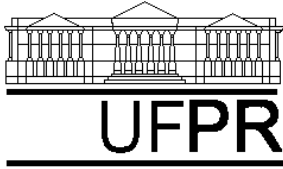


Aluno \_\_\_\_\_

Tabela de controle de presença e entrega de relatórios

N	Data	Assinatura	Entrega de relatório	Data
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				

N	Experimento	Área
1	Calibração de medidor de vazão	Medição
2	Determinação de coeficiente de descarga	Mec. dos fluidos
3	Determinação de tempo de descarga	Mec. dos fluidos
4	Determinação de fator de atrito em tubos	Mec. dos fluidos
5	Determinação de coeficiente de arrasto	Mec. dos fluidos
6	Calibração de termistors e termopares	Medição
7	Determinação de coeficiente de convecção natural em aletas	Transf. de calor
8	Determinação de coeficiente de convecção forçada em aletas	Transf. de calor
9	Teste de ventilador com rotação fixa	Máquinas de fluxo
10	Calibração de transdutor de pressão	Medição
11	Teste de bomba hidráulica com rotação variável	Máquinas de fluxo
12	Teste de cavitação em bombas	Máquinas de fluxo
13	Teste de compressor	Máquinas térmicas



### Roteiro para cálculo de Incerteza de medição

A - Cálculo de incerteza de grandezas com várias medidas :

A.1 - Valor médio das medidas e desvio padrão da amostra:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad \sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N-1}}$$

A.2 - Valor da medida e sua incerteza :

Exemplo : Medição do diâmetro de uma barra circular :

São efetuadas várias medidas em diâmetros diferentes,  $i=1$  até  $n$ , e indica-se :

$$D = \bar{D} \pm U_D \quad U_D = 3 \cdot \sigma_D + B_D$$

onde:

3 : Parâmetro "t" de Student para 99,7% de confiabilidade.

$B_D$  : Erro sistemático do instrumento, obtido com calibração comparada a um padrão rastreável

B - Cálculo da incerteza de grandeza com uma medida :

Utilizando um instrumento que seja confiável ou que tenha sido aferido contra algum tipo de padrão com menor divisão da ordem de 10% do valor da menor divisão do instrumento, podemos adotar:

Incerteza :  $U_x = \frac{1}{2} \times \text{Menor divisão}$

Desvio padrão :  $\sigma_x = \frac{U_x}{3}$  considerando  $B_x = 0$

C - Cálculo da incerteza de grandezas dependentes :

$r = f ( G_1, G_2, \dots, G_m ) = \text{Grandeza dependente}$

$G_1, G_2, \dots, G_m = \text{Grandezas independentes}$

$\sigma_r = \text{Desvio-padrão da grandeza dependente}$

$\sigma_{G_i} = \text{Desvio-padrão das grandezas independentes}$

$$\sigma_r = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left( \frac{\partial r}{\partial G_i} \cdot \sigma_{G_i} \right)^2} = \sqrt{\left( \frac{\partial r}{\partial G_1} \cdot \sigma_{G_1} \right)^2 + \left( \frac{\partial r}{\partial G_2} \cdot \sigma_{G_2} \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial r}{\partial G_m} \cdot \sigma_{G_m} \right)^2}$$

Exemplo : Área do círculo em função do diâmetro

$$A = f(D) = \frac{\pi D^2}{4} \Rightarrow U_A = ? \quad \sigma_D = \text{Conhecido [m]}$$
$$\sigma_A = \sqrt{\left(\frac{\partial A}{\partial D} \cdot \sigma_D\right)^2} = \frac{\pi D}{2} \cdot \sigma_D = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{2}{D} \cdot \sigma_D = 2 \cdot A \cdot \frac{\sigma_D}{D} \quad \frac{\sigma_A}{A} = 2 \cdot \frac{\sigma_D}{D} \quad U_A = 3 \cdot \sigma_A$$

D - Ajuste de curvas - Método dos mínimos quadrados

Devido a simplicidade dos cálculos e a extensa aplicabilidade em ajustes de curvas em pontos (regressão numérica), o método dos mínimos quadrados é largamente utilizado na calibração estática de instrumentos de medição.

Equacionamento:

$$\begin{bmatrix} n & \sum x \\ \sum x & \sum x^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B \\ A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y \\ \sum xy \end{bmatrix}$$

$$A = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad B = \frac{\sum y - A \sum x}{n}$$

n - número de pontos (pares x,y) dentro da faixa de uso do instrumento (ou medidor) obtidos durante o processo de calibração.

y = A . x + B - equação linear ajustada sobre n pontos (pares x,y), obtendo-se os coeficientes A,B a partir dos pontos (pares x,y) levantados experimentalmente.

Equação da calibração:

$$V_i = A \cdot V_p + B$$

V<sub>i</sub> - Valor indicado pelo medidor

V<sub>p</sub> - Valor medido ou indicado pelo padrão

Equação do medidor:

$$V_g = (1/A) \cdot V_i - (B/A) \quad V_g - \text{Valor da grandeza medida}$$

V<sub>i</sub> - Valor indicado pelo medidor em uso

Aluno \_\_\_\_\_

Experimento 1 - Calibração de medidor de vazão

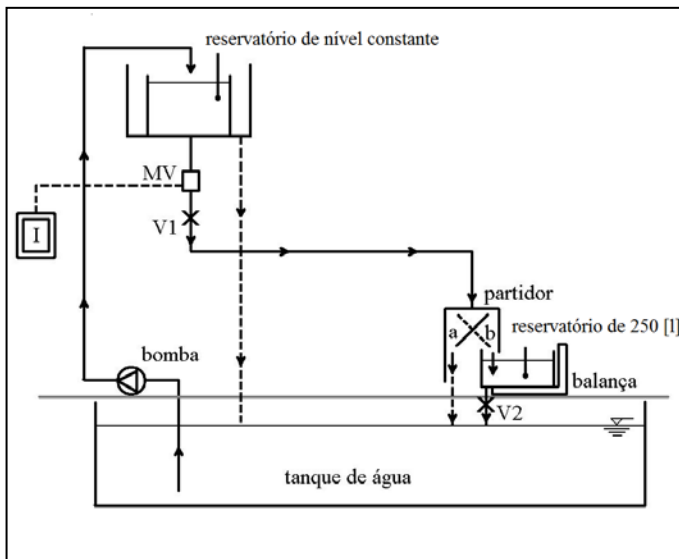
A) Objetivos:

Determinar a equação do medidor de vazão tipo tangencial

B) Equipamentos utilizados :

- Balança mecânica A.Niederhauser Escala: 0 a 250 [kg] Menor divisão: 0,1 [kg]  
 $m = \text{_____} m_i \text{ - _____}$
- Medidor de vazão tipo tangencial Nivetec  
 Escala: 0 a \_\_\_ [l/s] Menor divisão: \_\_\_ [l/s]
- Reservatório para água de \_\_\_ [l] de capacidade
- Partidor de vazão, bomba hidráulica, reservatório de nível constante, válvulas de controle

C) Esquema do experimento



Legenda :

- I: Painel do medidor de vazão
- MV: sensor de vazão
- V1: válvula de regulagem (manual)
- V2: válvula do reservatório

Posição do partidor:

- a: fluxo da água para o tanque (circuito fechado)
- b: fluxo para o reservatório da balança

D) Descrição / Procedimento:

O método gravimétrico de calibração consiste em medir massas de líquido que fluem, em regime permanente através do medidor a ser calibrado, para um dado reservatório sobre uma balança, em um intervalo de tempo também medido. Para que não ocorra variação de vazão quando do direcionamento do fluxo para o reservatório onde é medida a massa, utiliza-se um partidor de vazão, dispositivo semelhante a uma válvula de três vias (uma entrada / duas saídas), trabalhando em pressão atmosférica.

A vazão em massa fornecida pelo método (para cada ponto de calibração) será obtida pela divisão entre as massas medidas (inicial e final) sobre a balança, pelo intervalo de tempo transcorrido entre o início do fluxo para o reservatório e o retorno do fluxo para o circuito fechado. Ressalta-se que quando o reservatório atinge o seu nível próximo do máximo, é necessário realizar seu esvaziamento no tanque inferior, antes de reiniciar o processo para obtenção de novos pontos de calibração.

Com base nos valores de vazão obtidos pelo método gravimétrico e nos correspondentes valores indicados pelo medidor realiza-se um ajuste de reta sobre os pontos, de modo a obter uma equação de uso do medidor, na qual o valor esperado da grandeza vazão será obtido como função do valor indicado no medidor.

E) Dados experimentais / Cálculos :

N	massa inicial	massa final	intervalo de tempo	massa efetiva	massa corrigida	vazão em massa	Q <sub>p</sub> - Vazão padrão	Q <sub>i</sub> - Vazão indicada
pto.	m <sub>i</sub> [kg]	m <sub>f</sub> [kg]	dt [s]	m <sub>e</sub> = m <sub>i</sub> - m <sub>f</sub> [kg]	m <sub>c</sub> [kg]	$\dot{m} = m_c/dt$ [kg/s]	Q <sub>p</sub> = 1,002. $\dot{m}$ [l/s]	[l/s]
01	-	-	-	-	-	-	0	0
02								
03								
04								
05								
06								
07								
08								
09								
10								
11								

N	Q <sub>p</sub> - Vazão padrão	Q <sub>i</sub> - Vazão indicada	Q <sub>p</sub> x Q <sub>i</sub>	(Q <sub>p</sub> ) <sup>2</sup>	A	B
pto.	[l/s]	[l/s]	-	-		
01	0	0	0	0		
02						
03						
04						
05						
06						
07						
08						
09						
10						
11						
	$\Sigma x =$	$\Sigma y =$	$\Sigma xy =$	$\Sigma (x^2) =$		

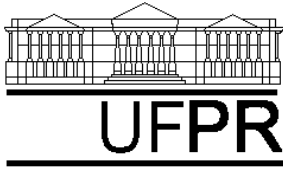
$A = \frac{n \Sigma xy - \Sigma x \Sigma y}{n \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2}$ 
 $B = \frac{\Sigma y - A \Sigma x}{n}$

Ao se realizar os cálculos utilizar:  $\rho = 998 \text{ [kg/m}^3\text{]}$  ou  $v = 1,002 \text{ [lit/kg]}$

Q<sub>i</sub> = \_\_\_\_\_ Q<sub>p</sub> \_\_\_\_\_

Q = \_\_\_\_\_ Q<sub>i</sub> \_\_\_\_\_





UFPR - Setor de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Mecânica  
TM-258 - Laboratório de Engenharia Térmica  
Data : \_\_\_ / \_\_\_ / \_\_\_

Aluno \_\_\_\_\_

### Experimento 2 - Determinação de coeficiente de descarga em reservatórios

#### A) Definição de coeficiente de descarga:

O coeficiente de descarga é definido como sendo a relação entre a velocidade média real e a velocidade teórica máxima do escoamento de um fluido em uma determinada abertura ou passagem. Empregando-se a equação de Bernoulli e a equação da conservação da massa, mostra-se que o coeficiente de descarga pode ser medido utilizando a seguinte relação:

$$C_d = \frac{\bar{V}}{V_{\text{máx}}} = \frac{\bar{V}}{\sqrt{2g\Delta h}} = \frac{Q}{A\sqrt{2g\Delta h}}$$

sendo  $C_d$  o valor do coeficiente de descarga (adimensional),  $Q$  a vazão de entrada no reservatório [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],  $g$  a aceleração local da gravidade [ $\text{m}/\text{s}^2$ ] e  $\Delta h$  a altura da coluna de água até o centro do orifício de descarga [ $\text{m}$ ].

#### B) Objetivos:

No presente experimento, será determinado o coeficiente de descarga de vários formatos de orifícios próximos ao fundo de um reservatório, em diversas condições de altura de carga estática no reservatório.

#### C) Equipamentos:

- Medidor de vazão tipo tangencial Nivetec  
Escala: 0 a \_\_\_ [l/s] Menor divisão: \_\_\_ [l/s]  $Q = \text{_____} Q_i \text{ - _____}$
- Reservatório de acrílico com várias saídas para atmosfera (jato d'água)
- Bomba hidráulica, reservatório de nível constante.
- Válvulas de controle e de abertura / fechamento

#### D) Procedimento experimental:

O experimento consiste em medir o diâmetro do orifício de saída, a altura da coluna da água (escoamento no reservatório em regime permanente) e a vazão de água no circuito.

Serão realizados quatro pontos em regime permanente para cada orifício, correspondendo a pares vazão/altura da coluna.

E) Dados experimentais:

Diâm. do furo [mm]: $\phi$ 14				Diâm. furo [mm]: $\phi$ 20				Diâm. do furo [mm]: $\phi$ 23 CR			
N	$Q_i$ [l/s]	$\Delta h$ [mm]	$C_d$	N	$Q_i$ [l/s]	$\Delta h$ [mm]	$C_d$	N	$Q_i$ [l/s]	$\Delta h$ [mm]	$C_d$
1				1				1			
2				2				2			
3				3				3			
4				4				4			
Dimensões do furo [mm]: $\phi$ 23 CA											
N	$Q_i$ [l/s]	$\Delta h$ [mm]	$C_d$	N	$Q_i$ [l/s]	$\Delta h$ [mm]	$C_d$	N	$Q_i$ [l/s]	$\Delta h$ [mm]	$C_d$
1				1				1			
2				2				2			
3				3				3			
4				4				4			

F) Cálculos :

F.1) Valores por ponto

Diâm. do furo [mm]: $\phi$ 14				Diâm. furo [mm]: $\phi$ 20				Diâm. do furo [mm]: $\phi$ 23 CR			
N	$C_d$	$U_{Cd}$	$U/C_d$ %	N	$C_d$	$U_{Cd}$	$U/C_d$ %	N	$C_d$	$U_{Cd}$	$U/C_d$ %
1				1				1			
2				2				2			
3				3				3			
4				4				4			
Diâm. do furo [mm]: $\phi$ 23 CA											
N	$C_d$	$U_{Cd}$	$U/C_d$ %	N	$C_d$	$U_{Cd}$	$U/C_d$ %	N	$C_d$	$U_{Cd}$	$U/C_d$ %
1				1				1			
2				2				2			
3				3				3			
4				4				4			

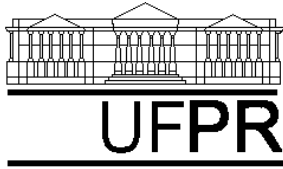
F.2) Valores médios

Diâm. do furo [mm]: $\phi$ 14		Diâm. furo [mm]: $\phi$ 20		Diâm. do furo [mm]: $\phi$ 23 CR	
$C_{d\text{médio}}$	$\sigma_{C_d}$	$C_{d\text{médio}}$	$\sigma_{C_d}$	$C_{d\text{médio}}$	$\sigma_{C_d}$
Diâm. do furo [mm]: $\phi$ 23 CA					
$C_{d\text{médio}}$	$\sigma_{C_d}$				









Aluno \_\_\_\_\_

### Experimento 3 - Determinação de tempo de descarga em reservatórios

#### A) Definição de tempo de descarga:

Tempo de descarga é o tempo necessário para que ocorra o esvaziamento de um dado reservatório de água entre dois níveis especificados. O tempo de descarga é obtido analiticamente através da integração da equação da conservação da massa em regime transiente, entre os tempos  $t = 0$  e  $t = t_{des}$ , resultando na equação:

$$t_{des} = \frac{2LW}{CdA\sqrt{2g}}(\sqrt{h_i} - \sqrt{h_f})$$

onde:  $h_i$  é a altura inicial da coluna de água,  $h_f$  é a altura final da coluna de água,  $L$  é a largura do reservatório,  $W$  é o comprimento do reservatório,  $Cd$  é o coeficiente de descarga médio do orifício,  $A$  é a área do orifício [ $m^2$ ] e  $g$  é a aceleração local da gravidade ( $9,79 [m/s^2]$ ).

#### B) Objetivos:

No presente experimento será comparado o tempo medido de descarga entre dois níveis também medidos de um reservatório com o valor teórico de tempo de descarga deste mesmo reservatório entre os níveis considerados.

#### C) Equipamentos:

- Reservatório de acrílico com largura  $L$  ( $L=188 [mm]$ ) e comprimento  $W$  ( $W=388 [mm]$ )
- Bomba hidráulica, reservatório de nível constante
- Válvulas de controle e de abertura/fechamento

#### D) Procedimento experimental:

Para cada ponto experimental estabelece-se a mesma altura estática inicial,  $h_i$ , com vazão de entrada e de saída igual a zero. Inicia-se a contagem de tempo no mesmo instante em que se permite a descarga do reservatório através do orifício considerado.

Ao final de um determinado tempo medido faz-se a leitura da altura estática final,  $h_f$ . Repete-se o procedimento acima para mais 3 pontos experimentais para cada orifício.

E) Dados coletados:

Diâm. do furo [mm]: $\phi$ 14				Diâm. furo [mm]: $\phi$ 20				Diâm. do furo [mm]: $\phi$ 23 CR			
N	$h_i$ [mm]	$h_f$ [mm]	$t_{med}$ [s]	N	$h_i$ [mm]	$h_f$ [mm]	$t_{med}$ [s]	N	$h_i$ [mm]	$h_f$ [mm]	$t_{med}$ [s]
1				1				1			
2				2				2			
3				3				3			
4				4				4			
Diâm. do furo [mm]: $\phi$ 23 CA											
N	$h_i$ [mm]	$h_f$ [mm]	$t_{med}$ [s]	N	$h_i$ [mm]	$h_f$ [mm]	$t_{med}$ [s]	N	$h_i$ [mm]	$h_f$ [mm]	$t_{med}$ [s]
1				1				1			
2				2				2			
3				3				3			
4				4				4			

F) Cálculos:

F.1) Diferença entre tempos medidos e calculados:

Diâm. do furo [mm]: $\phi$ 14				Diâm. furo [mm]: $\phi$ 20				Diâm. do furo [mm]: $\phi$ 23 CR			
N	$t_{med}$ [s]	$t_{des}$ [s]	$\Delta t$ [s]	N	$t_{med}$ [s]	$t_{des}$ [s]	$\Delta t$ [s]	N	$t_{med}$ [s]	$t_{des}$ [s]	$\Delta t$ [s]
1				1				1			
2				2				2			
3				3				3			
4				4				4			
Diâm. do furo [mm]: $\phi$ 23 CA											
N	$t_{med}$ [s]	$t_{des}$ [s]	$\Delta t$ [s]	N	$t_{med}$ [s]	$t_{des}$ [s]	$\Delta t$ [s]	N	$t_{med}$ [s]	$t_{des}$ [s]	$\Delta t$ [s]
1				1				1			
2				2				2			
3				3				3			
4				4				4			

F.2) Incerteza do tempo calculado para cada ponto:

Diâm. do furo [mm]: $\phi$ 14				Diâm. furo [mm]: $\phi$ 20				Diâm. do furo [mm]: $\phi$ 23 CR			
N	$t_{des}$ [s]	$U-t_{des}$ [s]	$U-t_{des} / t_{des}$ [%]	N	$t_{des}$ [s]	$U-t_{des}$ [s]	$U-t_{des} / t_{des}$ [%]	N	$t_{des}$ [s]	$U-t_{des}$ [s]	$U-t_{des} / t_{des}$ [%]
1				1				1			
2				2				2			
3				3				3			
4				4				4			
Diâm. do furo [mm]: $\phi$ 23 CA											
N	$t_{des}$ [s]	$U-t_{des}$ [s]	$U-t_{des} / t_{des}$ [%]	N	$t_{des}$ [s]	$U-t_{des}$ [s]	$U-t_{des} / t_{des}$ [%]	N	$t_{des}$ [s]	$U-t_{des}$ [s]	$U-t_{des} / t_{des}$ [%]
1				1				1			
2				2				2			
3				3				3			
4				4				4			

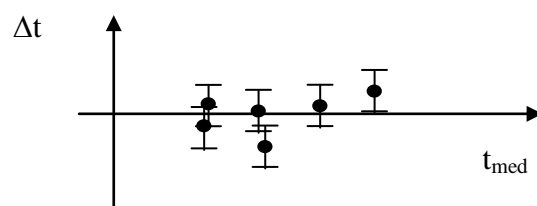
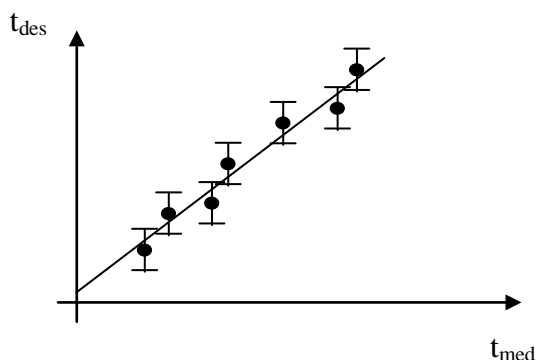
Observações :

- Adotar como valor da aceleração da gravidade,  $g = 9,79 \text{ [m/s}^2\text{]}$
- Considerar que as grandezas a) área do furo A e b) Dimensões L e W do reservatório possuem incertezas muito menores que as demais grandezas medidas e portanto não serão consideradas suas influências na incerteza do tempo de descarga teórico,  $U-t_{des}$ .
- Adotar as incertezas das medidas de  $h_i$  e  $h_f$  respectivamente 2 e 5 [mm] associadas ao processo de obtenção das medidas destas grandezas. Estas incertezas serão utilizadas no cálculo da incerteza do tempo de descarga teórico,  $U-t_{des}$ .

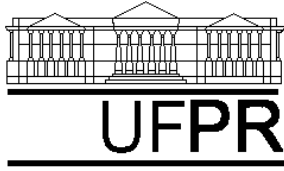
G) Relatório:

1) Gráfico de  $t_{des}$  versus  $t_{med}$  (use A4 milimetrado) mostrando todos os tipos de orifícios empregados e a incerteza experimental, e comparando com um reta de 45° de inclinação.

2) Gráfico da diferença absoluta entre os valores medidos e calculados para o tempo de descarga ( $\Delta t$ ) versus  $t_{med}$  (use A4 milimetrado) para todos os tipos de orifícios empregados, conforme a relação a seguir:  $\Delta t = t_{med} - t_{des}$







UFPR - Setor de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Mecânica  
TM-258 - Laboratório de Engenharia Térmica  
Data : \_\_\_ / \_\_\_ / \_\_\_

Aluno \_\_\_\_\_

### Experimento 4 - Determinação do fator de atrito em tubos

#### A) Definição:

O fator de atrito,  $f$  (fator de atrito de Darcy), quantifica a perda de carga distribuída, que por sua vez representa uma das formas de transformação irreversível de energia mecânica de pressão em energia térmica, em um dado escoamento em tubulações de qualquer tipo. A perda de pressão ou perda de carga distribuída, em metros de coluna do fluido, está relacionada ao fator de atrito para escoamentos completamente desenvolvidos através da seguinte relação:

$$\frac{\Delta p}{\gamma} = \Delta h = f \frac{L}{D} \frac{\bar{V}^2}{2g} \quad [m]$$

Isolando o fator de atrito da expressão acima, e explicitando a velocidade média em função da vazão volumétrica e do diâmetro da tubulação obtemos:

$$f = \frac{g\pi^2 D^5}{8 L Q^2} \frac{\Delta h}{Q^2} \quad [-]$$

#### B) Objetivo:

O objetivo deste experimento é determinar o fator de atrito para tubulações de seção circular, em três diâmetros diferentes e dois tipos de materiais de fabricação diferentes (PVC e ferro galvanizado), em quatro pontos de vazões diferentes e, portanto, em quatro  $Re$  (número de Reynolds) diferentes.

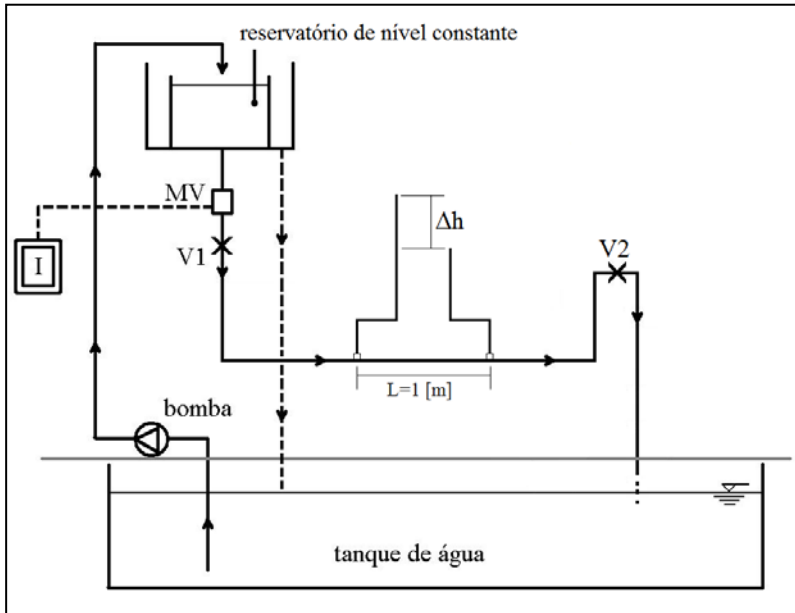
Pretende-se estimar a rugosidade relativa do material das tubulações e através da marcação dos pontos obtidos experimentalmente no diagrama de Moody.

#### C) Equipamentos:

- Medidor de vazão tipo tangencial Nivetec - Escala: 0 a \_\_\_ [l/s] Menor divisão: \_\_\_ [l/s]  
 $Q = \text{_____} Q_i - \text{_____}$
- Bomba hidráulica, reservatório de nível constante.
- Válvulas de controle e de abertura/fechamento

D) Descrição/Esquema:

Foi estabelecido escoamento de água em regime permanente através de tubulações de três diâmetros nominais (½, ¾ e 1 pol.) diferentes e dois tipos de material de tubulações (PVC e ferro galvanizado) em quatro vazões diferentes, totalizando 24 pontos experimentais.



Para cálculo do fator de atrito em cada ponto experimental, além das constantes, são necessárias as medições de vazão e de diferença de pressão (perda de carga) entre os pontos distanciados de 1 [m] em cada tubulação.

Avaliou-se também o regime de escoamento (laminar, transição ou turbulento) através do cálculo do número de Reynolds.

$$Re = \frac{\bar{V}D}{\nu} = \frac{4Q}{\pi D^2} \frac{D}{\nu} = \frac{4Q}{\pi D \nu} \quad [-]$$

E) Dados coletados

Material: PVC								
	$\Delta h$	$Q_i$		$\Delta h$	$Q_i$		$\Delta h$	$Q_i$
N	[mm]	[l/s]	N	[mm]	[l/s]	N	[mm]	[l/s]
1			1			1		
2			2			2		
3			3			3		
4			4			4		
Material: Ferro Galvanizado								
	$\Delta h$	$Q_i$		$\Delta h$	$Q_i$		$\Delta h$	$Q_i$
N	[mm]	[l/s]	N	[mm]	[l/s]	N	[mm]	[l/s]
1			1			1		
2			2			2		
3			3			3		
4			4			4		

F) Parâmetros fixos:

- Comprimento das tubulações (L): 1 m.
- Rugosidade absoluta (tubos novos) :  $e = 1,5 \times 10^{-6}$  m (PVC) ;  $e = 50 \times 10^{-6}$  m (FG)
- Aceleração da gravidade (g):  $9,79$  [m/s<sup>2</sup>]
- Viscosidade cinemática da água ( $\nu$ ):  $1,0 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s.



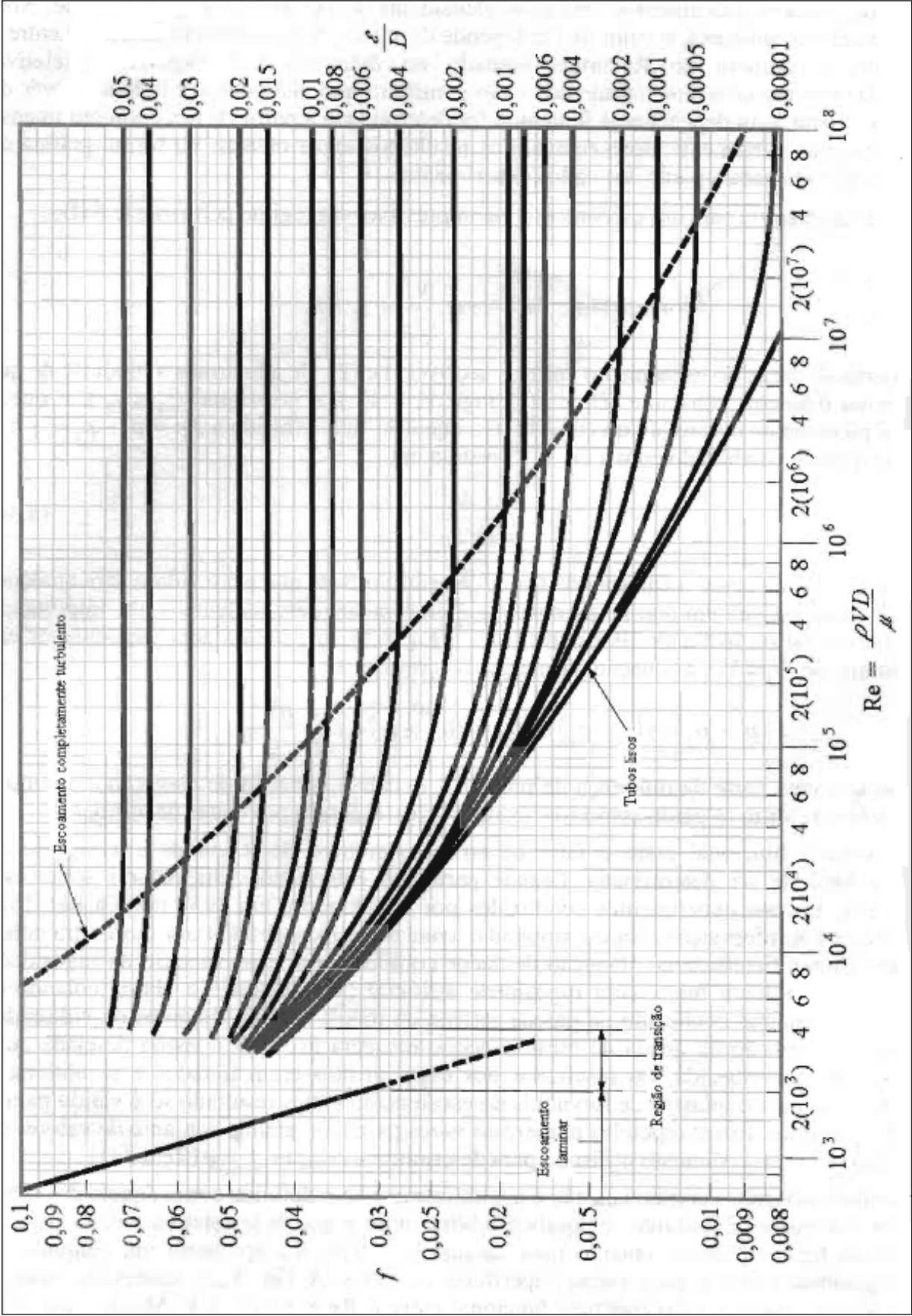
G) Cálculos:

Material: PVC											
D <sub>n</sub> = 1/2 [in] D = 17,2 [mm]				D <sub>n</sub> = 3/4 [in] D = 21,6 [mm]				D <sub>n</sub> = 1 [in] D = 27,3 [mm]			
	V	Re	f		V	Re	f		V	Re	f
N	[m/s]	-	-	N	[m/s]	-	-	N	[m/s]	-	-
1				1				1			
2				2				2			
3				3				3			
4				4				4			

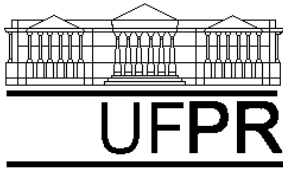
Material: Ferro Galvanizado (FG)											
D <sub>n</sub> = 1/2 [in] D = 17,6 [mm]				D <sub>n</sub> = 3/4 [in] D = 22,2 [mm]				D <sub>n</sub> = 1 [in] D = 27,5 [mm]			
	V	Re	f		V	Re	f		V	Re	f
N	[m/s]	-	-	N	[m/s]	-	-	N	[m/s]	-	-
1				1				1			
2				2				2			
3				3				3			
4				4				4			

H) Relatório:

- 1) Plotar no Diagrama de Moody os pontos experimentais.
- 2) Calcule rugosidade relativa média de cada tubo utilizando pontos experimentais no Diagrama de Moody e compare com rugosidade relativa média de respectivo tubo novo. Mostre comparação em tabela no item Análise / Conclusões.
- 3) Mostre em um gráfico (use A4 milimetrado) curvas de perda de carga dimensional ([mmCA] x [l/s]) para cada tubo ensaiado. Compare resultados no item Análise / Conclusões.







Aluno \_\_\_\_\_

Experimento 5 - Determinação do coeficiente de arrasto em corpos submersos

A) Definição de coeficiente de arrasto:

O coeficiente de arrasto é um coeficiente adimensional e é definido como sendo a relação entre a força de arrasto sobre um corpo submerso em um fluido em movimento e a pressão dinâmica calculada com a velocidade do escoamento multiplicada pela área frontal do corpo submerso:

$$C_{\text{arrasto}} = C_{\text{drag}} = C_D = C = \frac{F_a}{A \frac{1}{2} \rho V^2}$$

B) Objetivos:

O presente experimento tem como objetivo determinar o coeficiente de arrasto de seis corpos de formatos diferentes em três velocidades diferentes de escoamento de ar no túnel do vento do LMH.

C) Equipamentos:

- Célula de Carga tipo S HBM Escala: 0 a 50 [N] Menor divisão 0,01 [N]
- Medidor de velocidade tipo Pitot com transdutor diferencial de pressão Extech HD-350  
Escala: 0 a \_\_\_\_ [m/s] Menor divisão \_\_\_\_ [m/s]
- Túnel de vento do LMH - Seção útil \_\_\_\_ x \_\_\_\_ [mm] - Ventilador de \_\_\_\_ kW - 110 [V]

D) Procedimento experimental:

---

---

---

---

---

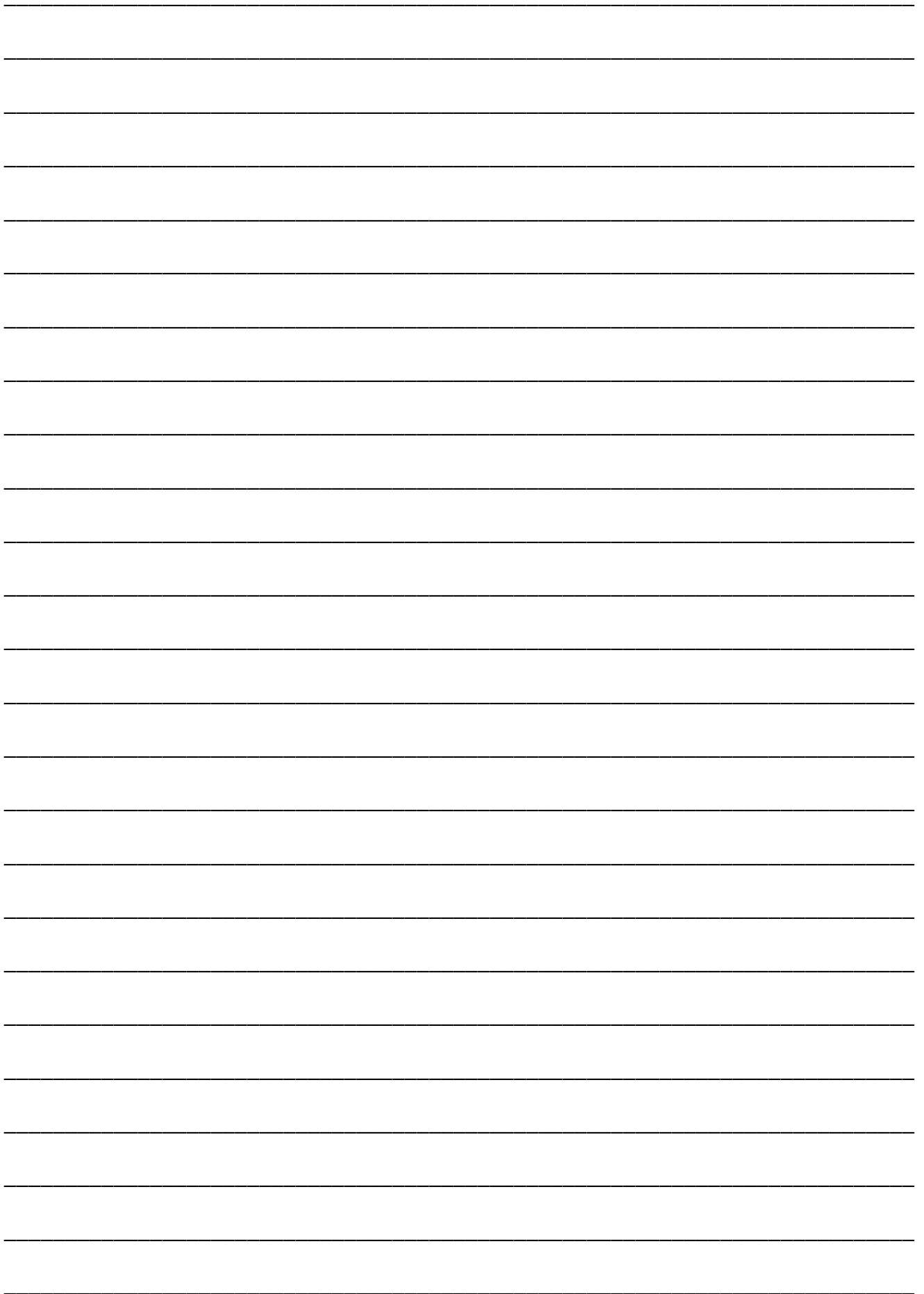
---

---

---

---

---



E) Dados experimentais :

Esfera $\phi =$ _____ [mm]			Esfera $\phi =$ _____ [mm]			Cilindro L _____ x $\phi$ _____ [mm]		
N	$F_m$ [N]	V [m/s]	N	$F_m$ [N]	V [m/s]	N	$F_m$ [N]	V [m/s]
1			1			1		
2			2			2		
3			3			3		

Cilindro L _____ x $\phi$ _____ [mm]			Placa _____ x _____ x _____ [mm]			Placa _____ x _____ x _____ [mm]		
N	$F_m$ [N]	V [m/s]	N	$F_m$ [N]	V [m/s]	N	$F_m$ [N]	V [m/s]
1			1			1		
2			2			2		
3			3			3		

F) Parâmetros fixos / Cálculos:

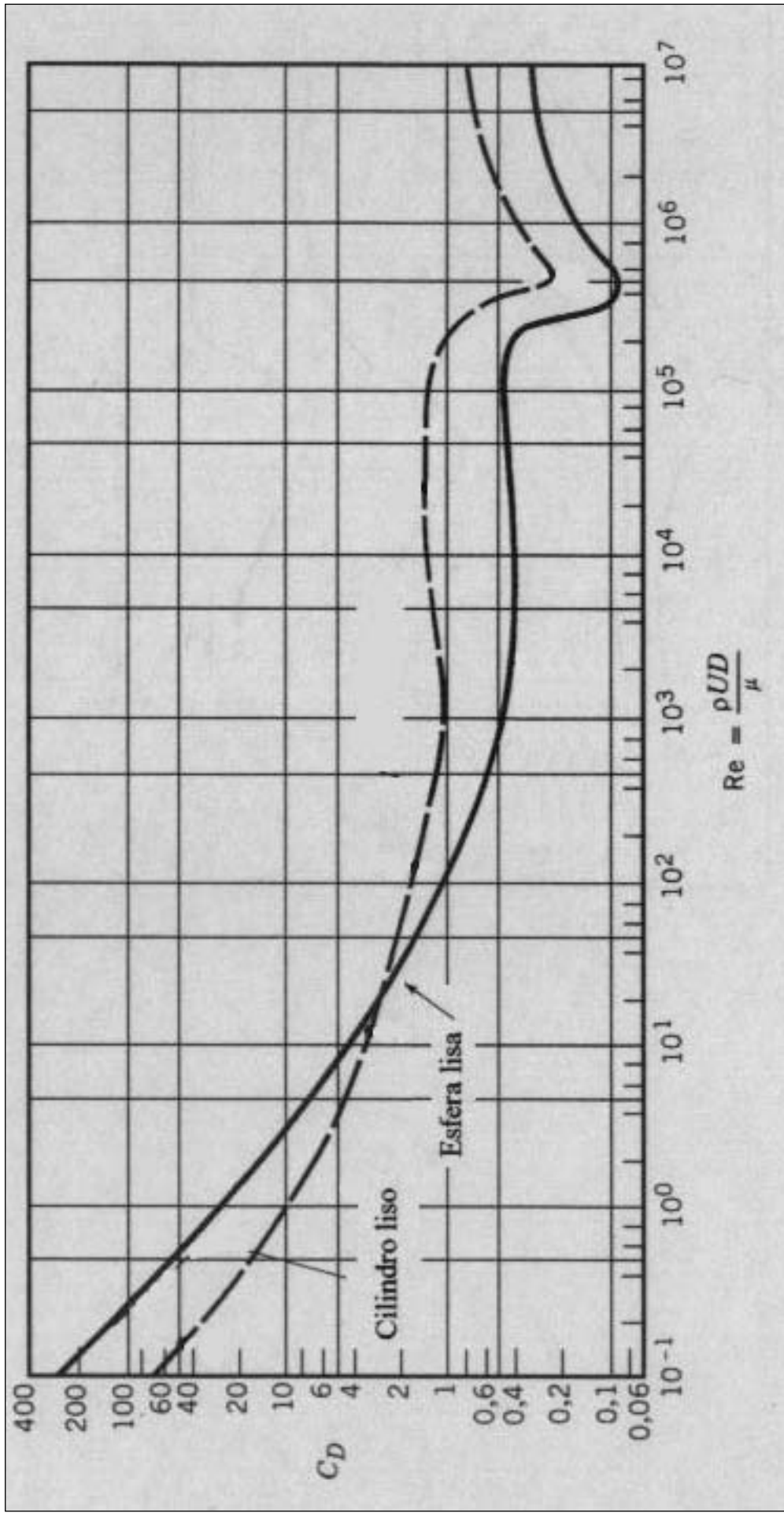
- Viscosidade cinemática do ar ( $\nu$ ):  $1,5 \times 10^{-5}$  [m<sup>2</sup>/s]
- Massa específica do ar :  $\rho = 1,15$  [kg/m<sup>3</sup>]
- Relação de alavanca no dispositivo de suporte no túnel de vento: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_

Esfera $\phi =$ _____ [mm]				Esfera $\phi =$ _____ [mm]				Cilindro L _____ x $\phi$ _____ [mm]			
Área = _____ [m <sup>2</sup> ]				Área = _____ [m <sup>2</sup> ]				Área = _____ [m <sup>2</sup> ]			
N	$F_a$ [N]	Re	C	N	$F_a$ [N]	Re	C	N	$F_a$ [N]	Re	C
1				1				1			
2				2				2			
3				3				3			

Cilindro L _____ x $\phi$ _____ [mm]				Placa _____ x _____ x _____ [mm]				Placa _____ x _____ x _____ [mm]			
Área = _____ [m <sup>2</sup> ]				Área = _____ [m <sup>2</sup> ]				Área = _____ [m <sup>2</sup> ]			
N	$F_a$ [N]	Re	C	N	$F_a$ [N]	Re	C	N	$F_a$ [N]	Re	C
1				1				1			
2				2				2			
3				3				3			

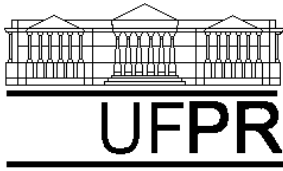
G) Relatório:

- 1) Roteiro impresso e preenchido.
- 2) Diagrama de  $C_D$  x Re destacando os pontos experimentais.
- 3) Análise / Conclusões.









Aluno \_\_\_\_\_

Experimento 7 - Análise de condução de calor em aletas - Conv. natural

A) Definição:

Aletas são superfícies estendidas utilizadas para aumentar a taxa de transferência de calor entre um sólido e um fluido adjacente.

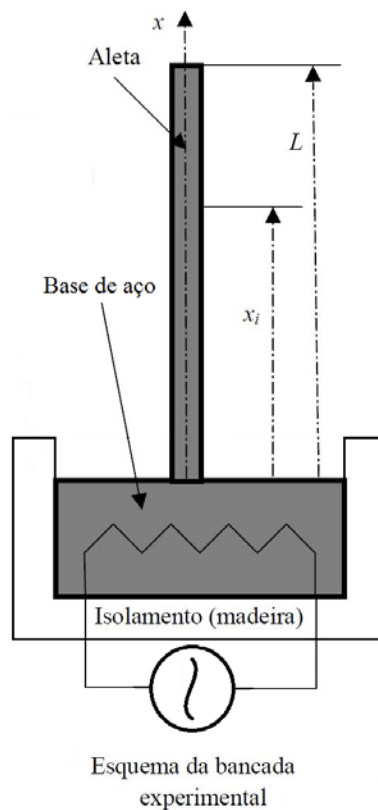
B) Objetivos:

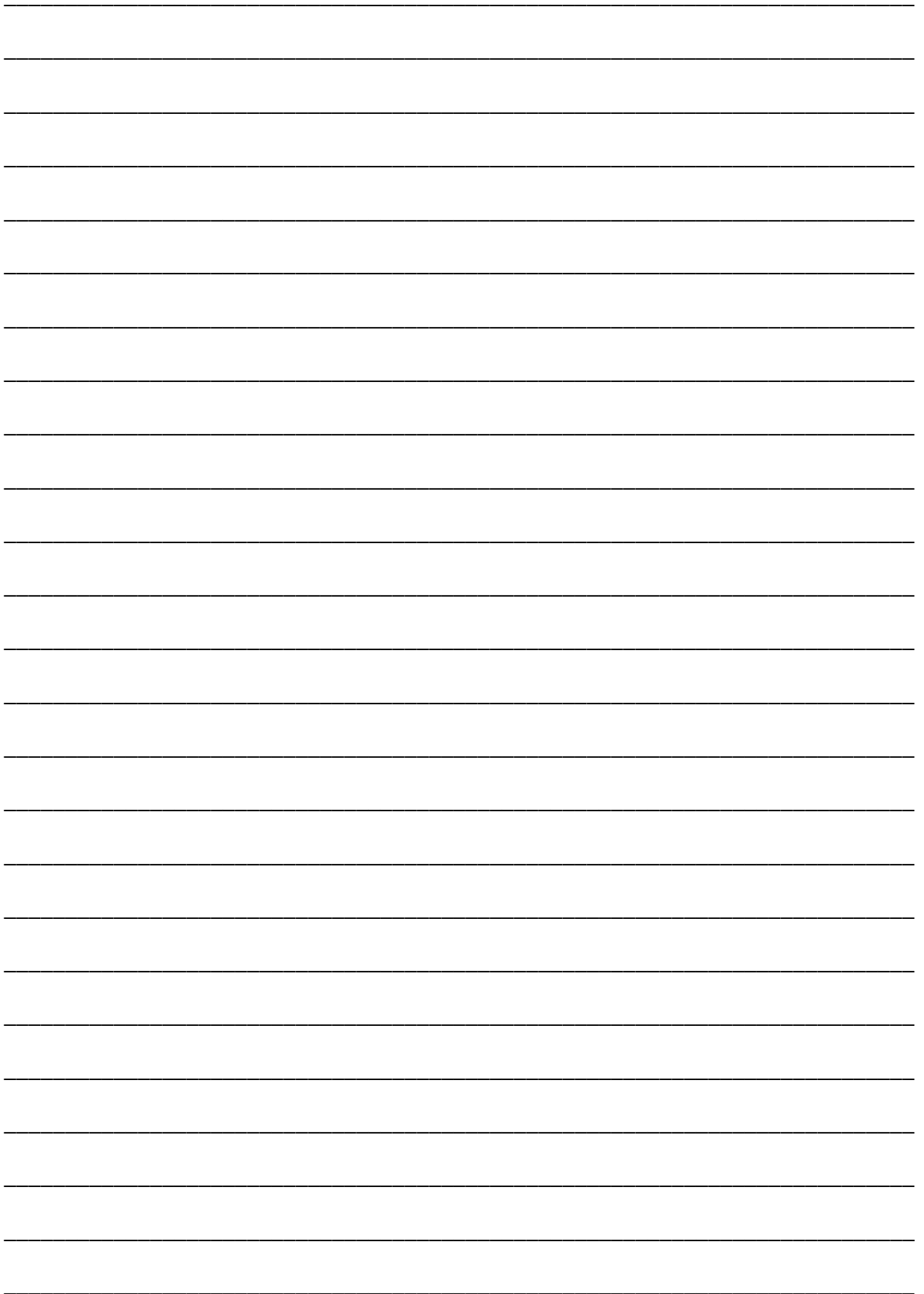
O presente experimento tem como objetivo medir a distribuição de temperatura ao longo da aleta em regime permanente e em convecção natural. Será também realizada comparação dos valores experimentais com o modelo teórico de aletas, fixando o coeficiente de convecção médio que melhor ajusta os pontos experimentais a curva teórica.

C) Equipamentos:

- Bancada experimental com base e três aletas de materiais diferentes
- Medidor de temperatura com três sensores

D) Procedimento experimental:





E) Dados experimentais - Medidas em regime permanente:

Ponto de medição	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T - aleta de aço										
T - aleta de latão										
T - aleta de alumínio										

F) Dados dos três tipos de aletas

Material	Aço	Latão	Alumínio
Geometria	Retangular	Retangular	Retangular
Espessura na base [mm]	12,7	9,8	9,6
Espessura na ponta [mm]	12,7	9,8	9,6
Largura [mm]	29,7	29,8	29,7
Posição ponto 1 [mm]	0	0	0
Posição ponto 2 [mm]	21,0	21,0	20,5
Posição ponto 3 [mm]	41,0	41,0	41,0
Posição ponto 4 [mm]	61,5	61,5	61,5
Posição ponto 5 [mm]	82,5	82,0	82,0
Posição ponto 6 [mm]	103,0	102,5	102,5
Posição ponto 7 [mm]	123,5	123,0	123,0
Posição ponto 8 [mm]	144,0	143,5	144,0
Posição ponto 9 [mm]	164,5	164,0	164,5
Posição ponto 10 [mm]	185,5	184,0	185,2
Comprimento da aleta [mm]	201,0	201,0	201,0
k [W/mK]	43	112	204

G) Modelo teórico :

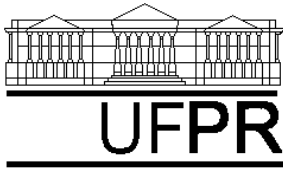
$$m = \sqrt{\frac{h \cdot p}{k \cdot A}} \quad \text{parâmetro } m \text{ - fixo para cada tipo de aleta}$$

$$\frac{T - T_{\infty}}{T_b - T_{\infty}} = \frac{\cosh[m(L - x)]}{\cosh(mL)} \quad \text{(gradiente teórico de temperatura - ponta isolada)}$$

H) Relatório:

- Roteiro impresso e preenchido.
- Diagrama de temperatura x tempo para as temperatura medidas (regime transitório)
- Diagrama de temperatura x posição para as três aletas (regime permanente), adotando coeficiente de convecção que melhor se ajuste os pontos experimentais (utilizar método dos mínimos quadrados).





Aluno : \_\_\_\_\_

Experimento 8 - Análise de condução de calor em aletas - Conv. forçada

A) Definição:

Aletas são superfícies estendidas utilizadas para aumentar a taxa de transferência de calor entre um sólido e um fluido adjacente.

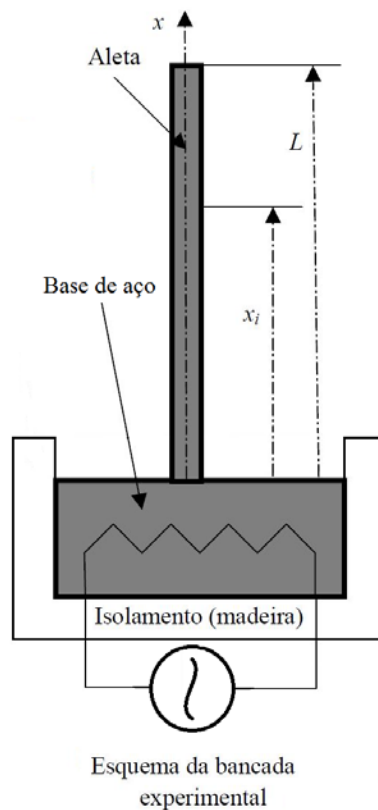
B) Objetivos:

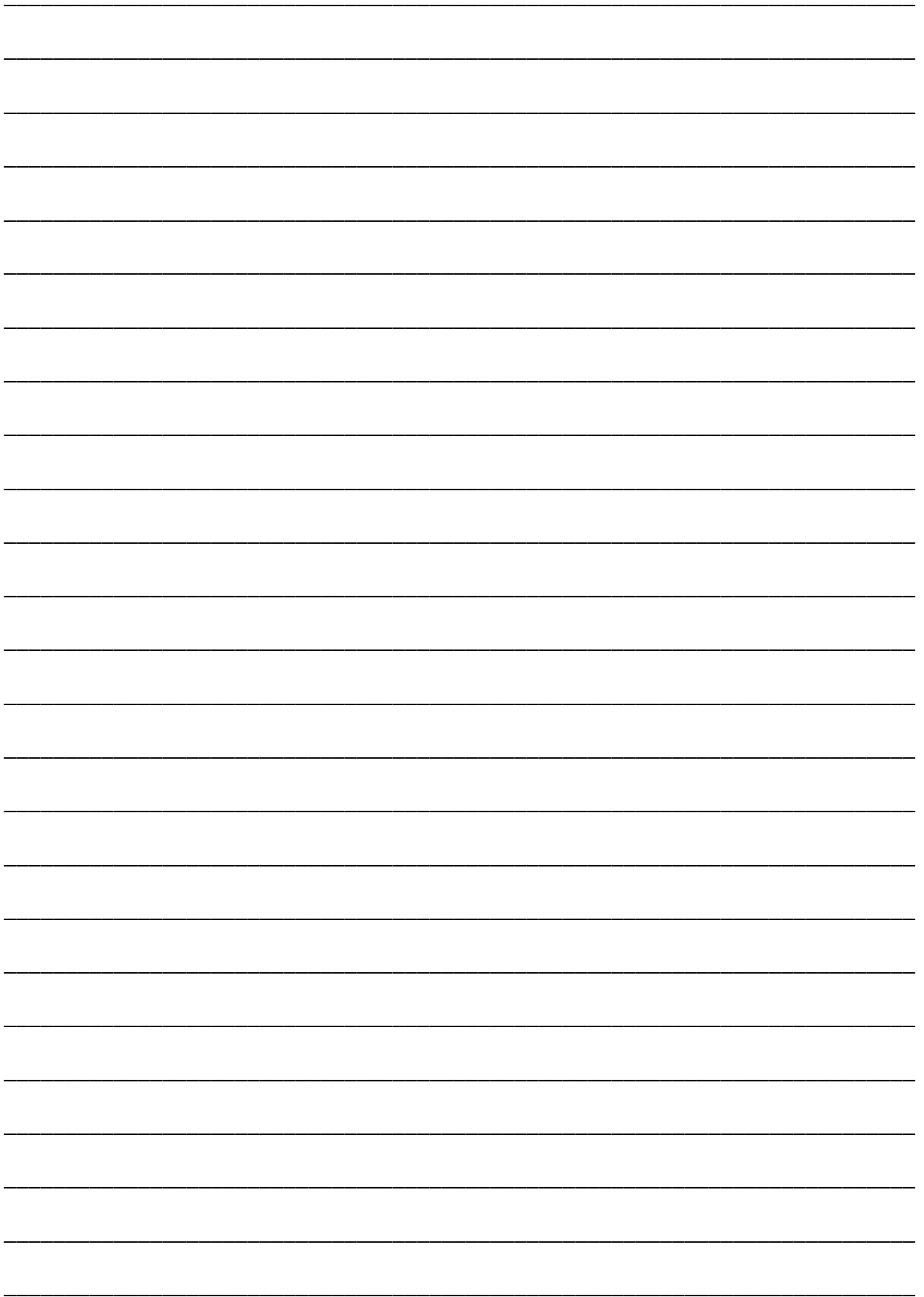
O presente experimento tem como objetivo medir a distribuição de temperatura ao longo da aleta em regime permanente e em convecção forçada. Será também realizada comparação dos valores experimentais com o modelo teórico de aletas, fixando o coeficiente de convecção médio que melhor ajusta os pontos experimentais a curva teórica.

C) Equipamentos:

- Bancada experimental com base e três aletas de materiais diferentes
- Medidor de temperatura com três sensores

D) Procedimento experimental:





E) Dados experimentais - Medidas em regime permanente:

Ponto de medição	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T - aleta de aço										
T - aleta de latão										
T - aleta de alumínio										

F) Dados dos três tipos de aletas

Material	Aço	Latão	Alumínio
Geometria	Retangular	Retangular	Retangular
Espessura na base [mm]	12,7	9,8	9,6
Espessura na ponta [mm]	12,7	9,8	9,6
Largura [mm]	29,7	29,8	29,7
Posição ponto 1 [mm]	0	0	0
Posição ponto 2 [mm]	21,0	21,0	20,5
Posição ponto 3 [mm]	41,0	41,0	41,0
Posição ponto 4 [mm]	61,5	61,5	61,5
Posição ponto 5 [mm]	82,5	82,0	82,0
Posição ponto 6 [mm]	103,0	102,5	102,5
Posição ponto 7 [mm]	123,5	123,0	123,0
Posição ponto 8 [mm]	144,0	143,5	144,0
Posição ponto 9 [mm]	164,5	164,0	164,5
Posição ponto 10 [mm]	185,5	184,0	185,2
Comprimento da aleta [mm]	201,0	201,0	201,0
k [W/mK]	43	112	204

G) Modelo teórico :

$$m = \sqrt{\frac{h \cdot p}{k \cdot A}} \quad \text{parâmetro } m \text{ - fixo para cada tipo de aleta}$$

$$\frac{T - T_{\infty}}{T_b - T_{\infty}} = \frac{\cosh[m(L - x)]}{\cosh(mL)} \quad \text{(gradiente teórico de temperatura - ponta isolada)}$$

H) Relatório:

- Roteiro impresso e preenchido.
- Diagrama de temperatura x tempo para as temperatura medidas (regime transitório)
- Diagrama de temperatura x posição para as três aletas (regime permanente), adotando coeficiente de convecção que melhor se ajuste os pontos experimentais (utilizar método dos mínimos quadrados).

