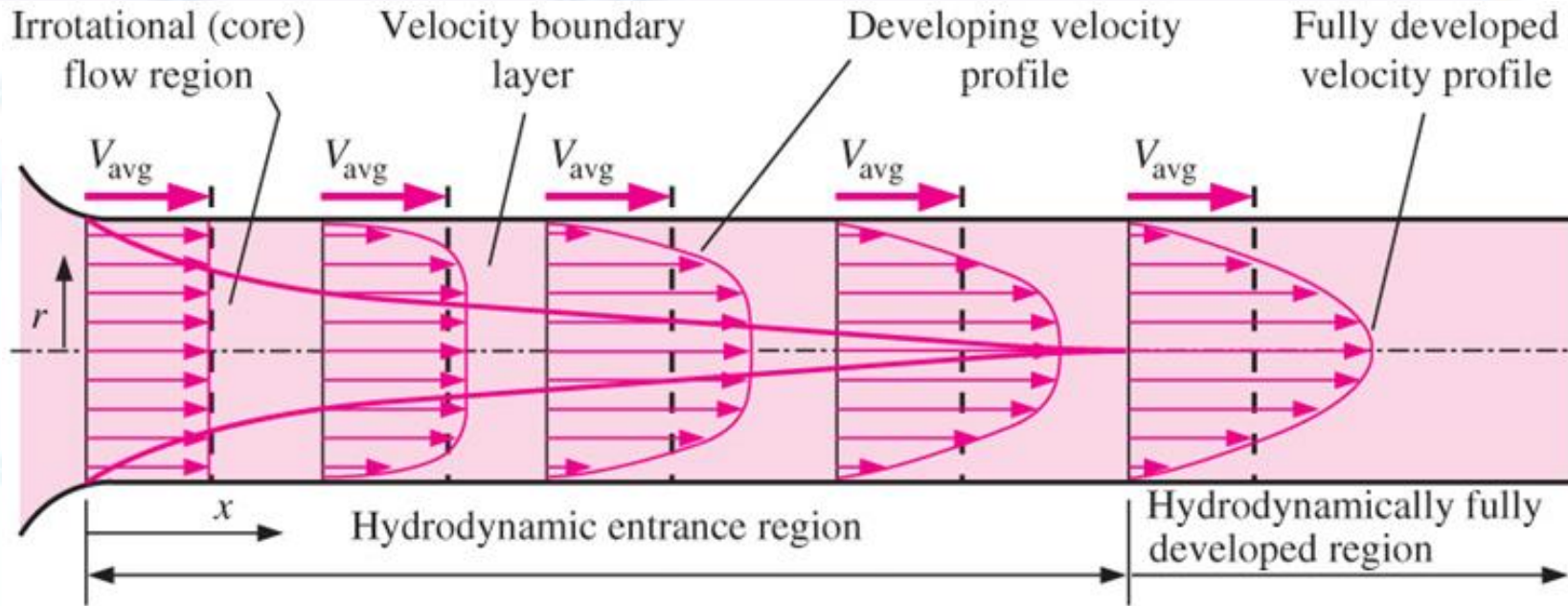


TRANSFERÊNCIA DE CALOR: CONVECÇÃO FORÇADA INT.



- **ESCOAMENTO INTERNO: CAMADA LIMITE**
- **ESCOAMENTO INTERNO EM REGIME LAMINAR**
- **ESCOAMENTO INTERNO EM REGIME TURBULENTO**

Escoamento interno: camada limite



Nº de Reynolds: $Re_D = \frac{\rho v_{avg} D_h}{\mu} \xrightarrow{v = \frac{\mu}{\rho}} Re_D = \frac{v_{avg} D_h}{\nu}$

Nº de Prandtl: $Pr = \frac{\nu}{\alpha}$










Laminar: $Re_D < 2000-2400$

Turbulento: $Re_D > 4000$



Escoamento em regime laminar



b/a	Nu_T	Nu_{H1}	Nu_{H2}
	–	3.657	4.364
	–	3.34	4.002
	–	2.47	3.111
	1	2.976	3.608
	1/2	3.391	4.123
	1/4	3.66	5.099
	1/8	5.597	6.490
	0	7.541	8.235
	0	4.861	5.385

Número de Nusselt $p/$ escoamento laminar desenvolvido (hidrodinâmica e termicamente) no interior de dutos com diferentes seções transversais, para as seguintes condições térmicas junto à parede externa do duto:

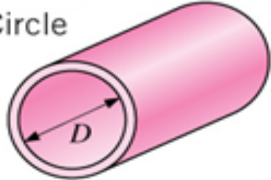
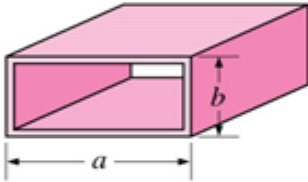
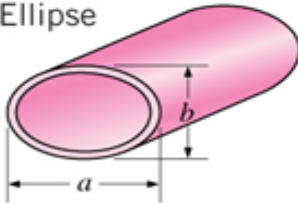
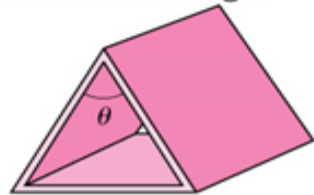
Nu_T : temperatura superficial uniforme

Nu_{H1} : fluxo de calor uniforme em duto de material bom condutor

Nu_{H2} : fluxo de calor uniforme em duto de material mau condutor

Escoamento em regime laminar



Tube Geometry	alb or θ°	Nusselt Number		Friction Factor f
		$T_s = \text{Const.}$	$\dot{q}_s = \text{Const.}$	
Circle 	—	3.66	4.36	64.00/Re
Rectangle 	alb 1 2 3 4 6 8 ∞	2.98 3.39 3.96 4.44 5.14 5.60 7.54	3.61 4.12 4.79 5.33 6.05 6.49 8.24	56.92/Re 62.20/Re 68.36/Re 72.92/Re 78.80/Re 82.32/Re 96.00/Re
Ellipse 	alb 1 2 4 8 16	3.66 3.74 3.79 3.72 3.65	4.36 4.56 4.88 5.09 5.18	64.00/Re 67.28/Re 72.96/Re 76.60/Re 78.16/Re
Isosceles Triangle 	θ 10° 30° 60° 90° 120°	1.61 2.26 2.47 2.34 2.00	2.45 2.91 3.11 2.98 2.68	50.80/Re 52.28/Re 53.32/Re 52.60/Re 50.96/Re



Escoamento em regime turbulento

- Tubos hidraulicamente lisos

- Correlação de Colburn $\begin{cases} \text{Re}_D > 10^4 & , & 0.7 < \text{Pr} < 160 \\ L/D_h > 60 & , & T = T_{\text{média}} \end{cases}$

$$\text{Nu}_D = 0.023 \text{Re}_D^{4/5} \text{Pr}^{1/3}$$

- Correlação de Dittus-Boelter $\begin{cases} \text{Re}_D > 10^4 & , & 0.7 < \text{Pr} < 160 \\ L/D_h > 60 & , & T = T_{\text{média}} \end{cases}$

$$\text{Nu}_D = 0.023 \text{Re}_D^{4/5} \text{Pr}^n \quad , \quad n = \begin{cases} 0.4 & \text{se } T_s > T_\infty \\ 0.3 & \text{se } T_s < T_\infty \end{cases}$$



Escoamento em regime turbulento

- Tubos hidraulicamente lisos / tubos rugosos

- Exemplo: correlação de Petukhov $\begin{cases} 10^4 < Re_D < 5 \times 10^6 \\ 0.5 < Pr < 2000 \end{cases}$

$$Nu_D = \frac{(f/8) Re_D Pr}{1.07 + 12.7(f/8)^{1/2} (Pr^{2/3} - 1)} \quad (T = T_{\text{média}})$$

- Exemplo: correlação de Gnielinski $\begin{cases} 3000 < Re_D < 5 \times 10^6 \\ 0.5 < Pr < 2000 \end{cases}$

$$Nu_D = \frac{(f/8) (Re_D - 1000) Pr}{1 + 12.7(f/8)^{1/2} (Pr^{2/3} - 1)} \quad (T = T_{\text{média}})$$

- Fator de atrito $f \rightarrow$ diagrama de Moody / correlações empíricas

