

criar fórmulas similares para as outras células; p. ex., a célula C5 deveria conter $=1/287/293*B5$. Um procedimento mais rápido e seguro é simplesmente copiar a célula C4 sobre as células de C5 a C13. O resultado é (após formatação):

Microsoft Excel - Exemplo de Massa do Ar.xls

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda

Times New Roman 10 N I S

C4 =1/287/293*B4

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2										
3		p (Pa)	m (kg)							
4		10000	0,1189							
5		20000	0,2378							
6		30000	0,3568							
7		40000	0,4757							
8		50000	0,5946							
9		60000	0,7135							
10		70000	0,8324							
11		80000	0,9514							
12		90000	1,0703							
13		100000	1,1892							
14										
15										
16										
17										

Plan1 / Plan2 / Plan3 /

Desenhar AutoFormas

Pronto NUM

Acabamos de introduzir o que é chamado de idéia de *referência relativa* — a referência é para uma célula relativa à célula contendo a fórmula. Algumas vezes queremos isso em vez de uma *referência absoluta*. Esta, por sua vez, é uma referência a uma célula fixa, de modo que, se a fórmula for copiada para uma outra célula, a referência não muda. Um exemplo no qual isso seria desejável é o seguinte: Suponha que queiramos estar aptos a repetir os cálculos precedentes para uma temperatura e/ou um volume de recipiente diferentes. Desejamos ter células contendo esses dados de forma que possamos modificá-los facilmente. Vamos colocá-los nas células E4 e F4 (com títulos — você consegue criar “m³?”):

Microsoft Excel - Exemplo de Massa do Ar.xls

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda

Times New Roman 10 N I S

F4 =293

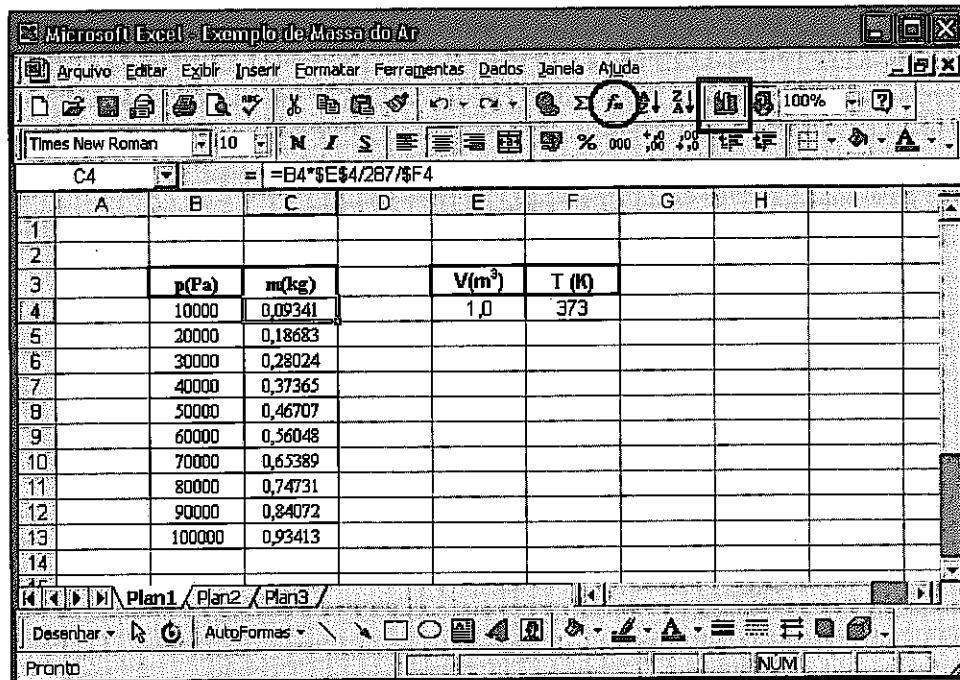
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2										
3		p (Pa)	m (kg)		V (m ³)	T (K)				
4		10000	0,1189		1,0	293				
5		20000	0,2378							
6		30000	0,3568							
7		40000	0,4757							
8		50000	0,5946							
9		60000	0,7135							
10		70000	0,8324							
11		80000	0,9514							
12		90000	1,0703							
13		100000	1,1892							
14										
15										
16										
17										

Plan1 / Plan2 / Plan3 /

Desenhar AutoFormas

Pronto NUM

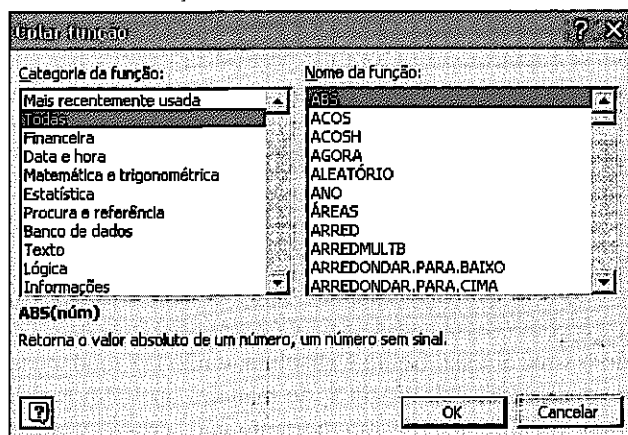
Precisamos, então, da seguinte fórmula na célula C4 (correspondente à Eq. H.1): $=B4 * E4 / 287 / F4$. O problema agora é que, se copiarmos esta fórmula para outras células nas colunas da massa, teremos erros (tente isso, em seguida clique no ícone Desfazer ou em Editar seguido de Desfazer Colar!): A lógica da fórmula diz que cada célula deve obter os dados de volume e temperatura, respectivamente, em duas e três células imediatamente à direita; p. ex., a fórmula da célula C5 quando colada seria $=B5 * E5 / 287 / F5$. A referência a B5 (a pressão) está correta, porém E5 e F5 referem-se a células em branco! O que queremos ter na célula C5 é $=B5 * E4 / 287 / F4$, ou seja, queremos copiar e colar nossa fórmula, porém *sem* variar a parte $E4 / 287 / F4$. Para tanto, devemos tornar essas referências absolutas. Antes de copiar nossa célula original C4, nós a editamos (p. ex., clicando duas vezes sobre ela) e colocamos o sinal \$ como segue: $=B4 * \$E\$4 / 287 / \$F\4 . O Excel entende que qualquer referência de célula tendo o sinal \$ à sua frente é absoluta, e não faz mudanças quando ela for copiada e colada. Note que E4, p. ex., tem dois sinais \$, de maneira que nem E nem 4 mudarão (note que, nesse exemplo específico, E não muda mesmo, portanto não seria necessário colocar o sinal \$ antes dele, apenas antes do 4). Se essa fórmula for copiada e colada em seguida sobre a coluna da massa, obteremos resultados corretos: Cada cálculo busca o valor da pressão na célula à esquerda imediata, e o volume e a temperatura nas células E4 e E5, respectivamente. Podemos agora variar a temperatura para, digamos, $100^{\circ}\text{C} = 373\text{K}$, e obter novos dados (não se preocupe com o círculo e o quadrado mostrados na figura seguinte — vamos discutir-los mais adiante):



Note que o Excel criará automaticamente os sinais \$ em uma referência, se você pressionar a tecla F4 durante a edição ou a criação da fórmula.

Nosso último comentário sobre criação de fórmula é que o Excel tem muitas funções matemáticas previamente construídas internamente, mas você precisa usar a sintaxe e a escrita corretas. P. ex., para criar 2π , você deve digitar $2 * \text{pi} ()$. Muitas funções são óbvias; p. ex., para obter $\text{sen}(\pi/4)$, digite $\text{sen} (\text{pi} () / 4)$; outras não (como o próprio π). Note que funções trigonométricas no Excel usam argumentos em radianos por padrão (default).

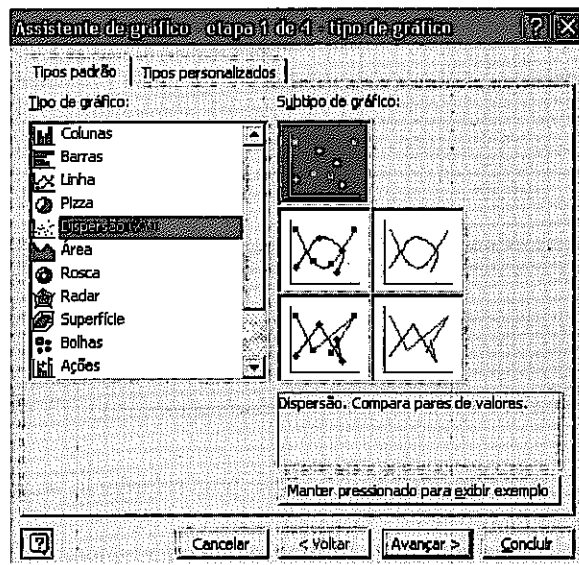
Você pode procurar por funções enquanto cria uma fórmula, clicando sobre o ícone Colar Função (marcado com um círculo na imagem anterior da planilha) ou acessando o item **Inserir...Função** do menu para obter esta útil janela:



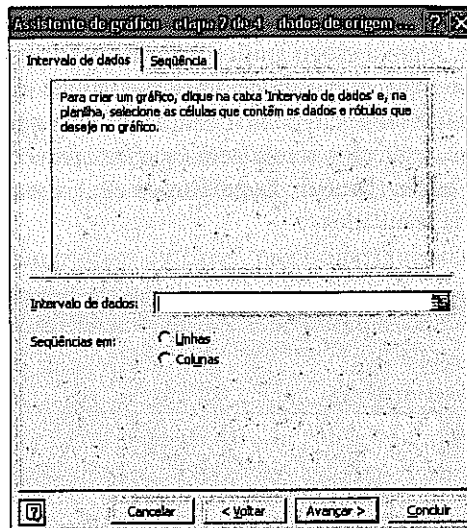
Vamos ver agora como obter gráficos com os dados calculados.

Criando Gráficos

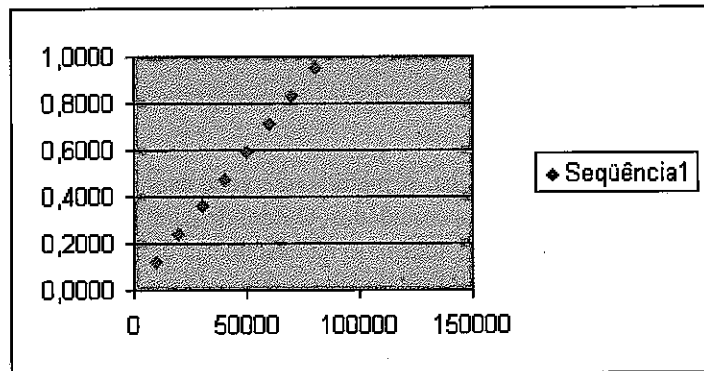
O *Excel* possui recursos gráficos poderosos. Existem diversas maneiras de acessá-los, mas o procedimento principal é selecionar os dados e, em seguida, ir para o modo gráfico, ou vice-versa. Ambos os procedimentos funcionam, mas os iniciantes provavelmente acharão mais fácil iniciar o modo gráfico antes de ter selecionado os dados. Assim como em toda aplicação do Windows, existem várias maneiras de realizar uma ação no *Excel*; neste caso, a mais simples é clicar sobre o ícone Assistente de Gráfico (marcado com um quadrado na imagem anterior da planilha). Procedendo, assim, obtemos a primeira de quatro janelas auto-explicativas:



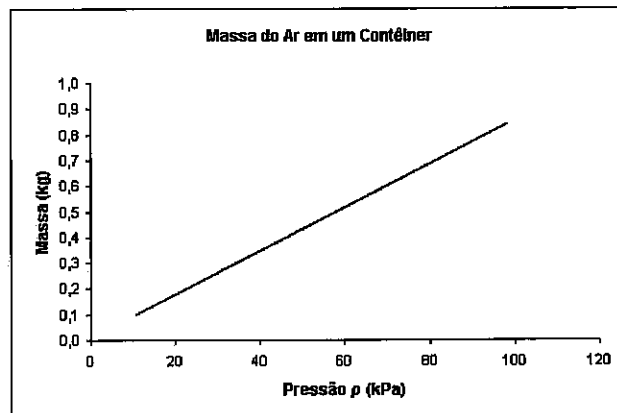
Na maioria das vezes, engenheiros traçam gráficos x - y usando **XY (Dispersão)** (não **Linha**, que força os dados a aparecerem uniformemente sobre o eixo x !). Não há nada a visualizar ainda, portanto clique sobre **Avançar** para obter:



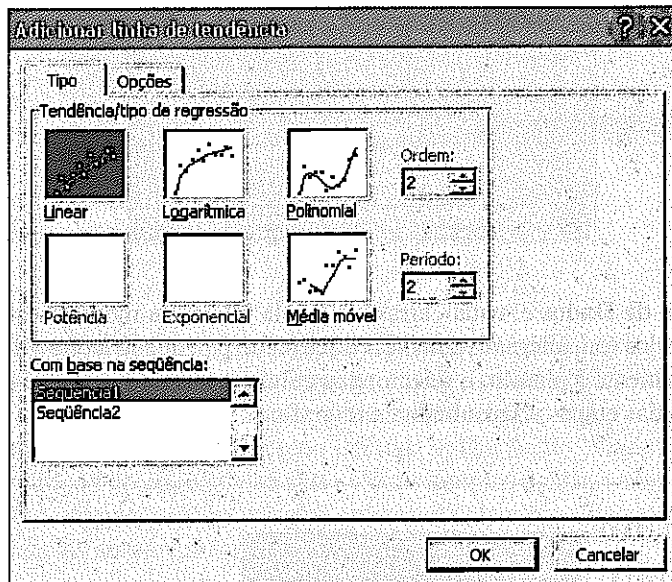
Clique sobre **Intervalo de Dados** e, então, arraste a janela inteira de modo a visualizar a planilha e selecionar a faixa de dados (ou, alternativamente, clique sobre o pequeno ícone à direita em **Intervalo de Dados** para ir diretamente à planilha); selecione as células contendo os dados (células B4 e C13); e prossiga com o resto das etapas. O resultado é um gráfico semelhante a este:



Ele não está muito interessante! Podemos melhorá-lo bastante, personalizando o tracejado, adicionando títulos etc. Para fazer isso, podemos clicar com o botão direito do mouse sobre qualquer característica do gráfico (p. ex., um ponto de dado) para abrir um menu de opções, também usar o item Formatar... Gráfico do menu ou, ainda, os ícones da barra de ferramentas de Gráfico, para chegar a algo como:



Acabamos de criar um gráfico básico x - y : o *Excel* pode criar tipos sofisticados de gráficos tais como barras, pizza, radar, e superfície. Além disso, o gráfico pode ser usado para ajustar uma curva a dados experimentais. Não faremos isso aqui, mas o procedimento envolve: traçar o gráfico x - y dos dados; clicar com o botão direito do mouse sobre um ponto qualquer da curva para obter um menu que inclui **Adicionar Linha de Tendência...**; selecionar este item (que faz aparecer uma janela como a mostrada a seguir); escolher o tipo de curva (**Linear**, **Logarítmica** etc.), e especificar opções na janela de **Opções**; clicar **OK** e observar os resultados.



Concluimos aqui a nossa introdução básica. À medida que você usar o *Excel*, descobrirá muitos recursos interessantes que atenderão suas necessidades. O item de Ajuda no menu e o ícone Assistente do Office na barra de ferramentas podem auxiliá-lo na descoberta desses recursos. Mencionaremos, ainda, um recurso final para ilustrar a utilidade de alguns deles. Já realizamos o procedimento de copiar e colar uma fórmula de uma célula única para uma coluna usando as técnicas convencionais de copiar e colar do Windows. O *Excel* tem um “atalho” adicional conveniente para isso: Simplesmente clique uma vez sobre a célula a ser copiada, em seguida mova o cursor (sem clicar) sobre o canto inferior direito da célula até que o ponteiro do *Excel* mude para (+) (uma cruz em negrito e não uma cruz cheia!); você pode, então, pressionar o botão esquerdo do mouse e arrastar para baixo uma coluna (ou um bloco de células) para imediatamente copiar o conteúdo da célula. Mesmo que você tenha duas ou mais células com conteúdos que formam uma seqüência (p. ex., **12**, **24**, ou **Jan**, **Fev**), você pode selecioná-las e mover o cursor para o canto inferior direito para obter a cruz (+) e, finalmente, arrastar para baixo ou de lado; o *Excel* preencherá as células marcadas com a cópia da seqüência (p. ex., **36**, **48**, ...etc., ou **Mar**, **Abr**, ...etc.!).

FERRAMENTAS MAIS AVANÇADAS

O *Excel* possui várias ferramentas mais avançadas. Vamos considerar algumas delas: *Atingir Meta*, *Solver*, uso de macros, e criação de funções personalizadas.

Atingir Meta e Solver

Muitos problemas de engenharia acabam em uma equação ou em equações a serem resolvidas. Em alguns casos, como a equação ou equações não têm solução direta (analítica), precisamos usar técnicas numéricas para obter uma solução aproximada. P. ex., suponha que desejamos resolver a seguinte equação para x :

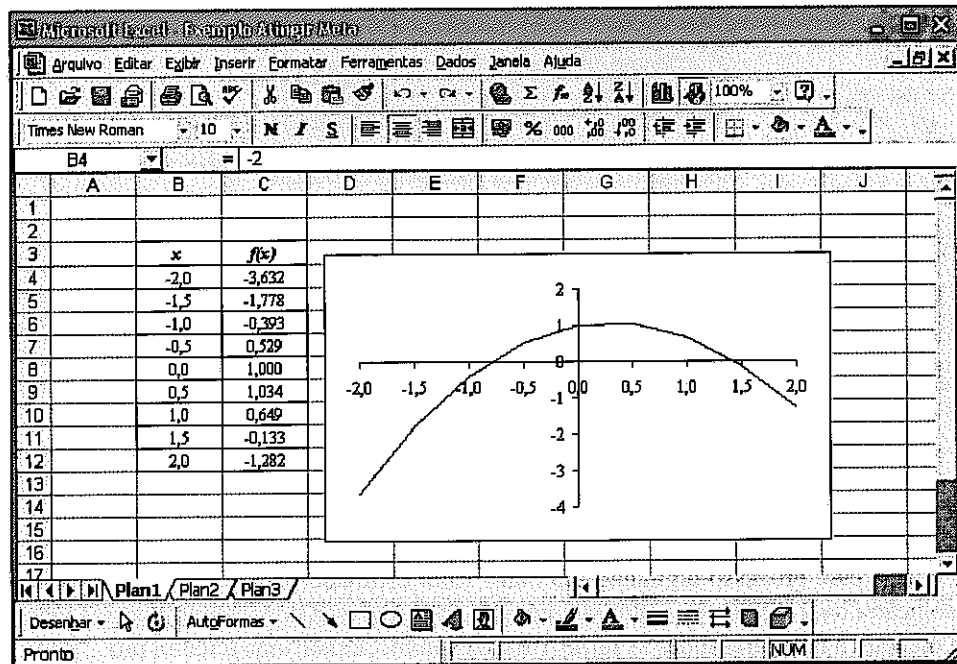
$$e^{\frac{x}{2}} = x^2 \tag{H.3}$$

Não podemos resolvê-la explicitamente para x . No entanto, podemos fazer sucessivas estimativas para x até convergir para uma solução, ou podemos usar um dos diversos métodos clássicos para convergir para uma solução de um modo mais sistematizado. A maioria das calculadoras científicas, e certamente todas as planilhas de cálculo, incluindo o *Excel*, também têm técnicas de solução construídas internamente.

Para usar a ferramenta *Atingir Meta do Excel*, precisamos primeiramente converter a Eq. H.3 em uma função cuja raiz queremos encontrar:

$$f(x) = e^{\frac{x}{2}} - x^2 \tag{H.4}$$

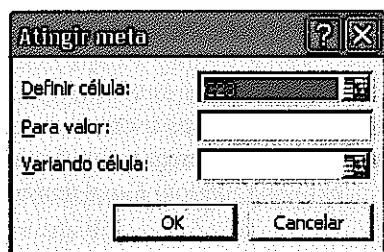
O problema torna-se, então, encontrar a raiz (ou raízes) de $f(x)$. Embora não seja necessário para o uso de *Atingir Meta*, o melhor procedimento é traçar primeiro um gráfico da função sobre uma faixa de valores de x para *ver* os locais das raízes. Após algumas tentativas com faixas de x , obteremos usando o *Excel*,



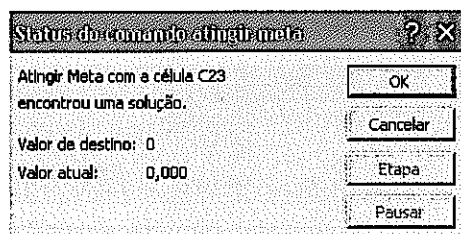
Pelo gráfico, existem raízes aproximadamente em $x = -0,8$ e $x = 1,4$. Queremos respostas mais exatas, no entanto. Para usar *Atingir Meta*, construa uma outra tabela contendo um único par de valores $x, f(x)$.

	A	B	C	D
20				
21				
22		x	f(x)	
23		0,0	1,000	
24				

Note que a célula B23 contém 0,0, uma estimativa inicial arbitrária da raiz, e a célula C23 contém a fórmula =EXP(B23/2) - B23^2. *Atingir Meta* é acessado usando o item do menu **Ferramentas... Atingir Meta...**, que faz aparecer a seguinte caixa de diálogo:



Esta caixa de diálogo é quase auto-explicativa: No espaço de **Definir célula** deve entrar a referência da célula da equação para a qual desejamos encontrar uma raiz (C23); clique sobre o espaço de **Para valor** e digite 0; clique sobre o espaço de **Variando célula** e, em seguida, sobre a célula de x , cujo valor queremos variar para encontrar a raiz (nesse exemplo, B23); clique **OK**. Se o *Excel* puder encontrar a raiz, uma pequena janela como esta aparece:



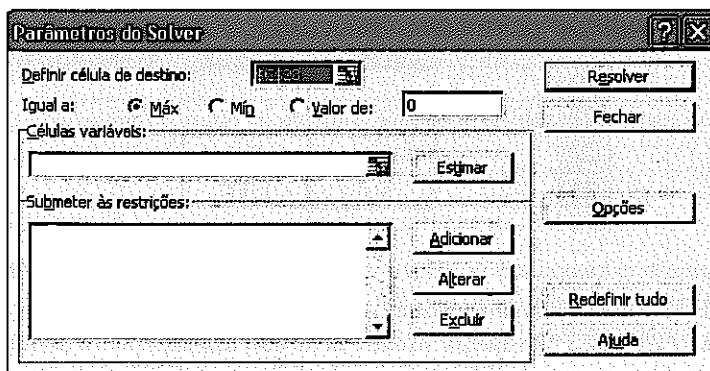
e, nesse exemplo, temos:

	A	B	C
20			
21			
22		x	$f(x)$
23		-0,8	0,000
24			

Podemos repetir esse processo digitando um outro valor estimado para x (tente 1) para encontrar a segunda solução ($x = 1,4296$). Ao usar esse método, você às vezes deve tentar diversos valores estimados de maneira a encontrar todas as raízes (nesse exemplo, existe uma terceira raiz... você é capaz de encontrá-la?) — e, é claro, como todo método matemático, às vezes ele simplesmente falha.

Note que podemos usar também *Atingir Meta* para encontrar um x para o qual $f(x)$ atinge um valor dado. P. ex., qual valor de x faz $f(x) = 2$?

Atingir Meta é fácil e rápido. Uma ferramenta mais poderosa é *Solver*, acessada usando o item do menu **Ferramentas...Solver...** onde aparece a seguinte caixa de diálogo:



Assim como para *Atingir Meta*, podemos também selecionar uma célula de x que permitirá ao *Excel* variar seu valor de modo a fazer com que a célula da fórmula conectada $f(x)$ atinja a um certo valor — porém, podemos fazer muito mais! Podemos

- ✓ Encontrar o mínimo ou máximo de $f(x)$.
- ✓ Encontrar as raízes (ou qualquer outro valor) de uma função de mais de uma variável, p. ex., $f(x,y)$, $f(x,y,z)$ etc.
- ✓ Fazer tudo acima aplicando restrições, p. ex., para $x > 2$ e $y < x^2$.

A janela é bem auto-explicativa, de modo que não entraremos em detalhes sobre ela. Demonstraremos seu uso encontrando o máximo de nossa função $f(x)$ na Eq. H.4, cujo gráfico já foi apresentado. No espaço de **Definir célula de destino** deve entrar a referência da célula da equação C23; em **Igual para** selecione **Max**; clique sobre o espaço de **Células Variáveis** e, em seguida, sobre a célula B23; clique sobre **Resolver**. O *Excel* fornece então:

	A	B	C	D
20				
21				
22		x	f(x)	
23		0,3	1,072	
24				

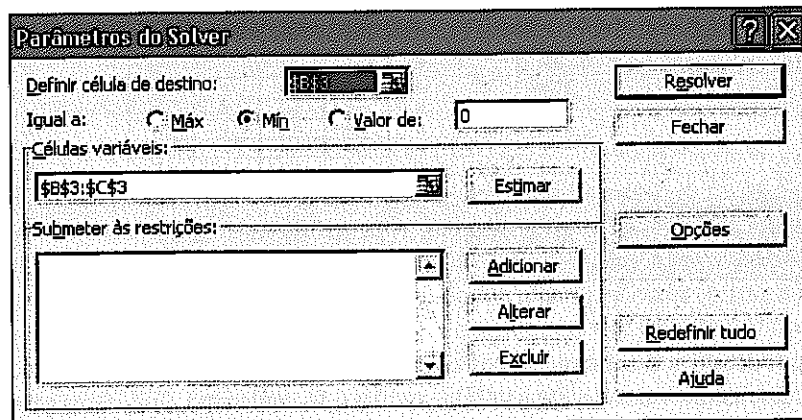
Finalmente, vamos considerar um exemplo de duas variáveis:

$$f(x, y) = x^2 - 6x + y^2 - 5$$

Suponha que desejamos encontrar o mínimo desta função. Podemos abrir uma nova planilha com células para x e y (valores iniciais estimados em 0) e com uma célula de fórmula (na planilha a seguir a fórmula é $=B3^2-6*B3+C3^2-5$):

	A	B	C	D	E
1					
2		x	y	f(x,y)	
3		0,0000	0,0000	-5,000	
4					

Agora, tudo que precisamos fazer é usar o *Solver* com as seguintes informações:



A solução é que $f(x,y)$ tem um valor mínimo de -14 para $x = 3$ e $y = 0$.

Macros

Uma macro nada mais é do que um conjunto de instruções para automatizar uma seqüência de ações no Excel (ou no Word, ou em vários outros aplicativos). Ilustraremos o uso de macros considerando um exemplo um pouco mais complicado, mas muito útil no contexto: Criaremos uma planilha de trabalho que pode ser facilmente usada para avaliar numericamente uma integral definida. A fórmula da Regra de Simpson será usada como aproximação da integral definida:

$$I = \int_a^b f(x) dx \approx \frac{\Delta x}{3} [f(x_0) + 4f(x_1) + 2f(x_2) + 4f(x_3) + 2f(x_4) + \dots + 4f(x_{N-1}) + f(x_N)] \quad (H.5)$$

onde N (que deve ser par) é o número de segmentos de tamanho $\Delta x = \frac{(b-a)}{N}$, que corresponde ao tamanho da divisão do intervalo $(b - a)$, e $x_0 = a$ com $x_{i+1} = x_i + \Delta x$, levando a $x_N = b$. Dentro de limites, a exatidão da avaliação aumenta com N . Para uma boa verificação, gostaríamos que a planilha de trabalho avaliasse automaticamente a integral para $N = 10, 20, 40$ e 60 segmentos.

Antes de automatizar essa tarefa com uma macro para uso com uma integral arbitrária, vamos ver, desde o início como criar tal planilha para uma integral específica. Suponha que queiramos avaliar numericamente o seguinte:

$$I = \int_0^\pi \text{sen}(x) dx \quad (H.6)$$

É óbvio que podemos facilmente avaliar esta integral analiticamente e encontrar $I = 2$; este valor será usado para testar se a planilha de trabalho está funcionando ou não. A seguinte imagem da planilha mostra os cálculos para $N = 10$, e parte dos cálculos para os outros valores de N :

	N = 10				N = 20				N = 40			
	x	f(x)	w	Prod.	x	f(x)	w	Prod.	x	f(x)	w	Prod.
0	0,00	0,00	1	0,00	0	0,00	0,00	1	0,00	0	0,00	0,00
1	0,31	0,31	4	1,24	1	0,16	0,16	4	0,63	1	0,08	0,08
2	0,63	0,63	2	1,18	2	0,31	0,31	2	0,62	2	0,16	0,32
3	0,94	0,81	4	3,24	3	0,47	0,45	4	1,82	3	0,24	0,72
4	1,26	0,95	2	1,90	4	0,63	0,59	2	1,18	4	0,31	1,24
5	1,57	1,00	4	4,00	5	0,79	0,71	4	2,83	5	0,39	1,56
6	1,88	0,95	2	1,90	6	0,94	0,81	2	1,62	6	0,47	1,62
7	2,20	0,81	4	3,24	7	1,10	0,89	4	3,56	7	0,56	2,24
8	2,51	0,63	2	1,18	8	1,28	0,95	2	1,90	8	0,63	1,26
9	2,83	0,31	4	1,24	9	1,41	0,99	4	3,95	9	0,71	2,52
10	3,14	0,00	1	0,00	10	1,57	1,00	2	2,00	10	0,79	1,56
				Σ	19,0996							
				Δ	2,000011							

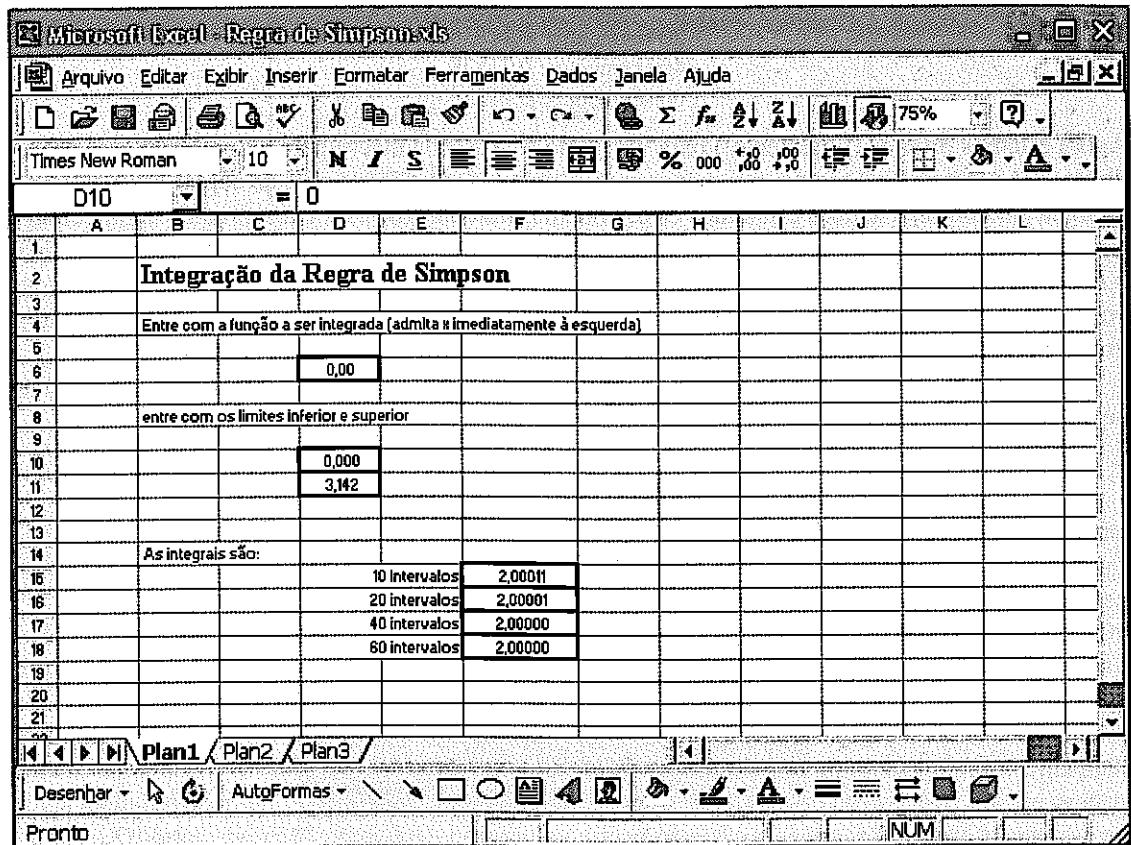
Vamos discutir em detalhes a construção dos cálculos para $N = 10$ (os outros são muito similares). Na célula C4 é calculado o valor de Δx : a célula contém a fórmula $=PI() / 10$. O primeiro valor de x é gerado entrando com o limite inferior de integração (0), e os outros valores de x são criados com fórmulas que adicionam Δx a cada valor anterior de x ; p. ex., a célula C8 tem $=C7 + \$C\4 . A coluna de $f(x)$ contém a fórmula do integrando, admitindo que x está na célula à esquerda imediata; p. ex., a célula D7 contém $=SEN(C7)$. A coluna de w contém os “pesos” 1, 4, 2, 4, 2...4, 1 usados na Eq.

H.5, e a coluna de *Prod.* contém os produtos das colunas de $f(x)$ e de w (p. ex., a célula F7 contém a fórmula $=D7 * E7$). Agora precisamos somar a coluna *Prod.*, mostrada na célula F18 (que contém a fórmula $=SOMA(F7 : F17)$), e isto é a série entre colchetes na Eq. H.5. Finalmente, a integral I é dada na célula D21 (ela contém a fórmula $=C4 / 3 * F18$). O valor obtido para a integral, 2,00011, é muito próximo do valor exato 2.

Todo esse procedimento necessita ser feito para os outros cálculos, para $N = 20, 40$ e 60 (com mudanças óbvias, tais como o cálculo de Δx). Seus quatro valores de I para a Eq. H.6 devem concordar muito bem com o valor exato (2).

Agora desejamos modificar a pasta de trabalho para que possamos avaliar outras integrais (diferentes integrandos e limites de integração).

Primeiro, podemos organizar a pasta toda, guardando esses cálculos numa planilha de trabalho secundária "Calculations" (clique duas vezes no mostrador de títulos das planilhas para editar seu nome; clique e arraste o mostrador da planilha para movimentar a planilha de trabalho), e crie uma planilha amigável "Results" conforme mostrado a seguir:



Nesta planilha, entramos com a fórmula para o integrando, admitindo que x está na célula à esquerda imediata (no presente caso $=\text{sen}(C6)$), e os limites inferior e superior de integração, conforme mostrado. A planilha *Calculations* deve ser modificada de maneira que Δx nos quatro locais seja agora calculado automaticamente a partir dos limites digitados na planilha *Results* (p. ex., a célula C4 contém agora $=(\text{Results!D11}-\text{Results!D10})/10$), e o primeiro valor de x em cada coluna é calculado a partir do limite inferior de integração (essas células contêm a fórmula $=\text{Results!D10}$).

A pasta de trabalho está, então, quase terminada. Para usá-la na avaliação da integral, devemos copiar a fórmula para $f(x)$ na célula C6 a partir da planilha *Results* e colá-la nas quatro colunas de $f(x)$ da planilha *Calculations*. Finalmente, as quatro células na planilha *Results* mostrando os resultados da integração contêm fórmulas para buscar esses resultados na planilha *Calculations* (p. ex., a célula F15 contém a fórmula $=\text{Calculations!D21}$). Se tudo estiver como planejado, as quatro avaliações aparecem conforme mostrado na figura anterior.

Levou um certo tempo, mas temos agora uma pasta de trabalho personalizada para avaliação numérica de integrais definidas! A pasta é muito fácil de ser usada na avaliação de uma integral. Basta seguir estas etapas:

1. Entrar com a fórmula do integrando na célula D6 da planilha *Results*, admitindo que x vai estar à esquerda imediata.
2. Entrar com os limites inferior e superior.
3. Copiar a fórmula na célula D6 para as quatro colunas de $f(x)$ na planilha *Calculations*, e retornar para a planilha *Results* para ver as respostas.

Você pode verificar se esse procedimento funciona corretamente, tentando avaliar a seguinte integral:

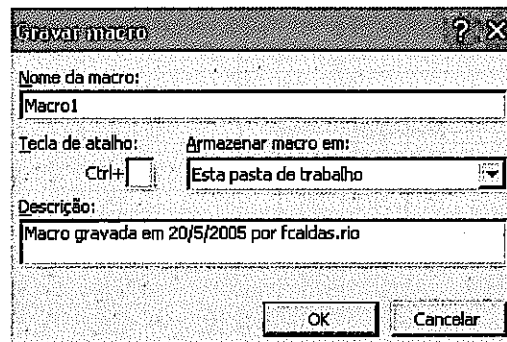
$$I = \int_0^1 x^2 e^x dx$$

Você deve obter os seguintes resultados (o resultado exato é $e - 2 = 0,71828$):

10 segmentos: 0,71830
 20 segmentos: 0,71828
 40 segmentos: 0,71828
 60 segmentos: 0,71828

Agora estamos prontos (finalmente!) para ver como se usa uma macro para automatizar esse procedimento. As etapas 1 e 2 são diretas, mas a etapa 3, envolvendo várias ações de copiar e colar de uma planilha para outra, é tediosa e sujeita a erro. Podemos *automatizar* essa etapa criando algum código em *Visual Basic*. Se você está familiarizado com o *Visual Basic*, pode escrever seu próprio código, mas o *Excel* tem um aplicativo interno de gravação de macro que gerará o código para você. A idéia é que você acesse o modo de gravação de macro, em seguida implemente *exatamente* as ações que deseja gravar para realizar a tarefa e, finalmente, saia do modo de gravação. Vamos fazer isso então.

Acesse o item do menu **Ferramentas...Macro...Gravar Nova Macro...** para obter a seguinte janela:



Você pode digitar um nome para a macro (p. ex., *Integração*) e até mesmo atribuir uma tecla de atalho (tal como Ctrl + i), e clicar em OK em seguida. Você estará, então, em um modo de gravação de macro, como indicado no mostrador inferior à esquerda na tela:



Você deve ser cuidadoso agora, porque cada ação será gravada! Selecione a célula D6 sobre a planilha *Results* e copie (tente Ctrl + C); acione a planilha *Calculations*, selecione a coluna de $f(x)$ para $N = 10$ e cole (tente Ctrl + V); selecione cada uma das outras colunas de $f(x)$ e cole; para finalizar na planilha *Results*, clique sobre ela em uma célula conveniente, p. ex., a célula D10 do limite inferior. Interrompa a gravação, selecionando o item do menu **Ferramentas...Macro...Parar de Gravar...** Temos, enfim,

nossa macro! Seu código deve assemelhar-se à seqüência de comandos mostrados na figura a seguir (para vê-lo, use o item do menu **Ferramentas...Macro...Macros...**, selecione *Integração* e clique em *Editar*; feche a janela após a ação):

```
Sub Integrate()
'
'Integrate Macro
Macro recorded 12/6/02 by Philip J. Pritchard
'
'Keyboard Shortcut: Ctrl + i
'
Range("D6").Select
Selection.Copy
Sheets("Calculations").Select
ActiveWindow.SmallScroll ToRight: =-5
Range("D7:D17").Select
ActiveSheet.Paste
Range("J7:J27").Select
ActiveSheet.Paste
Range("P7:P47").Select
ActiveSheet.Paste
ActiveWindow.SmallScroll ToRight: =8
Range("V7:V67").Select
ActiveSheet.Paste
Sheets("Results").Select
Range("D10").Select
Application.CutCopyMode = False
End Sub
```

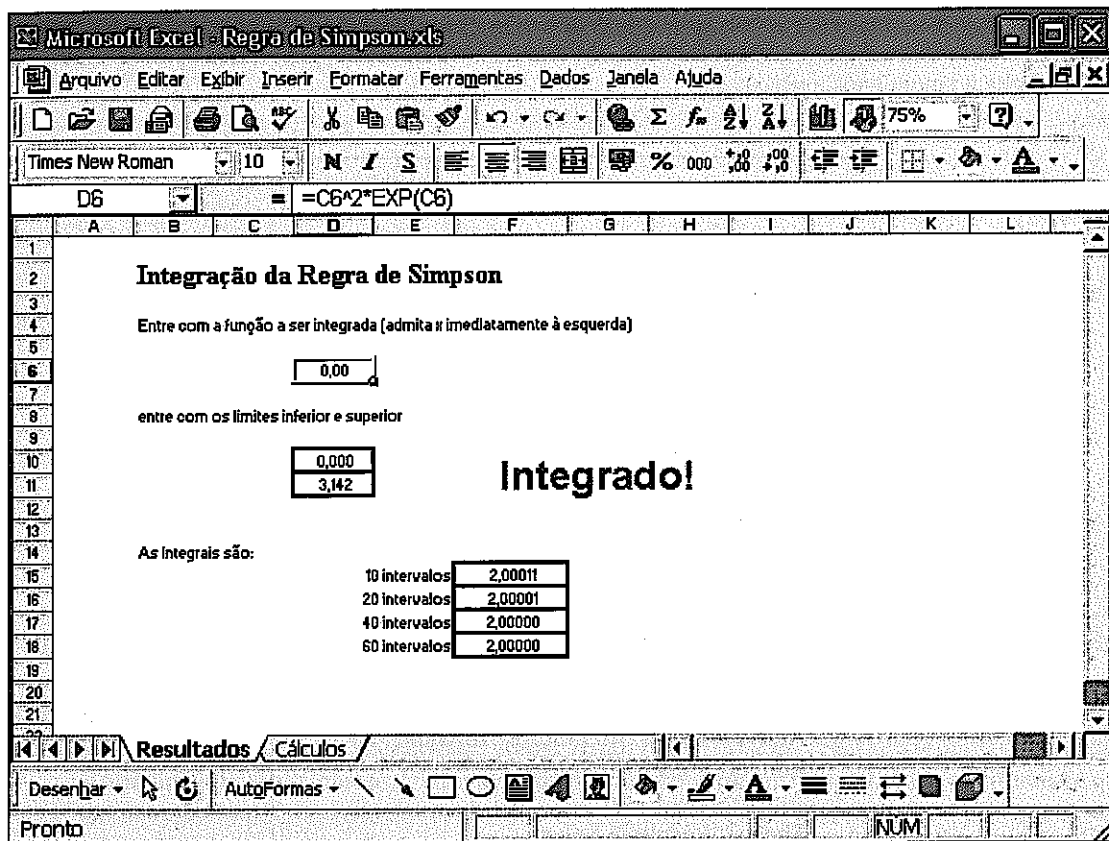
O código é quase auto-explicativo e mostra as etapas usadas para realizar nossa tarefa. Se você cometer um erro de procedimento, você pode simplesmente parar a gravação e usar o item do menu **Ferramentas...Macro...Macros...** onde a macro corrente pode ser excluída e uma outra reiniciada.

Como usar essa macro? Sempre que entramos com um novo integrando na célula D6 da planilha *Results*, podemos rodar a macro selecionando-a através do item do menu **Ferramentas...Macro...Macros...** e clicando em *Executar*. A macro fará automaticamente todas as ações de copiar e colar! Um procedimento mais conveniente é usar a combinação de teclas de atalho previamente atribuída para rodar a macro (o código criado roda sempre que Ctrl + i, nesse exemplo, é digitado). Uma idéia ainda melhor é criar um objeto tal como uma figura ou uma peça de texto do *WordArt* (clique os itens **Inserir...Objeto...** e escolha *WordArt*); nesse item, podemos então selecionar **Atribuir Macro...** e associar nossa macro ao objeto. Assim, sempre que você clicar sobre o objeto (p. ex., **INTEGRATE!**) a macro será executada!

Antes de finalizar esse exemplo, é importante acrescentar que podemos proteger as planilhas *Results* e *Calculations* (após desbloquear as células você estará apto a copiar e colar, ou a entrar com dados!) para impedir que um futuro usuário possa modificar ou causar danos às nossas planilhas e ao nosso código, ocultar linhas de grades etc., e obter no final algo como mostrado na imagem seguinte da planilha. Para usar essa planilha de trabalho, devemos seguir as seguintes etapas:

1. Entrar com a fórmula do integrando na célula D6, admitindo que x está à esquerda imediata.
2. Entrar com os limites inferior e superior.
3. Clicar sobre o ícone "Integrate!" (ou digitar as teclas de atalho, p. ex. Ctrl + i, se elas tiverem sido criadas).

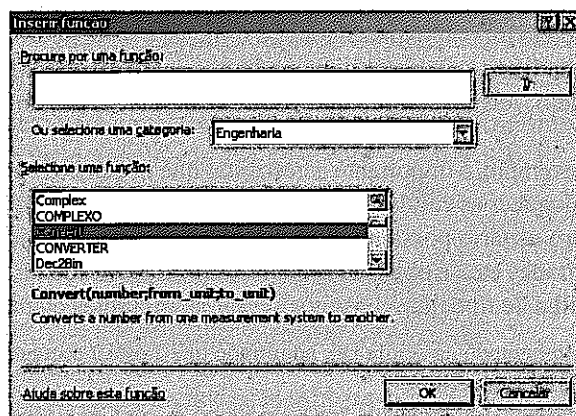
O usuário não precisa se preocupar com os procedimentos complicados de copiar e colar, e tem um integrador muito conveniente! A maioria das fórmulas é interpretada diretamente pela biblioteca do *Excel*, e as cópias e colagens necessárias são realizadas pela nossa macro.



Nesse exemplo, vimos como criar uma macro simples. O potencial das macros é óbvio — podemos incluir geração automática de gráficos, salvamento de arquivos, etc. — de fato, virtualmente, qualquer ação que você realize no *Excel* pode ser gravada e automatizada dentro de uma macro.

Funções Personalizadas

O *Excel* vem com uma biblioteca de funções úteis, incluindo muitas funções matemáticas, lógicas, de base de dados, e estatísticas. Para ver a lista de funções disponíveis, clique em **Inserir...Função...** (ou clique sobre o ícone **Colar Função** discutido anteriormente) para obter uma janela como a seguinte:



Note que nós deslocamos o cursor até funções de **Engenharia** (não disponível em algumas versões do *Excel*), onde a Microsoft decidiu implementar não só funções óbvias orientadas para engenharia,

tais como CONVERT (número, de_unidade, para_unidade) (para realizar conversões de unidades tais como lb para kg), mas também tarefas ligadas à matemática complexa e funções avançadas como as de Bessel — o grupo do *Excel Matemática e Trigonométrica* não contém esses dois últimos itens, mas traz outros igualmente avançados, tais como as funções hiperbólicas! Ao procurar por uma função do *Excel*, é uma boa idéia pesquisar na opção **Todas** para evitar uma falha acidental na busca de uma função disponível.

Mesmo com essa expressiva coleção de funções, haverá ocasiões em que você poderá querer definir a sua própria função. Isto pode facilmente ser realizado no *Excel*. Ilustraremos o método de definição de uma função personalizada, considerando o exemplo que se segue. Suponha que desejamos calcular o fator de atrito f para um problema de escoamento em tubo:

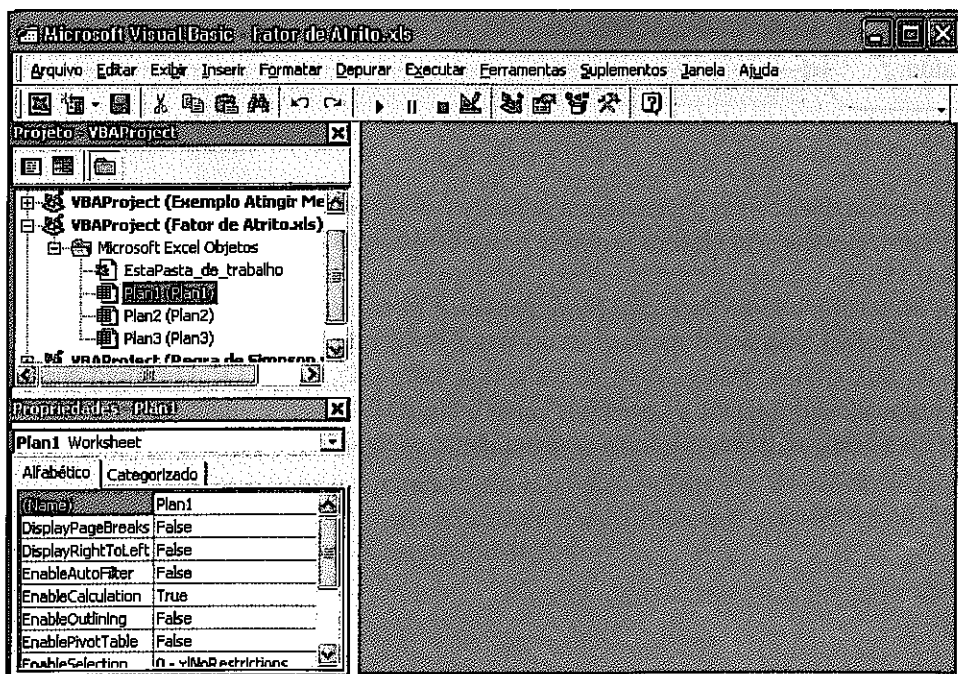
$$f = \frac{64}{Re} \quad Re < 2300 \quad (\text{Escoamento laminar}) \quad (\text{H.7a})$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2,0 \log \left(\frac{\epsilon}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad Re \geq 2300 \quad (\text{Escoamento turbulento}) \quad (\text{H.7b})$$

onde ϵ é a rugosidade relativa do tubo e Re é o número de Reynolds do escoamento. Se $Re < 2300$, o cálculo é simples; para $Re \geq 2300$, temos um pequeno problema, porque f está implícito na Eq. H.7b. Para resolvê-lo, necessitamos iteragir — dados ϵ e Re , estimamos um valor inicial para f (p. ex., 1) na expressão no lado direito do sinal de igualdade na equação e calculamos um novo valor de f no lado esquerdo. Este valor é realimentado no lado direito, e o processo de cálculo é repetido até atingir a convergência com a precisão desejada, p. ex., $\left| \frac{f_{\text{novo}} - f_{\text{anterior}}}{f_{\text{novo}}} \right| \leq 10^{-3}$ ou variação de $\pm 0,1\%$ em f .

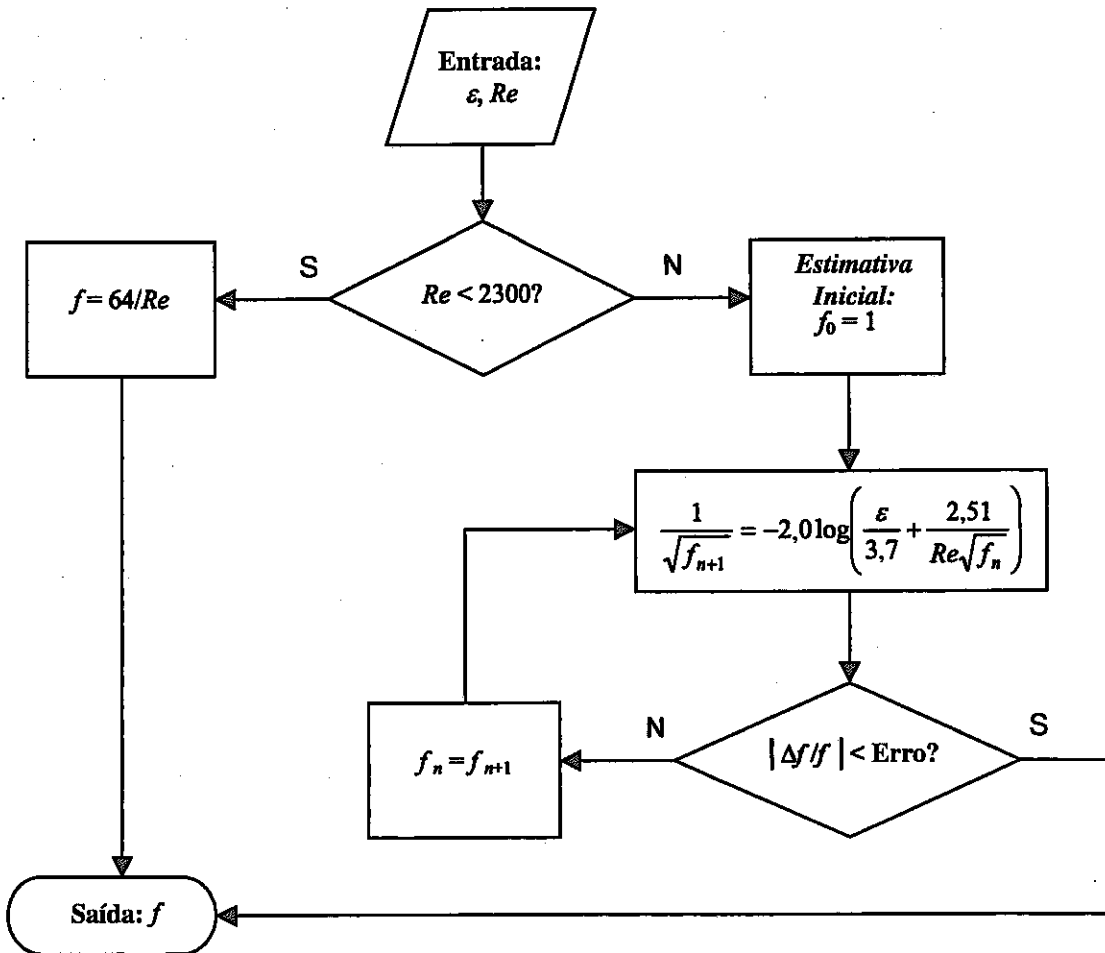
Vamos definir uma função no *Excel* que calcule f a partir de valores dados de ϵ e Re , usando a Eq. H.7a ou a Eq. H.7b conforme necessário. (Note que podemos simplesmente definir uma função que resolva a Eq. H.7b e, em seguida, usar uma célula contendo uma função If (Se) para decidir qual equação usar, porém é mais interessante definir uma função que incorpore ambas as equações automaticamente.)

No *Excel*, usamos seu editor de *Visual Basic* para escrever o código para uma função. Para acessá-lo, use o item do menu **Ferramentas...Macro...Editor do Visual Basic** para obter uma janela semelhante a esta:



Note que sua janela pode ser ligeiramente diferente, mostrando mais ou menos *subjanelas* — você pode tornar uma subjanela visível ou não usando o item **Exibir** do menu. Você pode não ter uma subjanela **Módulo** visível — se não tiver, crie um módulo (uma área de armazenamento para o código) usando o item do menu **Inserir...Módulo**.

Agora precisamos criar o código para calcular f a partir da Eq. H.7a ou H.7b. Um possível fluxograma para a lógica dos cálculos é:



Note que existem duas caixas de decisão: a primeira é óbvia; a segunda envolve iteração na Eq. H.7b até que a convergência seja alcançada. Neste caso, deixaremos iteragir até que a variação em f seja inferior a 0,1%.

Vamos escrever o código de *Visual Basic* para esse fluxograma. Nessa introdução, não podemos discutir em detalhes a sintaxe e a gramática do *Visual Basic* que devemos usar para realizar as tarefas descritas no fluxograma, mas existem vários textos sobre isso, p. ex., [3]. O código que necessitamos é apresentado em seguida, e você pode então transcrevê-lo para a subjanela de módulo (observe que, quando a primeira linha é digitada, o mostrador contendo **Declaração** muda para **f**, nossa nova função):

```

Function f(Re, e)
If Re < 2300 Then
    f = 64 / Re
Else
    Er = 0,001
    oldf = 1
    deltaf = oldf
    Do While Abs(deltaf / oldf) >= Er
        newf = 1 / (-2 * Log(e / 3,7 + 2,51 / (Re * Sqr(oldf))) * 0,434294462) ^ 2
        deltaf = newf - oldf
        oldf = newf
    Loop
    f = oldf
End If
End Function
    
```

O código funciona da seguinte maneira:

- ✓ Primeiramente realiza o teste do número de Reynolds.
- ✓ Se $Re < 2300$, calcula f a partir da Eq. H.7a e vai para o final da função.
- ✓ Se $Re \geq 2300$, vai para a linha de **Else** e define o erro (**Er**) e os valores iniciais para f_n (**oldf**) e Δf (**deltaf**), o erro entre sucessivos valores de f . Entre as linhas de **Do While** e de **Loop**, iteramos para convergir para um valor mais exato de f . Para cada iteração:
 - Calcula um valor para f_{n+1} (**newf**) a partir do valor corrente de f_n e dos valores de Re e ϵ (representados por **Re** e **e**, respectivamente). [Note que multiplicamos o logaritmo por **0,434294462**, porque o *Visual Basic* trata Log como um log natural, de modo que convertemos para a base 10 multiplicando por $\log(10)/\ln(10)$.]
 - Em seguida, calcula a variação Δf (**deltaf**) no valor de f , e atualiza o valor de f .
 - Finalmente, retorna para a linha do **Do While** para realizar o teste de convergência: Se $|\Delta f/f| \geq 0,1\%$, repete a iteração; se $|\Delta f/f| < 0,1\%$, finaliza a iteração e sai com o valor de f .

Podemos, agora, fechar a janela do *Visual Basic* e retornar para a planilha. Temos, então, uma nova função f que calcula a Eq. H.7a ou a Eq. H.7b de acordo com o número de Reynolds! Podemos testar a função para escoamentos laminar ($Re < 2300$) e turbulento ($Re \geq 2300$), p. ex., algo como:

	A	B	C	D	E
1					
2		Fator Atrito			
3					
4					
5		<i>Re</i>	<i>e/D</i>	<i>f</i>	
6		1000	0,01	0,064	
7		3000	0,01	0,0519	
8					

O procedimento que acabamos de delinear mostrou como criar uma função do usuário no *Excel*. Demonstramos isso com uma função ligeiramente complicada — Eqs. H.7a e H.7b, com duas ramificações de decisão necessárias — mas o procedimento pode obviamente ser usado para definir funções mais simples ou outras de extrema complexidade.

REFERÊNCIAS

1. Gottfried, B. S., *Spreadsheet Tools for Engineers*. New York: McGraw-Hill, 2000.
2. Bloch, S. C., *Excel for Engineers and Scientists*. New York: John Wiley, 1999.
3. McKeown, P. G., and C. A. Piercy, *Learning to Program with Visual Basic*, 2nd ed. New York: John Wiley, 2001.

RESPOSTAS PARA OS PROBLEMAS SELECIONADOS

Capítulo 1

- 1.3 $m = 12,4 \text{ lbm}$
 1.5 $V = 0,119 \text{ m}^3$, $D = 0,610 \text{ m}$
 1.6 $m = 61,2 \text{ lbm}$; $27,8 \text{ kg}$
 1.8 $\rho = 0,0765 \text{ lbf/ft}^3$, $u_p = \pm 0,348\%$
 1.9 $\rho = 1,39 \text{ kg/m}^3$, $u_p = \pm 0,238\%$
 1.10 $\rho = 1130 \pm 21,4 \text{ kg/m}^3$
 $SG = 1,13 \pm 0,214$ (20 por 1)
 1.11 $u_m = \pm 1,60\%$, $\pm 0,267\%$
 1.12 $\rho = 930 \pm 27,2 \text{ kg/m}^3$ (20 por 1)
 1.13 $\rho = 1260 \pm 28,9 \text{ kg/m}^3$
 $SG = 1,26 \pm 0,0289$ (20 por 1)
 1.16 $\mu = 1,005 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{s/m}^2$;
 $u_\mu = 0,61\%$
 1.17 $u_a = \pm 4,10\%$
 1.18 $\delta x = \pm 0,158 \text{ mm}$
 1.19 $\delta D = \pm 0,00441 \text{ in}$
 1.20 $H = 57,7 \pm 0,548 \text{ ft}$
 1.21 $u_v = \pm 10,9\%$
 1.22 $t = 3 \text{ W/gk}$
 1.23 $s = 2,05 \text{ W}^2/\text{gk}^2$
 1.24 $V_{\text{máx}} = 0,798 \text{ m/s}$; $t = 3,84 \text{ s}$
 1.25 $d = 0,074 \text{ mm}$
 1.26 $V_{\text{máx}} = 56,8 \text{ m/s}$, $V_{100} = 38,3 \text{ m/s}$
 1.27 $V_0 = 37,7 \text{ m/s}$, $\theta_0 = 21,8^\circ$
 1.30 $1 \text{ psi} = 6,89 \text{ kPa}$
 $1 \text{ litro} = 0,264 \text{ gal}$
 $1 \text{ lbf} \cdot \text{s/ft}^2 = 47,9 \text{ N} \cdot \text{s/m}^2$
 1.31 $1 \text{ m}^2/\text{s} = 10,7 \text{ ft}^2/\text{s}$
 $100 \text{ W} = 0,134 \text{ hp}$
 $1 \text{ kJ/kg} = 0,43 \text{ Btu/lbm}$
 1.32 $SG = 13,6$, $v = 7,37 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{kg}$
 $\gamma_E = 847 \text{ lbf/ft}^3$, $\gamma_M = 144 \text{ lbf/ft}^3$
 1.33 $1 \text{ in}^3/\text{min} = 273 \text{ mm}^3/\text{s}$
 $\text{m}^3/\text{s} = 15860 \text{ gal/min}$
 $\text{L/min} = 0,264 \text{ gal/min}$
 1.34 $32 \text{ psi} = 2,25 \text{ kgf/cm}^2$
 1.35 $N_{\text{sc}} = 4,06$
 1.37 $W = 77 \text{ lbf}$, $V = 1,24 \text{ ft}^3$

Capítulo 2

- 2.3 $y = cx^{-b/a}$
 2.4 $y = cx^{-b/a}$
 2.5 $xy^2 = c$
 2.9 $x = y/3$; $t = 2 \text{ s}$
 2.10 $xy = 2$
 2.11 $y = \sqrt{c - bx/at}$
 2.12 $xy = 8$
 2.13 $y - y_0 = (B/2A^2)(x - x_0)^2$
 2.22 $y = (x^2/4) + 4$; (4, 8); (5, 10,25)
 2.23 $x = (y^2/4) - 3$; (6, 6); (1, 4)
 2.24 (2,8; 5), (3, 3)
 2.25 (5,67; 3,00); (3,58; 3,25)
 2.28 $b = 1,53 \times 10^{-6} \text{ kg/m} \cdot \text{s} \cdot \text{K}^{1/2}$; $S = 101,9 \text{ K}$
 2.29 $\tau_{yx} = -1,83 \text{ N/m}^2$; Mais x
 2.30 $F = 0,228 \text{ N}$; Direita
 2.32 $a = -0,491 \text{ ft/s}^2$
 2.33 $\tau_{yx} = 0,277 \text{ lbf/ft}^2$; x positivo
 2.34 $F = 17,1 \text{ lbf}$
 2.35 $V = 34,3 \text{ ft/s}$
 2.36 $F_v = \mu VA/h$; $V = (mgh/\mu A)(1 - \exp[-\mu AT/(M + m)h])$; $\mu = 1,29 \text{ N} \cdot \text{s/m}^2$
 2.37 $F_b = \mu Ua^2/h$; $t = 3,0h/\mu a^2$
 2.38 $a_0 = 4,91 \text{ m/s}^2$;
 $U = (g \text{ sen } \theta md/\mu A)(1 - \exp(-\mu AT/md))$;
 $\mu = 0,27 \text{ N} \cdot \text{s/m}^2$
 2.39 $F = 2,83 \text{ N}$
 2.41 $\mu = 8,07 \times 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{s/m}^2$
 2.42 $\mu = 0,0208 \text{ N} \cdot \text{s/m}^2$
 2.43 $\mu = 0,0159 \text{ N} \cdot \text{s/m}^2$
 2.44 $t = 4 \text{ s}$
 2.46 $\omega_{\text{máx}} = 2,63 \text{ rad/s}$; $t = 0,671 \text{ s}$
 2.47 $\mu = 0,202 \text{ N} \cdot \text{s/m}^2$
 2.49 $\dot{\gamma} = \omega/\theta$; $T = 2\pi R^3 \tau_{yx}/3$
 2.50 $k = 0,0449$; $n = 1,21$;
 $\mu = 0,191 \text{ N} \cdot \text{s/m}^2$; $0,195 \text{ N} \cdot \text{s/m}^2$
 2.51 $T = \pi \mu \Delta \omega R^4/2a$; $\mathcal{P} = \pi \mu \omega_0 \Delta \omega R^4/2a$;
 $s = 2Ta/\pi \mu R^4 \omega$; $\eta = 1 - s$
 2.53 $u = 0,277\%$

2.54 $\tau = \mu\omega z \tan \theta/\alpha; T = 0,0206 \text{ N}\cdot\text{m}$

2.55 $T = \frac{2\pi\mu\omega R^4}{h} \left(\frac{\cos^3 \alpha}{3} - \cos \alpha + \frac{2}{3} \right)$

2.57 $\Delta p = 2,91 \text{ kPa}$

2.61 $\Delta\rho/\rho_0 = 0,453\%$

Capítulo 3

3.1 $m = 62 \text{ kg}; t = 22,3 \text{ mm}$

3.2 $\Delta h = 6,72 \text{ mm Hg}; \Delta z = 173 \text{ m}$

3.4 $z = 2980 \text{ m}; \Delta z = 1480 \text{ m}$

3.5 $F = 21,9 \text{ N}$

3.6 $F = 2620 \text{ lbf}; T = 14,4 \text{ lbf}$

3.7 $SG = 1,75 \text{ (Meriam Azul)}; p_1 = 0,89 \text{ psi};$

$p_u = 0,509 \text{ psi}$

3.8 $\Delta p = 972 \text{ kPa}; \rho_{\text{cubo}} = 991 \text{ kg/m}^3$

3.9 $p_{\text{frio}} = 316 \text{ kPa (abs)};$

$p_{\text{quente}} = 254 \text{ kPa (manométrica)}$

3.10 $D = 15,8 \text{ mm}$

3.12 $\Delta\rho/\rho_0 = 4,34\%; 2,14\%$

3.14 $p = 6,39 \times 10^3 \text{ N/m}^2; h = 43,6 \text{ mm}$

3.15 $p = 3,48 \text{ kPa (manométrica)};$

$p = 123 \text{ kPa (manométrica)}$

3.16 $p = 128 \text{ kPa (manométrica)}$

3.17 $H = 17,8 \text{ mm}$

3.18 $p_1 - p_2 = 59,5 \text{ Pa}$

3.19 $h = 42,8 \text{ mm}$

3.20 $H = 30,0 \text{ mm}$

3.21 $p_a = 1,18 \text{ psig}$

3.22 $SG = 0,900$

3.23 $p = 24,7 \text{ kPa (manométrica)}; h = 0,116 \text{ m}$

3.24 $p_A - p_B = 1,64 \text{ psi}$

3.25 $l = 1,6 \text{ m}$

3.26 $L = 27,2 \text{ mm}$

3.27 $l = 0,546 \text{ m}$

3.28 $h = 1,11 \text{ in}$

3.29 $\theta = 12,5^\circ; s = 5,0$

3.30 $\theta = 11,1^\circ$

3.31 $h = 7,85 \text{ mm}; s = 0,308$

3.32 $p_{\text{atm}} = 14,0 \text{ psi}$

3.33 $l = 0,316 \text{ m}$

3.34 $\Delta h = 38,1 \text{ mm}; 67,9 \text{ mm}$

3.35 $D = 9,3 \text{ mm}$

3.39 $\Delta z = 89,0 \text{ mm}; \Delta z = 1440 \text{ m}$

3.40 $\rho = 0,00332 \text{ kg/m}^3$

3.41 $p = 57,5 \text{ kPa}; p = 60,2 \text{ kPa}$

3.43 $F_L = 14,7 \text{ kN}; F_L = 52,7 \text{ kN}$

3.44 $F_R = 25,7 \text{ kN}, y' = 1,86 \text{ m}; F_R = 71,5 \text{ kN},$
 $y' = 1,78 \text{ m}$

3.45 $F_R = 376 \text{ N}; y' = 0,3 \text{ m}$

3.46 $F_A = 366 \text{ kN}$

3.47 $W = 15.800 \text{ lbf}$

3.49 $F = 2\rho g R^3/3; y' = 3\pi R/16$

3.50 $F_D = 32,9 \text{ N}$

3.51 $F = 1,82 \times 10^6 \text{ lbf};$

$\vec{F}_H = (1,76\hat{i} + 3,04\hat{j})10^6 \text{ lbf}$

3.52 $F_R = 552 \text{ kN}; (x', y') = (2,5; 2,0) \text{ m}$

3.54 $F = 33,3 \text{ kN}; D \approx 7,3 \text{ mm}$

3.55 $F_{AB} = 1800 \text{ lbf}$

3.56 $D = 2,60 \text{ m}$

3.57 $F_A = 32,7 \text{ kN}$

3.58 $d = 2,66 \text{ m}$

3.59 $SG = 0,542$

3.61 (a) $F_V = 73,9 \text{ kN}; x' = 1,06 \text{ m}$

(b) $F_{AH} = 34,8 \text{ kN}$ (c) $F_{AV} = 30,2 \text{ kN}$

3.62 (a) $F_V = 7,63 \text{ kN};$ Momento = $3,76 \text{ kN}\cdot\text{m}$

(b) $F_{AH} = 5,71 \text{ kN}$

3.63 $F_{R_V} = 2,19 \text{ kN}; x' = 0,243 \text{ m}$

3.64 $F_{R_V} = \rho g w \pi R^2/4; x' = 4R/3\pi$

3.65 $F_V = 1,05 \text{ MN}; x' = 1,61 \text{ m}$

3.66 $F_{R_V} = 17.100 \text{ lbf}; x' = 2,14 \text{ ft}$

3.67 $F_B = 82,4 \text{ kN}$

3.68 $F_R = 1,83 \times 10^7 \text{ N}; \alpha = 19,9^\circ$

3.69 $F_R = 370 \text{ kN}; \alpha = 57,6^\circ$

3.70 $F_R = 557 \text{ kN}; \alpha = 48,3^\circ$

3.71 $M/L = \rho R^2[1 + 3\pi/4], F/L = \rho g R^2/2$

3.72 $F_V = 2,48 \text{ kN}; x' = 0,642 \text{ m};$

$F_H = 7,35 \text{ kN}; y' = 0,217 \text{ m}$

3.73 $F_V = 1,55 \text{ kN}; x' = 0,120 \text{ m}$

3.74 $W = 4\rho g L(H - d)^{3/2}/3\sqrt{a}$

3.75 $SG = \cos^{-1}(1 - \alpha) + (\alpha - 1)\sqrt{2 - \alpha}/\pi$

3.76 $M = 631 \text{ kg}$

3.77 $F_R = 284 \text{ kN}; \alpha = 34,2^\circ$

3.78 $\gamma_s = 51,2 \text{ lbf/ft}^3; h_G = 0,223 \text{ ft}$

3.79 $h = 177 \text{ mm}$

3.81 $SG = SG_{\text{H}_2\text{O}} W_{\text{ar}}/(W_{\text{ar}} - W_{\text{líquido}})$

3.83 $V = 2,52 \times 10^{-3} \text{ m}^3;$ seis pesos

3.84 $F_B = 8,02 \times 10^{-11} \text{ N};$

$V = 0,344 \text{ mm/s}$

3.86 As afirmativas são válidas; a sustentação é aumentada em 45%

3.87 $D = 116 \text{ m}; M = 703 \text{ kg}$

3.88 $D = 82,7 \text{ m}; M = 637 \text{ kg}$

3.89 $\theta = 23,8^\circ$

3.91 $x = 1,23 \text{ ft}; F = 1,5 \text{ lbf}$

3.93 $SG > 0,70$

3.94 $\omega = 1,81 \text{ rad/s}$

3.98 $\omega = 13,1 \text{ rad/s};$ Não

3.99 $a = gh/L$

3.100 Inclinação = $0,22$

3.101 $\omega = 188 \text{ rad/s}$

3.102 $p_A = -1,23 \text{ kPa}; \Delta h = 126 \text{ mm}$

3.103 $\Delta p = \rho\omega^2 R^2/2; \omega = 7,16 \text{ rad/s}$

3.104 $a_r = -r\omega^2; \partial p/\partial r = \rho r\omega^2; p = 7,19 \text{ MPa}$

3.105 Inclinação = $-0,20;$

$p(x, 0) = 106 - 1,57x(\text{m}) \text{ kPa}$

3.106 $\alpha = 13,3^\circ$

3.107 $\alpha = 30^\circ;$ Inclinação = $0,346$

3.108 $p_2/p_1 = 24,2$

3.109 $T = 47,6 \text{ lbf}; p = 55,3 \text{ lbf/ft}^2$ (manométrica)

3.110 Inclinação = $0,540; \omega = 3,48 \text{ rad/s}$

3.113 $\omega = 31,3 \text{ rad/s};$

$$p_{\text{máx}} = 51,5 \text{ kPa (manométrica);}$$

$$p_{\text{mín}} = 43,9 \text{ kPa (manométrica)}$$

Capítulo 4

$$4.1 \quad s_2 - s_1 = -0,291 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$$

$$4.2 \quad x = 0,943 \text{ m}$$

$$4.3 \quad s = 2290 \text{ ft, } t = 22,4 \text{ s}$$

$$4.4 \quad V_0 = 87,5 \text{ km/h}$$

$$4.5 \quad \theta = 48,2^\circ$$

$$4.6 \quad \Delta u = 77,5 \text{ kJ/kg}$$

$$4.7 \quad \Delta U = 4,50 \times 10^5 \text{ Btu; } \Delta U = 0;$$

$$dT/dt = 11,8^\circ\text{R/h}$$

$$4.8 \quad t = 1,5 \text{ h}$$

$$4.9 \quad h = 21,2 \text{ mm; } \mu_x = 0,604$$

$$4.10 \quad (\text{b}) 0; (\text{e}) -0,5\hat{i} - 0,5\hat{j} \text{ m}^4/\text{s}^2$$

$$4.12 \quad Q = Vhw/2; mf_x = -\rho V^2 wh/3$$

$$4.13 \quad \text{Integraís} = -12,0 \text{ m}^3/\text{s}; 16\hat{i} - 24\hat{j} - 12\hat{k} \text{ m}^4/\text{s}^2$$

$$4.14 \quad Q = u_{\text{máx}} \pi R^2/2; mf = u_{\text{máx}}^2 \pi R^2/3$$

$$4.15 \quad \text{Fluxo de EC} = -\rho V^3 wh/8$$

$$4.16 \quad \text{Fluxo de EC} = \pi \rho u_{\text{máx}}^3 R^2/8$$

$$4.17 \quad Q_3 = -5,00 \text{ ft}^3/\text{s (para dentro do VC)}$$

$$4.18 \quad V_3 = 4,04\hat{i} - 2,34\hat{j} \text{ m/s}$$

$$4.19 \quad t = 2,39 \text{ s; } Q_{\text{total}} = 1,33 \text{ m}^3$$

$$4.20 \quad \dot{m}/w = \rho^2 gh^3 \text{ sen } \theta/6\mu$$

$$4.21 \quad u_{\text{máx}} = 7,50 \text{ m/s}$$

$$4.22 \quad V_m = \pi V_1/4$$

$$4.23 \quad U = 5,00 \text{ ft/s}$$

$$4.24 \quad Q = 10,45 \text{ mL/s; } \bar{u} = 0,139 \text{ m/s;}$$

$$u_{\text{máx}} = 0,213 \text{ m/s}$$

$$4.25 \quad V_3 = 3,33 \text{ ft/s (para dentro do VC)}$$

$$4.26 \quad v_{\text{mín}} = 5,0 \text{ m/s}$$

$$4.27 \quad \dot{m}_2 = 16,2 \text{ kg/s}$$

$$4.28 \quad \partial V/\partial t = -0,181 \text{ gal/s}$$

$$4.29 \quad \partial \rho/\partial t = -0,369 \text{ kg/m}^3/\text{s}$$

$$4.30 \quad dh/dt = -8,61 \text{ mm/s}$$

$$4.31 \quad dh/dt = -0,326 \text{ mm/s (caindo)}$$

$$4.32 \quad \partial \rho_0/\partial t = 2,50 \times 10^{-3} \text{ slug/ft}^3/\text{s}$$

$$4.33 \quad dh/dt = -56,6 \text{ mm/s}$$

$$4.34 \quad t_1 = 14,8 \text{ s; } t_2 = 49,6 \text{ s}$$

$$4.35 \quad Q = 1,50 \times 10^4 \text{ gal/s; } A = 4,92 \times 10^7 \text{ ft}^2$$

$$4.36 \quad y = 0,134 \text{ m}$$

$$4.37 \quad t = 22,2 \text{ s}$$

$$4.38 \quad Q_0 = 3,61 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s;}$$

$$dh/dt = -0,0532 \text{ m/s}$$

$$4.39 \quad dy/dt = -9,01 \text{ mm/s}$$

$$4.40 \quad \dot{m}_{\text{bc}} = 1,42 \text{ kg/s (para fora)}$$

$$4.41 \quad Q_{\text{cd}} = 4,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s; } Q_{\text{nd}} = 0,6 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s;}$$

$$Q_{\text{bc}} = 1,65 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$4.43 \quad t = 6V_0/5Q_0$$

$$4.45 \quad mf = 349\hat{i} - 16,5\hat{j} \text{ N}$$

$$4.46 \quad \text{Razão} = 1,2$$

$$4.47 \quad \text{Razão} = 1,33$$

$$4.48 \quad mf = -340\hat{i} - 1230\hat{j} \text{ lbf}$$

$$4.49 \quad mf = -320\hat{i} + 332\hat{j} \text{ N}$$

$$4.50 \quad F = 90,4 \text{ kN}$$

$$4.51 \quad T = 1,23 \text{ N}$$

$$4.52 \quad M = 409 \text{ kg}$$

$$4.53 \quad F_x = 184 \text{ N}$$

$$4.54 \quad F_x = 0,0230 \text{ lbf}$$

$$4.55 \quad M = 671 \text{ kg}$$

$$4.56 \quad F = 1,81 \text{ kN, tração}$$

$$4.57 \quad F = 321 \text{ N}$$

$$4.58 \quad F = 370 \text{ N}$$

$$4.59 \quad F = 18,5 \text{ kN}$$

$$4.60 \quad F = 206 \text{ lbf, tração}$$

$$4.61 \quad \vec{F} = -714\hat{i} + 498\hat{j} \text{ N}$$

$$4.62 \quad F = 8,32 \text{ kN}$$

$$4.63 \quad F = 1,70 \text{ lbf}$$

$$4.64 \quad Q = 0,424 \text{ m}^3/\text{s; } F_y = 4,05 \text{ kN}$$

$$4.65 \quad T = 65.200 \text{ lbf}$$

$$4.66 \quad T = 47.400 \text{ lbf}$$

$$4.68 \quad V = 0,867 \text{ m/s}$$

$$4.69 \quad t = 1,19 \text{ mm; } F_x = 3,63 \text{ kN}$$

$$4.70 \quad \vec{F} = -26,7\hat{i} - 139\hat{j} \text{ lbf}$$

$$4.71 \quad \vec{F} = -4,68\hat{i} + 1,66\hat{j} \text{ kN}$$

$$4.72 \quad V_2 = 6,60 \text{ m/s; } p_2 - p_1 = 84,2 \text{ kPa}$$

$$4.73 \quad \vec{F} = -1040\hat{i} - 667\hat{j} \text{ N}$$

$$4.74 \quad F = 4,77 \text{ lbf}$$

$$4.75 \quad F = 5,11 \text{ kN}$$

$$4.76 \quad F = 837 \text{ lbf}$$

$$4.77 \quad Q = 0,141 \text{ m}^3/\text{s; } \vec{F} = -1,65\hat{i} - 1,34\hat{j} \text{ kN}$$

$$4.78 \quad \vec{F} = 799\hat{i} - 387\hat{j} \text{ N}$$

$$4.79 \quad K_x = 37,9 \text{ N}$$

$$4.80 \quad \dot{m} = 9,67 \text{ kg/s; } V_{2,\text{máx}} = 15,0 \text{ m/s;}$$

$$F_D = 65 \text{ N}$$

$$4.81 \quad D = (5\pi/8 - 2/\pi) \rho U^2$$

$$4.82 \quad u_{\text{máx}} = 30 \text{ ft/s; } p_1 - p_2 = 0,190 \text{ lbf/ft}^2$$

$$4.83 \quad u_{\text{máx}} = 60 \text{ ft/s; } p_1 - p_2 = 0,699 \text{ lbf/ft}^2$$

$$4.84 \quad F = 7,90 \times 10^{-4} \text{ N}$$

$$4.85 \quad F/w = 0,0393 \text{ N/m}$$

$$4.86 \quad \text{Arrasto} = 0,446 \text{ N}$$

$$4.87 \quad F/w = 0,277 \text{ N/m}$$

$$4.89 \quad h_2/h_1 = 0,5(1 + \text{sen } \theta)$$

$$4.90 \quad \text{Erro} = 1,73\%$$

$$4.91 \quad h = H/2$$

$$4.92 \quad h = 202 \text{ mm; } F = 0,543 \text{ N}$$

$$4.93 \quad V = [V_0^2 + 2gh]^{1/2}; F = 3,56 \text{ N}$$

$$4.94 \quad V = [V_0^2 - 2gh]^{1/2}; h = 16,2 \text{ ft}$$

$$4.95 \quad V = 175 \text{ ft/s; } F_{\text{x,junto}} = 2,96 \text{ lbf}$$

$$4.96 \quad M = 4,46 \text{ kg; } M_w = 2,06 \text{ kg}$$

$$4.97 \quad F = 5,9 \text{ kN}$$

$$4.98 \quad p_1 = 61,0 \text{ kPa (manométrica); } K_y = 209 \text{ N (perpendicular à placa)}$$

$$4.100 \quad z = 3V_0^2/2g$$

$$4.101 \quad z = V_0^2/2g$$

$$4.102 \quad p(x) = p(0) - \rho(Qx/whL)^2$$

$$4.104 \quad h_1 = [h_2^2 + 2Q^2/gb^2h_2]^{1/2}$$

$$4.105 \quad V(r) = V_0 r/2h$$

$$4.107 \quad \vec{F} = -822\hat{i} + 220\hat{j} \text{ N}$$

$$4.108 \quad \vec{F} = -570\hat{i} + 329\hat{j} \text{ lbf}$$

$$4.109 \quad V_j = 80 \text{ m/s}$$

$$4.110 \quad F = 1,73 \text{ kN}$$

- 4.111 $F = 167 \text{ N}$
 4.112 $F = 3840 \text{ lbf}$ para $U = 75 \text{ mph}$
 4.113 $\dot{W} = \rho(V - U)^2 UA(1 - \cos \theta)$
 4.114 $t = 4,17 \text{ mm}$; $F = 4240 \text{ N}$
 4.115 $t = 6,25 \text{ mm}$; $F = 7940 \text{ N}$
 4.116 $\alpha = 30^\circ$; $F = 10,3 \text{ kN}$
 4.117 $U = V/2$
 4.118 $a_{rf} = 13,5 \text{ m/s}^2$
 4.119 $\dot{m}_2/\dot{m}_3 = 0,5$; $F = 7,46 \text{ kN}$
 4.120 $t = M/\rho AV(1 + \sin \theta)$
 4.121 $U_i = 15,8 \text{ m/s}$
 4.122 $U/V = \ln[M_0/(M_0 - \rho VA t)]$; $V = 0,61 \text{ m/s}$
 4.123 $\theta = 19,7^\circ$
 4.126 $A = 111 \text{ mm}^2$
 4.127 $t = 22,6 \text{ s}$
 4.128 $h = 17,9 \text{ mm}$
 4.129 $U = 22,5 \text{ m/s}$
 4.130 $a_{rf} = 5,99 \text{ m/s}^2$; $U/U_i = 0,667$
 4.131 $t = 1,71 \text{ s}$; $s = 7,47 \text{ m}$
 4.132 $dU/dt = 14,2 \text{ m/s}^2$; $U_i = 15,2 \text{ m/s}$
 4.134 $t = M/\rho VA(1 + V/U_0)$
 4.135 $V = 16,4 \text{ m/s}$; $x_{\text{máx}} = 1,93 \text{ m}$; $t = 2,51 \text{ s}$
 4.136 $U/U_0 = e^{-4\rho VA t/M}$
 4.137 $t = 0,750 M/\rho VA$; $x = 0,238 MU_0/\rho VA$
 4.138 $a_y = -16,5 \text{ ft/s}^2$
 4.139 $\dot{Q} \approx 0,0469 \text{ m}^3/\text{s}$
 4.140 $t = 126 \text{ s}$
 4.141 $U = 227 \text{ m/s}$
 4.142 $U = 834 \text{ m/s}$; $a_{\text{máx}} = 96,7 \text{ m/s}^2$
 4.143 $M_f = 186 \text{ lbf}$
 4.144 $U = 281 \text{ m/s}$
 4.145 Fração de massa = 0,393
 4.146 $a = 83,3 \text{ m/s}^2$; $U = 719 \text{ m/s}$
 4.147 $M_{\text{combustível}} = 38,1 \text{ kg}$
 4.148 $a_0 = 17,3 \text{ g}$
 4.149 $V = 3860 \text{ ft/s}$; $Y = 33.500 \text{ ft}$
 4.150 $V = 1910 \text{ m/s}$
 4.152 $\theta = 18,9^\circ$
 4.153 $t = M/2\rho VA$
 4.154 $U = U_0/[1 + 2\rho U_0 A t/M_0]^{1/2}$
 4.155 $U/V = 1 - 1/[1 + 2\rho VA t/M_0]^{1/2}$
 4.156 $\dot{m} = Mg/V_e$; $t = 110 \text{ s}$
 4.157 $V_{\text{máx}} = 456 \text{ ft/s}$; $Y_{\text{máx}} = 3600 \text{ ft}$
 (139 m/s; 1090 m)
 4.160 $h = 20,5 \text{ m}$
 4.166 $V = 43,8 \text{ m/s}$
 4.167 $F = 22,8 \text{ kN}$; $T = 469 \text{ kN}\cdot\text{m}$
 4.168 $T = 0,193 \text{ N}\cdot\text{m}$; $\dot{\omega} = 2610 \text{ rad/s}^2$
 4.169 $\omega_{\text{máx}} = 29,5 \text{ rad/s}$
 4.170 $\omega_{\text{máx}} = 20,2 \text{ rad/s}$
 4.171 $T = 16,9 \text{ N}\cdot\text{m}$; $\omega = 461 \text{ rpm}$
 4.173 $\omega = 39,1 \text{ rad/s}$
 4.174 $T = 0,0722 \text{ N}\cdot\text{m}$
 4.175 $T = 0,0161 \text{ N}\cdot\text{m}$
 4.176 $\dot{\omega} = 0,161 \text{ rad/s}^2$
 4.177 $\omega = 6,04 \text{ rad/s}$; $A = 1720 \text{ m}^2$

- 4.179 $T = 29,4 \text{ N}\cdot\text{m}$; $\vec{M} = 51,0\hat{i} + 1,40\hat{j} \text{ N}\cdot\text{m}$
 4.183 $\dot{W} = -80,0 \text{ kW}$
 4.184 $\partial T/\partial t = -0,177 \text{ }^\circ\text{R/s}$
 4.185 Eficiência = 74,8%
 4.186 $\dot{Q} = -146 \text{ Btu/s}$
 4.187 $p_1 - p_2 = 75,4 \text{ kPa}$
 4.188 $\dot{W} = -96,0 \text{ kW}$
 4.189 $\dot{W} = -3,41 \text{ kW}$
 4.190 $\dot{Q} = 0,0166 \text{ m}^3/\text{s}$; $z_{\text{máx}} = 61,4 \text{ m}$; $F = 561 \text{ N}$
 4.191 $V = 94,5 \text{ m/s}$; $\dot{W} = -739 \text{ kW}$
 4.192 $\Delta m.e. = -1,88 \text{ N}\cdot\text{m/kg}$;
 $\Delta T = 4,49 \times 10^{-4} \text{ K}$

Capítulo 5

- 5.1 (b), (c), (d)
 5.2 (b), (d)
 5.3 $A + E + J = 0$
 5.4 (a), (b)
 5.5 $v = A(y^2/2 - By) + f(x)$
 5.6 $u = -2yx - 2x + f(y)$
 5.7 $v = Ay/x^2$
 5.8 $u = 2Ay/x$
 5.9 $v = Ay/(x^2 + y^2)$
 5.10 $v/U_{\text{máx}} = 0,0025$
 5.11 $v/U_{\text{máx}} = 0,00182$
 5.12 $v/U_{\text{máx}} = 0,00167$
 5.13 $v/U_{\text{máx}} = 0,00188$
 5.14 $u = 3Bx^2y^2/2$; $xy^{3/2} = c$
 5.15 $v = -2Axy^3/3$; $xy^{3/2} = c$
 5.19 (a), (b), (c)
 5.20 $V_r = -A \cos \theta/r^2$
 5.21 $\vec{V} = \hat{e}_\theta \omega r z/h$
 5.24 $\psi = U y^2/2h$; $y = h/\sqrt{2}$
 5.25 $\psi = xy + y^2 - x^2/3$
 5.26 $\psi = A\theta - B \ln(r)$
 5.27 $\vec{V} = (-U \cos \theta + q/2\pi r)\hat{e}_r + U \sin \theta \hat{e}_\theta$
 5.28 $\psi = -y^2z - 2z^2$
 5.29 $\dot{Q} = 1 \text{ m}^3/\text{s/m}$
 5.30 $\psi = Uy^2/2h$; $y = 3,54 \text{ ft}$
 5.31 $\psi = Uy^2/2\delta$; $y/\delta = 0,50$; 0,707
 5.32 $y/\delta = 0,460$; 0,667
 5.33 $y/\delta = 0,442$; 0,652
 5.35 $\psi = -c \ln r$; $\dot{Q}/b = 0,0912 \text{ m}^3/\text{s/m}$
 5.36 $\psi = -\omega r^2/2$; $\dot{Q}/b = 1,1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s/m}$
 5.37 Sim; $\vec{a}_p = 1,75\hat{i} + 0,875\hat{j} \text{ m/s}^2$
 5.38 $\vec{a}_p = (16\hat{i} + 32\hat{j} + 16\hat{k})/3 \text{ m/s}^2$
 5.39 3-D; Não; $\vec{a}_p = 27\hat{i} + 9\hat{j} + 64\hat{k} \text{ m/s}^2$
 5.40 $\vec{a}_p = -2,86(10^{-2}\hat{i} + 10^{-4}\hat{j}) \text{ m/s}^2$; $dy/dx = 0,01$
 5.42 $u = Ax^2/2$; $\vec{a}_p = A^2(0,5\hat{i} + \hat{j})$
 5.44 $a_p = -(U^2/2L)(1 - x/2L)$
 5.45 $\vec{a}_p = -(Q/2\pi h)^2 r^{-3} \hat{e}_r$
 5.46 $a_r = -81,0 \text{ km/s}^2$; $a_\theta = -3,0 \text{ km/s}^2$
 5.48 $\partial T/\partial x = -0,0873 \text{ }^\circ\text{F/mi}$
 5.49 $DT/Dt = -14 \text{ }^\circ\text{F/min}$
 5.50 $DC/Dt = 0,00$; 125 ppm/h, 250 ppm/h
 5.52 $\vec{a}_p = x\hat{i} + y\hat{j}$

- 5.53 $c = -2 \text{ s}^{-1}$; $\vec{a}_p = 4\hat{i} + 8\hat{j} + 5\hat{k} \text{ m/s}^2$
 5.54 $\vec{a}_p = (A^2x - AB)\hat{i} + A^2y\hat{j}$; $\vec{a}_p = -0,12\hat{i} + 0,267\hat{j} \text{ m/s}^2$; $\vec{a}_p = -0,08\hat{i} + 0,40\hat{j} \text{ m/s}^2$; $\vec{a}_p = -0,04\hat{i} + 0,80\hat{j} \text{ m/s}^2$
 5.55 $\psi = axy[2 + \cos(\omega t)] + \text{constante}$;
 $\vec{a}_{\text{local}} = 3\pi\hat{i} - 6\pi\hat{j} \text{ m/s}^2$; $\vec{a}_{\text{conv}} = 18\hat{i} + 36\hat{j} \text{ m/s}^2$;
 $\vec{a}_{\text{total}} = 27,4\hat{i} + 17,2\hat{j} \text{ m/s}^2$
 5.56 Razão = 100
 5.59 $v = v_0(1 - y/h)$;
 $\vec{a}_p = \hat{i}v_0^2x/h^2 - \hat{j}(v_0^2/h)(1 - y/h)$
 5.60 $\vec{a}_p = \hat{e}_r(v_0/2h)^2r - \hat{k}(v_0^2/h)(1 - z/h)$
 5.64 $f_1 = x_0e^{At}$; $f_2 = y_0e^{-At}$;
 $t(1, 1) = 0,693 \text{ s}$; $t(2, 0,5) = 1,39 \text{ s}$;
 $\vec{a}_p(1, 1) = \hat{i} + \hat{j} \text{ m/s}^2$;
 $\vec{a}_p(2, 0,5) = 2\hat{i} + 0,5\hat{j} \text{ m/s}^2$
 5.66 Sim; Sim
 5.68 $\Gamma = -0,100 \text{ m}^2/\text{s}$
 5.69 $\Gamma = 0$
 5.70 $\vec{\omega} = -0,5\hat{k} \text{ rad/s}$; $\Gamma = -0,50 \text{ m}^2/\text{s}$
 5.71 Sim; Sim
 5.72 Sim; Não
 5.73 $\vec{\omega} = -0,05 \text{ s}^{-1} \hat{k}$; $\psi = Ay^2/2 + c$
 5.74 $\vec{\omega} = -2x\hat{k}$; $\Gamma = -2 \text{ m}^2/\text{s}$; $\psi = 2xy^2$
 5.75 $\vec{V} = -2y\hat{i} - 2x\hat{j}$
 5.76 $\psi = A(y^2 - x^2)/2 + By$; $\Gamma = 0$
 5.77 $\vec{\omega} = -\hat{k}$
 5.78 $\omega = -U/2h$
 5.79 Sim; $\psi = -(q\theta + K \ln r)/2\pi$
 5.80 $\Gamma = -UL/4, 0$
 5.81 $\vec{\zeta} = \hat{e}_\theta V_{\text{máx}} 2r/R^2$
 5.82 $\vec{\zeta} = \hat{k} 2yu_{\text{máx}}/b^2$
 5.83 $d\Gamma/d\Psi = -0,0134 \text{ lbf/ft}^3$
 5.84 $d\Gamma/d\Psi = -1,85 \text{ kN/m}^3$

Capítulo 6

- 6.1 $\vec{a}_p = 90\hat{i} + 2\hat{j} \text{ ft/s}^2$;
 $\nabla p = -(180\hat{i} + 68,4\hat{j}) \text{ lbf/ft}^2/\text{ft}$
 6.2 $a = 5,66 \text{ m/s}^2$ para $\theta = 45^\circ$ acima do eixo x ;
 $\nabla p = -(4,0\hat{i} + 13,8\hat{j}) \text{ kN/m}^2/\text{m}$
 6.3 $\vec{a}_{\text{total}} = 310\hat{i} - 190\hat{j} \text{ ft/s}^2$;
 $\nabla p = -4,17\hat{i} + 2,56\hat{j} - 0,43\hat{k} \text{ psi/ft}$
 6.4 $\vec{a}_p = 2\hat{i} + 2\hat{j} \text{ ft/s}^2$;
 $\nabla p = -(4\hat{i} + 68,4\hat{j}) \text{ lbf/ft}^2/\text{ft}$
 6.5 $\nabla p = -(3,0\hat{i} + 9,0\hat{j}) \text{ kN/m}^2/\text{m}$
 6.8 $u = -Ax$; $\vec{a}_p = 8\hat{i} + 4\hat{j} \text{ m/s}^2$;
 $\nabla p = -12\hat{i} - 6\hat{j} - 14,7\hat{k} \text{ N/m}^3$;
 $p(x) = 190 - 3x^2 \text{ Pa (manométrica)}$
 6.9 Sim; $(x, y) = (2,5; 1,5)$;
 $\nabla p = -\rho[(4x - 10)\hat{i} + (4y - 6)\hat{j} + g\hat{k}]$;
 $\Delta p = 9,6 \text{ N/m}^2$
 6.11 $p = 43,4 \text{ kPa (manométrica)}$
 6.14 $a_x = 16v_0^2x/D^2$; $p(0) = 8\rho v_0^2(L/D)^2$
 6.15 $\partial p/\partial x_{\text{máx}} = 100 \text{ kPa/m}$; $L = 4 \text{ m}$
 6.16 $\partial p/\partial x_{\text{máx}} = 10 \text{ MPa/m}$; $L = 1 \text{ m}$
 6.17 $F = 1,56 \text{ N}$, para baixo
 6.18 $\nabla p = -4,23\hat{i} - 12,1\hat{j} \text{ N/m}^3$;
 $(x/h) = [1 - y/h] = \text{constante}$
 6.19 $a_{p,\text{máx}} = 144 \text{ m/s}^2$; $M/L = 1,20 \times 10^{-3} \text{ kg/m}$
 6.20 $F_y = 4\rho V^2 L^3 w/3b^2$
 6.21 $a_{p_r} = q^2 x/h^2$
 6.22 $a_r = -2800g$; $\partial p/\partial r = 270 \text{ lbf/ft}^2/\text{ft}$
 6.24 $p_{L/2} - p_0 = -30,6 \text{ N/m}^2$
 6.26 $\vec{V} = 3\hat{i} - 2\hat{j} \text{ m/s}$; $\vec{a} = 3\hat{i} + 2\hat{j} \text{ m/s}^2$;
 $\vec{a}_i = 1,16\hat{i} - 0,771\hat{j} \text{ m/s}^2$;
 $\partial p/\partial s = -1,71 \text{ N/m}^2/\text{m}$
 6.27 $B = -0,1 \text{ m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$; $\vec{a}_p = 0,04\hat{i} + 0,02\hat{j} \text{ m/s}^2$
 $a_n = 0,0291 \text{ m/s}^2$
 6.28 $\vec{a}_p = 2,0\hat{i} + 4,0\hat{j} \text{ ft/s}^2$; $R = 1,40 \text{ ft}$
 6.29 $\vec{a}_p = 4,0\hat{i} + 2,0\hat{j} \text{ ft/s}^2$; $R = 5,84 \text{ ft}$
 6.30 $\vec{a}_p = 0,5\hat{i} + 1,0\hat{j} \text{ m/s}^2$; $R = 2,83 \text{ m}$
 6.32 $x^2y = 2$; $\vec{a}_p = 2A^2x^3\hat{i} + Bx^2y(B - A)\hat{j}$;
 $R = 5,35 \text{ m}$
 6.33 $\Delta h = 33,7 \text{ mm Hg}$
 6.34 $\Delta h = 48,4 \text{ mm H}_2\text{O}$
 6.35 $F = 0,379 \text{ lbf}$; $1,52 \text{ lbf}$
 6.36 $V = 89,5 \text{ ft/s}$
 6.37 $\Delta h = 628 \text{ mm H}_2\text{O}$
 6.39 $p_{\text{din}} = 296 \text{ N/m}^2$; $p = -355 \text{ N/m}^2$ (manométrica)
 6.40 $V = 27,5 \text{ m/s}$
 6.41 $p_0 = 900 \text{ kPa (abs)}$; $p_0 = 413 \text{ kPa (abs)}$;
 $\vec{V}_{\text{abs}} = 2,5\hat{i} + 21,7\hat{j} \text{ m/s}$; $p_0 = 338 \text{ kPa (abs)}$
 6.42 $p = 227 \text{ kPa (manométrica)}$, $148 \text{ kPa (manométrica)}$
 6.43 $p = 291 \text{ kPa (manométrica)}$
 6.44 $h = 4,78 \text{ m}$
 6.45 $V = 21,5 \text{ ft/s}$; $Q = 0,469 \text{ ft}^3/\text{s}$
 6.47 $p = -0,404 \text{ kPa (manométrica)}$
 6.48 $V = 330 \text{ ft/s}$
 6.49 $Q = 66,1 \text{ m}^3/\text{h}$
 6.50 $V = 44,2 \text{ m/s}$
 6.51 $\Delta p = 5,54 \text{ kPa}$; $\Delta p/q = 0,933$
 6.52 $p = p_\infty + \frac{1}{2}\rho U^2(1 - 4 \text{ sen}^2 \theta)$;
 $\theta = 30^\circ, 150^\circ, 210^\circ, 330^\circ$
 6.53 $F = 278 \text{ N/m}$
 6.55 $Q = 301 \text{ gpm}$; $F_x = 565 \text{ lbf}$; Tração
 6.56 $Q = 2,55 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$
 6.57 $p = 39,0 \text{ psf (manométrica)}$; $K_x = 1,67 \text{ lbf}$
 6.58 $p_{lg} = 49,2 \text{ kPa}$; $K_x = 57,5 \text{ N}$
 6.59 $V_2 = 3,05 \text{ m/s}$; $p_{02} = 4,65 \text{ kPa (manométrica)}$;
 $K_y = 11,5 \text{ N}$
 6.60 $p = 1,35 \text{ psig}$; $p_{\text{máx}} = 1,79 \text{ psig}$; $F = 4,76 \text{ lbf}$
 6.63 $h/h_0 = \left[1 - \sqrt{\frac{g}{2h_0(AR^2 - 1)}} t \right]^2$
 6.64 $h = H/2$; $r = H$
 6.65 $\Delta h = 202 \text{ mm}$; $K_x = 0,547 \text{ N}$, 219 N
 6.66 $F_v = 83,3 \text{ kN}$
 6.67 $F_v = 532 \text{ kN}$
 6.68 $p = 164 \text{ kPa (manométrica)}$; $F = 152 \text{ N}$
 6.74 $C_c = 0,5$
 6.77 $p = 12,3 \text{ kN/m}^2$ (manométrica)
 6.78 $a = 3,47 \text{ m/s}^2$

- 6.79 $dQ/dt = 0,0516 \text{ m}^3/\text{s/s}$
 6.80 $d^2l/dt^2 = 2g/lL$
 6.82 $p_{\text{manométrica}} = 3\rho V^2 R^2/8b^2$
 6.83 $D/d = 0,32$
 6.84 Não; Sim
 6.85 Não; $p_2 - p_1 = -252 \text{ lbf/ft}^2$
 6.86 $\phi = [A(y^2 - x^2)/2 + Bxy]t$
 6.90 $\phi = xy^2 - x^3/3$
 6.91 $\vec{V} = -2(y\hat{i} + x\hat{j})$; $\phi = 2xy$
 6.92 $\psi = -2xy$
 6.93 $\psi = B(x^2 - y^2)/2 - 2Axy$
 6.94 $\vec{V} = -(2x + 1)\hat{i} + 2y\hat{j}$; $\psi = -(2xy + y)$;
 $\Delta p = 12,0 \text{ kN/m}^2$
 6.95 $|\vec{V}| = x^2 + y^2$; $\psi = xy^2 - x^3/3$
 6.96 $\phi = 3A(x^2y - x^3)$
 6.97 Ponto de estagnação $(-2, 4/3) \text{ m}$; $\phi = A(y^2 - x^2)/2 - Bx - Cy$; $\Delta p = 55,8 \text{ kPa}$
 6.98 $Q = 1,25 \text{ m}^3/\text{s/m}$; $\phi = B(y^2 - x^2)/2$
 6.99 $r > 10a$
 6.101 $r > 9,77 \text{ m}$, $p = -6,37 \text{ kPa}$ (manométrica)
 6.102 Estagnação em $r = 0,367 \text{ m}$, $\theta = 0, \pi$
 6.103 $h = 0,162 \text{ m}$; $\vec{V} = 44,3\hat{i} \text{ m/s}$,
 $p = -957 \text{ N/m}^2$ (manométrica)
 6.105 $q = 50\pi \text{ m}^2/\text{s}$; $y = \pm \pi$
 6.106 $r = 1,82 \text{ m}$, $\theta = 63^\circ$; $p = -317 \text{ N/m}^2$ (manométrica)
 6.107 $R_x/b = 5,51 \text{ kN/m}$

Capítulo 7

- 7.1 $\sigma/\rho LV_0^2, gL/V_0^2$
 7.2 V_0^2/gL
 7.3 gL/V_0^2
 7.4 v/V_0L
 7.5 $D/L, \Delta p/\rho \bar{V}^2, v/\bar{V}D$
 7.7 $F/\mu VD = \text{constante}$
 7.9 $\Delta p/\rho V^2 = f(\mu/\rho VD, d/D)$
 7.10 $\delta x = f(\rho Ux/\mu)$
 7.11 $\tau_w/\rho U^2 = f(\mu/\rho UL)$
 7.13 $V = \sqrt{gD} f(n/d)$
 7.14 $Q = h^2(g/h)^{1/2} f(b/h)$
 7.15 $W/D^2 \omega \mu = f(l/D, c/D)$
 7.16 $V(\rho \lambda/\sigma)^{1/2} = \text{constante}$
 7.17 $t = \sqrt{d/g} f(\mu^2/\rho^2 g d^3)$
 7.18 $E = \rho V^3 f(nr/V)$
 7.19 $\mathcal{P} = \rho D^5 \omega^3 f(Q/D^3 \omega)$
 7.20 4; 3; $\mu/\rho d^{3/2} g^{1/2}$
 7.21 4; 3; $\mu/\rho d^{3/2} g^{1/2}$
 7.22 $Q = Vh^2 f(\rho Vh/\mu, V^2/g h)$
 7.23 3; $\rho VD/\mu, d/D, \sigma/\rho DV^2$
 7.25 $\rho VD/\mu, h/d, D/d$
 7.27 $V^2/g \delta, A/\delta^2, \theta, \mu \delta^2/mg$
 7.29 3; $\dot{m} = \rho A^{5/4} g^{1/2} f(h/A^{1/2}, \Delta p/\rho A^{1/2} g)$
 7.30 $T/\rho V^2 D^3, \mu/\rho VD, \omega D/V, d/D$
 7.31 $\mathcal{P} = \rho \omega D^3 f(\mu \omega/\rho, c/D, \ell/D)$
 7.32 $F_T/\rho V^2 D^2, gD/V^2, \omega D/V, \rho/\rho V^2, \mu/\rho VD$
 7.33 $\mathcal{P}/\rho D^2 V^3, \omega D/V, \mu/\rho VD, c/V$

- 7.34 $\dot{Q}/\rho V^2 L^2, c_p \Theta/V^2, \mu/\rho VL$
 7.36 $p_{\text{máx}}/\rho U_0^2 = f(E_v/\rho U_0^2)$
 7.37 $\mathcal{P}/\rho \omega^3 D^5, V/\omega D, H/D, \mu/\rho \omega D^2$
 7.38 $p = 539 \text{ kPa}$; $F = 1,34 \text{ kN}$
 7.39 $V_w/V_{\text{água}} = 15,1$ para 20°C
 7.40 $V_m = 6,9 \text{ m/s}$; F_D (protótipo) = 522 N
 7.41 $V_m/V_p = 0,331$; $F_D = 214 \text{ N}$
 7.42 $p = 1,94 \text{ MPa}$ (abs); $F_D = 43,4 \text{ kN}$
 7.43 $V_m = 40,3 \text{ m/s}$; $V_p = 40,3 \text{ m/s}$
 7.44 $V_m = 6,00 \text{ m/s}$; $F_D = 1,05 \text{ N}$
 7.45 $V = 179 \text{ ft/s}$; $F_m/F_p = 4,94$
 7.46 $D_m = 5,04 \text{ in}$; $\omega_m = 1000 \text{ rpm}$
 7.47 $V_m = 80 \text{ ft/s}$; $\omega_m = 1600 \text{ rpm}$
 7.48 $p_m = 2,96 \text{ psia}$
 7.49 $\vec{V} = 0,048 \text{ ft/s}$; $\Delta p = 0,019 \text{ psig}$
 7.50 $C_{D,m} = 0,0972$; $F_D = 470 \text{ N}$
 7.51 $V_1/V_2 = 1/2$; $f_1/f_2 = 1/4$
 7.52 $V_m = 0,13 \text{ m/s}$; $\omega_m = 0,5 \text{ Hz}$
 7.53 $F_D = 2,46 \text{ kN}$; $\mathcal{P} = 55,1 \text{ kW}$
 7.54 $\tau = 1070 \text{ h}$
 7.55 $V_m = 1,88 \text{ m/s}$; $V_m = 7,29 \text{ m/s}$; $F_{D,m}/F_D = 0,872$
 7.56 $V_m = 9,51 \text{ m/s}$; $F_{D,p}/F_{D,m} = 0,263$; $p_\infty = 88,1 \text{ kPa}$
 7.57 $V_{\text{máx}} = 27,1 \text{ ft/s}$
 7.58 $C_D = 0,951$; $F_D = 794 \text{ lbf}$; $V = 807 \text{ ft/s}$
 7.59 Razão de escala = $1/50$; Impossível
 7.61 $Q = 2,47 \text{ m}^3/\text{s}$
 7.63 $\Delta p_p = 52,5 \text{ kPa}$; $Q_m = 0,0928 \text{ m}^3/\text{min}$
 7.65 $h = 145 \text{ ft} \cdot \text{lbf}/\text{slug}$; $Q = 5,92 \text{ ft}^3/\text{s}$; $D = 0,491 \text{ ft}$
 7.66 $F_1/\rho \omega^2 D^4 = f_1(g/\omega^2 D, \omega D/V)$;
 $T/\rho \omega^2 D^5 = f_2(g/\omega^2 D, \omega D/V)$;
 $\mathcal{P}/\rho \omega^3 D^5 = f_3(g/\omega^2 D, \omega D/V)$;
 7.67 $\omega = 533 \text{ rpm}$; $F_t = 7,81 \text{ kN}$; $T = 71 \text{ kN} \cdot \text{m}$
 7.68 Razão de EC = $7,22$
 7.69 $F_B \approx 0,273 \text{ N}$; $C_D = 0,443$; $F_D = 1,64 \text{ kN}$
 7.70 $F_B = 0,574$; $0,44\%$

Capítulo 8

- 8.1 $Re = 4Q/\pi D \mu$; $Re = 3000$
 8.2 $Q = 0,396 \text{ m}^3/\text{s}$; $L_{\text{lam}} = 34,5 \text{ m}$;
 $L_{\text{turb}} = 6,25 - 10 \text{ m}$
 8.4 $Q_1 = 0,0158 \text{ m}^3/\text{min}$; $Q_2 = 0,0396 \text{ m}^3/\text{min}$;
 $Q_3 = 0,079 \text{ m}^3/\text{min}$
 8.6 $\bar{V}/u_{\text{máx}} = 2/3$
 8.7 $Q/b = 2hu_{\text{máx}}/3$; $\bar{V}/u_{\text{máx}} = 2/3$
 8.8 $\tau_{yx} = -2,5 \text{ N/m}^2$ (para a direita);
 $Q/b = 2,08 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s/m}$
 8.9 $\tau_{yx} = -0,040 \text{ lbf/ft}^2$ (para a direita);
 $Q/b = 6,67 \times 10^{-5} \text{ ft}^3/\text{s/ft}$
 8.10 $\tau_{yx} = y \partial p/\partial x$; $\tau_{\text{máx}} = -0,00835 \text{ lbf/ft}^2$
 8.11 $Q = 0,353 \text{ cc/s}$
 8.12 $Q = 1,02 \text{ cc/s}$
 8.13 $Q = 3,97 \times 10^{-4} \text{ cc/s}$
 8.14 $w = 0,50 \text{ ft}$; $dp/dx = -400 \text{ psi/ft}$;
 $h = 2,02 \times 10^{-3} \text{ in}$
 8.15 $M = 4,32 \text{ kg}$; $a = 1,28 \times 10^{-5} \text{ m}$
 8.18 $n = 1,48$

- 8.19 $\mu = 0,0695 \text{ N} \cdot \text{s/m}^2$
 8.20 $Q/b = 0,0146 \text{ ft}^3/\text{s/ft}$
 8.21 $u_{\text{int}} = 3,75 \text{ m/s}$
 8.22 $\partial p/\partial x = -92,6 \text{ N/m}^2/\text{m}$
 8.23 $u_{\text{int}} = 4,17 \times 10^{-3} \text{ m/s};$
 $u_{\text{máx}} = 4,34 \times 10^{-3} \text{ m/s}$
 8.24 $\Delta p = -2U\mu/a^2; \Delta p = +2U\mu/a^2$
 8.25 $Re = 1,94; \tau = 2,02 \text{ kN/m}^2; \mathcal{P} = 11,4 \text{ W}$
 8.27 $\nu = 1,0 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$
 8.28 $\tau_{\text{máx}} = 34,8 \text{ N/m}^2; Q/w = 263 \text{ mm}^3/\text{s/mm};$
 $Re = 0,236$
 8.29 $u_{\text{int}} = 0,23 \text{ m/s}; u_{\text{fs}} = 0,268 \text{ m/s}$
 8.30 $Q/b = 2,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s/m}; \tau = 1,43 \times$
 $10^{-2} \text{ N/m}^2; \partial p/\partial x = 22,9 \text{ N/m}^2/\text{m}$
 8.31 $y/b = 0,695; u_{\text{máx}}/U = 1,24;$
 $\Psi/w = 9,27 \times 10^{-2} \text{ ft}^3/\text{ft}$
 8.33 $\partial p/\partial x = 34,4 \text{ N/m}^2/\text{m}, -68,8 \text{ N/m}^2/\text{m}$
 8.34 $Q/b = 2,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s/m}; \tau = 0,912 \text{ N/m}^2; \partial p/\partial x = 1,46$
 $\text{kN/m}^2/\text{m}$
 8.35 $t = 95,5 \text{ s}$
 8.39 $\eta_{\text{máx}} = 33,3\%$
 8.41 $t = 10 \text{ s}$
 8.44 $r = 0,707 R$
 8.46 $Q = 11,3 \text{ mm}^3/\text{s}$
 8.47 $\Delta p = 4,97 \text{ lbf/in}^2; u_{\mu} = 32\%$
 8.48 $\delta D = \pm 0,775 \mu\text{m}$
 8.49 $\Delta p = 406 \text{ kPa}; \Delta p = 8160 \text{ MPa}$
 8.52 $u = (c_1/\mu) \ln r + c_2; c_1 = \mu V_0/\ln(r_i/r_o);$
 $c_2 = -V_0 \ln r_o/\ln(r_i/r_o)$
 8.57 $\tau_w = 3,0 \text{ lbf/ft}^2$
 8.58 $\bar{\tau}_w = -8,0 \text{ N/m}^2$
 8.59 $\tau_w = 33,8 \text{ Pa}; \tau_w = 82,5 \text{ Pa}$
 8.60 $Q = 4,52 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}; \Delta p = 235 \text{ kPa};$
 $\tau_w = 294 \text{ N/m}^2$
 8.61 $n = 6,49; n = 9,17$
 8.62 $r/R = 0,707$ (laminar); $0,757$ (turbulento)
 8.64 $\beta = 4/3$ (laminar); $1,02$ (turbulento)
 8.65 $\alpha = 1,54$
 8.66 $\alpha = 2,0$
 8.68 $h_i = 589 \text{ J/kg}; p = 833 \text{ kPa};$
 $p = 343 \text{ kPa}; h = 60 \text{ m}$
 8.69 $H_i = 4,24 \text{ ft}; h_i = 137 \text{ ft} \cdot \text{lbf/slug}$
 8.70 $\bar{V}_i = 6,44 \text{ ft/s}$
 8.71 $d = 2,97 \text{ m}$
 8.72 $Q = 2,66 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$
 8.73 $H_i = 2720 \text{ ft}$
 8.74 $p = 1,68 \text{ MPa}$
 8.76 $H_i = 28,4 \text{ ft}$
 8.77 $H = 104 \text{ ft}, H_i = 25,2 \text{ ft}$
 8.79 $elD = 0,003$
 8.80 $f = 0,039$
 8.84 $p_2 - p_1 = 1,22 \text{ kPa}$
 8.85 $\bar{V} = 76,2 \text{ ft/s}; Q = 224 \text{ ft}^3/\text{min}$
 8.86 $Q = 1,10 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$
 8.89 $Q = 0,0361 \text{ ft}^3/\text{s}$
 8.90 $\Delta Q = 0,0184 \text{ m}^3/\text{s}$
 8.92 $N = 275 \text{ mm}; N = 150 \text{ mm}$
 8.93 $\Delta p = 115 \text{ kPa}; K = 0,234$
 8.94 $AR = 2,7, 2\phi = 12^\circ; Q = 0,172 \text{ m}^2/\text{s}$
 8.98 $\Delta Q/Q = 16,4\%; p_{\text{mín}} = -5,26 \text{ kPa}$ (manométrica)
 8.99 $\bar{V} = 0,723 \text{ m/s}; d = 3,66 \text{ m}$
 8.101 $d = 6,15 \text{ m}$
 8.102 $Q = 2,87 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}; d = 13,6 \text{ mm}$
 8.105 $d = 54,0 \text{ m}$
 8.106 $p = 1,03 \text{ MPa}$ (manométrica)
 8.107 $\Delta z = 88,4 \text{ m}; \text{Fração} = 1,1\%$
 8.108 $\Delta p = 43,9 \text{ N/m}^2$
 8.109 $\bar{V} = 12,9 \text{ ft/s}; \Delta p = 3,63 \text{ psi}$
 8.112 $\Delta z = 8,13 \text{ m}$
 8.113 $p = 593 \text{ kPa}$
 8.114 $elD = 0,021; \text{Economia} = 48,2\%$
 8.115 $d = 1,51 \text{ m}$
 8.117 $L = 26,5 \text{ m}$
 8.118 $Q = 1,01 \text{ m}^3/\text{s}$
 8.119 $Q = 0,0395 \text{ m}^3/\text{s}$
 8.120 $Q = 5,33 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$
 8.121 $h_i = -42,5 \text{ mm/s}$
 8.122 $Q = 5,14 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}; 3,65 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$
 8.123 $V_0 = 28,0 \text{ m/s}; F = 365 \text{ N}$
 8.126 $Q = 38 \text{ L/min}; L = 143 \text{ m}; L = 1,15 \times 10^6 \text{ m}$
 8.127 $d = 61,2 \text{ m}; Q = 0,104 \text{ m}^3/\text{s}; p = 591 \text{ kPa}$
 8.128 $Q = 0,260 \text{ ft}^3/\text{s}; p_{\text{mín}} = -2,96 \text{ psig}$
 8.129 $Q = 5,30 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}; Q = 5,35 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$
 8.130 $L = 0,97 \text{ ft}$
 8.131 $p = 35,9 \text{ psig}; Q = 11,5 \text{ gpm}$
 8.132 $D \geq 14 \text{ mm}$
 8.133 $D = 2,5 \text{ in}$ (nominal)
 8.134 $h = 0,194 \text{ m}; b = 0,388 \text{ m}$
 8.135 $D = 6 \text{ in}$
 8.138 $Re_{\bar{v}} = 8,21 \times 10^4; f = 0,019$
 8.139 $dQ/dt = -0,524 \text{ m}^3/\text{s/min}$
 8.141 $\mathcal{P} = 2,08 \text{ hp}$
 8.142 $\mathcal{P} = 4,69 \text{ kW}$
 8.143 $\Delta p = 52,7 \text{ psi}$
 8.144 $D = 48 \text{ mm}; \Delta p = 3840 \text{ kPa}; \mathcal{P} = 24,3 \text{ kW}$
 8.145 $p = 341 \text{ psig}; \mathcal{P} = 171 \text{ hp}$
 8.146 $\Delta p = 43,7 \text{ psi}; \mathcal{P} = 286 \text{ hp}; \text{Custo} = \$853/\text{dia}$
 8.147 $L = 72,7 \text{ km}; \mathcal{P} = 7,73 \text{ MW}$
 8.148 $Q = 108 \text{ gpm}; V = 124 \text{ ft/s}; \mathcal{P} = 13,4 \text{ hp}$
 8.149 $C = \$13,63/\text{dia}$
 8.151 $Q = 0,0419 \text{ m}^3/\text{s}; \Delta p = 487 \text{ kPa}; \mathcal{P} = 29,1 \text{ kW}$
 8.152 $Q = 0,757 \text{ m}^3/\text{s}; \Delta p = 542 \text{ kPa};$
 $\mathcal{P} = 586 \text{ kW}; Q = 0,807 \text{ m}^3/\text{s};$
 $\Delta p = 480 \text{ kPa}; \mathcal{P} = 533 \text{ kW}$
 8.154 $Q = 3,97 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s};$
 $Q_1 = 3,28 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s};$
 $Q_2 = 6,9 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$
 8.155 $Q_0 = 8,81 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s};$
 $Q_1 = 4,66 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s};$
 $Q_2 = Q_3 = 2,13 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$
 8.158 $\Delta p = 462 \text{ lbf/ft}^2$
 8.159 $Q = 0,224 \text{ m}^3/\text{s}$

- 8.160 $\Delta p = 266 \text{ kPa}$; $Q = 0,0177 \text{ m}^3/\text{s}$
 8.161 $Q = 0,0404 \text{ m}^3/\text{s}$
 8.162 $Q = 96,8 \text{ gpm}$
 8.163 $Q = 136 \text{ gpm}$
 8.164 $D = 40,8 \text{ mm}$; $\dot{m} = 0,0220 \text{ kg/s}$
 8.165 $\dot{m} = 2,10 \text{ kg/s}$; $\Delta h = 170 \text{ mm Hg}$
 8.166 $Q = 1,37 \text{ ft}^3/\text{s}$
 8.169 $Re = 1800$; $f = 0,0356$;
 $p = -290 \text{ N/m}^2$ (manométrica)

Capítulo 9

- 9.2 $x = 182 \text{ mm}$; $x_m = 13,5 \text{ mm}$
 9.3 $x = 0,114 \text{ m}$
 9.6 $A = U$; $B = \pi/2\delta$; $C = 0$
 9.9 $\delta^*/\delta = 1/2, 1/3, 3/8, 0,363$
 9.10 $\theta/\delta = 0,167; 0,133; 0,137$
 9.11 $\delta^*/\delta = 0,125; 0,333$; $\theta/\delta = 0,0972; 0,133$
 9.12 $\dot{m}_{ab} = 30 \text{ kg/s}$; $F_x = -30 \text{ N}$
 9.13 $\dot{m}_{ab} = 50,4 \text{ kg/s}$; $F_x = -50,4 \text{ N}$
 9.14 $\dot{m}_{ab} = 20 \text{ kg/s}$; $F_x = -24 \text{ N}$
 9.15 $U_2 = 81,4 \text{ ft/s}$; $p_1 - p_2 = 0,264 \text{ lbf/ft}^2$
 9.16 $U_2 = 18,4 \text{ m/s}$; $\Delta p = 2,19 \text{ Pa}$
 9.17 $U_2 = 13,8 \text{ m/s}$; $\Delta p = 20,7 \text{ Pa}$
 9.18 $\Delta p = 59,0 \text{ Pa}$
 9.19 $p_2 = -73,1 \text{ Pa}$ (manométrica); $\tau = 0,300 \text{ N/m}^2$
 9.20 $U_2 = 24,6 \text{ m/s}$; $p_1 = -43,9 \text{ mmH}_2\text{O}$;
 $p_2 = -44,5 \text{ mmH}_2\text{O}$
 9.21 $\delta^* = 2,54 \text{ mm}$; $\Delta p = 107 \text{ N/m}^2$; $F_D = 2,28 \text{ N}$
 9.22 $p_2 = -40,8 \text{ Pa}$ (manométrica); $\tau = 0,12 \text{ Pa}$
 9.28 $y = 3,28 \text{ mm}$; Inclinação = $0,00327$; $\theta = 1,09 \text{ mm}$
 9.32 $F = 1,62 \text{ N}$
 9.33 $\theta = 0,283 \text{ mm}$; $F = 1,13 \text{ N}$
 9.34 $F_D = 26,3 \text{ N}$; $F_D = 45,5 \text{ N}$
 9.36 $\delta/x = 3,46/\sqrt{Re_x}$; $C_f = 0,577/\sqrt{Re_x}$
 9.38 $F_D = 5,63 \times 10^{-2} \text{ N}$
 9.39 $F = 0,783 \text{ N}$
 9.41 $F_D = 18,9 \text{ N}$; $x_i = 0,145 \text{ m}$
 9.44 $F = 2,27 \text{ N}$
 9.46 $F = 2,32 \text{ N}$
 9.48 $F = 2,37 \text{ N}$
 9.49 $\delta_i = 6,62 \text{ mm}$, $\tau_w = 0,0540 \text{ N/m}^2$;
 $\delta_i = 26 \text{ mm}$, $\tau_w = 0,249 \text{ N/m}^2$
 9.50 $\delta = 31,3 \text{ mm}$; $\tau_w = 0,798 \text{ N/m}^2$; $F = 0,7 \text{ N}$
 9.51 $W = 80,1 \text{ mm}$
 9.52 $\Delta p = 6,16 \text{ N/m}^2$; $\Delta x = 232 \text{ mm}$
 9.53 $H_6 = 321 \text{ mm}$; $L = 0,517 \text{ m}$; $\Delta x = 242 \text{ mm}$
 9.54 $U_2 = 26,8 \text{ m/s}$; $\Delta p = 56,8 \text{ Pa}$;
 $\Delta L = 1,20 \text{ m}$; $\Delta L = 0,564 \text{ m}$
 9.55 Consumido = $0,089\%$;
 Desempenho = $17,7 \text{ Btu/ton-milha}$
 9.60 $a = b = 0$, $c = 3$, $d = -2$; $H = 3,89$
 9.61 $U_{\text{máx}} = 7,82 \text{ ft/s}$; $\Delta h = 0,00340 \text{ in H}_2\text{O}$
 9.62 Redução de área = $-1,59\%$;
 $d\theta/dx = 0,61 \text{ mm/m}$; $\theta \approx 1,10 \text{ mm}$
 9.64 $Re_L = 1,55 \times 10^7$; $x_i = 53,2 \text{ mm}$;
 $\mathcal{P} = 15,3 \text{ kW}$
 9.65 $F = 7,87 \text{ kN}$; $\mathcal{P} = 1,79 \text{ MW}$
 9.66 $\bar{L} = 9,96 \text{ ft}$; $F = 2250 \text{ lbf}$
 9.68 $V = 2,18 \text{ mph}$; $x_i = 0,0339 \text{ ft}$;
 $F_m = 3,65 \text{ lbf}$; $F_p = 4110 \text{ lbf}$
 9.69 $x_i = 74,5 \text{ mm}$; $\delta = 81,3 \text{ mm}$; $F_D = 279 \text{ N}$
 9.70 $V = 11,0 \text{ ft/s}$; $V = 11,5 \text{ ft/s}$
 9.71 $F = 5,49 \times 10^5 \text{ N}$
 9.74 $\delta = 1,65 \text{ m}$; $F = 1,56 \text{ MN}$; $\mathcal{P} = 11,2 \text{ MW}$
 9.75 $F = 92,3 \text{ kN}$
 9.76 $T = 86,2 \text{ N}\cdot\text{m}$; $\mathcal{P} = 542 \text{ W}$
 9.77 Anéis: $d_o = 125 \text{ mm}$; $d_i = 41,8 \text{ mm}$
 9.78 $D = 6,90 \text{ m}$
 9.79 $D = 3,80 \text{ m}$; $D = 2,20 \text{ m}$; 1 g
 9.80 $t = 9,30 \text{ s}$; $x = 477 \text{ m}$;
 $t = 7,39 \text{ s}$; $x = 407 \text{ m}$
 9.81 Horizontal é 20% melhor
 9.82 $\bar{C}_D = 0,299$
 9.83 $s = 117 \text{ m}$
 9.84 Ganha; Perde
 9.85 $V_{\text{máx}} = 24,7 \text{ km/h}$, $35,9 \text{ km/h}$,
 $26,8 \text{ km/h}$, $39,1 \text{ km/h}$
 9.86 $V_{\text{máx}} = 9,47 \text{ km/h}$, $8,94 \text{ km/h}$;
 $63,6 \text{ km/h}$, $73,0 \text{ km/h}$;
 $58,1 \text{ km/h}$, $68,1 \text{ km/h}$
 9.87 $M = 3,29 \times 10^{-3} \text{ slug}$
 9.88 $k = 0,0948 \text{ km/h/rpm}$; $\omega = 105 \text{ rpm}$; $\omega = 104 \text{ rpm}$
 9.89 $t = 1,30 \text{ mm}$
 9.90 $t = 2,95 \text{ s}$; $d = 624 \text{ ft}$
 9.91 $V_i = 43,5$; 121 m/s ;
 $t = 8,11$; $22,6 \text{ s}$; $y = 224$, 1730 m
 9.92 $V_{\text{máx}} = 489 \text{ ft/s}$
 9.94 $FE = 6,13 \text{ mi/gal}$; $\Delta Q = 1720 \text{ gal/ano}$
 9.95 $\mathcal{P} = 55,4 \text{ kW}$, $V_{\text{máx}} = 43,0 \text{ m/s}$;
 $\mathcal{P} = 49,5 \text{ kW}$, $V_{\text{máx}} = 44,7 \text{ m/s}$; 7 meses
 9.96 $V = 42,2 \text{ mph}$; $\eta = 90,9\%$;
 $a_{\text{máx}} = 3,37 \text{ m/s}^2$ ($1/3 \text{ g}$);
 $V_{\text{máx}} = 150 \text{ mph}$; $V_{\text{máx}} = 155 \text{ mph}$
 9.97 $C_D = 1,17$
 9.99 $V_{2(\text{rel})} = 15 \text{ m/s}$; $p_2 = -133 \text{ N/m}^2$ (manométrica);
 $M = 0,814 \text{ kg}$
 9.101 $\omega_{\text{ot}} = V/3R$
 9.102 $\mathcal{P} = 69,3 \text{ kW}$
 9.103 $T = 11,9 \text{ N}\cdot\text{m}$
 9.104 $D < 0,231 \text{ mm}$
 9.105 $C_D = 0,479$
 9.106 $V = 23,3 \text{ m/s}$; $Re = 48.200$; $F_D = 0,111 \text{ N}$
 9.107 $x = 13,9 \text{ m}$
 9.108 $V \approx 29,8 \text{ ft/s}$
 9.109 $C_D = 61,9$; $\rho = 3720 \text{ kg/m}^3$; $V = 0,731 \text{ m/s}$
 9.111 $V = 23,7 \text{ m/s}$; $t = 4,44 \text{ s}$; $y = 67,1 \text{ m}$
 9.112 $M = 0,048 \text{ kg}$
 9.113 $M = 519 \text{ kN}\cdot\text{m}$
 9.114 $D \approx 6,2 \text{ m}$
 9.115 $t = 126 \text{ s}$
 9.117 $D = 7,99 \text{ mm}$; $h = 121 \text{ mm}$
 9.118 $C_D = 1,08$

- 9.122 $C_D = 0,611$; $V = 36,9$ mph
 9.123 $F_D = 12,3$ lbf; $\Delta FC = 1,15$ lbf/h; FE = 27,5 mpg;
 FE = 22,6 mpg (quina viva); Não! Custo líquido = \$1,90
 9.124 $F_D = 2,59$ kN; $d = 8,57$ m
 9.132 $\Delta \mathcal{P} = 18,2$ kW
 9.137 $M = 7260$ kg; $V = 162$ km/h
 9.138 $A_p = 7,03$ m²; $T = 1350$ N; $\mathcal{P} = 944$ kW
 9.139 $M = 19,5$ kg; $\mathcal{P} = 542$ W
 9.140 $V = 5,62$ m/s; $\mathcal{P} = 31,0$ kW; $V = 19,9$ m/s
 9.141 $\alpha = 3^\circ$; $\mathcal{P} = 10,0$ kW; 4,28 g's
 9.142 $V = 144$ m/s; $R = 431$ m
 9.143 $M = 37,9$ kg; $\mathcal{P} = 1,53$ kW
 9.144 $V \approx 289$ km/h
 9.145 $V = 237$ km/h
 9.146 $T = 17.300$ lbf
 9.147 $F_D = 2,15$ kN; $\mathcal{P} = 149$ kW
 9.148 $V_{\min} = 158$ km/h, $F_D = 4,04$ kN,
 $\mathcal{P} = 178$ kW; $V_{\max} = 623$ km/h,
 $F_D = 4,89$ kN, $\mathcal{P} = 845$ kW
 9.149 $F_L = -310$ lbf; $\Delta F = 336$ lbf
 9.150 $\theta = 3,42^\circ$; $L = 168$ cm
 9.153 $\mathcal{P} = 0,302$ hp
 9.157 $p = -190$ N/m² (manométrica); $V = 149$ km/h
 9.158 $F_L = 0,00291$ lbf
 9.159 $F_L = 50,9$ kN; $F_D = 18,7$ kN;
 $\mathcal{P} = 5,94$ kW
 9.160 $F_L/mg = 0,175$; $F_D/mg = 0,236$
 9.161 $F_L/mg = 3,80$; 3,40; $F_D/mg = 4,51$; 4,07;
 $R = 263$ m, 307 m
 9.162 $\omega = 11.600$ rpm; $s = 1,19$ m
 9.163 $\omega = 2100$ rpm

Capítulo 10

- 10.1 $D = 50$ mm; $b = 6,4$ mm
 10.2 $H = 101$ ft, 106 ft, 109 ft, 111 ft;
 $\dot{W}_m = 3,86$ hp, 4,02 hp, 4,15 hp, 4,21 hp
 10.3 $H = 99,8$ m; $\dot{W}_m = 97,8$ kW
 10.4 $H = 135$ m; $\dot{W}_m = 994$ kW
 10.5 $H = 487$ m; $\dot{W}_m = 23,9$ MW
 10.6 $H = 50,1$ ft; $\mathcal{P} = 12,7$ hp
 10.7 $\beta_1 = 64,2^\circ$; $\delta = 7,90^\circ$
 10.8 $H = 61,4$ m; $\dot{W}_m = 150$ kW
 10.9 $Q = 1,60$ m³/s; $H = 132$ m; $\dot{W}_m = 2,10$ MW
 10.10 $\beta_1 = 47,7^\circ$; $H = 476$ m; $\dot{W}_m = 37,3$ MW
 10.11 $H_0 = 179$ m; $H = 174$ m; $\dot{W}_m = 85,4$ kW
 10.12 $\beta_0 = 61,3^\circ$
 10.13 $\theta_{\text{ef}} = 30,4^\circ$
 10.14 $\dot{W}_m = 11,7$ kW; $H = 34,2$ m
 10.16 $\dot{W}_m = 5,75$ kW; $H = 19,7$ m
 10.17 $\omega = 224$ rad/s; $\alpha_2 = 80,4^\circ$; $H = 325$ ft;
 $\dot{W}_m = 37,8$ hp
 10.18 $H = 165$ ft (H₂O), 230 ft (gasolina)
 10.19 $\eta = 0,445$; $Q = 450$ gpm; $H = 30,9$ ft
 10.21 $H(\text{ft}) = 156 - 1,36 \times 10^{-4}[Q(\text{gpm})]^2$
 10.22 $H(\text{ft}) = 91,5 - 4,01 \times 10^{-7}[Q(\text{gpm})]^2$
 10.23 $\eta \approx 0,79$; $H \approx 176$ ft para $Q \approx 630$ gpm
 10.24 $\eta \approx 0,83$; $H \approx 185$ ft para $Q \approx 820$ gpm
 10.25 $H_1 = 15,1$ m; $H_2 = 60,7$ m;
 $\dot{W}_{\text{fluido}} = 1,86$ kW; $\eta_p = 76\%$;
 $\dot{W}_{\text{elet}} = 2,88$ kW
 10.26 $\dot{W}_{\text{elet}} = 2,4$ kW; $p_2 = 369$ kPa (manométrica)
 10.29 1 hp (EUA) = 1,01 mhp;
 N_s (mhp) = 4,39 N_s (EUA)
 10.30 $N_s = 1130$; $\mathcal{P}_{\text{in}} = 11,6$ hp
 10.31 $\eta \approx 0,86$ para $Q = 2220$ gpm, $H = 130$ ft;
 $D = 13$ in: $Q = 2800$ gpm, $H = 153$ ft;
 $D = 11$ in: $Q = 1690$ gpm, $H = 109$ ft
 10.32 $\dot{W}_m = 735$ kW; $Q' = 0,6$ m³/s;
 $H' = 12,5$ m; $\eta' = 80\%$; $\mathcal{P}' = 91,9$ kW
 10.33 $H_0 = 26$ m; $\eta = 79\%$; $Q' = 1,07$ m³/s;
 $H' = 21,8$ m; $H_0 = 56,6$ m;
 $\mathcal{P}' = 289$ kW
 10.34 $n = 5$ unidades motor/bomba
 10.35 $H_{1150} \approx 25,9$ ft
 10.43 $N_m = 371$ rpm; $D_m/D_p = 0,145$;
 $Q_m = 14,2$ ft³/s
 10.44 Sim; Opera com vazão mássica abaixo do PME, ve-
 locidade menor.
 10.45 $N_m = 7140$ rpm; $D_m/D_p = 0,135$
 10.46 $Q = 1080$ ft³/s; $H = 211$ ft;
 $\mathcal{P} = 25.800$ hp
 10.47 $a = 0,0426$ (gpm)⁻¹,
 $b = -1,56 \times 10^{-9}$ (gpm)⁻³; $r^2 = 0,996$
 10.48 $T \approx 46$ °C; $Q = 0,625$ L/s; $H \approx 4,65$ m
 10.49 NPSHA = 26,4 ft;
 $H = 22,5$ ft ($p = 9,73$ psig)
 10.52 $Q_{\max} = 948$ gpm
 10.54 $H = 40,4$ ft; Custo = 0,29 ¢/h; $\mathcal{P} = 2,72$ hp
 10.55 $D = 6$ in (nominal); $\mathcal{P}_m = 890$ hp
 10.57 $H = 75,4$ ft; $\mathcal{P}_h = 303$ hp
 10.58 $Q = 627$ gpm
 10.59 $Q = 2710$ gpm; $L_j/D = 27.250$
 10.60 $Q = 4600$ gpm; $L_j/D = 9980$
 10.61 $Q = 3000$ gpm; $L_j/D = 51.600$
 10.65 Com 3 bombas, $\eta \approx 0,91$;
 $\mathcal{P}_m = 235.000$ hp
 10.66 $H_p = 295$ ft
 10.68 $Q = 2330$ gpm, $H = 374$ ft; Tipo 8AE20G,
 rotor de 19,5 in, 1770 rpm
 10.69 $Q = 197$ gpm, $H = 116$ ft; Tipo 4AE12,
 rotor de 11 in, 1750 rpm
 10.70 $Q = 600$ gpm, $H = 778$ ft;
 Tipo 5TUT-16B, 5 estágios, 1750 rpm
 10.73 $Q = 2020$ gpm
 10.74 $Q = 898$ gpm, $H = 104$ ft; Tipo 4AE11,
 rotor de 11 in, 1750 rpm
 10.75 $Q = 11.200$ gpm, $H = 101$ ft; 3 Tipo
 10AE12, rotor de 12 in, 1750 rpm
 10.76 $Q = 15.700$ gpm, $H = 654$ ft (gasolina);
 4 Tipo 10TU-22C, 2 estágios, 1750 rpm
 10.79 $Q_{\max} = 11,2$ gpm para $\Delta z = 0$

- 10.81 $N = 3500$ rpm; $D = 3,18$ in; $\eta \approx 0,6$
 10.82 $\eta \approx 0,8$ para $Q = 9200$ cfm
 10.84 $A_{\text{saída}} = 6,29$ ft²; $\eta \approx 0,85$
 10.85 $\omega' = 659$ rpm; $\mathcal{P}' = 32,8$ hp
 10.86 $V = 123$ ft/s
 10.88 $\mathcal{P}_{\text{perda}} = 0,292$ hp
 10.89 $F_T = 680$ e 449 lbf
 10.90 $D = 1,44$ m; $T = 1,60$ kN e 800 N
 10.91 $\eta = 57,1$ %
 10.92 $D = 18,6$ ft; $n = 241$ rpm; $\mathcal{P}_{\text{entra}} = 72,700$ hp
 10.93 $V = 16,0$ ft/s; $J = 0,748$; $C_F = 0,0415$
 10.94 $\eta = 50,0\%$; $\eta_0 = 0$
 10.97 $\mathcal{P}_{\text{sai}} = 16.900$ hp; $N = 353$ rpm;
 $T = 3,22 \times 10^5$ ft · lbf
 10.98 $N_s = 35,1$; $Q = 31.800$ m³/s; $D = 27,6$
 10.99 $N_{\text{sc}} = 55,7$; $Q \approx 34.600$ ft³/s
 10.100 $D = 10,3$ ft; $D_j = 14,5$ in; $Q = 310$ ft³/s
 10.101 $N_s = 26,5$; $T = 3,91 \times 10^6$ ft · lbf,
 $Q = 2570$ cfs para $H = 380$ ft
 10.102 Para um jato, $N = 229$ rpm; $D = 10,5$ ft
 10.103 $\mathcal{P} = 1,77$ hp; $\eta = 0,600$
 10.104 $H_{\text{líquido}} \approx 1050$ ft; $N_s \approx 5$
 10.105 $N_{\text{sc}} = 4,55$; $D = 6,20$ ft
 10.107 $D_j \approx 2,2$ in; $\mathcal{P} \approx 60,3$ hp
 10.108 $U_i \approx 79,6$ m/s; $C_p = 0,364$
 10.109 $\omega \approx 26$ s⁻¹; $\mathcal{P}_{\text{modelo}} \approx 0,069$ hp
 10.110 $\mathcal{P} \approx 22$ hp; $\omega = 98,9$ rpm
 10.111 $Qh \approx 737$ gpm · ft com $\eta_{\text{bomba}} = 0,7$

Capítulo 11

- 11.1 $\Delta u = -574$ kJ/kg; $\Delta h = -803$ kJ/kg;
 $\Delta s = 143$ J/(kg · K)
 11.2 Sim
 11.3 $T_{\text{mín}} = 246$ °C
 11.4 $\Delta S = -0,923$ Btu/°R; $\Delta U = -684$ Btu;
 $\Delta H = -960$ Btu
 11.5 $q = 1,10$ MJ/kg; $q = 788$ kJ/kg
 11.6 $\eta = 57,5\%$
 11.8 $\dot{W} = 392$ kW
 11.9 $W = 176$ MJ; $W = 228$ MJ; $T = 858$ K;
 $Q = -317$ MJ
 11.10 $\dot{m} = 36,7$ kg/s; $T_2 = 572$ K; $V_2 = 4,75$ m/s;
 $\dot{W} = 23$ MW
 11.11 $\eta = 65\%$
 11.12 $\Delta t = 828$ s
 11.14 $M = 0,533, 1,08$
 11.15 $M = 0,776$; $V = 269$ m/s
 11.16 $c = 299$ m/s; $V = 987$ m/s; $V/V_b = 1,41$
 11.23 $V = 761$ m/s; $\alpha = 27,0^\circ$
 11.24 $V = 642$ m/s
 11.25 $V = 6320$ ft/s
 11.26 $M = 1,19$; $V = 804$ ft/s; $Re/x = 9,84 \times 10^6$ m⁻¹
 11.27 $V = 493$ m/s; $\Delta t = 0,398$ s
 11.28 $V = 515$ m/s; $t = 6,16$ s
 11.29 $t = 8,51$ s
 11.30 $\Delta x = 3920$ ft

- 11.31 $t \approx 48,5$ s
 11.34 $M = 0,141, 0,314, 0,441$
 11.35 $M = 0,925$; $V = 274$ m/s
 11.36 $\Delta\rho/\rho = 48,5\%$; Não
 11.37 $p_0 = 546$ kPa; $T_0 = 466$ K; $h_0 - h = 178$ kJ/kg
 11.38 $p_0 = 126, 128$ kPa (abs)
 11.39 $M = 0,801$; $V = 236$ m/s; $T_0 = 245$ K
 11.40 $c = 295$ m/s; $V = 649$ m/s; $\alpha = 27,0^\circ$;
 $T_0 = 426$ K
 11.41 $\Delta p = 8,67$ kPa; $V = 195$ m/s; $V = 205$ m/s
 11.43 $a_x = -161$ m/s²; $p_0 = 191$ kPa (abs); $T_0 = 346$ K
 11.44 $T_0 = 394$ °F; $p_0 = 85,4$ psia; $\dot{m} = 145$ lbm/s
 11.45 Sim; Não
 11.46 $V = 890$ m/s; $T_0 = 677$ K; $p_0 = 212$ kPa
 11.47 $V = 987$ m/s; $p_0 = 125$ kPa;
 $p_0 = 31,6$ kPa; $T_0 = 707$ K
 11.48 $T_{01} = T_{02} = 20,6$ °C; $p_{01} = 1,01$ MPa;
 $p_{02} = 189$ kPa; $s_2 - s_1 = 480$ kJ/kg · K
 11.49 $T_{01} = 539$ °C; $T_{02} = -16,6$ °C;
 $Q = -27,9$ kW; $p_{01} = 593$ kPa;
 $p_{02} = 657$ kPa; $s_2 - s_1 = -1,19$ kJ/kg · K
 11.50 $T_0 = 344$ K; $p_0 = 223, 145$ kPa (abs);
 $s_2 - s_1 = 0,124$ kJ/(kg · K)
 11.51 $\delta Q/dm = 63,0$ Btu/lbm; $p_{02} = 56,5$ psia
 11.52 $T_0 = 445$ K; $p_0 = 57,5$; $46,7$ kPa (abs);
 $s_2 - s_1 = 59,6$ J/(kg · K)
 11.53 $T_0 = 2900, 1870$ °R;
 $p_0 = 100$; $4,57$ psia;
 $s_2 - s_1 = 0,107$ Btu/(lbm · °R)
 11.54 $\Delta p = 48,2$ kPa
 11.55 $T^* = 260$ K, $p^* = 24,7$ MPa (abs);
 $V^* = 252$ m/s
 11.56 $T^* = 1500$ K, $p^* = 2,44$ MPa (abs);
 $V^* = 2280$ m/s
 11.57 $T^* = 2730$ K, $p^* = 25,4$ MPa (abs);
 $V^* = 1030$ m/s
 11.58 $T^* = 2390$ °R, $p^* = 79,2$ kPa (abs);
 $V^* = 2400$ ft/s

Capítulo 12

- 12.1 $V = 2620$ ft/s; $M = 1,36$;
 $\dot{m} = 1,76$ lbm/s
 12.2 $V = 1660$ ft/s; $M = 0,787$;
 $\dot{m} = 0,274$ lbm/s
 12.3 $M = 1,35$
 12.4 $p = 93,8$ kPa
 12.5 $M_2 = 1,20$
 12.6 $M_2 = 1,20$
 12.7 $V = 475$ m/s; $A = 0,315$ m²
 12.8 $M = 1,75$; $\dot{m} = 27,2$ kg/s;
 $A_2 = 0,192$ m²; $p_2 = 55,0$ kPa
 12.10 $\dot{m} = 8,50$ kg/s
 12.11 $p_t = 33$ psia; $M_t = 0,90$; $V_t = 1060$ ft/s
 12.12 $p_t = 166$ kPa
 12.13 $p = 150$ kPa; $M = 0,6$; $A_t = 0,0421$ m²;
 $\dot{m} = 18,9$ kg/s

- 12.14 $\dot{m} = 0,548 \text{ kg/s}$
 12.15 $A = 1,94 \times 10^{-3} \text{ m}^2$
 12.16 $p_0 = 806 \text{ kPa}$; $\dot{m} = 1,92 \text{ kg/s}$
 12.17 $p_0 = 818 \text{ kPa}$; $p_e = 432 \text{ kPa}$;
 $T_e = -45,5 \text{ }^\circ\text{C}$; $V_e = 302 \text{ m/s}$
 12.18 $p_0 \geq 191 \text{ kPa}$; $\dot{m} = 1,28 \text{ kg/s}$
 12.19 $\dot{m} = 0,0107 \text{ lbm/s}$
 12.20 $t = 68,4 \text{ s}$; $\Delta s = 0,0739 \text{ Btu}/(\text{lbm} \cdot ^\circ\text{R})$
 12.21 $R_x = 1560 \text{ N}$ (para a esquerda)
 12.22 $T_0 = 188^\circ\text{C}$; $\Delta A = -25,4\%$;
 $p = 188 \text{ kPa}$; $V = 393 \text{ m/s}$
 12.23 $p = 687 \text{ kPa}$ (abs); $\dot{m} = 0,0921 \text{ kg/s}$;
 $a_{\text{fx}} = 1,62 \text{ m/s}^2$
 12.24 $p_0 = 988 \text{ kPa}$; $p_e = 522 \text{ kPa}$;
 $T_e = 58,7 \text{ }^\circ\text{C}$; $V_e = 365 \text{ m/s}$, $a = 1,25 \text{ m/s}^2$
 12.25 $\dot{m} = 2,73 \text{ lbm/s}$; $a_{\text{fx}} = 99,8 \text{ ft/s}^2$
 12.26 $R_x = 304 \text{ lbf}$, tração
 12.27 $A_2 = 0,0340 \text{ m}^2$; $V_2 = 424 \text{ m/s}$
 12.28 $A_t = 0,377 \text{ in}^2$
 12.29 $t = 23,6 \text{ s}$
 12.30 $M_e = 1,00$; $p_e = 381 \text{ kPa}$; $p_t = 191 \text{ kPa}$; $T \approx 288 \text{ K}$
 12.31 $t = 23,5 \text{ s}$; $\Delta s = 161 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
 12.32 $\dot{m} = 0,440 \text{ lbm/s}$
 12.33 $p_0 = 115 \text{ psia}$; $\dot{m} = 1,53 \text{ lbm/s}$; $A_t = 0,593 \text{ in}^2$
 12.34 $p = 125 \text{ kPa}$ (abs); $\dot{m} = 0,401 \text{ kg/s}$
 12.35 $A = 2,99 \text{ in}^2$; $\dot{m} = 3,74 \text{ lbm/s}$
 12.36 $V = 1300 \text{ m/s}$; $\dot{m} = 87,4 \text{ kg/s}$
 12.37 $A = 8,86 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, $1,50 \times 10^{-3} \text{ m}^2$
 12.38 $\dot{m} = 3,57 \text{ lbm/s}$
 12.39 $R_x = 950 \text{ N}$
 12.40 $\dot{m} = 39,4 \text{ lbm/s}$; $F_x = 9750 \text{ lbf}$
 12.41 $p = 88,3 \text{ kPa}$ (abs); $\dot{m} = 0,499 \text{ kg/s}$; $K_x = 1030 \text{ N}$
 12.42 $\dot{m} = 32,4 \text{ kg/s}$; $A_e = 0,167 \text{ m}^2$; $A_e/A_t = 19,4$
 12.43 $p_t = 2740 \text{ psia}$; $\dot{m} = 0,0437 \text{ lbm/s}$;
 Empuxo = $1,97 \text{ lbf}$; 36% ; $A_e = 7,52 \times 10^{-3} \text{ in}^2$
 12.44 $p_0 = 5600 \text{ psia}$
 12.45 $\dot{m} = 0,0726 \text{ kg/s}$; $p \leq 33,5 \text{ kPa}$ (abs)
 12.46 $M = 0,20$; $\dot{m} = 3,19 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$;
 $p = 47,9 \text{ kPa}$ (abs)
 12.47 $p = 18,5 \text{ psia}$; $V = 1040 \text{ ft/s}$
 12.48 $p = 477 \text{ kPa}$ (abs); $\Delta s = 49,5 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
 12.49 $\dot{m} = 0,00321 \text{ kg/s}$; $p_0 = 33,8 \text{ kPa}$ (abs);
 $\Delta s = 314 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
 12.50 $\dot{m} = 0,0192 \text{ kg/s}$; $T^* = 244 \text{ K}$;
 $p^* = 53,4$; $13,6 \text{ kPa}$ (abs)
 12.51 $T = 468 \text{ K}$; $F = 60 \text{ N}$; $\Delta s = 149 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
 12.52 $F = 822 \text{ lbf}$
 12.53 $p_t = 56,6 \text{ psia}$; $T = 433^\circ\text{R}$; $p_0 = 27,8 \text{ psia}$;
 $\dot{m} = 0,0316 \text{ lbm/s}$
 12.54 $T = 238 \text{ K}$; $p = 26,1 \text{ kPa}$ (abs);
 $\Delta s = 172 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
 12.55 $M = 0,15$; $T = 246 \text{ K}$, $p_0 = 25,6 \text{ kPa}$; $L = 8,41 \text{ m}$
 12.56 $L = 1,27 \text{ m}$
 12.57 $T = 459 \text{ K}$; $L = 34,5 \text{ m}$
 12.58 $L = 18,8 \text{ ft}$
 12.63 $\bar{f} = 0,0122$; $\Delta p = 13,0 \text{ psi}$
 12.64 $L = 0,405 \text{ m}$
 12.66 $p = 191 \text{ kPa}$ (abs); $L = 5,02 \text{ m}$;
 $\Delta s = 326 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
 12.67 $M = 0,25$; Adicionado
 12.68 $p = 153 \text{ psia}$
 12.69 $M = 0,452$; $L = 603 \text{ ft}$
 12.70 $\Delta p = 16,6$; $18,2$; $18,1 \text{ psia}$
 12.71 $\dot{Q} = 1,84 \times 10^8 \text{ ft}^3/\text{dia}$
 12.72 $\delta Q/dm = 145 \text{ kJ/kg}$; $\Delta p = 405 \text{ kPa}$
 12.73 $\delta Q/dm = 243 \text{ Btu/lbm}$
 12.74 $\delta Q/dm = 449 \text{ kJ/kg}$; $\Delta s = 0,892 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
 12.75 $\dot{Q} = 111 \text{ kW}$; $p_1 - p_2 = 1,30 \text{ MPa}$
 12.76 $\delta Q/dm = 18 \text{ kJ/kg}$; $\Delta s = 53,2 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$;
 $\Delta p_0 = 2,0 \text{ kPa}$
 12.77 $V = 1520 \text{ ft/s}$; $T = 2310 \text{ }^\circ\text{R}$; $\dot{Q} = 740 \text{ Btu/s}$
 12.78 $p = 209 \text{ psia}$; $\dot{Q} = 2270 \text{ Btu/s}$;
 $\dot{m}_f = 0,126 \text{ lbm/s}$
 12.79 $\delta Q/dm = 330 \text{ Btu/lbm}$; $\Delta p_0 = -1,94 \text{ psia}$
 12.80 $V = 866 \text{ m/s}$; $p = 46,4 \text{ kPa}$; $M = 1,96$;
 $\delta Q/dm = 156 \text{ kJ/kg}$
 12.81 $M = 0,50$; $T_0 = 1560 \text{ K}$; $\dot{Q} = 1,86 \text{ MJ/s}$
 12.82 $\Delta p_0 = -22 \text{ kPa}$; $\delta Q/dm = 447 \text{ kJ/kg}$;
 $\Delta s = 889 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
 12.83 $\delta Q/dm = 17,0 \text{ kJ/kg}$; $T = 318 \text{ K}$;
 $p = 46,3 \text{ kPa}$; $p_0 = 87,7 \text{ kPa}$
 12.84 $M = 1,0$; $p = 48,8 \text{ kPa}$;
 $\Delta p_0 = -8,60 \text{ kPa}$
 12.85 $\dot{Q} = 5,16 \times 10^4 \text{ Btu/s}$
 12.86 $\delta Q/dm = 313 \text{ Btu/lbm}$; $\Delta p_0 = -34 \text{ psia}$
 12.87 $T_0 = 764 \text{ K}$; $\dot{m} = 0,0215 \text{ kg/s}$; $A_e/A_t = 4,23$
 12.88 $T_0 = 966 \text{ K}$; $M = 0,60$;
 $\delta Q/dm = 343 \text{ kJ/kg}$; Fração = $0,616$
 12.91 $M_2 = 1,74$; $p_2 = 4,49 \text{ psia}$
 12.93 $V = 536 \text{ m/s}$
 12.94 $p_0 = 7,22 \text{ psia}$; $T_0 = 954 \text{ }^\circ\text{R}$
 12.95 $\rho = 0,359 \text{ lbm/ft}^3$; $M = 0,701$
 12.96 $V = 247 \text{ m/s}$; $T = 670 \text{ K}$; $\Delta s = 315 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
 12.97 $p = 28,1$; $85,7 \text{ psia}$
 12.98 $T = 520 \text{ K}$; $p_0 = 1,29 \text{ MPa}$
 12.99 $V = 257 \text{ m/s}$; $M = 0,493$; $\Delta p_0 = -512 \text{ kPa}$
 12.100 $V = 255 \text{ m/s}$; $\Delta p = 473,842 \text{ kPa}$
 12.101 $T_0 = 426 \text{ K}$; $p_0 = 207,130 \text{ kPa}$
 12.102 $M = 2,48$; $V = 2420 \text{ ft/s}$; $p = 24,3 \text{ psia}$;
 $p_0 = 29,1 \text{ psia}$
 12.103 $T = 414 \text{ K}$; $p = 51,9 \text{ kPa}$; $p_0 = 57,9 \text{ kPa}$
 12.104 $M = 0,545$; $p = 514 \text{ kPa}$; $p_0 = 629 \text{ kPa}$;
 $A = 0,111 \text{ m}^2$
 12.105 $A = 2,32 \text{ ft}^2$; $\Delta s = 0,0423 \text{ Btu}/(\text{lbm} \cdot ^\circ\text{R})$
 12.106 $\Delta p_0 = -14,1 \text{ psi}$; $\Delta s = 0,0591 \text{ Btu}/(\text{lbm} \cdot ^\circ\text{R})$
 12.107 $M = 2,20$; $p_0 = 178 \text{ kPa}$; $V_e = 568 \text{ m/s}$
 12.108 $T_0 = 533 \text{ K}$; $\Delta p = 37,4 \text{ kPa}$;
 $\Delta s = 30,0 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; $p_0 = 116 \text{ kPa}$
 12.109 $V = 265, 279 \text{ m/s}$
 12.110 $p = 33,4 \text{ kPa}$; $V = 162 \text{ m/s}$
 12.111 $M = 1,45$; $\dot{m} = 0,808 \text{ lbm/s}$
 12.112 $M = 0,701$; $p = 167 \text{ kPa}$; $\Delta s = 20,9 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

- 12.113 $M = 1,92$; $p = 89,4$; 58,6; 14,5 psia
 12.114 $M = 2,94$; $p_0 = 3,39$ MPa;
 $p = 3,35$; 1,00 MPa, 101 kPa
 12.115 $p = 301$ kPa
 12.116 $p = 46,7$ psia; $A = 1,52$ in²; $\dot{m} = 2,55$ lbm/s
 12.117 $p = 587$ kPa; $A_e = 756$ mm²; $A = 448$ m²
 12.118 $M = 1,50$
 12.119 $33,4 < p_b < 99,6$ kPa; $\dot{m} = 0,121$ kg/s
 12.120 $M = 2,12$; $V = 2000$ ft/s
 12.121 $P_{\text{atm}} < p_0 < 112$ kPa e $p_0 > 743$ kPa
 12.122 $p = 66,6$ psia
 12.123 $p = 301$ kPa (abs)
 12.125 $M = 0,475$; $p_0 = 361$ kPa; $T_0 = 400$ K;
 $A_t = 118$ mm²; $s_2 - s_1 = -0,320$ kJ/(kg · K);
 $M_e = 0,377$
- 12.127 $M = 2,14$
 12.128 $V = 2140$ ft/s; $\Delta s = 0,0388$ Btu/(lbm · °R)
 12.129 $M_2 = 2,06$; $p_2 = 93,4$ kPa; $\theta = 3,72^\circ$; Choque normal: $M_2 = 0,547$; $p_2 = 411$ kPa; $\beta = 27^\circ$
 12.130 $\beta = 19,5^\circ - 90^\circ$
 12.131 $\theta = 25^\circ$; $\beta = 46,7^\circ$; $M_2 = 1,56$
 12.132 $\beta = 66,2^\circ$; $p_2/p_1 = 6,06$
 12.133 $M = 1,42$; $V = 484$ m/s
 12.136 $F_L/w = 138$ kN/m
 12.137 $F_L/w = 183$ kN/m
 12.138 $p_1 = 36,6$ kPa; $p_2 = 15,9$ kPa
 12.141 $p_0 = 1317$ kPa, $p = 497$ kPa;
 $p_0 = 3814$ kPa, $p = 571$ kPa
 12.142 $F_L/w = 64,3$ kN/m; $D = 13,7$ kN/m
 12.144 $C_D = 0,0177$

ÍNDICE

- A**
- Aceleração**
 - convectiva, 199
 - de partícula em campo de velocidade, 197, 199
 - coordenadas cilíndricas, 200
 - coordenadas retangulares, 200
 - gravitacional, 9
 - local, 199
 - Acelerômetro**, 93
 - Acessórios**, perdas em. *Veja* Perda de carga, em válvulas e acessórios
 - Acumulador hidráulico**, 178
 - Água**, propriedades da, 709, 719
 - Algarismos significativos**, 2
 - Altura de carga**, 250
 - bruta, 512, 515
 - de bloqueio, *shutoff*, 503
 - de bomba, 358, 503, 530
 - de sucção positiva líquida, 526
 - líquida, 512, 515
 - Anemômetro**
 - de laser Doppler, 391
 - térmico, 391
 - Ângulo**
 - de ataque, 456
 - de contato, 28, 713
 - Área**
 - de centróide, 61
 - momento de inércia de, 64-66
 - produto de inércia de, 64-66
 - molhada, 443
 - planiforme, 454, 456
 - Arrasto**, 31, 416, 442
 - aerodinâmico, 306
 - de veículo, 306
 - de atrito, 443, 447
 - de forma, 33, 462
 - de perfil, 462
 - de pressão, 33, 446, 447
 - induzido, 459
 - parasita, 467
 - Atmosfera**
 - isotérmica, 58
 - padrão, 50
 - propriedades de, 51, 712
- B**
- Barômetro**, 57
 - Barris**, indústria de petróleo dos EUA, 363, 410
 - Bloqueio**, 625, 629, 637, 653, 672, 673
 - Bocal**, 239, 383, 617
 - choque normal em, 668
 - condições de projeto, 630
 - convergente, 618, 624
 - convergente-divergente, 618, 629, 669
 - de borda, 281
 - escoamento
 - bloqueado em, 624, 630
 - incompressível através de, 240
 - sobre-expandido, 630
 - subexpandido, 630
- Bomba(s)**, 492, 531
 - de deslocamento positivo, 549
 - de jato, 164
 - em sistema de fluido, 291, 530
 - "leis" das, 310, 522
 - operação
 - com velocidade variável, 538
 - em paralelo, 538
 - em série, 537
 - ponto de operação, 530
 - procedimento de seleção, 727
 - velocidade específica, 518

C

 - Calor específico**
 - pressão constante, 586, 718
 - volume constante, 586, 718
 - Camada-limite**, 33, 416
 - controle de, 463, 468
 - efeito do gradiente de pressão sobre a, 438
 - equação integral da quantidade de movimento para, 425, 429
 - espessura(s), 417, 418
 - de deslocamento, 418
 - de quantidade de movimento, 418
 - integrais, 419
 - fator de forma, 441
 - laminar, 421, 433
 - de placa plana, solução aproximada, 433
 - de placa plana, solução exata, 421
 - perfis de fluxo de quantidade de movimento, 441
 - perfis de velocidade, 441
 - placa plana, 417
 - separação, 439
 - transição, 417
 - turbulenta, 435
 - solução aproximada para placa plana, 435
 - Cambado**, 456
 - Campo**
 - de escoamento
 - uniforme, 18
 - dimensões de, 17
 - de massa específica, 16
 - de pressão, 48
 - de tensões, 21
 - de velocidade, 17
 - Carenagem**, 33, 453
 - Carga**, 348, 496
 - Carregamento de asa**, 461
 - Cavalo-vapor métrico**, 575
 - Cavitação**, 35, 525
 - Centro de pressão**, 691
 - Choque**
 - normal, 660
 - diagrama *Ts*, 662, 663
 - efeito sobre propriedades, 663
 - equações básicas para, 661
 - escoamento supersônico em dutos com, 668
 - funções de escoamento para cálculo de, 663, 743
 - oblíquo, 676
 - ângulo de choque, 683
 - ângulo de deflexão, 683, 745-746
 - comparação com choque normal, 680
 - equações básicas para, 678
 - funções de escoamento para cálculo de, 683, 745
 - sobre um aerofólio, 684
 - Cilindro**
 - coeficiente de arrasto, 450
 - escoamento uniforme em torno de, 266, 268
 - Cinemática do movimento de fluido**, 197
 - Circulação**, 205, 271
 - Coefficiente**
 - de arrasto, 443
 - de aerofólio, 462
 - supersônico, 691
 - de aeronave completa, 462-463
 - de bolas de golfe, 469
 - de cilindro, 450
 - rotativo, 471
 - de esfera, 485, 448
 - girando, 468
 - de estrutura carenada, 454
 - de objetos selecionados, 447
 - de placa plana
 - normal ao escoamento, 446
 - paralela ao escoamento, 443
 - induzido, 459
 - de atrito
 - local, 423
 - superficial, 432, 736
 - de carga, 308, 517
 - de contração, 281, 403
 - de descarga, 381
 - bocal, 383
 - placa de orifício, 382
 - venturi, 385
 - de empuxo (impulsão), 557
 - de energia cinética, 346
 - de perda
 - de carga, 353
 - localizada. *Veja* Coeficiente de perda de carga
 - de potência, 308, 517, 557
 - de pressão, 298, 354
 - de recuperação de pressão, 354
 - ideal, 355
 - de sustentação, 456
 - de aerofólio, 458
 - supersônico, 691
 - de bola de golfe girando, 468
 - de cilindro rotativo, 471
 - de esfera girando, 468
 - de torque, 517, 557
 - de vazão, 308, 381
 - de bocal, 383
 - de placa de orifício, 383
 - de turbomáquina, 516
 - de velocidade de avanço, 557
 - Comporta**, 115, 242
 - Compressor**, 492, 548
 - Comprimento**
 - de entrada, 324
 - equivalente, 353
 - de acessórios e válvulas, 357

- de curvas, 357
 - de curvas de gomos, 357
 - Condição(ões)
 - críticas, escoamento compressível, 605
 - de irrotacionalidade, 254
 - de não-deslizamento, 3, 33, 324
 - de projeto. *Veja* Boca
 - Cone de Mach, 596, 597
 - Conservação
 - de energia. *Veja* Primeira lei da termodinâmica
 - de massa, 95, 101
 - coordenadas cilíndricas, 192
 - coordenadas retangulares, 185
 - Constante de gás
 - equação de estado do gás ideal, 4, 587, 718
 - universal, 586, 718
 - Continuidade. *Veja* Conservação de massa
 - Coordenadas de linha de corrente, 230, 234
 - Corde, 456
 - Corpo rígido, fluido em movimento de, 75
 - Curvas de carga de sistema, 530
 - Curvatura de linha de corrente, 232, 466
- D**
- Deformação
 - angular, 197, 203, 207
 - linear, 197, 208
 - taxa de, 24, 207
 - Densidade relativa, 16, 710, 711
 - Derivada
 - de partícula, 199
 - de sistema, 97
 - relação com volume de controle, 100
 - material, 199
 - substancial, 199
 - Diagrama
 - de Moody, 351
 - de velocidade, 496
 - Ts , 589
 - Diâmetro hidráulico, 359, 641
 - Difusor, 355, 371, 492, 618
 - cônico, 355
 - geometria ótima, 355
 - recuperação de pressão em, 355
 - supersônico, 671
 - Dilatação volumétrica, 209
 - Dilatante, 28
 - Dimensão(ões), 7
 - de campo de escoamento, 17
 - homogênea, 9
 - primária, 9, 292
 - secundária, 10
 - Dina, 11
 - Dipolo, 261
 - intensidade de, 261
 - Distribuição de pressão
 - aerofólio, 454, 458
 - supersônico, 684, 689, 691
 - automóvel, 467
 - bocal convergente, 625
 - bocal convergente-divergente, 629, 669
 - cilindro, escoamento uniforme, 266, 268
 - comprimento de entrada de tubo, 369
 - difusor, 371, 440
 - esfera, 449
 - hidrostática, 63, 115
 - Downwash, 460
 - Duto não-circular, 359
- E**
- Efeito
 - Coanda, 162
 - de capilaridade, 30, 296
 - Doppler, 391, 597
 - Magnus, 470
 - Eficiência
 - de bomba, 308, 504
 - de hélice, 557, 582
 - de moimho de vento, 565
 - de propulsão, 556
 - de turbina hidráulica, 505
 - Elemento de escoamento laminar (LFE), 385
 - Energia
 - interna, 586
 - mecânica, 248, 347
 - Entalpia, 150, 586
 - de estagnação, 609, 613
 - Entrada de borda reentrante, 281
 - Entropia, 587
 - Envelhecimento de tubos, 352
 - Envergadura de asa, 461
 - Equação(ões)
 - básica da estática dos fluidos, 44
 - básicas para volume de controle, 95
 - com aceleração arbitrária, 133
 - com aceleração retilínea, 130
 - conservação da massa, 101
 - diferencial, 123
 - em rotação, 143
 - primeira lei da termodinâmica, 147
 - princípio da quantidade de movimento angular, para volume de controle inercial, 96
 - segunda lei da termodinâmica, 154
 - segunda lei de Newton (quantidade de movimento linear), para volume de controle movendo com velocidade constante, 125
 - sem aceleração, 107
 - da continuidade, forma diferencial, 185
 - coordenadas cilíndricas, 190
 - coordenadas retangulares, 185
 - de Bernoulli, 122, 133
 - aplicações, 239
 - cuidados na utilização, 244
 - escoamento irrotacional, 255
 - interpretação com uma equação de energia, 245
 - para escoamento transiente, 251
 - restrições ao uso, 234
 - de camada-limite de Prandtl, 313, 421
 - de energia, para escoamento em tubo. *Veja também* Primeira lei da termodinâmica, 345
 - de estado, 4, 614
 - gás ideal, 4, 585
 - de Euler, 214, 229
 - ao longo de linha de corrente, 230
 - coordenadas cilíndricas, 230
 - coordenadas de linha de corrente, 230
 - coordenadas retangulares, 229
 - normal à linha de corrente, 232
 - para turbomáquina, 495
 - de Gibbs, 588
 - de Laplace, 256
 - de movimento. *Veja* Equação de Navier-Stokes
 - de Navier-Stokes, 212
 - coordenadas cilíndricas, 723
 - coordenadas retangulares, 212
 - de quantidade de movimento
 - forma diferencial, 210
 - para escoamento sem viscosidade, 229
 - para volume de controle
 - com aceleração arbitrária, 133
 - com aceleração retilínea, 131
 - diferencial, 121
 - inercial, 107
 - movendo com velocidade constante, 126
 - diferencial básica adimensional, 289
 - integral de quantidade de movimento, 425, 429
 - para escoamento com gradiente de pressão zero, 430
 - Tds , 588
 - Escoamento(s)
 - adiabático. *Veja* Escoamento de linha de Fanno
 - bidimensional, 17
 - completamente desenvolvido, 324
 - laminar, 325
 - turbulento, 343
 - compressível, 35, 585, 611
 - equações básicas, 611
 - gás ideal, 614
 - funções de escoamento para cálculo de, 739
 - crítico em canal aberto, 299
 - de arrasto, *creeping flow*, 395
 - de entrada sem choque, 497
 - de linha de Fanno, 636
 - comprimento de bloqueio, 643, 673
 - diagrama Ts , 636
 - efeitos nas propriedades, 636
 - equações básicas para, 635
 - formação de choque normal em, 673
 - funções de escoamento para cálculo de, 640, 740
 - de linha de Rayleigh, 651
 - adição máxima de calor, 653
 - bloqueio, 673
 - diagrama Ts , 652, 653
 - efeitos sobre propriedades, 652
 - equações básicas para, 651
 - funções de escoamento para cálculo de, 656, 742
 - em canal aberto, 37
 - externo, 35, 415
 - hipersônico, 596
 - incompressível, 36, 102, 188, 192
 - interno, 36, 323
 - invíscido, 32
 - irrotacional, 204, 254
 - isoentrópico, 614
 - condições de referência para, 618
 - efeito de variação de área sobre, 614, 616-617
 - em bocal convergente, 624
 - em bocal convergente-divergente, 629
 - equações básicas, 615
 - gás ideal, 614
 - funções de escoamento para cálculo de, 620, 739
 - no plano $h-s$, 615
 - laminar, 35, 323
 - em tubo, 336
 - entre placas paralelas, 33
 - ambas as placas estacionárias, 325
 - uma placa em movimento, 330
 - permanente, 17, 102, 188, 192
 - planos elementares. *Veja* Teoria de escoamento potencial
 - secundário, 356
 - sem atrito
 - adiabático compressível. *Veja* Escoamento isoentrópico
 - compressível com transferência de calor. *Veja* Escoamento de linha de Rayleigh
 - incompressível, 229
 - sem viscosidade, 229
 - transiente, 17
 - transônico, 596
 - tridimensional, 17
 - turbulento, 323, 325, 341
 - distribuição de tensão de cisalhamento, 343
 - flutuação de velocidade, 342
 - perfil de velocidade, 343
 - camada de parede, 342
 - camada tampão, de superposição, 344
 - deficiência de velocidade, 344
 - lei de potência, 344
 - logarítmica, 343
 - subcamada viscosa, 343
 - velocidade média, 343
 - unidimensional, 18
 - uniforme em uma seção, 18, 102
 - Esfera
 - coeficiente de arrasto, 448
 - distribuição de pressão, 449
 - escoamento
 - em torno de, 33
 - invíscido em torno de, 33
 - Espessura
 - de deslocamento, 418
 - de perturbação. *Veja* Camada-limite de quantidade de movimento, 418
 - Estabilidade, 71
 - Estado
 - de estagnação, 597
 - equação de, 4
 - termodinâmica, 585
 - Estágio, 492
 - Estática de fluidos
 - equação básica de, 47
 - relação pressão-altura, 50
 - Esteira, 34, 416
 - Estol, 457
 - Estudos de modelo, 299
 - Expansão
 - em série de Taylor, 48, 185, 190, 203, 326, 426, 427, 428
 - súbita, 354
 - Experimento de Reynolds, 323
- F**
- Fator(es)
 - de atrito, 348, 349, 351
 - correlação de dados para, 350
 - correlação para tubo liso, 352

de Darcy, 349
 de Fanning, 349, 402
 escoamento laminar, 350
 de conversão, 757
 de forma, perfil de velocidade, 441
 de velocidade de aproximação, 381
 Filmes, mecânica dos fluidos, 725
 Flape, 463
 Fluido, 2
 barotrópico, 35
 contínuo, 15
 estático, variação de pressão em, 52
 ideal, 256
 incompressível, 53
 não-newtoniano, 24, 27
 dependente do tempo, 28
 índice de comportamento do escoamento, 27
 índice de consistência, 27
 modelo exponencial, 27
 pseudoplástico, 27
 reopético, 28
 tixotrópico, 28
 viscoelástico, 28
 viscosidade aparente, 27
 newtoniano, 24, 212
 viscoso, 31
 Fluxo de quantidade de movimento, 108
 Fonte, 259
 intensidade de, 259
 Força
 de arrasto, 442
 de cisalhamento, 442
 de compressibilidade, 297
 de corpo (de campo), 21
 de empuxo, 72
 de gravidade, 297
 de inércia, 295
 de pressão, 47, 297, 442
 de superfície, 21, 442
 de sustentação, 442, 455
 de tensão superficial, 28, 30, 297
 hidrostática, 60
 sobre superfície curva submersa, 67
 sobre superfície plana submersa, 60
 viscosa, 297
 Formação de vórtices, 318, 450, 459
 Função
 de corrente, 193, 195
 potencial, 256
G
 Garganta, bocal, 618
 Gás ideal, 4, 585,
 g_c , 10
 Gelo, 710
 Golpe de arfete (ou martelo hidráulico), 35, 316
 Gradiente, 49
 de pressão, 49, 439
 adverso, 34, 415, 439
 efeito sobre camada-limite, 439
 Gravidade, aceleração de, 9
H
 Hélice, 493, 553
 coeficiente
 de avanço de velocidade, 557
 de empuxo, de impulsão, 557
 de potência, 557
 de torque, 557
 disco de (atuador), 553
 eficiência, 557
 de propulsão, 556
 marítima, 557
 solidez, 556
I
 Incerteza experimental, 2, 749
 Índice
 de comportamento de escoamento, 27
 de consistência, 27
 Instalação Transônica Nacional (National Transonic Facility — NTF), 312
 Instalações de teste com modelo, 311

L
 Lei(s)
 de arrasto de Stoke, 448
 básicas para sistema, 95
 conservação de massa, 95
 primeira lei da termodinâmica, 96
 princípio da quantidade de movimento angular, 96
 segunda lei da termodinâmica, 97
 segunda lei de Newton (quantidade de movimento linear), 96
 forma diferencial, 212
 Limite de confiança, 750
 Linha, 250
 de corrente, 19
 equação de, 19, 194
 de emissão, 19
 de energia, 250, 371, 374
 de tempo, 19
 média, 456
 piezométrica, 250, 371, 374
M
 Mancal de deslizamento, 330
 Manômetro, 52
 de líquidos múltiplos, 56
 efeito capilar em, 30
 reservatório, 54
 sensibilidade, 53
 tubo em U, 53
 Máquina
 de fluxo, 491
 bomba, 492
 características de desempenho, 505
 de deslocamento positivo, 491
 dinâmica de. *Veja* Turbomáquina
 hélice, 493
 turbina, 493
 ventilador, 492
 eólica, 564
 Massa
 específica, 15
 molar (molecular), 586, 718
 Matriz dimensional, 296
 Medição
 de vazão, 378
 escoamento interno, 379, 389
 bocal, 383
 de flutuador, 389
 de turbina, 389
 elemento de escoamento laminar, 385
 eletromagnético, 390
 formação de vórtice, 389
 métodos diretos, 379
 métodos transversos, 390
 anemômetro laser Doppler, 391
 anemômetro térmico, 391
 placa de orifício, 382
 rotâmetro, 389
 ultra-sônico, 390
 venturi, 385
 de velocidade. *Veja* Medição de vazão
 Medidor
 de vazão. *Veja* Medição de vazão
 de Venturi, 385
 mecânico. *Veja* Medição de vazão
 Menisco, 29, 296
 Meridional, 516
 Métodos de descrição
 euleriano, 9, 200
 lagrangiano, 7, 200
 Métrico absoluto (sistema de unidades), 10
 Milha náutica, 758
 Modelo exponencial, fluido não-newtoniano, 27
 Módulo(s)
 de elasticidade, 36
 de compressibilidade, 35, 594, 711
 Moinho de vento, 564
N
 National Transonic Facility (NTF), 607
 Newton, 11
 Número
 de cavitação, 298, 559
 de Euler, 298

de Froude, 299
 de Mach, 36, 299, 591
 de Reynolds, 32, 298
 crítico. *Veja* Transição
 de Strouhal, 389, 450
 de Weber, 299
O
 Óleo lubrificante, 717
 Ondas de expansão isentrópicas, 685
 equações básicas para, 686
 função de expansão de Prandtl-Meyer, 688, 747
 sobre um aerofólio, 689
 Operador gradiente
 coordenadas cilíndricas, 76, 192, 256
 coordenadas retangulares, 49, 187
 Orifício reentrante, 281
P
 Paradoxo de D'Alembert, 31, 262
 Parâmetro repetente, 292
 Partícula fluida, 17
 Pascal, 757
 Pás-guia, 494
 Passo, 557
 Pé cúbico padrão de gás, 14
 Perda
 de carga, 347
 em bocais, 355
 em contrações graduais, 355
 em curva
 de tubo, 356
 de gomos, 357
 em difusores, 356
 em entradas, 354
 de tubo, 353
 em expansões e contrações, 354
 em mudanças súbitas de área, 354
 em saídas, 353
 em tubos, 348
 em válvulas e acessórios, 357
 maiores, distribuídas, 341, 348
 menores, localizadas, 341, 353
 permanente, 386
 total, 348
 localizada. *Veja* Perda de carga
 Perfil de velocidade, 33
 de escoamento em tubo laminar, 338
 turbulento, 343
 de lei de potência, 344
 similares, 421, 431
 Perímetro molhado, 359, 641
 Peso, 11
 específico, 17
 Placa
 de orifício, 36
 de ponta, 462
 plana, escoamento sobre, 417
 Plástico de Bingham, 28
 Poise, 25
 Polares de sustentação-arrasto, 460
 Ponto de estagnação, 32, 267, 269, 416
 Potência
 hidráulica, 504
 mecânica, 496
 Potencial de velocidade, 256
 Pressão, 48, 51
 absoluta, 50
 centro de, 61
 de estagnação, 236
 isentrópica. *Veja* Propriedades de estagnação isentrópica
 de vapor, 35
 dinâmica, 236, 237
 estática, 236
 manométrica, 50
 termodinâmica, 212, 236
 Primeira lei da termodinâmica, 96, 147
 Princípio
 da quantidade de movimento angular, 96, 138
 volume de controle
 em rotação, 143
 fixo, 139
 de Arquimedes, 72
 Processo
 adiabático, 588

irreversível, 588
 isoentrópico, 588
 reversível, 588
 Propriedade(s)
 de estagnação isoentrópica, 597
 para gás ideal, 598, 601
 de fluidos, 709
 extensiva, 97
 físicas, 709
 fluido, 709
 água, 709, 719
 ar, 720
 intensiva, 97
 Pseudoplástico, 27

Q

Quantidade de movimento
 angular. *Veja* Princípio da quantidade de movimento angular
 coeficiente, 400
 linear. *Veja* Segunda lei do movimento de Newton
 Quilograma-força, 575

R

Razão
 de área, 355
 escoamento isoentrópico, 621
 de aspecto
 aerofólio, 460
 duto retangular, 359
 placa plana, 446
 de calor específico, 587, 718
 de energia cinética, 320
 de pressão crítica, 605, 625
 de rotação, 468
 sustentação/arrasto, 458
 Rede de tubo, 374
 Regime de escoamento completamente rugoso, 350
 Relação básica pressão-altura, 50
 Reopético, 28
 Representação do campo, 16
 Roda
 Pelton, 511
 turbomáquina, 493
 Rotação, 197, 203
 Rotacional, 256
 Rotâmetro, 389
 Rotor
 impulsor, 492
 turbomáquina, 493
 Rugosidade, tubo, 349, 350

S

Segunda lei
 da termodinâmica, 97, 154
 do movimento de Newton, 96
 Semelhança, 289
 cinemática, 299
 dinâmica, 300
 geométrica, 299
 incompleta, 302
 regras, 521
 Separação, 33, 439
 Sifão, 240, 407
 Sistema
 de coordenadas inercial, 107, 129
 de fluido, 358, 529
 de referência não-inercial, 126, 133
 de unidades
 gravitacional britânico, 11
 inglês de engenharia, 11
 Sistemas, 5
 de dimensões, 9
 de tubos, 360

estática, 237
 Soprador, 492, 548
 Stoke, 25
 STP (condição padrão ou standard de temperatura e pressão), 15, 718
 Subcamada viscosa, 343
 Sumidouro, 259
 intensidade de, 259
 Superfície
 de controle, 6
 de pressão, 456
 de sucção, 456
 livre, 77, 78
 Superposição, de escoamentos planos elementares, 261
 método direto de, 262
 método inverso de, 266
 Sustentação, 416, 442, 455

T

Tamanhos padrões de tubos, bitolas, 362
 Taxa
 de deformação, 24, 207
 de lapso, 607
 Temperatura de estagnação, 605
 Tensão, 21
 componentes, 23, 724
 convenção de sinal, 23
 de cisalhamento, 3, 22, 25, 212, 723
 aparente, 342
 de parede, 341, 423, 432, 436
 distribuição em tubo, 341
 de compressão, 48
 de Reynolds, 342
 fluido newtoniano, 212
 limítrofe, 28
 normal, 22, 23, 148, 213, 223, 723
 notação, 22
 superficial, 28, 713
 Teorema
 de Stoke, 205
 do transporte de Reynolds, 99
 Pi, 291
 de Buckingham, 291
 Teoria
 de escoamento potencial, 256
 escoamentos planos elementares, 259
 dipolo, 261
 escoamento uniforme, 259
 fonte, 259
 sumidouro, 259
 vórtice, 259
 superposição de escoamentos planos elementares, 261
 de hélice de Rankine, 555
 Termodinâmica, revisão de, 585
 Tixotrópico, 28
 Tomada de pressão, 237, 382
 estática, 236
 Trabalho
 de cisalhamento, 149
 de eixo, 148
 taxa de, 148
 convenção de sinal para, 96, 148
 de cisalhamento, 149
 de eixo, 148
 Trajetória, 19
 Transferência de calor, convenção de sinais para, 96, 152-153
 Transição, 49, 324, 417
 Translação, 197
 Trilha de vórtices, 459
 Tubo
 de corrente, 246
 de pressão total, 238
 de extração, 494, 515
 de pitot, 238
 envelhecimento, 352, 578

Turbina, 493, 560
 de impulsão, 493, 512
 de reação, 494, 515
 eólica, eficiência, 566
 Francis, 494, 516
 hidráulica, 493, 560
 Kaplan, 494, 516
 velocidade específica, 518
 Turbomáquina, 491
 bomba, 492
 centrífuga, 491
 coeficiente
 de carga, 308, 517
 de potência, 308, 517
 de torque, 517
 de vazão, 308, 517
 de fluxo
 axial, 491
 radial, 491
 escoamento misto, 493
 estágio, 492
 leis de escala para, 308
 velocidade específica, 309, 517
 ventilador, 491

U

Unidades, 9, 757
 SI, 10, 757
 prefixos, 757

V

Vazão em volume, 102
 Veia contraída, vena contracta, 353, 371, 379
 Velocidade
 crítica, escoamento compressível, 605
 de atrito, 314, 343
 de avanço de Froude, 316
 do som, 591
 gás ideal, 594
 sólido e líquido, 594
 específica, 517, 518, 547, 309
 média, 102, 324
 terminal, 7
 Ventilador, 492, 542
 "leis de", 309, 545
 procedimento de seleção, 729
 velocidade específica, 546
 Vertedores, 314
 Vetor, derivação de, 192, 199
 Viscosoelástico, 28
 Viscosidade, 23, 25
 absoluta (ou dinâmica), 25, 715
 aparente, 27
 cinemática, 25, 716
 dinâmica, 25
 natureza física da, 713
 Viscosímetro
 capilar, 340
 de cilindro concêntrico, 43, 217
 de cone e placa, 43
 Visualização de escoamento, 19, 305
 Volume
 de controle, 6
 deformável, 103
 inercial, 107, 126
 taxa de trabalho realizado por, 148
 específico, 150, 586
 Vórtice
 forçado, 205
 intensidade de, 261
 irrotacional, 206, 259
 livre, 205, 259
 trilha, 450, 459
 Vorticidade, 204
 coordenadas cilíndricas, 205

W

Winglet, 462

Z

Zona
 de ação, 597
 de silêncio, 597

Biblioteca Betim - FAP

Introdução à mecânica dos fluidos.

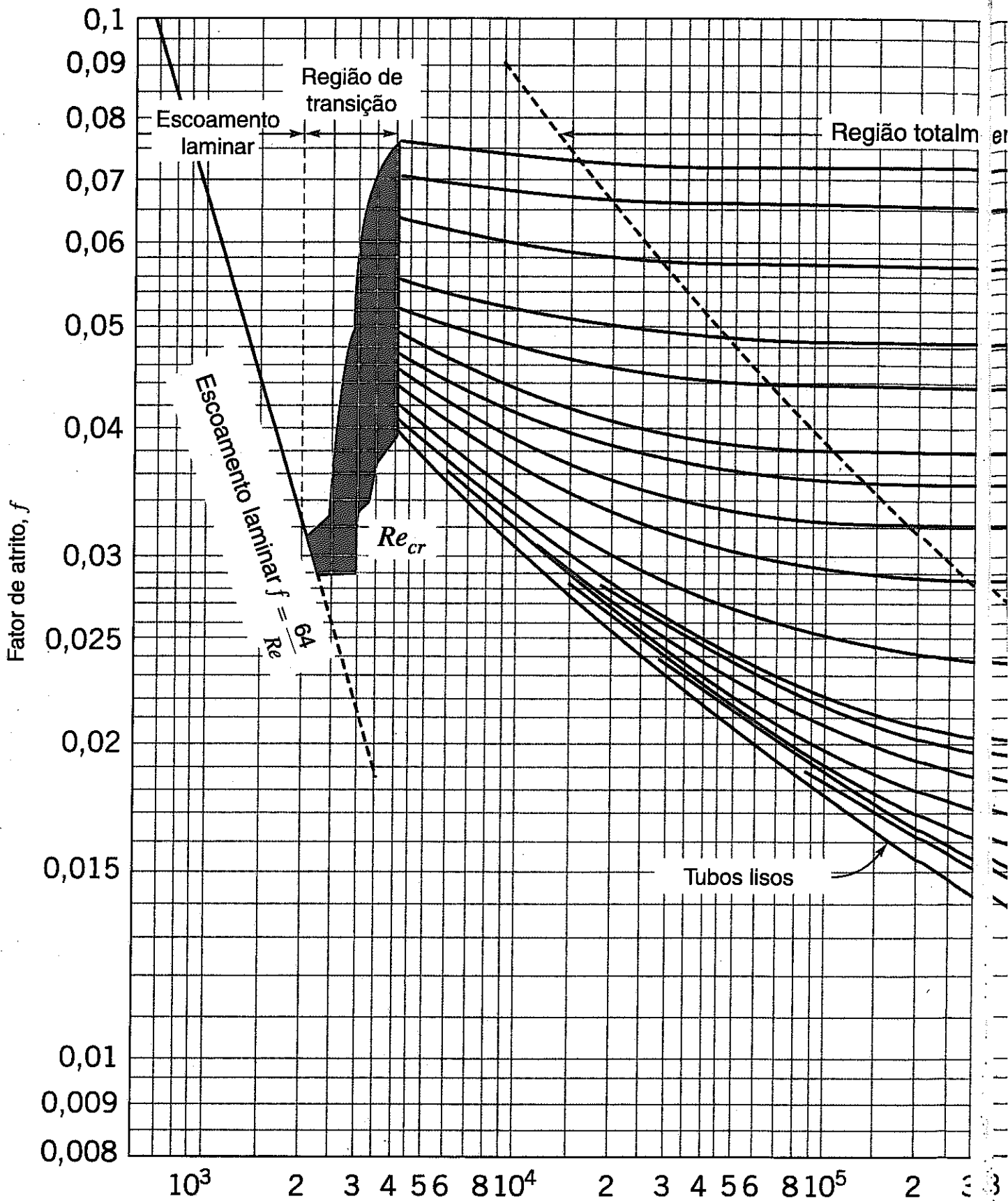
Ac. 6813 - R. 484621 Ex. 18

Compra - GD Distribuidora de Livros Ltda Aline

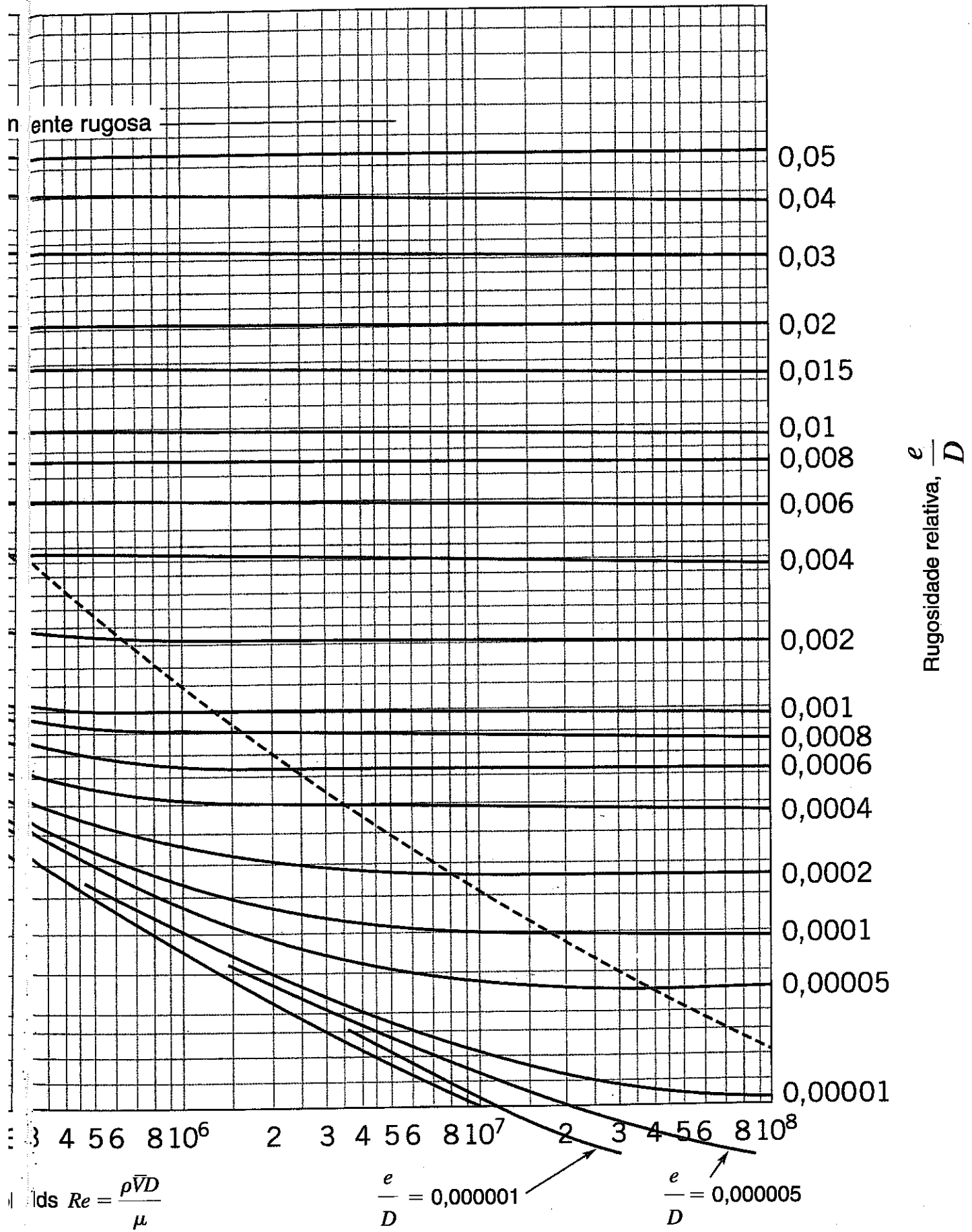
Nf.: 010739 R\$ 127,45 - 23/02/2010

ENGENHARIA MECÂNICA - BETIM

o de linha



ente rugosa



Uma abordagem comprovada de solução de problemas em Mecânica dos Fluidos agora integrada com o *Excel*!

Fox, McDonald & Pritchard proporcionam uma introdução equilibrada em mecânica dos fluidos que prepara os estudantes com uma metodologia de solução de problemas comprovada. Os estudantes aprenderão a adotar uma técnica de resolver ordenadamente problemas.

- Com uma linguagem estimulante, o novo co-autor Philip J. Pritchard, do Manhattan College, tornou mais claras e aprimorou as descrições e explicações do livro.
- O texto enfatiza o conceito de volume de controle de modo a criar uma metodologia de solução de problemas práticos teoricamente abrangente.
- 116 problemas-exemplos selecionados ilustram conceitos importantes; cada problema é resolvido detalhadamente para demonstrar a eficiência do método de solução.
- 45 problemas-exemplos têm pastas *Excel* associadas que permitem aos estudantes trabalhar questões do tipo "O que acontece se...?" ao estudar os exemplos; muitas dessas planilhas podem ser modificadas para resolver problemas de fim de capítulo.
- Os estudantes podem usar o *Excel* para variar parâmetros dos problemas procurando obter uma melhor compreensão do procedimento de soluções complexas.
- 1315 problemas de fim de capítulo, com variados graus de dificuldade, dão oportunidades aos estudantes de praticar suas habilidades na construção de soluções dos problemas.
- O CD que acompanha este texto inclui: seções de tópicos especiais e/ou avançados para estudos complementares, 45 problemas-exemplos em pastas *Excel*, e "Uma Breve Revisão do *Excel* da Microsoft" (uma introdução aos recursos básicos do *Excel* e a algumas ferramentas avançadas tais como o *Solver* e as macros).



LTC

www.ltceditora.com.br

ISBN 978-85-216-3468-5



9 788521 614685