

2.3- Classificando Escoamentos

Existem muitas formas de classificar escoamentos. Por exemplo, á luz da dimensionalidade do mesmo. Assim, podemos falar de escoamentos unidimensionais, quando a velocidade tem apenas a componente x , por exemplo. Quando a velocidade tem apenas duas componentes, estamos lidando com escoamentos bidimensionais. No caso mais geral, estamos nos referindo a escoamentos tridimensionais

A seguir abordaremos alguns tipos de escoamentos, com ênfase especial aos escoamentos de fluidos incompressíveis e que se movimentam sem executar movimento de rotação. Ademais consideraremos apenas fluidos bidimensionais.

2.3.1 Escoamentos Unidimensionais, Bidimensionais e Tridimensionais.

Um escoamento unidimensional é o mais simples de todos. Para ele escrevemos:

$$\begin{aligned}V_x &\neq 0 \\V_y &= 0 \\V_z &= 0\end{aligned}$$

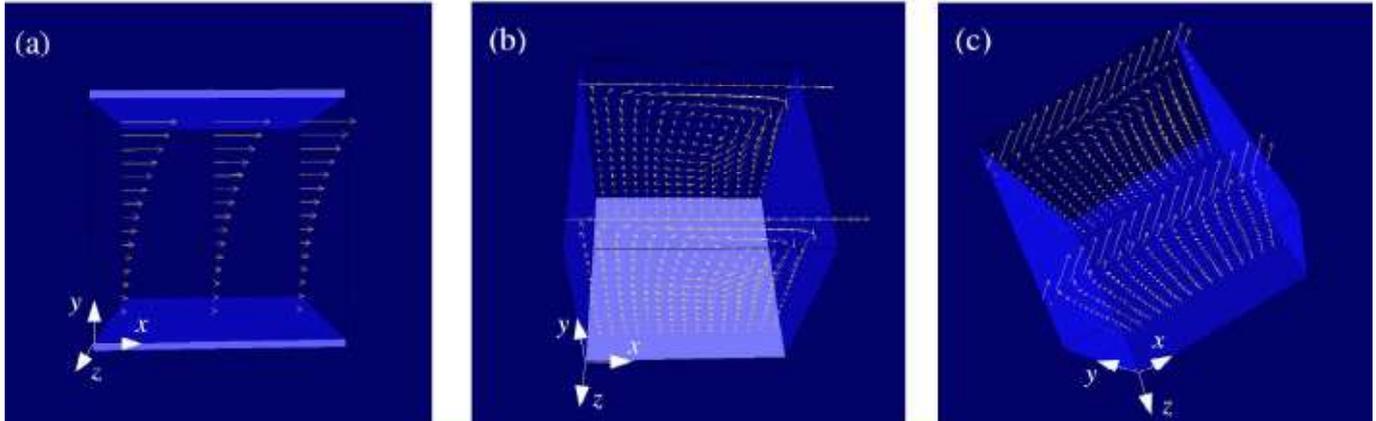
Assim, nesse caso, as linhas de corrente são sempre paralelas

Definimos **escoamentos bidimensionais** como sendo aqueles que ocorrem da mesma forma ao longo de planos paralelos. Nesse caso eles não dependem do plano (aqui tomado como sendo o eixo z). Nesse caso, o campo de velocidades tem duas componentes:

$$\begin{aligned}V_x &\neq 0 \\V_y &\neq 0 \\V_z &= 0\end{aligned}$$

No escoamento tridimensional, o campo de velocidades exhibe as três componentes:

$$\begin{aligned}V_x &\neq 0 \\V_y &\neq 0 \\V_z &\neq 0\end{aligned}$$



Escoamento bidimensional e escoamentos tridimensionais

2.3.2 Escoamento permanente ou estacionário

Denominamos escoamentos permanentes como sendo aqueles para os quais as grandezas físicas relevantes não dependem explicitamente do tempo. Ou seja, as grandezas relevantes não dependem do tempo.

$$\vec{V}(x, y, z)$$

$$\rho(x, y, z)$$

$$P(x, y, z)$$

2.3.3 Escoamentos rotacionais e irrotacionais

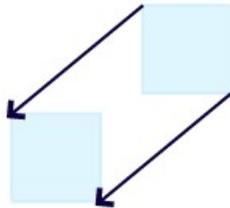
Num escoamento irrotacional poderíamos dizer que o fluido não possui uma velocidade angular que varia, eventualmente, de ponto a ponto. Abaixo apresento um vídeo onde ocorre uma situação bastante interessante, bastante estudada também que é o surgimento de vórtices. O fluido tem, portanto uma velocidade angular e gira em torno de um eixo.

Abaixo apresento um vídeo onde ocorre uma situação bastante interessante, bastante estudada também que é o surgimento de vórtices. O fluido tem, portanto uma velocidade angular e gira em torno de um eixo.

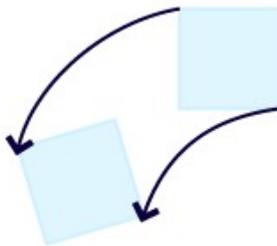


[youtube.com/watch?v=16iCr_kfZlo](https://www.youtube.com/watch?v=16iCr_kfZlo)

Na figura abaixo, ilustramos a evolução de uma parte do fluido irrotacional,



No caso em que o fluido é rotacional, no entanto, a evolução seria de acordo com a figura abaixo.

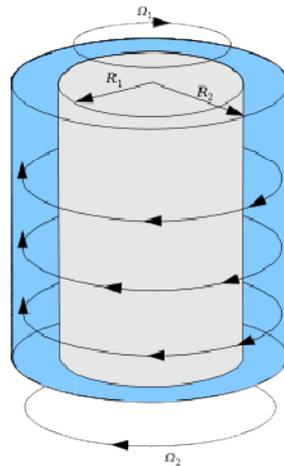


A título de exemplo, consideremos o caso em que

$$V_x(x, y) = -V_0 y / \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$V_y(x, y) = V_0 x / \sqrt{x^2 + y^2}$$

Esse caso é ilustrado na figura abaixo



2.3.4 Escoamentos incompressíveis e irrotacionais

São os escoamentos mais simples de serem analisados.

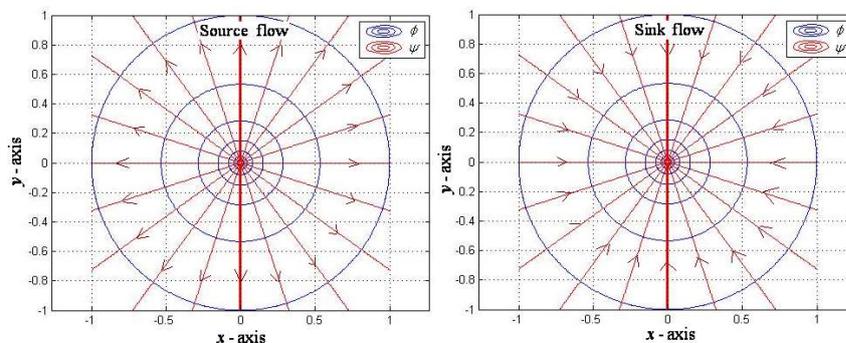
2.3.5 Exemplo de Escoamentos Simples

Consideremos três exemplos de escoamentos simples. O primeiro é aquele de uma fonte ou de um sorvedouro na origem. No caso de uma fonte na origem o potencial de velocidade é dado por:

$$V_x = \frac{\alpha}{2\pi} \frac{x}{x^2 + y^2}$$

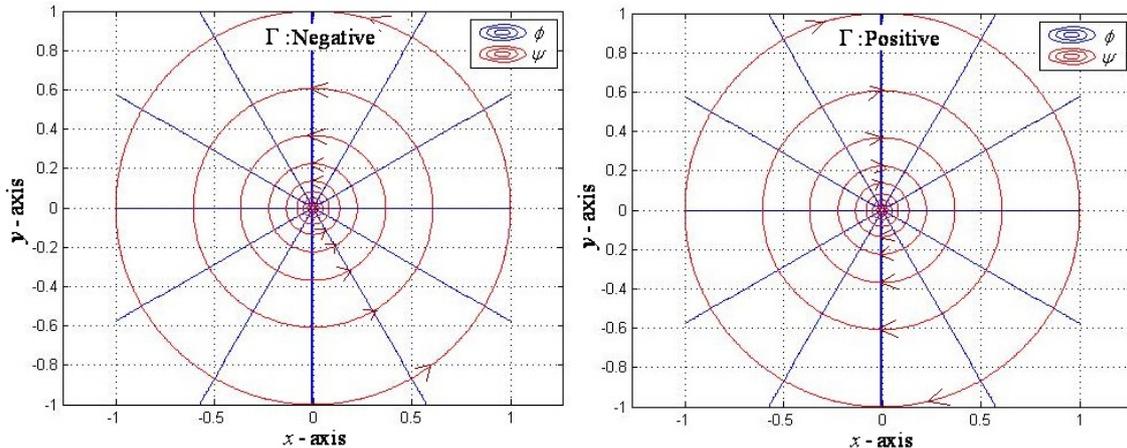
$$V_y = \frac{\alpha}{2\pi} \frac{y}{x^2 + y^2}$$

No caso de uma fonte, $\alpha > 0$. Para o Sorvedouro teremos $\alpha < 0$.



Consideremos agora o caso de um vórtice. Nesse caso a velocidade tem sempre a componente azimutal. Ou seja

$$\vec{v}(r, \theta) = v_{\theta}(r, \theta) \vec{e}_{\theta} = v_{\theta}(r, \theta) (-\sin \theta \vec{i} + \cos \theta \vec{j})$$



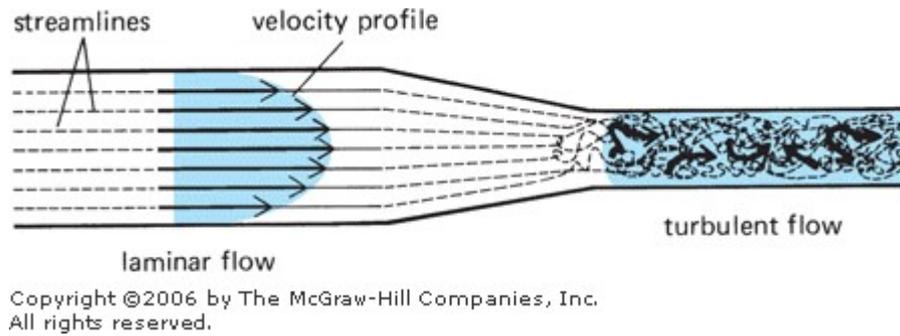
2.3.6 Escoamentos Laminar e Turbulento

No regime laminar a velocidade do fluido em relação a objeto é a mesma ao longo de laminas (vide figura). A definição de lâmina não é muito precisa.

As características principais do escoamento laminar, são:

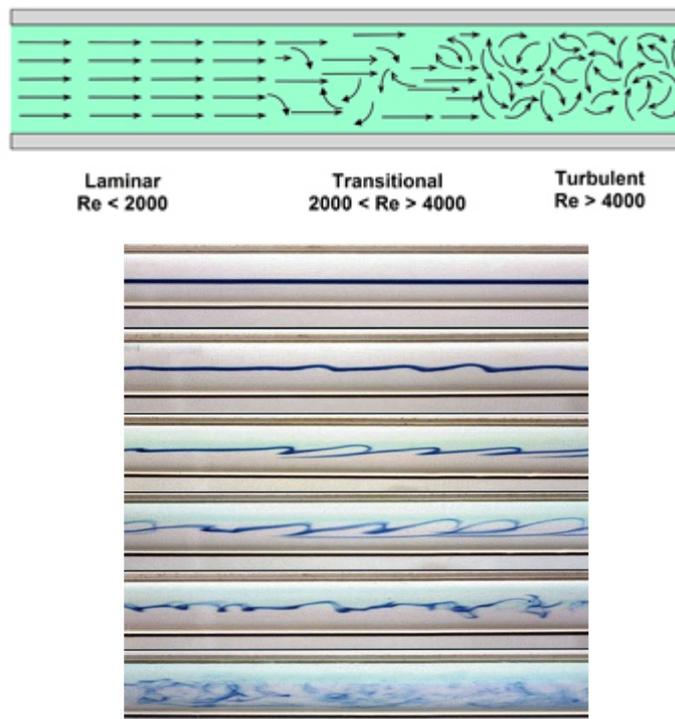
- 1- Ele acontece apenas quando o escoamento ocorre a baixas velocidades.
- 2- As partículas do fluido percorrem trajetórias praticamente retilíneas.
- 3- Ele ocorre apenas para números de Reynolds baixos ($Re < 2000$)
- 4- Quando acrescentamos um corante no fluido ele não se mistura com o fluido.
- 5- Tratamento matemático é mais simples
- 6- É um tipo de escoamento mais raro de acontecer

Por exemplo, no caso de um objeto nele imerso, no regime laminar a velocidade do fluido em relação ao objeto é a mesma ao longo de uma lamina. As moléculas de uma determinada lâmina não interagem com as moléculas de outras lâminas. O movimento é mais organizado, vide figura abaixo



No regime dito turbulento, ocorrem interações entre as diversas moléculas. O movimento é muito mais complexo, mais desorganizado. As linhas de força exibem um padrão que pode ser representado pela figura 16.23b.

- 1- Acontece quando o escoamento ocorre a baixas velocidades.
- 2- As partículas do fluido percorrem trajetórias completamente irregulares. O movimento médio ocorre na direção do escoamento.
- 3- Ele ocorre para números de Reynolds altos ($Re > 4000$)
- 4- Quando acrescentamos um corante no fluido ele se mistura com o fluido. Ou seja, o fluido fica completamente colorido.
- 5- Tratamento matemático é muito mais complexo
- 6- É o tipo de escoamento mais comum



Nenhum dos dois tipos de escoamento está ao alcance na nossa vista.

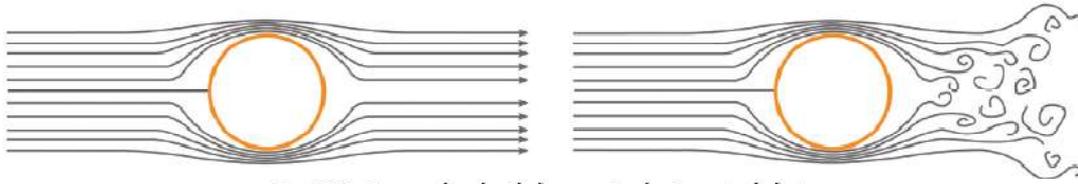
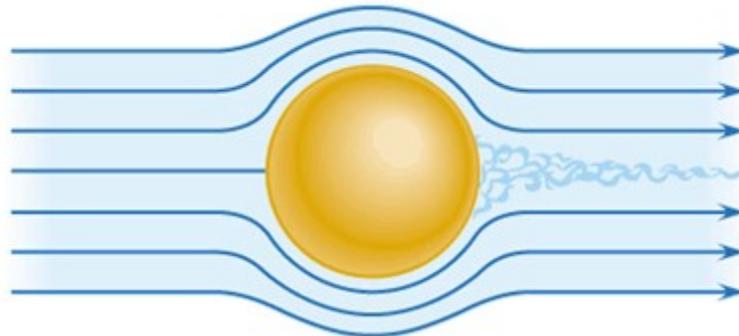


Fig. 16.23. Campos de velocidade no regime laminar e turbulento.

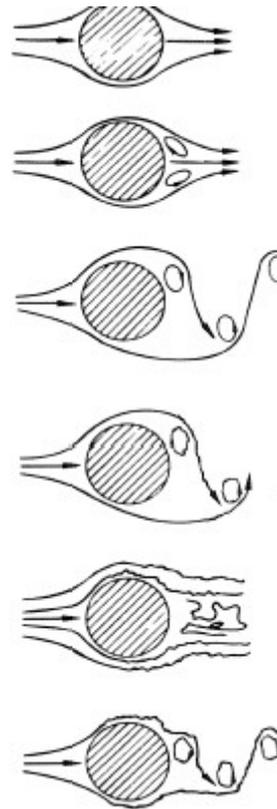
Assim, pode-se dizer que aquilo que melhor caracteriza cada um dos regimes é o número de Reynolds

Um fluido pode exibir os dois tipos de escoamento. No entanto, verifica-se que há uma fase de transição. Essa fase denominada de transição é marcada pelas seguintes características.

- 1- Nessa fase as velocidades não são nem muito baixas, nem muito altas. Ela acontece num domínio de velocidades entre os dois tipos de escoamentos já mencionados.
- 2- Essa fase é marcada pelo surgimento dos primeiros vórtices (vide fig. abaixo)



- 3- Ele ocorre para números de Reynolds intermediários, ou seja, na faixa de valores $2000 < Re < 4000$
- 4- Quando acrescentamos um corante no fluido ele se mistura com o fluido. Ou seja, o fluido, no entanto não fica completamente colorido.



2.3.7 Forças no Regime Turbulento

A expressão (000) para a força exercida por um fluido quando do movimento de um objeto nele imerso, só vale para pequenas velocidades. Ou seja, quando se trata do regime dito laminar. Nesse regime, a força é de natureza viscosa, resulta apenas da colisão do objeto em movimento com os átomos do fluido.

Ao atingir o regime turbulento, a força sobre um objeto, quando este se movimenta ao longo do eixo z (F_z), pode ser escrita como:

$$F_z = -\frac{\rho C_a A}{2} V_z^2$$

onde ρ é a densidade do ar (quando o fluido for o ar), C_a é o coeficiente de arrasto (o qual depende da geometria do objeto e do coeficiente de viscosidade), A é a área do objeto em contato com o fluido e V_z é a componente z da velocidade. Muitas vezes escrevemos, nesse regime, expressões envolvendo potências de ordem mais alta na velocidade. Ou seja:

$$F_z = -\kappa V_z^n$$

onde κ é uma constante análoga àquela da expressão (000).

Na tabela abaixo apresentamos alguns valores típicos e aproximados dos coeficientes de arrasto para diferentes designs de automóveis.

Forma	C_a
	0,8 - 0,9
	0,35
	0,24
	0,16
	0,13

Tabela 16.1. Alguns valores do coeficiente de arrasto.

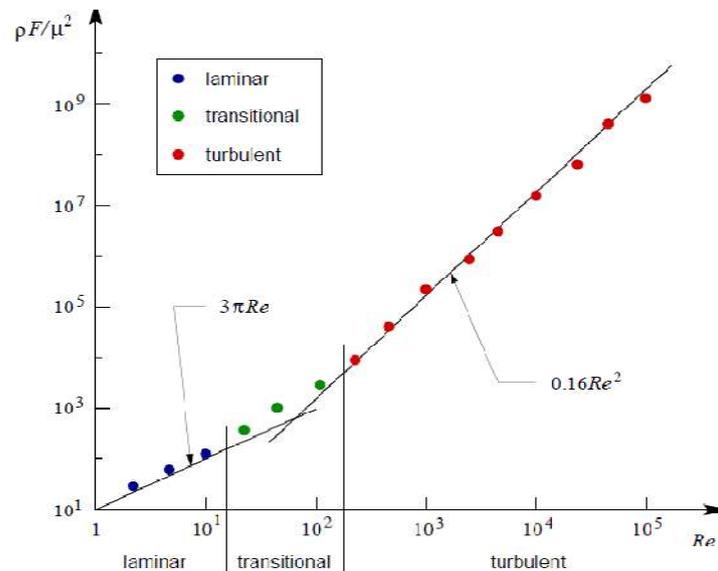


Figure 3.16: Dimensionless force on a sphere as function of Re ; plotted points are experimental data, lines are theory (laminar) and curve fit (turbulent).