



Universidade Federal do Paraná

Setor: Tecnologia

Departamento: Engenharia Química

Fenômenos de Transferência de Momento— Fenômenos de Transporte I



Prof^ª. Dra. Alessandra Cristina Pedro



Apresentação da disciplina

A disciplina (ENQ040):

Carga horária total: 60 h (2 h/aula)

A ementa:

Conceitos fundamentais. Reologia. Hidrostática. Balanço integral de massa, energia e movimento. Medidores de vazão. Balanço diferencial de massa e movimento. Escoamento em regime laminar, escoamento em regime turbulento. Perda de carga em líquidos e gases.

Camada limite hidrodinâmica. Força de arraste. Análise dimensional.





Programa da disciplina

Módulo 1: Conceitos fundamentais.

Princípio da aderência, campo de velocidades, sistema de unidades.

Módulo 2: Reologia.

Conceito de viscosidade, tensões de cisalhamento. Fluidos newtonianos e não newtonianos. Efeito da temperatura na viscosidade.

Módulo 3: Hidrostática.

Equação básica da estática dos fluidos. Aplicações: manômetro de tubo inclinado, manômetro de múltiplos fluidos, ascensão de líquido em capilar. Estática de fluidos compressível.





Programa da disciplina

Módulo 4: Balanço integral de massa.

Dedução, aplicação para regime estacionário e transiente. Exemplos de aplicação.

Módulo 5: Balanço integral de energia e medidores de vazão.

Dedução. Aplicações. Conceito de propriedades médias. Perda de carga: conceito. Balanço global de energias mecânicas. Trabalho de eixo em bombas, compressores e turbinas. Altura de carga de bomba. Balanço em termos de altura de carga. Equação de Bernoulli: pressão estática, de estagnação e dinâmica. Aplicações: tubo Pitot, sifão. Medidores de vazão por restrição: placa de orifício, venturi, bocais.



Programa da disciplina

Módulo 6: Balanço integral de quantidade de movimento.


Conceito de quantidade de movimento, dedução do balanço. Aplicações para regime estacionário e transiente.

Módulo 7: Análise dimensional.

Teorema Pi de Buckingham.

Módulo 8: Balanço diferencial de massa.

Dedução da equação da continuidade. Aplicações para fluido simples. Aceleração de uma partícula fluida, derivada substantiva. Aplicações.





Programa da disciplina

Módulo 9: Balanço diferencial de quantidade de movimento, escoamento laminar.

Dedução: equações de Navier-Stokes. Aplicações: escoamento em plano inclinado, escoamento entre placas planas infinitas, escoamento em tubo. Perda de carga em regime laminar: aplicações.

Módulo 10: Perda de carga, escoamento turbulento.

Escoamento turbulento: conceito. Perfil de velocidades. Perda de carga distribuída. Diagrama de Moody. Perda de carga localizada: coeficiente de perda e comprimentos equivalentes. Escoamento em dutos não circulares: diâmetro equivalente.

Módulo 11: Camada limite hidrodinâmica e força de arraste.

Escoamento externo: força de arraste sobre placa plana, sobre esferas, sobre corpos não esféricos. Velocidade terminal.



Formas de avaliação

A avaliação será composta por:

✓ **3 provas escritas:**

- ✓ 1 prova: Profa. Alessandra (13/12/2022)*
- ✓ 2 prova: Prof. Alexandre (26/01/2023)*
- ✓ 3 prova: Prof. Alexandre (23/02/2023)*

***Datas prováveis**

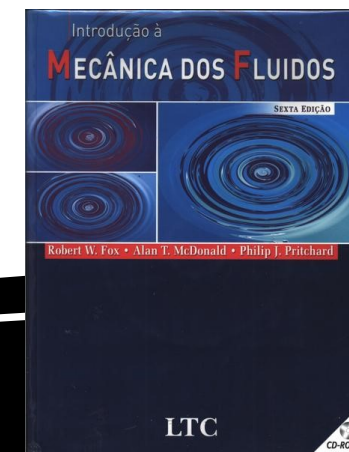
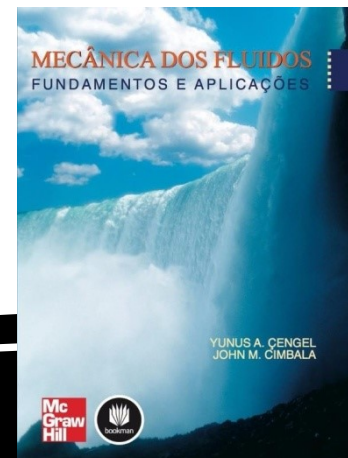
$$\text{MÉDIA 1} = \frac{\text{Prova Escrita 1} + \text{Prova Escrita 2} + \text{Prova Escrita 3}}{3}$$

Referências Bibliográficas

BENNET, C.O; MYERS, J.E. **Fenômenos de Transporte**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978, 811p.

ÇENCEL, Y.A.; CIMBALADA, J.M. **Mecânica dos Fluidos**. São Paulo: McGraw-Hill, 2007.

FOX, R.W.; MCDONALD, A.T. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. São Paulo: McGraw-Hill, 2007.



Fenômenos de transporte

Estudo dos fenômenos físicos nos quais ocorre a transferência de certa quantidade física:

- quantidade de movimento, calor e massa.



Fluxo = constante de proporcionalidade
*gradiente

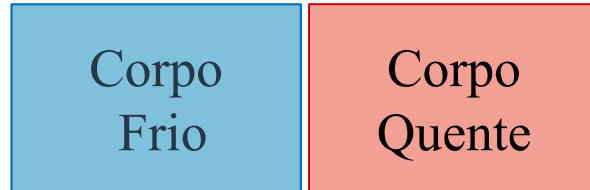
Tendência ao equilíbrio de uma quantidade física, em que a **força motriz** do fenômeno é sempre o gradiente de uma outra quantidade.

Transferência de calor

Calor: energia em trânsito

Sempre que houver diferença de temperatura entre 2 corpos calor será transferido:

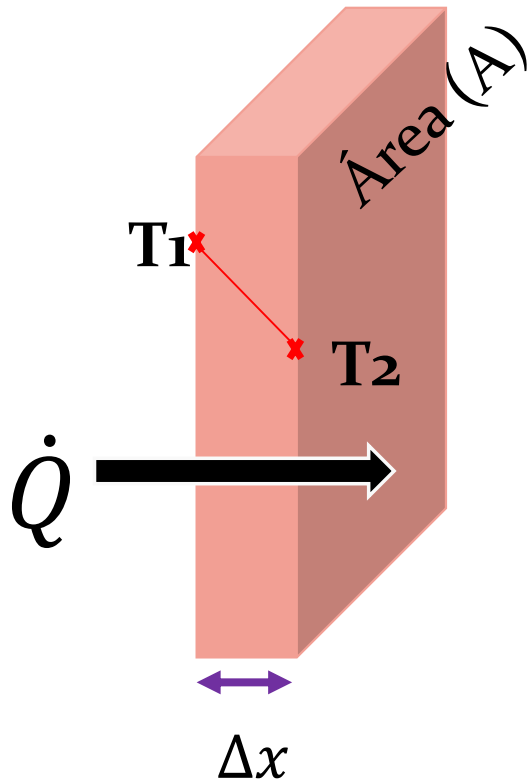
Força motriz da transferência
de calor $\rightarrow \Delta T$



Calor é atingido até que o
equilíbrio seja atingido.



Transferência de calor

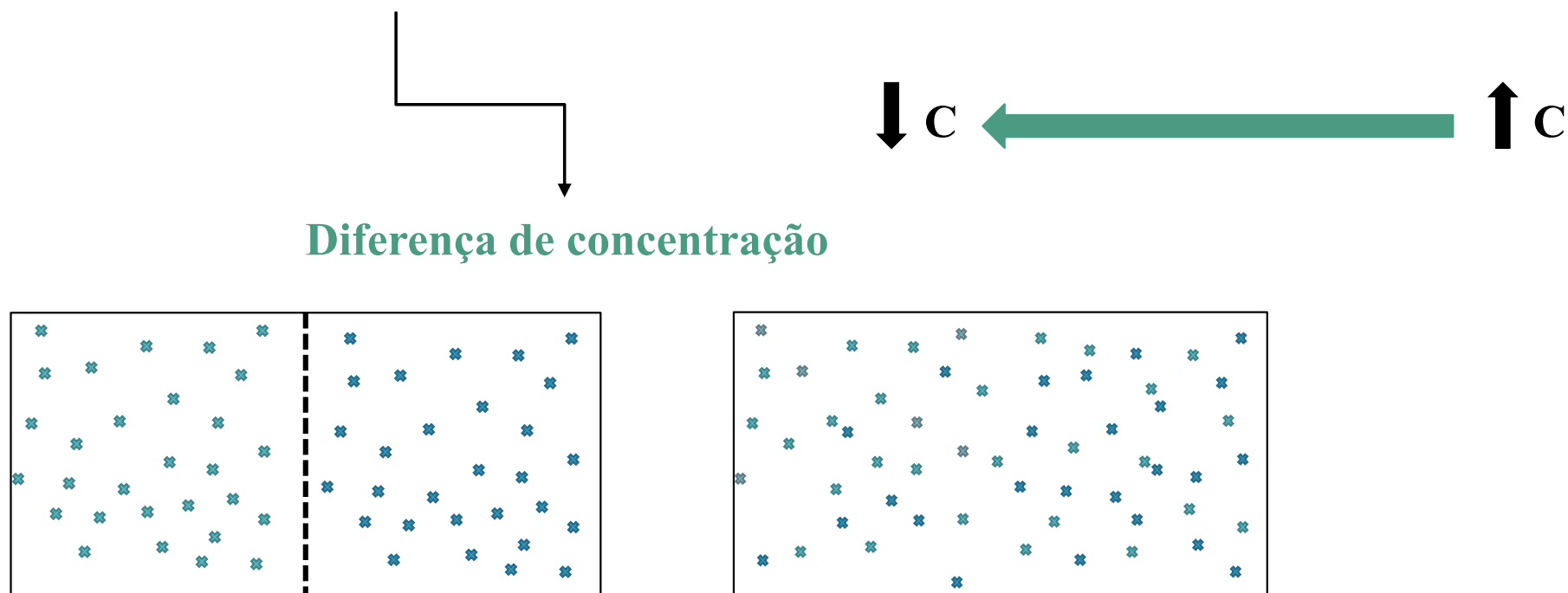


Condução → pode ocorrer em sólidos, líquidos e gases.

Transporte de Calor: estuda as leis que determinam a intensidade do fluxo de calor que se estabelece em um dado equipamento ou em condições especificadas, permitindo com que possamos projetar equipamentos para determinada operação bem como o controle das trocas de calor que irão ocorrer.

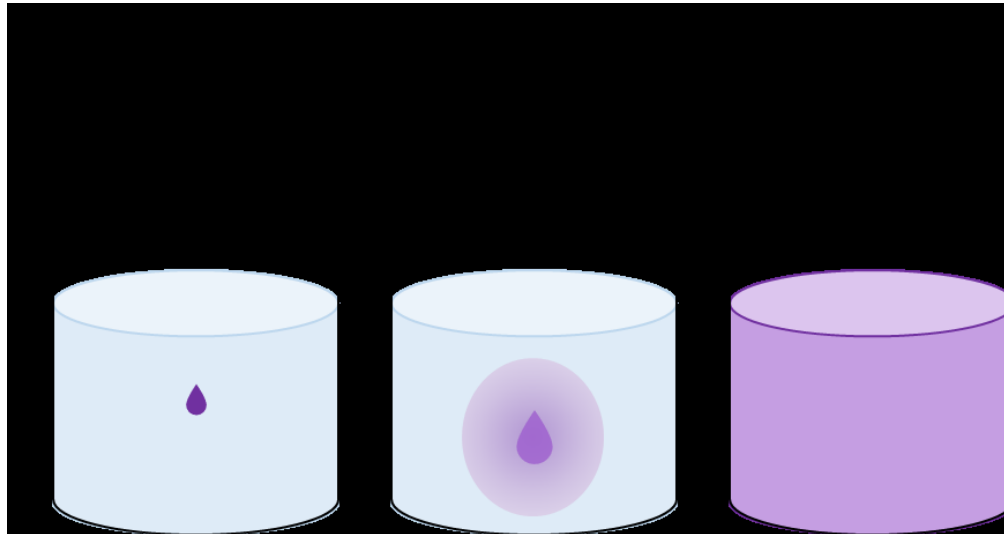
Transferência de massa

Qual a força motriz para que ocorra transferência de massa?



Transferência de massa

Difusão



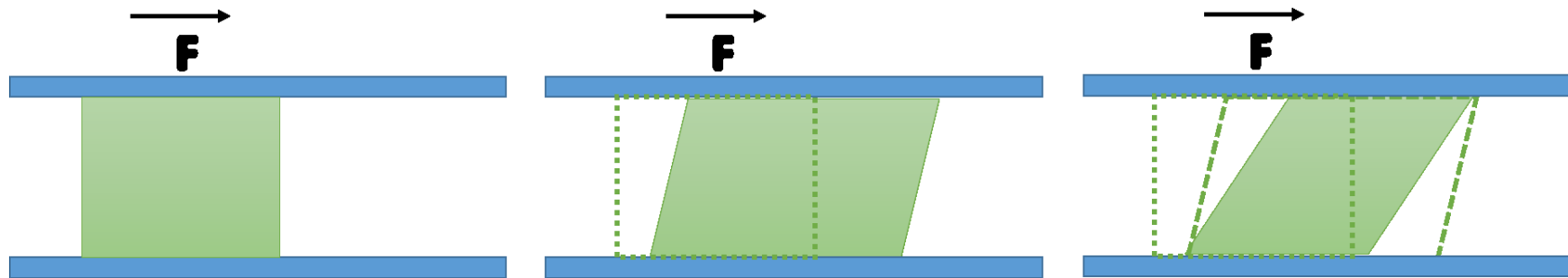
$$\text{vazão} \propto \text{área normal} * \text{gradiente de concentração}$$

Transporte de massa: estuda as leis que nos permitem conhecer a intensidade do fluxo de uma dada espécie química através de um meio material qualquer.

Transferência de movimento

Descreve o movimento de um fluido:

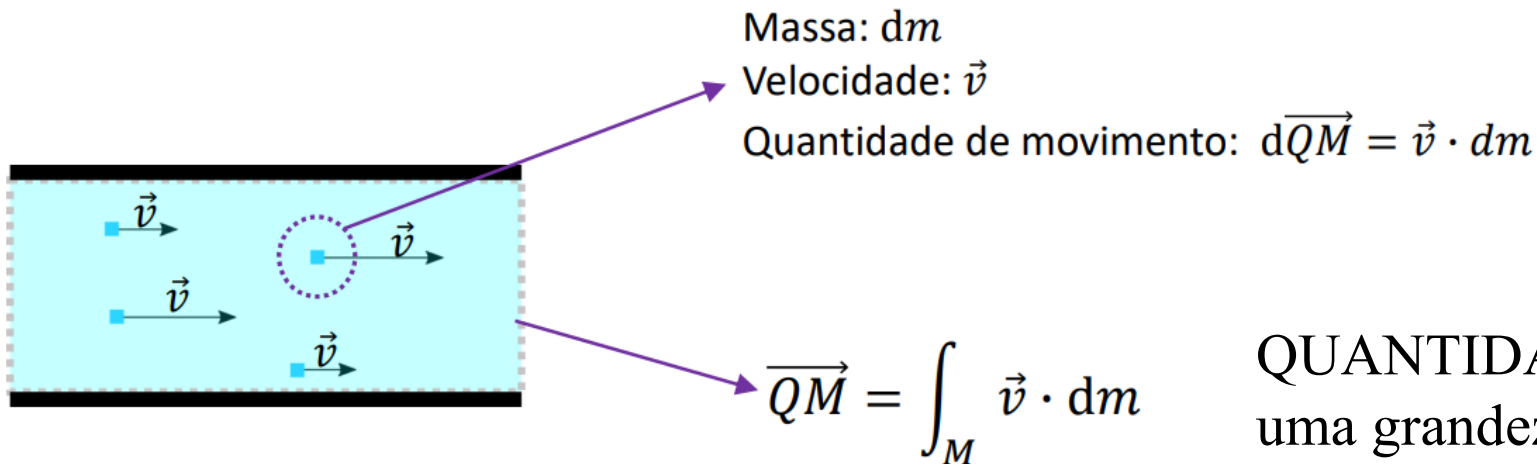
O deslocamento de uma placa plana sobre a superfície plana de um fluido irá produzir um movimento do fluido na mesma direção.



Força motriz → gradiente de velocidade

Fluído: Toda substância que se
deforma sob a ação de uma força

Transferência de movimento



QUANTIDADE DE MOVIMENTO é uma grandeza obtida pelo produto da massa de um sistema pela sua velocidade.

Transporte de quantidade de movimento: estuda os fluidos em movimento e sua relação com dutos e corpos imersos, além das máquinas de fluxo que com ele trocam energia, tais como bombas, ventiladores, compressores e turbinas.

Transferência de movimento

História:

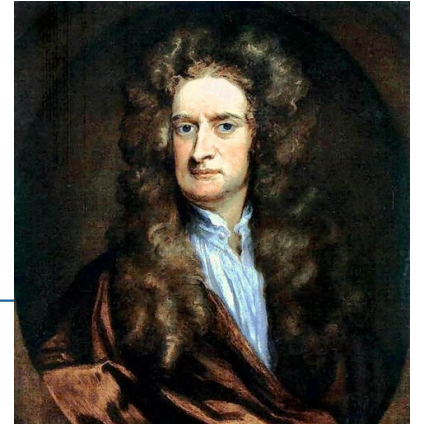
a.C. Romanos –
flutuação de corpos,
irrigação e projetos de
navios.



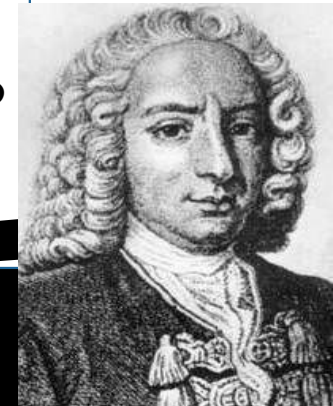
a.C. Arquimedes –
conservação da massa,
estudo de ondas e
hidráulica.



1727 **Isaac Newton** –
estudo da quantidade de
movimentos dos fluídos.



1782 **Daniel Bernoulli** –
estudo do comportamento
dos fluídos
(teorias restritas)





Transferência de movimento

Exemplos de aplicação:

- ✓ Cálculo de potência de bombas e compressores;
- ✓ Determinação de perfil de velocidades;
- ✓ Velocidade de arraste de partículas sólidas;
- ✓ Sedimentação, elutriação, centrifugação, ciclones;
- ✓ Velocidade de bolhas e gotas;
- ✓ Força que um fluido exerce sobre superfícies.



Campo de velocidades

- O CAMPO DE VELOCIDADES é a representação da velocidade de cada partícula de fluido em um sistema.
- Ele pode ser determinado através da resolução algébrica das equações do movimento do fluido, da simulação fluidodinâmica ou por medição em laboratório.

Usando o princípio da aderência, é possível fazer uma estimativa do formato do campo de velocidades.

Princípio da aderência

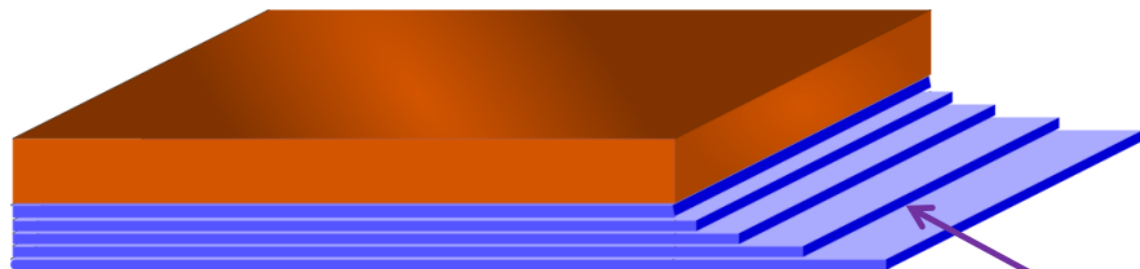
O PRINCÍPIO DA ADERÊNCIA diz que todo fluido em contato com uma superfície sólida tem a **mesma velocidade da superfície sólida**.

Explica fenômenos como o **campo de velocidades** e a **força de arraste**, além de oferecer condições de contorno para a solução das equações da dinâmica dos fluidos.

Forma como as velocidades variam dentro de um fluido

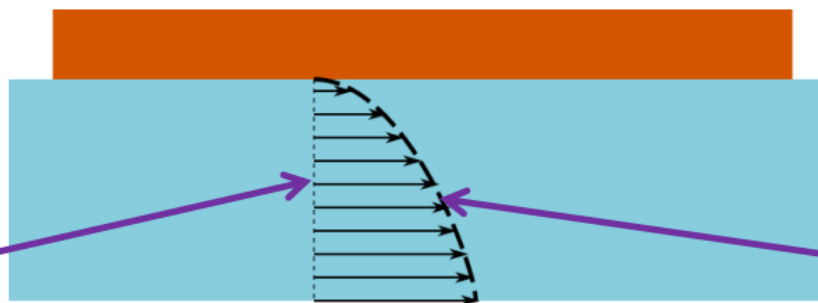
Força que o fluido exerce ao se mover rente a uma superfície sólida

Princípio da aderência



A geometria das camadas
acompanha a geometria
do sólido

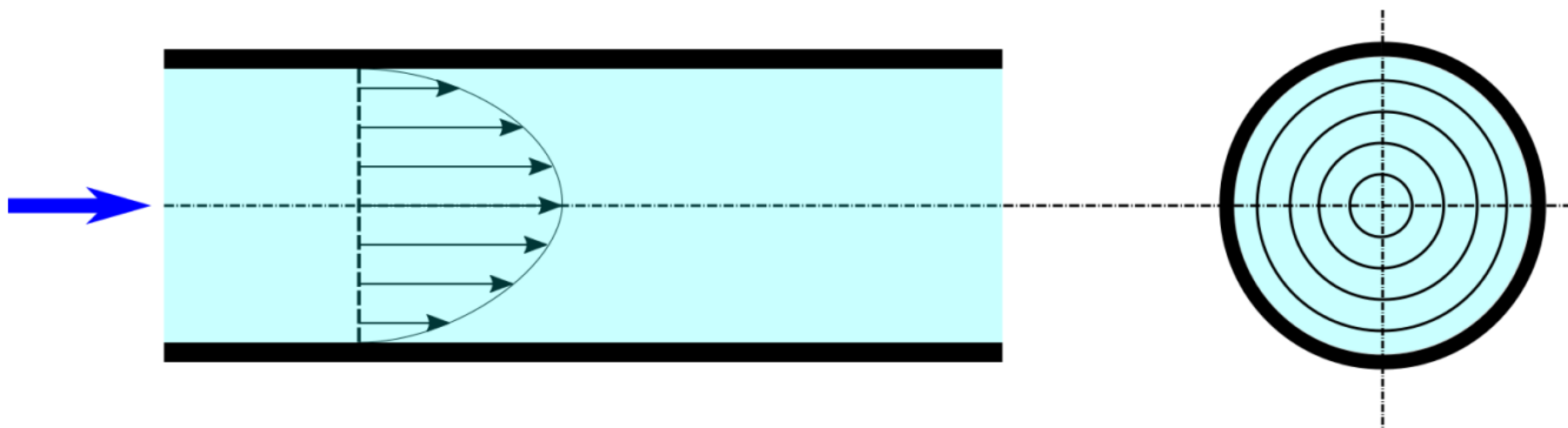
Cada camada de fluido
possui a sua velocidade



Pelas pontas dos vetores
passa uma função CONTÍNUA
que representa o campo de
velocidades do fluido.

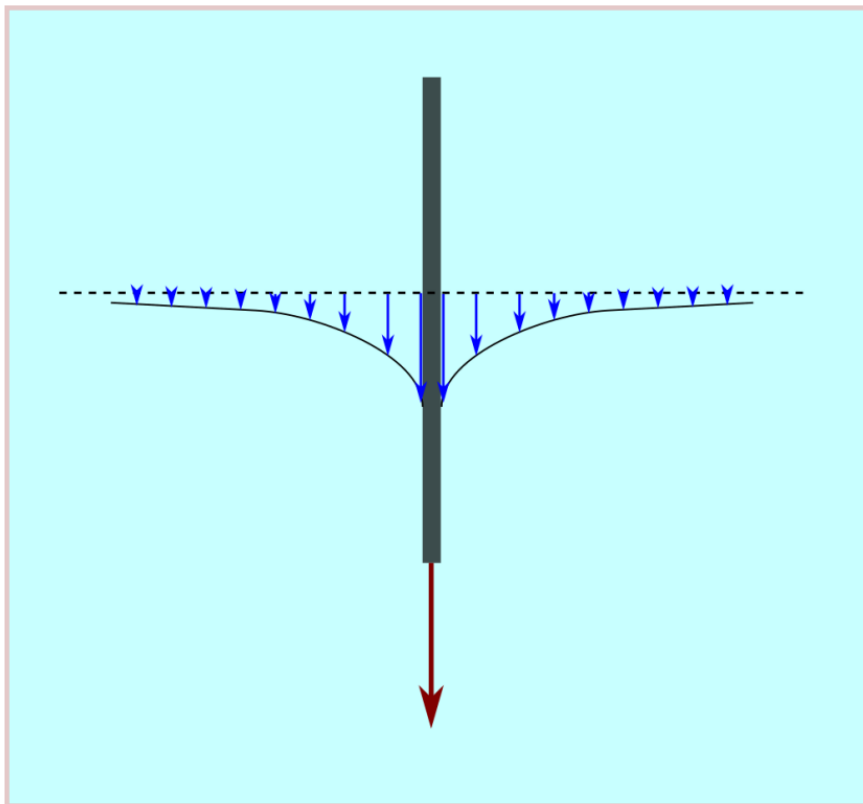
Campo de velocidades

Escoamento dentro de um tubo circular:



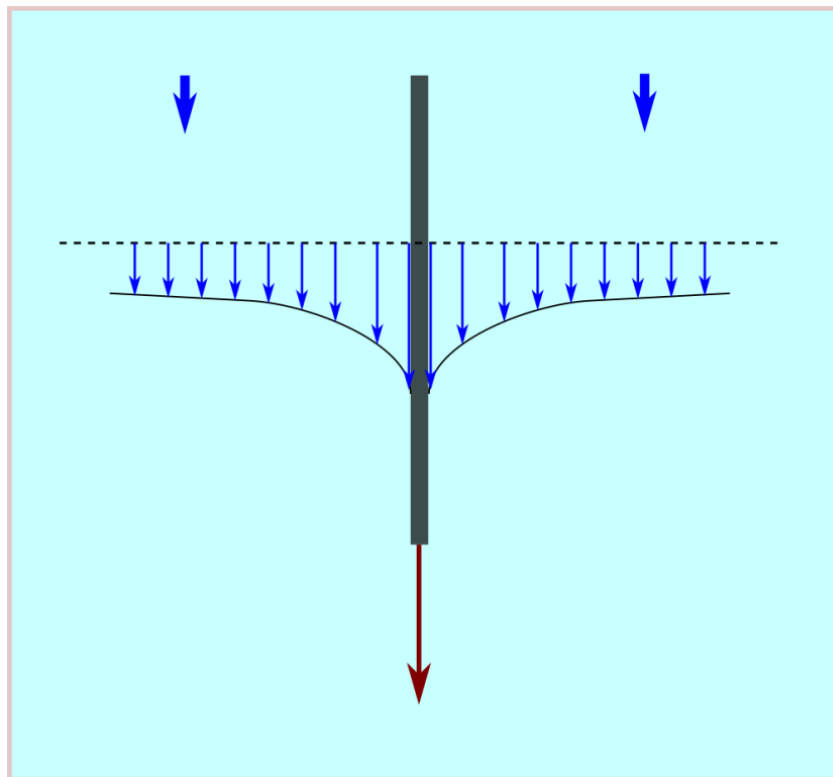
Campo de velocidades

Placa plana caindo em um fluido infinito estático:



Campo de velocidades

Placa plana caindo em um fluido infinito descendente:



Campo de velocidades

Escoamento interno em
duto quadrado:

