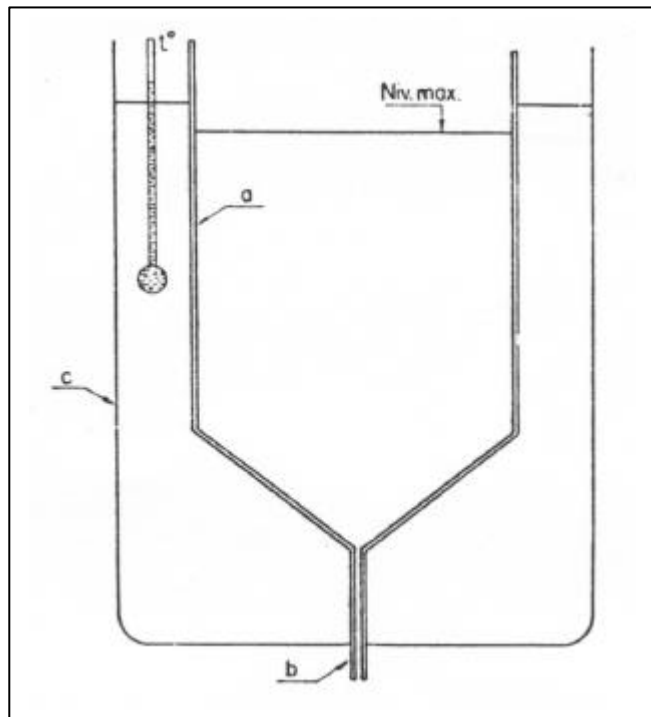
O viscosímetro de Mac-Michael ao lado, por exemplo, consiste em um vaso cilíndrico (a) no interior do qual pode girar um cilindro concêntrico (b), com pequena folga anular e , a qual é preenchida com o líquido cuja viscosidade se pretende determinar. Sendo F a força tangencial necessária para manter constante a velocidade periférica V do cilindro, a Eq. (a) de Newton fornece:

$$\mu = \frac{Fe}{SV}$$



A viscosidade é dada em escala própria ao instrumento. No viscosímetro *Saybolt Universal* a viscosidade cinemática é expressa pelo número de segundos necessários para escoar 60 cm³ do líquido à temperatura em questão. Para líquidos muito viscosos, adota-se o viscosímetro *Saybolt Furol*, cujo tubo do escoamento tem maior seção, escoando o mesmo volume em tempo 10 vezes menor do que o anterior.

Encontram-se nos manuais de Hidráulica tabelas e Ábacos que permitem obter em stokes ou m²/s a viscosidade cinemática expressa em segundos-Saybolt, segundos-Furol ou outra escala equivalente.



Unidades usuais de Viscosidade Cinemática:

	cSt	St cm ² /s	ft ² /s
cSt	1	0,01	0,10764 x 10 ⁻⁴
St cm ² /s	100	1	0,10764 x 10 ⁻²
ft ² /s	92 903	929,03	1

II.5 - Pressão

Define-se como pressão a razão entre a componente normal de uma força e a área em que ela atua, ou seja, é a força por unidade de área. A pressão exercida em um elemento de área de um fluido é igual em todas as direções. As unidades mais usadas para a pressão são:

	kg/cm ²	bar	psi	Pa	mH ₂ O	mm Hg
kg/cm ²	1	9,8066 x 10 ⁻¹	14,223	98 066	10	735,56
bar	1,0197	1	14,504	10 ⁵	10,197	750,06
psi	0,70307 x 10 ⁻¹	6,8948 x 10 ⁻²	1	6 894,76	0,70309	51,715
Pa	0,10197 x 10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	14,504 x 10 ⁻⁵	1	0,10197 x 10 ⁻³	0,75006 x 10 ⁻²
mH ₂ O	0,1	9,8064 x 10 ⁻²	1,4223	9 806,4	1	73,554
mmHg	0,13595 x 10 ⁻²	0,13332 x 10 ⁻²	0,19337 x 10 ⁻¹	133,32	0,13596 x 10 ⁻¹	1

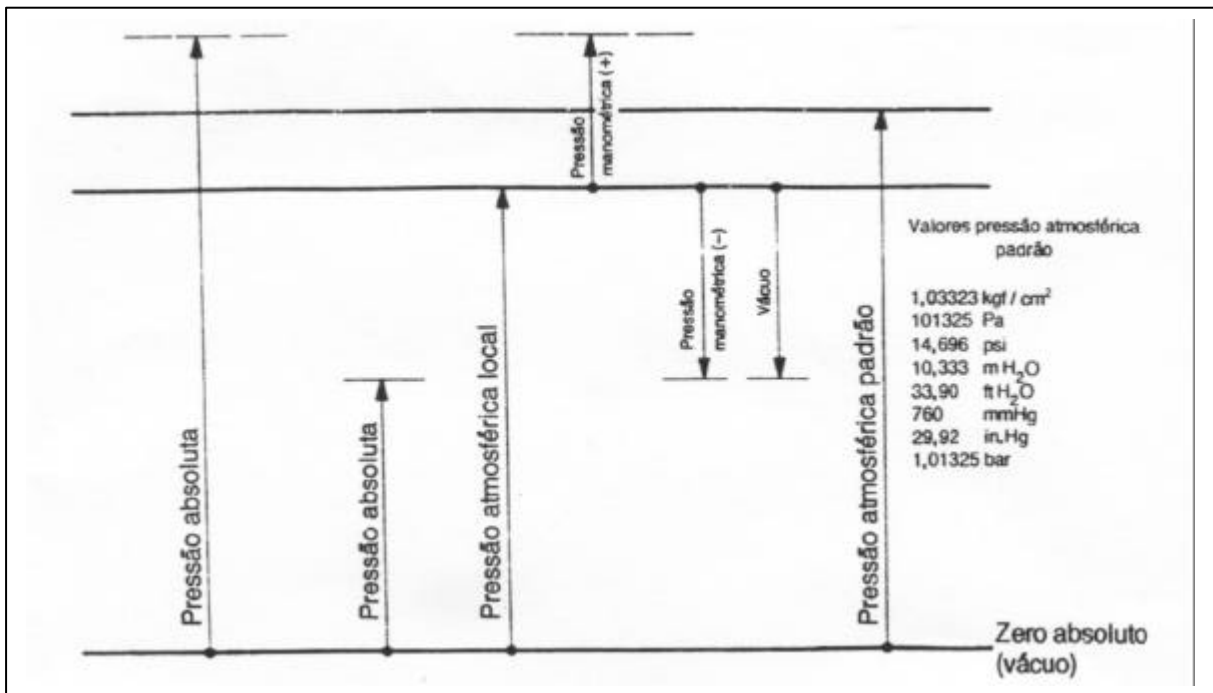
- m H₂O é a pressão exercida por uma coluna de 1 metro de água a 4°C (39,20°F).

- mmHg: é a pressão exercida por uma coluna de 1 milímetro de mercúrio a 0°C (32°F). Esta unidade é também chamada de torr.

As unidades m H₂O e mmHg são originárias do estudo de hidrostática que associa a pressão P a uma altura "h" de coluna de líquido de peso específico $\tilde{\rho}$, através da expressão:

$$P = \tilde{\rho} \cdot h \text{ ou } P = \rho \cdot g \cdot h$$

Estas unidades são também usadas no sistema inglês com as medidas lineares m e mm convertidas, respectivamente, para ft e in, dando origem às unidades ft H₂O e in. Hg.

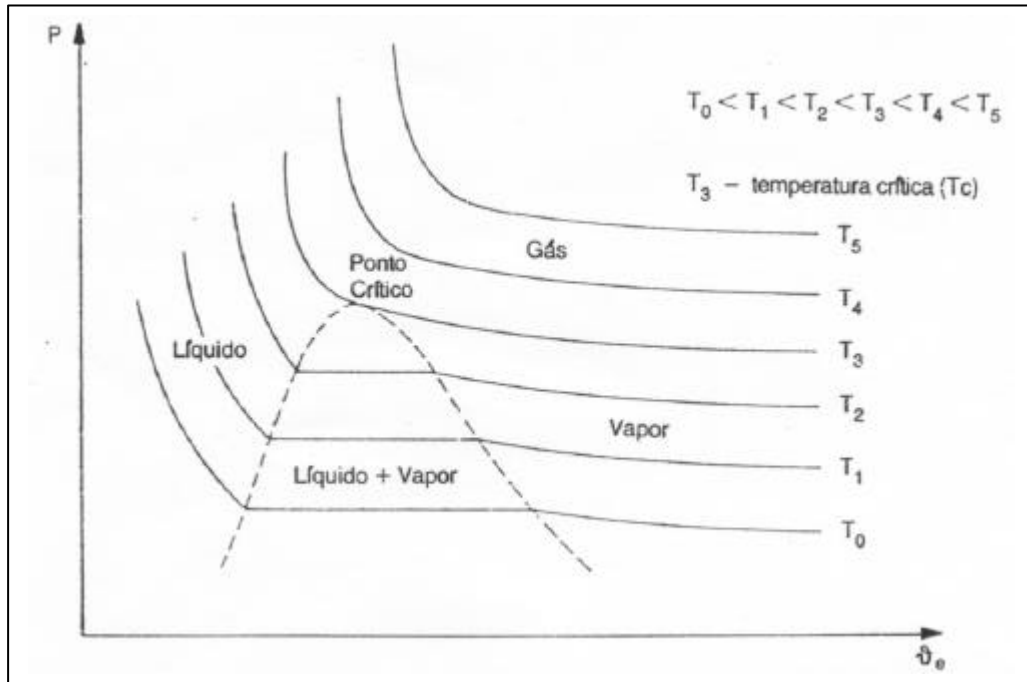


Existem duas formas de apresentar a medida de pressão. A primeira é referida à pressão zero absoluto e a pressão assim medida recebe a denominação de pressão absoluta. A outra é referida à pressão atmosférica do local da medição e é denominada de pressão manométrica. Quando a

pressão manométrica é inferior à pressão atmosférica local, é usual chamá-la de vácuo. Está sendo desencorajado o uso desta última forma de apresentação. Na figura anterior, temos os referenciais de medida de pressão.

II.5.2 – Pressão de Vapor

No estudo da compressão isotérmica dos gases reais, três pontos são altamente importantes no estudo de bombas, sendo interessante destacá-los:



- observando a Figura vê-se que, para uma determinada temperatura abaixo da crítica, só existe uma pressão na qual coexistem as fases líquidas e vapor. A esta pressão denomina-se pressão de vapor (P_v);

- quanto maior a temperatura, maior será a pressão de vapor correspondente. Então, para qualquer:

$$T < T_c$$

$$T \quad P_v$$

- finalmente, pode-se ainda observar na Figura que, para cada temperatura menor que a crítica:

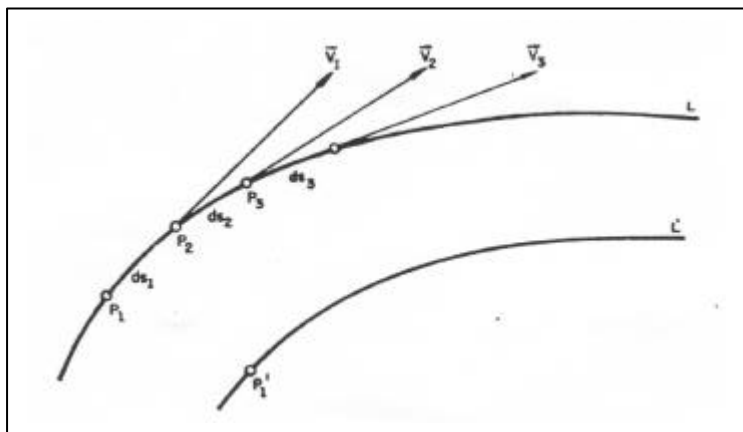
- Se $P < P_v$, - fase vapor;
- Se $P = P_v$, - fase líquido + vapor;
- Se $P > P_v$, - fase líquida;

Então, como normalmente as bombas foram construídas para operação com líquidos pode acarretar sérios danos a queda de pressão a níveis iguais ou inferiores pressão de vapor do líquido bombeado na temperatura de bombeamento.

II.6 – Veia Líquida

Se, durante um intervalo elementar de tempo, cada partícula do meio fluido deixasse gravado no espaço o arco elementar descrito em seu movimento, teria a representação instantânea da direção e sentido do movimento de todas as partículas.

No intervalo de tempo dt , a partícula situada em P_1 desloca-se para P_2 , descrevendo o arco ds_1 , enquanto a partícula que estava em P_2 descreve o arco ds_2 e atinge P_3 , e assim por diante. A linha L que contém os pontos $P_1, P_2, P_3, \text{ etc.}$ representa os deslocamentos elementares de um número infinitamente grande de partículas no intervalo elementar de tempo considerado, conforme a figura abaixo.



Esta linha recebe o nome de *linha de corrente* ou *linha de fluxo*. Do conceito anterior decorre o seguinte:

A partir de qualquer outra posição P_1' do espaço no mesmo instante, traçamos uma linha de corrente. O conjunto das linhas de corrente para todos os pontos do espaço representa, a cada instante, os deslocamentos das partículas fluidas.

O fluido se move ao longo das linhas de corrente e nunca transversalmente a elas.

Em cada instante, os vetores velocidade das partículas são tangentes às linhas de corrente; com efeito, cada linha de corrente é constituída pelos arcos elementares ds descritos pelas partículas no mesmo intervalo dt de tempo, e o vetor velocidade, em cada ponto, tem a direção e o sentido do arco elementar ds . Neste fato tem origem a definição mais freqüente de linha de corrente: É a linha tangente aos vetores velocidade no instante considerado. As linhas de corrente são equivalentes. As linhas de fluxo de um campo vetorial, neste caso o campo dos vetores velocidade.

No mesmo instante, duas linhas de corrente não se cruzam, pois este fato obrigaria o ponto de interseção ter duas velocidades, isto é a mesma posição do espaço seria ocupada simultaneamente por duas partículas, o que é impossível em face da impenetrabilidade da matéria.

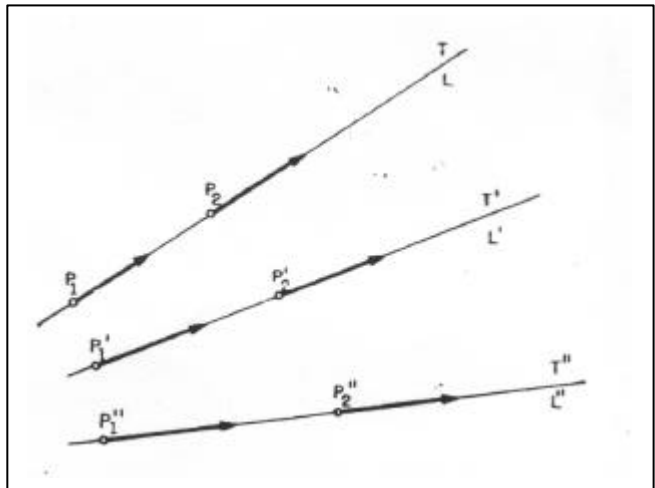
Quando, no mesmo instante, todos os pontos de uma Linha de corrente tem velocidades de mesma direção esta linha de corrente é retilínea.

Se, no mesmo instante, as velocidades de ponto a ponto de uma linha de corrente não tem a mesma direção a linha de corrente é curva, porém não apresenta descontinuidade. Além disso, no movimento de fluido a velocidade varia de modo contínuo com as coordenadas, logo as direções das velocidades em dois pontos infinitamente próximos no mesmo instante, podem diferir apenas de um ângulo infinitesimal; por conseguinte, ao longo da mesma linha de corrente as tangentes variam de modo contínuo.

Nos movimentos permanentes, em virtude de as velocidades permanecerem constantes com o decorrer do tempo, as linhas de corrente são imutáveis e coincidem com as trajetórias das partículas. Consideremos a Fig. anterior representando um movimento permanente. Em conseqüência a linha de corrente L , traçada a partir do ponto P_1 permanece invariável com o decorrer do tempo. Durante o intervalo de tempo dt a partícula situada em P_1 desloca-se para P_2 , enquanto a partícula situada em P_2 desloca-se para P_3 , e assim por diante. Em qualquer outro intervalo elementar de tempo este fato se repete, uma vez que a velocidade em cada ponto

permanece constante com o decorrer do tempo. Logo, toda partícula que passar por P_1 descreverá a trajetória P_1, P_2, etc , ou seja, a própria linha de corrente L traçada a partir de P_1 .

Nos movimentos não permanentes de trajetórias retilíneas também coincidem as trajetórias e as linhas de corrente. Neste caso, as velocidades ao longo de cada trajetória têm a mesma direção podendo variar apenas em módulo, seja com a posição ou com o decorrer do tempo. Assim, em qualquer instante a linha tangente aos vetores velocidade é uma reta coincidente com a trajetória traçada a partir do ponto considerado. Como podemos observar a fig. Ao lado:



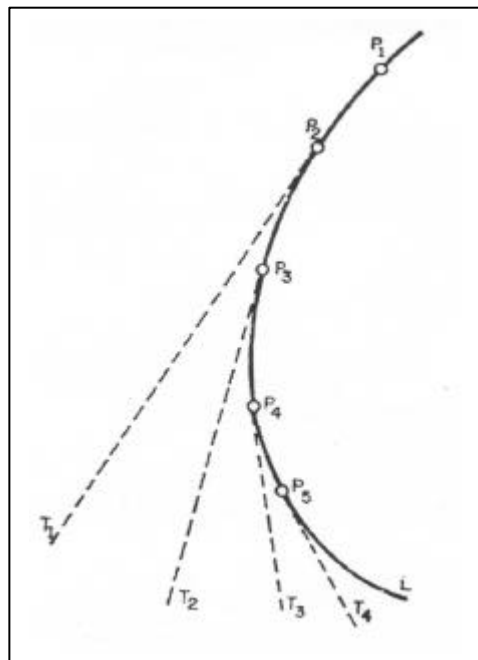
No caso mais geral do movimento não permanente, não coincidem as trajetórias e as linhas de corrente. É necessário ter presente que a trajetória refere-se a cada partícula com o decorrer do tempo, enquanto a linha de corrente representa os deslocamentos elementares e simultâneos de um número infinitamente grande de partículas.

Vale dizer, portanto, que a linha de corrente é constituída pelas trajetórias elementares de um número infinitamente grande de partículas. Como a velocidade em cada ponto é tangente à trajetória e à linha de corrente, concluímos que a cada instante as trajetórias são tangentes às linhas de corrente.

Sendo dx, dy, dz as projeções sobre os eixos coordenados do arco elementar ds da linha de corrente, traçado de um ponto genérico P , e V_x, V_y, V_z as projeções da velocidade nesse ponto, atendendo a que a velocidade, a cada instante, é tangente à linha de corrente, podemos escrever:

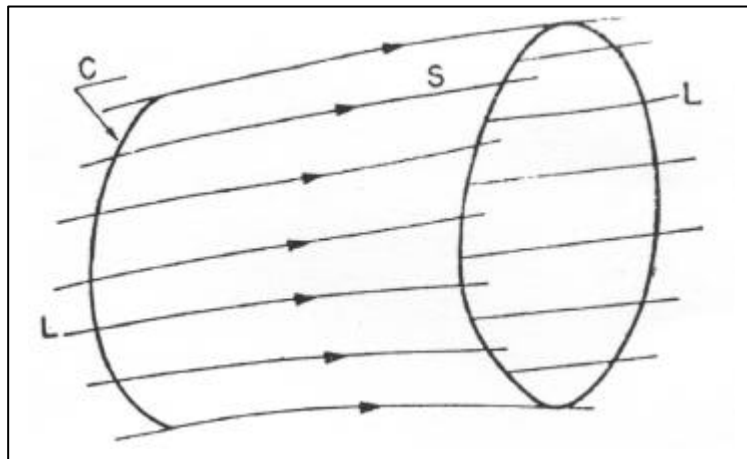
$$\frac{dx}{V_x} = \frac{dy}{V_y} = \frac{dz}{V_z},$$

que é a equação diferencial das linhas de corrente.



Para se representar a direção e o sentido do movimento não permanente de um fluido é necessário traçar a cada instante, o conjunto das linhas de corrente, pois estas variam com o decorrer do tempo. No movimento permanente as linhas de corrente são imutáveis e representam as trajetórias das partículas em qualquer instante.

Consideremos uma curva fechada C (Fig. abaixo) transversal às linhas de corrente num dado instante e tracemos todas as linhas de corrente que interceptam esta curva. O conjunto destas linhas de corrente delimita uma superfície fechada S em todo o contorno, denomina *tubo de corrente* ou *veia líquida*, no interior de qual o fluido se escoa como se esta superfície fosse uma parede impermeável. Com efeito: não ocorre movimento de partículas transversalmente às linhas de corrente, logo a superfície em questão não é atravessada pelo fluido. A curva C denomina-se *diretriz* do tubo de corrente.



Referências Bibliográficas

- 1- FEGHALI, Saures. Mecânica dos Fluidos, vol 1 e 2. 1ª ed., Rio de Janeiro, LTC– Livros Técnicos e Científicos, 1974.
- 2- MATTOS, Edson Ezequiel de. & Reinaldo, Bombas Industriais, 2ª ed. São Paulo, Interciência, 1998.
- 3- FOX, Robert W. & McDonald, Alan T., Introdução á Mecânica dos Fluidos, 4ª ed. , Rio de Janeiro, LTC – Livros Técnicos e Científicos 1998.