



Prototipagem acessível do experimento de Reynolds

Samuel Soares de Souza Júnior¹, Glaucio Luciano Araujo²

¹Graduando em Engenharia Civil, UNIFACIG, Manhuaçu-MG, samuel.junior@sempre.unifacig.edu.br.

²Doutor em Engenharia Agrícola, UNIFACIG, Manhuaçu-MG, glaucio.araujo@sempre.unifacig.edu.br

Resumo: O conhecimento sobre o movimento das partículas de um fluido é fundamental para o correto dimensionamento de obras e máquinas hidráulicas, diante disso, faz-se necessário o estudo do escoamento dos fluidos viscosos não compressíveis em ambiente de confinamento. Por meio da mecânica dos fluidos esses movimentos podem ser analisados e classificados em escoamento laminar, transitório e turbulento. A classificação desses escoamentos foi feita por meio da Experiência de Reynolds, que, por sinal, acaba dando nome ao número que os classifica. A pesquisa realizada tem como objetivo a prototipagem de uma máquina hidráulica acessível, ou seja, utilizando materiais de baixo custo e que sejam fáceis de encontrar, para o estudo dos escoamentos laminares, transitórios e turbulentos, e do número de Reynolds. A realização do dispositivo com materiais acessível foi bem sucedida e permitiu identificar e analisar os escoamentos laminar, transitório e turbulento.

Palavras-chave: Mecânica dos fluidos; Escoamento laminar; Escoamento transitório; Escoamento turbulento; Experiência de Reynolds.

Área do Conhecimento: Engenharias.

Accessible prototyping of the Reynolds experience

Abstract: The knowledge about the movement of the particles of a fluid is fundamental for the correct dimensioning of hydraulic works and machines, therefore, it is necessary to study the flow of viscous non-compressible fluids in a confined environment. Through fluid mechanics these movements can be analyzed and classified into laminar, transient and turbulent flow. The classification of these flows was made through the Reynolds Experience, which, by the way, ends up giving the name to the number that classifies them. The research carried out aims at the prototyping of an accessible hydraulic machine, that is, using low-cost materials that are easy to find, for the study of laminar, transient and turbulent flows, and the Reynolds number. The realization of the device with accessible materials was successful and allowed to identify and analyze laminar, transient and turbulent flows.

Keywords: Fluid mechanics; Laminar flow; Transient flow; Turbulent flow; Reynolds experience.

INTRODUÇÃO

Os fluidos se movimentam e se manifestam de várias maneiras diferentes. Alguns movimentos podem ser descritos facilmente, enquanto outros necessitam de um entendimento completo das leis da física. Nas aplicações da engenharia é importante descrever os movimentos dos fluidos de forma mais simples, no entanto isso depende geralmente da precisão necessária para os processos. Segundo Potter, Wiggert e Ramadan (2015), precisões de mais ou menos 10% são aceitáveis embora em algumas aplicações precisões maiores devam ser atingidas.

As equações gerais de movimento são muito difíceis de se resolver, consequentemente é de responsabilidade de um engenheiro saber quais passos de simplificação podem ser realizados, sendo que isso obviamente requer grande conhecimento da física que envolve o movimento (POTTER, WIGGERT e RAMADAN, 2015).

Algumas hipóteses comuns utilizadas para simplificar uma dada situação de escoamento são as relacionadas às propriedades do fluido. Por exemplo, sob certas condições, a viscosidade pode afetar significativamente o escoamento; em outros fluidos os efeitos da viscosidade podem ser desprezados, simplificando as equações sem alterar a precisão e previsões.

A análise de problemas complexos de escoamentos de fluidos é muitas vezes auxiliada pela visualização dos padrões dos escoamentos, que permitem o desenvolvimento de uma compreensão mais intuitiva e ajuda na formulação matemática dos problemas. Entretanto, os experimentos realizados para a visualização dos padrões de escoamento tendem a ter um alto custo, ou utilizam de itens ou materiais de difícil acesso. Com isso, faz-se necessário encontrar meios de prototipagem desses experimentos que sejam viáveis, ou seja, que utilize materiais de baixo custo e que sejam facilmente encontrados, para que assim, eles possam ser reproduzidos por qualquer pessoa.

Mediante aos fatos descritos acima, esse artigo tem como objetivo a prototipagem de uma máquina hidráulica acessível, ou seja, composta por materiais de fácil acesso e de baixo custo, na qual seja possível a visualização e análise dos escoamentos laminar, transitório e turbulento, e, em seguida, determinar o número de Reynolds para cada regime.

REFERENCIAL TEÓRICO

Do ponto de vista da mecânica dos fluidos, a matéria é classificada em dois estados, fluido e sólido. O que difere os dois é como cada um resiste a aplicação de tensões. Os sólidos, quando submetido a uma tensão de cisalhamento, apresentam uma deformação estática ou um rompimento por completo. Já os fluidos, quando submetidos a uma tensão de cisalhamento, acabam por se movimentar, ou seja, há um escoamento desse material, essa ação ocorre enquanto houver uma tensão atuando sobre o fluido e aumenta conforme a intensidade da força atuante (KWONG, 2010).

O escoamento dos fluidos, que é definido por Roma (2006) como o processo de movimentação de suas moléculas, umas em relação às outras. Essa movimentação das moléculas pode ser caracterizada em três grupos, laminar, transitório e turbulento (figura 1). Em um regime laminar, o fluido escoar em uma velocidade baixa, o que gera um movimento mais organizado. Já no regime turbulento, o escoamento do fluido ocorre de maneira desorganizada, devido a sua alta velocidade de escoamento. O regime transitório é um período de transição entre os outros dois regimes.

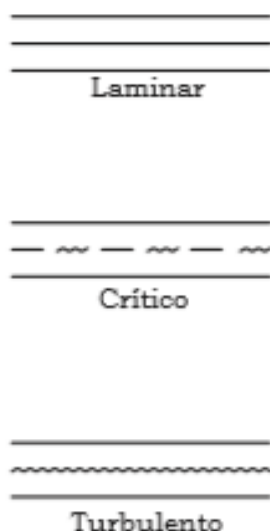


Figura 1 – Caracterização dos regimes (Fonte: COIMBRA, 2015).

Em 1833 Osborne Reynolds realizou um experimento para verificar a movimentação das moléculas e esses regimes (figura 2). O experimento consistia em um tubo transparente onde, em uma de suas extremidades possuía uma válvula para o controle da variação da velocidade, e a outra extremidade era ligada a um reservatório com água. No eixo do tubo era inserido um líquido com corante e de viscosidade similar à da água para observar seu comportamento após inserção. Durante o experimento Reynolds observou que ao abrir pouco a válvula, isto é, o fluido escoando a uma velocidade baixa, o líquido inserido em meio à água escoava como um filete reto e contínuo no eixo de tubo, caracterizando o regime laminar. Quando a velocidade aumentava, ou melhor, quando

se abria mais a válvula, o filete começava a ter perturbações, escoando de maneira ondulada até que desaparecesse em meio a água, caracterizando o regime turbulento (BRUNETTI, 2008)

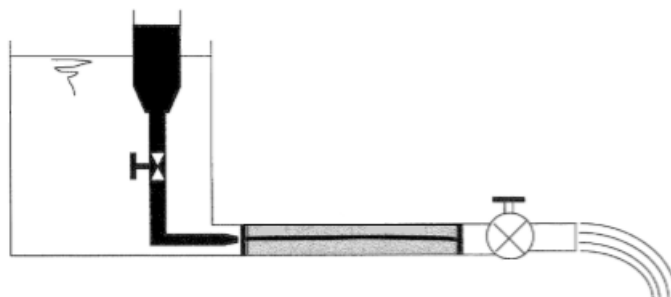


Figura 2 – Desenho esquemático do dispositivo hidráulico (Fonte: BRUNETTI, 2008).

No entanto, utilizar “baixa velocidade” ou “alta velocidade” para caracterizar os limites desses regimes não é o suficiente, pois eles servem apenas como referência em relação a algo. Mediante a isso fez-se necessário a utilização de um parâmetro específico para determinar os limites, o parâmetro encontrado para isso é o número de Reynolds, que é um valor adimensional e caracterizado pela sílaba “Re” (KWONG, 2010).

Entretanto, na prática não há um valor exato de Reynolds que defina os limites de escoamento laminar e turbulento, isso fica explícito conforme os valores informados pelos autores Belisio (2017, pg 63). Segundo Coimbra (2015, pg 101), “As experiências de Reynolds mostraram que o número de Reynolds crítico de transição entre os escoamentos laminar e turbulento oscila entre, aproximadamente, 2.000 a 5.000”. Segundo Brunetti (2008, pg 69), o número de Reynold máximo para o escoamento laminar é de 2000, e para o regime turbulento o número de Reynold mínimo é de 2400. Segundo Kwong (2010, pg 28) “o escoamento num tubo é laminar se o número de Reynolds é menor que aproximadamente 2100, o escoamento é turbulento se o número de Reynolds é maior que 5000”. E segundo Cengel & Cimbala, (2007, pg 208), “o escoamento de um tubo circular é laminar para Re menor ou igual a 2300, turbulento para Re maior ou igual a 4000, e de transição entre esses valores”.

Para determinar-se o número de Reynolds utiliza-se a seguinte expressão:

$$Re = \frac{\rho * V * D}{\mu} = \frac{V * D}{\nu}$$

Onde, V é a velocidade média de escoamento, dada em m/s. D é o comprimento característico da geometria, no caso de tubos circulares, o diâmetro, dado em metros. ν é a viscosidade cinemática do fluido, dado em m^2/s . μ é a viscosidade dinâmica, dado em $Pa*s$. E ρ é a densidade do fluido, dado em Kg/m^3 .

MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento desse trabalho, utilizou-se um tipo de pesquisa básica, tendo início com uma extensão do embasamento teórico acerca do tema por meio de uma revisão literária. Em seguida realizou-se a prototipagem de uma máquina hidráulica que fosse possível ser replicada facilmente e que permitisse o estudo experimental do número de Reynolds (Re).

A máquina é composta por dois reservatórios, identificados nesse artigo como reservatório 1 e reservatório 2. O reservatório 2 se encontra em meio ao reservatório 1 e possui uma saída com diâmetro interno de 8 mm controlada por uma torneira. O reservatório 1 possui volume consideravelmente maior do que o reservatório 2 e está acoplado a uma saída com diâmetro interno de 25 mm por onde ocorrerá o escoamento. A saída de 25 mm é composta por um tubo transparente com 1,5 metros de comprimento, que, por sua vez, possui um registro na extremidade oposta ao reservatório, para o controle do fluxo de fluidos. E para que haja a inserção de um fluido em meio à

outro, um tubo transparente com diâmetro interno de 3 mm é ligado a saída de 8 mm do reservatório 2 e termina na metade do tubo que sai do reservatório dois, lá há uma redução para uma saída com diâmetro interno de 1,5 mm e uma haste que centraliza essa saída em meio ao tubo de 25 mm.



Figura 3 – Desenho esquemático do dispositivo hidráulico (Fonte: Os autores).

A montagem do dispositivo, feito de maneira que pudesse ser replicado por qualquer pessoa, sem que fosse necessário a utilização de itens de acesso restrito ou de custo elevado, iniciou-se pelos reservatórios. O reservatório 1 consiste numa caixa de polipropileno, com dimensões de 25 cm x 25,5 cm x 19 cm (figura 4 – A), neste reservatório foram colocadas três saídas roscáveis (figura 4 – B) para que pudesse manter um nível de água constante. Além disso, ele possui uma saída com diâmetro interno de 25 mm (figura 4 – C) que é ligada por meio de uma luva a um tubo de mesmo diâmetro onde será analisado o escoamento. Para que essa ligação entre o tubo e a luva fosse efetiva, foi necessário circundar a ponta do tubo com uma fita.



Figura 4 - A – Reservatório 1 (Fonte: Os autores).



Figura 4 - B – Saída roscável (Fonte: Os autores).



Figura 4 - C – Saída de 25 mm do reservatório 1 (Fonte: Os autores).

Já o reservatório 2, consiste numa simples garrafa pet com diâmetro de 9 cm (figura 5 – A). Nela foi realizado um furo para que pudesse ser encaixado uma torneira (figura 5 – B) que permite o controle de vazão do fluido. Essa torneira foi conectada a um tubo incolor com diâmetro interno de 8 mm que posteriormente recebia uma redução também incolor para que pudesse se conectar ao tubo com diâmetro interno de 3 mm que vai até o local onde será analisado o escoamento, lá ele recebia uma redução final com diâmetro interno de 1,5 mm para que a saída do fluido fosse a menor possível. Por fim, o reservatório 2 foi posicionado dentro do reservatório 1 (figura 6) para que os fluidos nos dois recipientes compartilhassem de uma mesma temperatura.



Figura 5 - A –
Reservatório 2
(Fonte: Os autores).



Figura 5 - C –
Reservatório 2 montado
(Fonte: Os autores).



Figura 6 – Reservatório 1 e 2 em suas devidas posições (Fonte: Os autores).

O tubo de 25 mm por onde os fluidos escoam possui 1,45 m e foi fixado em uma taboa de 0,1 m x 1,45 m. Em uma de suas extremidades foi colocada uma luva com diâmetro interno de 32 mm (figura 7 – B), e, assim como na saída do reservatório 1, foi necessário circundar a ponta do tubo com uma fita para que essa conexão fosse efetiva. Na extremidade oposta, foi colocado um registro de esfera com diâmetro interno de 32 mm (figura – C) para que pudesse controlar a velocidade de escoamento do fluido, permitindo assim, analisar os escoamentos laminar, transitório e turbulento, e, bem como na inserção da luva na extremidade oposta, foi necessário a utilização de fita para que a conexão entre o tubo e o registro fosse eficaz.



Figura 7 - A – Tubo por onde ocorre o escoamento dos fluidos
(Fonte: Os autores).



Figura 7 - B – Extremidade do tubo com luva (Fonte: Os autores).



Figura 7 - C – Extremidade do tubo com registro (Fonte: Os autores).

Em meio ao tubo, mais precisamente a 70 cm da luva e a 75 cm do registro, foi inserido uma haste de plástico, de maneira que sua extremidade livre ficasse no centro do tubo de 25 mm. Essa extremidade foi conectada a um tubo com diâmetro interno de 1,5 mm com 1,5 cm de comprimento (figura 8) que, por sua vez, era conectado ao tubo com diâmetro interno de 3 mm de 95 cm de

comprimento que percorria o tubo de 1" em sentido a extremidade com a luva e era conectado a redução que sai do reservatório 2.



Figura 8 – Tubo de 1,5 mm no centro do tubo de 25 mm (Fonte: Os autores).

Por fim, foram realizados testes no dispositivo hidráulico para identificar os regimes laminar, transitório e turbulento. Para cada regime a vazão foi mensurada por um cronometro e um recipiente que possuía marcações de volume.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para realizar as análises de escoamento, o reservatório 1 foi preenchido com água a 20°C (figura 10 – A) e o reservatório 2 preenchido com água também a 20°C e corante (figura 9), de maneira que a viscosidade desses dois fluidos fosse similar, podendo desprezar a diferença entre eles.



Figura 9 – Reservatório 2 com flúido (Fonte: Os autores).



Figura 10 - A – Reservatório preenchidos e em seus respectivos lugares (Fonte: Os autores).



Figura 10 - B – Reservatório preenchidos e em seus respectivos lugares (Fonte: Os autores).



Figura 10 - C – Máquina hidráulica em funcionamento (Fonte: Os autores).

Em seguida, o registro foi sendo ajustado até que fosse possível identificar o regime laminar (figura 11). Logo após, o recipiente utilizado para mensurar a vazão foi inserido na saída do registro, e, por meio de um cronometro, foi verificado o tempo necessário para que o fluido alcançasse a marca de 500 mL (figura 12), e assim foram anotados os valores referentes a vazão para o regime laminar, essa verificação foi realizada por seis vezes.



Figura 11 – Regime laminar (Fonte: Os autores).



Figura 12 – Vazão sendo verificada (Fonte: Os autores).

Segundo Cengel & Cimbala, (2007, pg 42) a viscosidade dinâmica da água a 20°C é de 1 centipose, que é equivalente a 0,001 Pa*s . Considerando que o corante inserido em meio ao fluido no reservatório 2 gera uma alteração de viscosidade desprezível, podemos calcular o número de

Reynolds para as velocidades obtidas anteriormente. Os resultados obtidos foram organizados na tabela 1 para análise.

Tabela 1 – Resultados obtidos ao analisar o regime laminar.

	Tempo (s)	Vazão (m³/s)	Velocidade (m/s)	Número de Reynold
1º	00:00:38	1,32*10e-5	0,0269	672,5
2º	00:00:37	1,35*10e-5	0,0275	687,5
3º	00:00:31	1,61*10e-5	0,0328	820
4º	00:00:35	1,43*10e-5	0,0291	727,5
5º	00:00:35	1,43*10e-5	0,0291	727,5
6º	00:00:35	1,43*10e-5	0,0291	727,5
Média	00:00:35	1,43*10e-5	0,0291	727,5

Em seguida o registro foi ajustado até que fosse possível identificar o regime transitório (figura 13). Logo após, foram feitos os mesmos procedimentos realizados no regime laminar, ou seja, mensurou-se a vazão seis vezes e, posteriormente, realizou-se o cálculo para identificar o número de Reynolds para as velocidades obtidas. Os resultados obtidos foram organizados na tabela 2 para análise.



Figura 13 – Regime transitório (Fonte: Os autores).

Tabela 2 – Resultados obtidos ao analisar o regime turbulento.

	500 ml	Vazão (m³/s)	Velocidade (m/s)	Número de Reynold
1º	00:00:17	2,94*10e-5	0,06	1500
2º	00:00:19	2,63*10e-5	0,05358	1339,5
3º	00:00:18	2,78*10e-5	0,0566	1415
4º	00:00:17	2,94*10e-5	0,0599	1497,5
5º	00:00:17	2,94*10e-5	0,0599	1497,5
6º	00:00:17	2,94*10e-5	0,0599	1497,5
Média	00:00:17	2,94*10e-5	0,0599	1497,5

Por fim, o registro foi ajustado até que fosse possível identificar o regime transitório (figura 14). Logo depois, foram feitos os mesmos procedimentos realizados no regime laminar e transitório, ou seja, mensurou-se a vazão seis vezes e, seguidamente, realizou-se o cálculo para identificar o número de Reynolds para as velocidades obtidas. Os resultados obtidos foram organizados na tabela 3 para análise.



Figura 14 – Regime turbulento (Fonte: Os autores).

Tabela 3 – Resultados obtidos ao analisar o regime turbulento.

	500 ml	Vazão (m³/s)	Velocidade (m/s)	Número de Reynold
1º	00:00:09	5,56*10e-5	0,1133	2832,5
2º	00:00:09	5,56*10e-5	0,1133	2832,5
3º	00:00:08	6,25*10e-5	0,1273	3182,5
4º	00:00:09	5,56*10e-5	0,1133	2832,5
5º	00:00:10	5*10e-5	0,1019	2547,5
6º	00:00:09	5,56*10e-5	0,1133	2832,5
Média	00:00:09	5,56*10e-5	0,1133	2832,5

Comparando os resultados obtidos no experimento, constata-se que o regime laminar está conforme todos os autores citados anteriormente. Entretanto, o regime transitório não se enquadrou em nenhum dos limites definidos pelos autores. Por fim, o regime turbulento se enquadrou apenas no limite definidor por Brunetti (2008). Isso vai de encontro com Belisio (2017, pg 63), que alega que na prática não há um valor exato de Reynolds que defina os limites de escoamento laminar e turbulento.

CONCLUSÃO

Diante dos resultados exposto, constata-se que a realização de uma máquina hidráulica acessível para a análise dos regimes laminar, transitório e turbulento, foi bem sucedida. Os materiais utilizados são de fácil acesso e de custo relativamente baixo. Os resultados permitem o entendimento e compreensão dos conceitos de Reynolds de uma maneira mais clara. Ao analisar cada regime separadamente, verifica-se que o laminar atende a todos os autores citados no artigo, o turbulento atende ao valor mínimo estipulado por Brunetti (2008) e o transitório se aproxima da média dos autores, mas não atende a nenhum deles, o que já era esperado mediante a adaptação dos materiais e, como dito por Belísio (2017, pg 63) não há um valor exato, na prática, que defina o número de Reynolds para os limites de escoamento laminar turbulento.

Para análises futuras, recomenda-se buscar uma solução para mensurar de maneira instantânea a velocidade de escoamento do fluido, para que assim, seja possível realizar cálculos mais precisos, com menos tempo e agilizar a regulação entre regimes, sendo este o maior empecilho durante este o estudo.

REFERÊNCIAS

BELISIO, A. S. **Fenômenos de transportes**. 1 ed. Rio de Janeiro: SESES, 2017.

BRUNETTI, F. **Mecânica dos Fluidos**. 2 ed. rev. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

COIMBRA, A. L. **Mecânica dos Fluidos**. 1. ed. Rio de Janeiro : E-papers, 2015.

ÇENGEL, Y. A; CIMBALA. J. M. **Mecânica dos fluidos: fundamentos e aplicações**. Porto Alegre: AMGH, 2012.

KWONG, W. H. **Fenômenos de transportes: mecânica dos fluidos**. São Carlos: EdUFSCar, 2010.

POTTER, M. C; WIGGERT, D . C; RAMADAN, B. H. **Mecânica dos Fluidos**. São Paulo: Cengage Learning, 2015.

ROMA, W. N. L. **Fenômenos de transporte para engenharia**. São Carlos: RiMa, 2006.