

Algumas Considerações Sobre Assuntos Importantes da Mecânica dos Fluidos: Classificação de Condutos - Classi- ficação de Escoamentos - Número de Froude

Coronel LEONINO JÚNIOR

Engenheiro Civil e Militar, Professor e Chefe do Laboratório de Hidráulica e Mecânica dos Fluidos, do Instituto Militar de Engenharia.

I — *Uma Justificação*

Considerando pouco claro o título dado ao presente trabalho, que procurei encurtar para não torná-lo mais definido porém muito extenso, julgo-me no dever de, antes de abordar os assuntos mencionados, esclarecer meus objetivos.

Não se trata, de modo algum, de algo novo, mas sim, ao redigir estas modestas linhas, tive o intuito de tecer certas considerações, de tentar sanar certas divergências, existentes entre conceituados autores e principalmente, entre aqueles que se dedicam ao ensino ou ao estudo da ciência dos fluidos, especialmente no nosso meio, sobre os temas citados. Embora tais divergências não constituam, de modo algum, o que poderia ser classificado como erro, penso haver necessidade de certos esclarecimentos a respeito, com a finalidade de pôr termo a dúvidas e indecisões que ocorrem, notadamente entre os estudantes da ciência, sobre os títulos enunciados, dúvidas essas cujas razões tentaremos justificar.

Tal ocorrência, conforme veremos, indica, inclusive, a necessidade que há, julgamos, de existência de normas especiais sobre a Mecânica dos Fluidos, — ciência sobre cujo valor e importância na técnica moderna ninguém põe dúvidas — no intuito de uniformizar e generalizar tanto quanto possível, entre os especialistas no assunto do mundo todo, o emprêgo de conceituação, simbologia e terminologia, adequadas e uniformes.

Haveria talvez, para isso, necessidade de criação de um órgão de existência até transitória, periódica e eventual, que composto de especialistas oriundos de diversas nações, tivesse por objetivo o estabelecimento dessas normas, que assim teriam o grande valor, o grande mérito, de uniformizar as bases, os conceitos e a simbologia da importante ciência, no mundo todo. Enquanto tal órgão, cujas dificuldades de criação bem aquilatamos, não se torna uma realidade, e para cuja criação aqui lançamos a

idéia, que o façamos, pelo menos, no nosso meio, onde tal realização apresenta, julgamos, grandes possibilidades de exequibilidade, permitindo mesmo cumprir finalidades muito mais amplas. Devemos reconhecer, com orgulho e satisfação, que no nosso país, a nova e importante ciência da Mecânica dos Fluidos, já possui uma brilhante equipe de conhecedores profundos, de verdadeiros especialistas, perfeitamente capacitados ao desempenho da tarefa que propomos, quer no âmbito nacional quer no internacional.

Pensamos mesmo, que no Brasil, no nosso estado atual de evolução na Ciência, já era tempo de posuirmos uma entidade nacional, a exemplo do que acontece em outros países, na qual seriam estudados e debatidos importantes problemas ligados ao ensino e ao emprêgo generalizado da Mecânica dos Fluidos.

Aqui fica lançada a idéia, juntamente com o nosso apêlo, aos colegas dedicados ao ensino e à prática da cadeira, para que nos unamos numa troca de conhecimentos e idéias sobre tantos e tão importantes temas especializados, muitos deles ligados a problemas de relêvo nacional, dentre os quais podemos citar aqueles que estão afetos à Hidráulica Experimental que, como sabemos, constitui um dos múltiplos ramos da bela ciência dos fluidos.

Sem qualquer sombra de dúvidas, possuímos já, na época atual, no nosso meio, um cabedal de conhecimentos, uma tradição de realizações, dentro da especialidade, que nos credenciam, em alto grau, para as decisões do mais alto nível a ela ligados.

Dentre êsses inúmeros e importantes temas, quasi que a título de exemplo, resolvemos destacar três que passaremos a abordar, emitindo sobre êles nossa modesta opinião e mostrando as divergências que em torno deles existem.

Que me ajudem com suas opiniões, com seus pontos de vista, com suas su-

gestões, os colegas especialistas e isso será, esperamos, pelo menos, um indício de que esse espírito de indispensável e valiosa cooperação também se acha entre as suas convicções. Poderia mesmo, constituir tal atitude, o início da implantação das idéias que lançamos, sobre a criação, em caráter permanente, dessa entidade especializada a que nos referimos.

Que me dêem ou tirem a razão os conhecedores do assunto e isso constituirá já, estamos certos, um primeiro passo, no trabalho de cooperação a que nos referimos.

Feitas as indispensáveis considerações a que nos julgamos obrigados, sentimo-nos com alento para passar ao trato dos assuntos enunciados, que abordamos separada e sucessivamente. Começamos pelo mais simples.

II — Classificação de Condutos

Eis aqui a primeira divergência. Como sabemos, os condutos, na Mecânica dos Fluidos, por seu comportamento inteiramente diferente face às leis que regem os escoamentos no seu interior, devem ser classificados fundamentalmente em:

- a) Condutos livres.
- b) Condutos forçados.

Muito embora não constitua novidade alguma, abordaremos a diferenciação entre êles:

a — Condutos livres

— O fluido, no seu interior, se movimenta sob a ação do próprio peso, que atúa como força predominante.

— Apresentam, em qualquer seção, uma superfície livre na qual reina, normalmente, a pressão atmosférica.

— Não trabalham normalmente, em consequência do estabelecido na letra anterior, a seção plena.

b — Condutos forçados

— Trabalham sempre a seção plena.

— Não existe, em consequência, superfície livre no seu interior.

— Existem outras forças a considerar no escoamento, além daquelas que decorrem apenas do peso do fluido.

— A pressão existente em uma seção qualquer é, normalmente, superior à atmosférica ou, eventualmente menor.

Há, no entanto, autores que classificam fundamentalmente os condutos em:

- a) Abertos.
- b) Fechados.

Estabelecem portanto em torno do assunto, para o estudante, um motivo de dúvidas e confusões a respeito de dois conceitos que, devidamente encareados, nada têm a ver. julgamos, um com o outro.

A segunda classificação está ligada, apenas, às características — geométricas da seção do conduto, se bem que saibamos que somente os condutos *fechados* podem funcionar como *forçados*. Mas também podem constituir condutos *livres*.

Não acham os doutos colegas que há confusão em torno do assunto?

Essa confusão seria sanada e os conceitos respectivos seriam uniformizados e generalizados, se houvesse normas a respeito, classificando os condutos, de um modo geral em:

1 — Quanto às *condições* (?) do *escoamento* que se processa no seu interior:

- a) Livres.
- b) Forçados.

cuja diferenciação já estabelecemos.

2 — Quanto à *forma geométrica* da seção:

- a) Circulares.
- b) Retangulares.
- c) Trapezoidais, etc.

3 — Quanto à *continuidade do perímetro* da seção:

- a) Abertos — quando o perímetro não é contínuo;
- b) Fechados — quando o perímetro é contínuo.

4 — Quanto à *natureza das parêdes*:

- a) Lisos — quando, para todos os efeitos, as parêdes internas podem ser consideradas perfeitamente lisas, não influenciando *praticamente* no escoamento. Caberiam aqui, naturalmente, esclarecimentos a respeito, sobre o conceito de *liso* em Mecânica dos Fluidos, uma vez que sabemos que materialmente isso é impossível.

- b) Rugosos — quando, pela natureza das suas parêdes internas, deve essa rugosidade ser considerada, por influir nas condições de escoamento.

Caberia aqui, igualmente, que o conceito de rugosidade fôsse ou já estivesse definido.

III — Modalidades de Escoamentos

Neste aspecto é bem maior a diversidade de terminologia, com o emprêgo, entre outros, principalmente dos termos: tipos, gêneros, regimes, naturezas, características, modalidades, espécies, categorias, formas (vejam quantas palavras), para as situações mais dispares. Tentemos, portanto, estabelecer a classificação uniforme que julgamos mais adequada.

Os escoamentos, de um modo geral, poderiam ter as seguintes classificações:

a) Quanto ao tipo:

1 — Para condutos forçados de seção circular:

— Laminar: $NR < 2.000 (*)$
 — Transitório: $2.000 < NR < 4.000$

— Turbulento: $NR > 4.000$ sendo o valor linear do número, calculado com o diâmetro interno do conduto.

2 — Para condutos livres ou forçados, de seção qualquer:

— Laminar: $NR < 500$
 — Transitório: $500 < NR < 1.000$
 — Turbulento: $NR > 1.000$ sendo o valor linear do número calculado por meio do raio hidráulico.

b) Quanto ao regime:

— Permanente (+) — Quando, em qualquer ponto de uma seção qualquer, as características do escoamento

permanecem invariáveis em relação ao tempo.

— Não Permanente — Quando a condição anterior não é satisfeita.

c) Quanto à natureza:

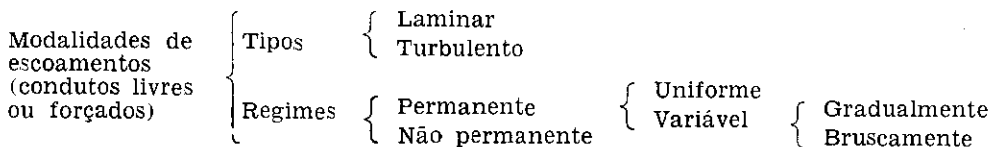
— Uniforme — Quando, satisfeitas as condições de permanência, são elas invariáveis ao longo de todo o conduto.

— Não uniforme ou variável — Quando as condições de permanência variam de uma para outra seção. Temos aqui a considerar uma sub-divisão quanto à variação:

— Gradualmente variável — quando a variação acima se efetua de maneira progressiva, podendo-se admitir, sem grande erro, como hipótese simplificadora, que dentro de trechos suficientemente pequenos as características de uniformidade são obedecidas.

— Bruscamente variável — quando a hipótese acima não pode ser aplicada e portanto a variação de uma seção para outra se processa de modo brusco ou acentuado.

Poderíamos, portanto, reunir em uma chave a classificação estabelecida:



Como complemento, considerando apenas os condutos livres, podemos estabelecer as seguintes formas:

— Tranquilo, Superior, Sub-crítico, Fluvial — Quando o tirante é superior ao crítico ($NF < 1$).

— Crítico — Quando o tirante corresponde ao tirante crítico ($NF = 1$).

— Torrencial, Inferior, Super-crítico, Rápido — Quando o tirante é inferior ao crítico ($NF > 1$).

Julgamos haver, com a chave acima, estabelecido uma maneira geral e definitiva para a classificação das diferentes modalidades de escoamentos que podem ocorrer na prática.

Abordaremos, finalmente, o último assunto do nosso trabalho.

IV — Número de Froude (NF)

No que diz respeito ao importante e largamente empregado número, reina grande divergência, quanto à sua expressão algébrica. Autores há que o representam como:

$$NF = \frac{v^2}{gh}$$

enquanto que outros escrevem:

$$NF = \frac{v}{\sqrt{gh}}$$

Em qualquer dos casos, sabemos que:

v — é a velocidade média, em uma determinada seção, do escoamento considerado;

g — é a aceleração da gravidade no local;

h — é um valor linear característico do sistema (normalmente uma profundidade).

Quem estará com a razão?

Julgamos que estejam certos os que representam da segunda maneira e procuraremos justificar as razões da nossa decisão.

Ora, todos aqueles que lidam com o número de Froude, sabem que ele envolve conceitos, em consequência dos quais se pode tirar partido da expressão do número para várias e importantes aplicações na Mecânica dos Fluidos de um modo geral ou na Hidráulica, em particular.

Entre essas aplicações importantes, destacamos as seguintes:

a) Fixação e estabelecimento de relações de semelhança entre sistemas de escoamentos, em que predomina a ação de forças oriundas da gravidade.

(*) Fixando-se, em definitivo, um valor prático arredondado para o clássico número, que pudesse ser válido, pelo menos, para finalidades didáticas, dada a frequente, natural e perfeitamente justificável disparidade existente entre os diversos autores, motivo justo de dúvidas e indecisões no espírito dos iniciantes.

(+) Corresponde ao "Steady-flow" na língua inglesa.

- b) Estudo, interpretação e caracterização de formas de escoamentos em condutos livres.
- c) Estabelecimento de relações de analogia para a realização de estudos experimentais comparativos, entre escoamentos em um conduto livre (normalmente um canal de ensaios ou provas) e comportamento de perfis diversos que se deslocam em *fluidos compressíveis*, a velocidades cobrindo a gama das sub-sônicas, passando pelas trans-sônicas, super-sônicas e atingindo mesmo as hiper-sônicas.

Somente as citações acima são, julgamos, mais que suficientes para mostrar a importância considerável que assume o número de Froude na moderna Mecânica dos Fluidos e conseqüentemente, o valor e o cuidado que devem ser dados à sua conceituação no seu estudo e emprêgo.

No entanto, para que as relações matemáticas daí decorrentes possam ser convenientemente deduzidas, para que a Análise Dimensional possa estabelecer a correlação existente entre o número em apêço e outros igualmente importantes, como o número de Reynolds, frequentemente empregados, como sabemos, em várias e importantes aplicações da Mecânica dos Fluidos, torna-se necessário que a última das expressões seja adotada.

Nas aplicações do número de Froude, citadas nas letras *b* e *c* anteriores, torna-se imprescindível que o número seja considerado como a relação entre a velocidade média do escoamento (v) e a celeridade de uma onda elementar pura de gravidade $V = \sqrt{gh}$, o que vem a constituir a conhecida e fundamental fórmula de Lagrange, largamente empregada, como sabemos, no estudo dos fenômenos ondulatórios.

As relações de que trata a letra *b* nos conduzem, através da representação do número de Froude da segunda maneira, à interpretação do importante fenômeno de propagação dos ressaltos, enquanto que a importante aplicação referida na letra *c* nos permite estabelecer uma correlação entre o número de Froude e o igualmente notável número de Mach que, como sabemos, comanda o estabelecimento das relações de semelhança nos fluidos compressíveis, e só pode ser feita, também, mediante a adoção dessa mesma maneira de representação.

Tanto é mais correta a representação do número de Froude através do segundo aspecto, que autoridades como Rehboch (+) primeiro e depois Bakmeteff (x) em sua obra clássica sobre canais, adotaram uma expressão especial $\frac{v^2}{gh}$, para designação da fórmula —, que

consideramos muito adequada e expressiva, chamando-a “fator de energia cinética” evitando, com isso, confusões com a representação clássica do número e dando, ao mesmo tempo, uma designação característica para a outra forma, que poderia perfeitamente ser adotada pelos autores em caráter definitivo, sanando-se, com isso, as dúvidas que comumente surgem sobre a representação e a interpretação do importante número, principalmente no espírito dos estudantes. Se os dois grandes mestres citados, não estivessem de acôrdo com a representação clássica, não teriam criado essa designação especial para o quadrado do número, cuja interpretação e conceituação alteram completamente a definição do original.

IV — Conclusões

Julgamos haver demonstrado, pela simples consideração dos assuntos enumerados, a disparidade, a falta de uniformidade existente, entre os diferentes autores, no trato de assuntos tão importantes da Mecânica dos Fluidos e, conseqüentemente, da Hidráulica.

Quanto à simbologia, é ela igualmente diversificada, principalmente constatada quando se compara, por exemplo, obras de procedência americana e europeia.

As conseqüências de tais divergências para os especialistas e principalmente, para os estudantes, são, indiscutivelmente, altamente prejudiciais.

Tal fato ainda mais se acentua no Brasil, pobre, como sabemos, em bibliografia especializada nacional e para isso, julgamos, ainda mais concorre a inexistência de um órgão especializado que, congregando os técnicos e estudiosos do país, pudesse, mediante a realização de reuniões periódicas, pelo amplo e produtivo debate dos importantes assuntos estabelecer bases de cooperação, redigir normas, fixar símbolos e conceitos, em um intercâmbio de opiniões e conhecimentos, que só poderia proporcionar resultados altamente compensadores para o desenvolvimento do ensino e da técnica especializada no nosso meio.

Aqui fica lançada a idéia e, sobre os assuntos abordados, será com grande interesse e satisfação que receberemos as sugestões e pareceres dos capacitados mestres e colegas, apresentando-lhes, desde já, nossos antecipados agradecimentos, e fazendo votos para que estas modestas e simples linhas lhes sejam de alguma utilidade, despertando-lhes, pelo menos, a atenção para divergências existentes em três assuntos importantes da Mecânica dos Fluidos.

(+) Th. Rehbock: Zur Frage des Brückenstaues, Zentrablatt der Bauverwaltung, Berlin, vol. 39, n.º 37, pp. 197 - 200, 1919.

(x) Boris A. Bakhameteff “Hydraulics of Open Channels” Mc-Graw - Hill Book Company Inc, New York, 1932, pag. 64.