

XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HIDRÍCOS DO NORDESTE

EXPERIÊNCIA DE REYNOLDS EM BANCADA DE LABORATÓRIO

Thais Terra Carnio¹, Eva Carolline Martins Oliveira, Geraldo Dragoni Sobrinho, Antonio Carlos Reginaldo, José Geraldo Pena de Andrade, Mayara de Oliveira Maia Silva & Lubienska Cristina Lucas Jaquiê Ribeiro

RESUMO – Osborne Reynolds é um nome muito conhecido na área de ciências exatas por seus muitos estudos e experiências. Para a graduação seus experimentos são de fundamental importância, pretende-se com esse trabalho encantar os alunos para a realização de experiências em laboratório e até mesmo mostrar a importância da hidráulica na vida delas. Com experiências em laboratório a teoria se transforma em algo palpável aos olhos do estudante. Com isso as disciplinas da área de fluídos que são vistas como complicadas e incompreensíveis podem passar a serem disciplinas agradáveis e bem recebidas pelos alunos, o que levará um retorno dos alunos ao uso do laboratório de hidráulica que nesta Unidade estava desabitado.

ABSTRACT– Osborne Reynolds is a name well known in the area of exact sciences for his many studies and experiments. For undergraduate their experiments are of fundamental importance, we intend to work with this enchant students to conduct laboratory experiments and even show the importance of hydraulics in their lives. In laboratory experiments the theory is transformed into something tangible in the eyes of the student. With that the disciplines of fluid that are seen as complicated and incomprehensible can spend pleasant and disciplines to be well received by students, which will take a return of students to the use of hydraulics laboratory that this unit was uninhabited.

Palavras-Chave – Reynolds, Escoamento em Tubulações, Prática de laboratório.

1. INTRODUÇÃO

Em Ciências da Engenharia Mecânica provavelmente não há nome mais conhecido do que o de Osborne Reynolds. Suas contribuições originais e duradouras em meteorologia, hidrodinâmica, lubrificação, fluxo de gases, propulsão marítima, e na aplicação de semelhança dinâmica dos fenômenos das marés e do rio, são obras de grande importância na ciência clássica.

Reynolds nasceu em Belfast em 1842, iniciou seus estudos primeiramente em Dedham, trabalhando após com Edward Hayes, um engenheiro mecânico, em 1861. Durante essa fase teve um aprendizado com Hayes de modo a aprender a arte da mecânica, seguindo após para Cambridge, tal como seu pai. Em Cambridge graduou-se em matemática, terminado em 1867. Começou a trabalhar na firma de engenharia civil, e durante trinta e sete anos foi professor pesquisando e contribuindo significativamente sobre uma grande variedade de assuntos a respeito de engenharia e física.

Em 1873 sua atenção se voltou em direção à mecânica, especialmente para a dos fluidos, em um importante artigo "An Investigation of Circumstances which Determine whether the Motion in Parallel Channels shall be Direct or Sinuous of the Law of Resistance in Parallel Channels" Reynolds investigou experimentalmente o caráter de líquidos fluindo através de tubos e canais e demonstrou a existência de linhas de corrente e regimes turbulentos nos escoamentos. Mostrou também que existe uma velocidade crítica, dependente da viscosidade cinemática do fluido, do diâmetro do tubo, e de um parâmetro físico constante, o número de Reynolds, a partir da qual ocorre a transição entre os dois tipos de escoamento possíveis (laminar e turbulento).

De modo semelhante pode-se calcular o número de Reynolds, conhecendo-se a velocidade do escoamento, onde percebe-se que a transição do regime laminar para o turbulento ocorre comumente para o número de Reynolds entre 2000 e 3000. As tensões de Reynolds resultaram da análise dos escoamentos turbulentos, e representavam justamente as tensões resultantes das flutuações de velocidade e, conseqüentemente, da quantidade de movimento do fluido nesse tipo de escoamento. Essas tensões desempenharam importante papel para o desenvolvimento das teorias a

respeito de escoamentos turbulentos.

1.1 Introdução ao assunto

Foi elaborado um projeto da construção de uma bancada para realizar experimentos de Reynolds. O equipamento é similar ao construído pelo Osborne Reynolds para mostrar os tipos de fluidos, classificando-os como laminar, de transição e turbulento, visualmente e confirmando os mesmos através de cálculos.

1.2 Introdução da literatura

Para o experimento de Reynolds, utiliza-se a água como um líquido incompressível para fins de cálculo, isto é lançam mão das Leis da Mecânica dos fluidos para obter resultados de aplicação prática.

Fluido: uma substância que não tem forma própria, assim assume o formato do recipiente. Portanto são os líquidos e os gases, o primeiro apresenta superfície livre enquanto que os gases se distinguem por ocuparem todo o recipiente (BRUNETTI,2005).

Diz que um fluido é incompressível se o seu volume não varia ao modificar a pressão. Isto é se o fluido for incompressível a sua massa não varia com a pressão (BRUNETTI,2005).

O escoamento de um fluido real é mais complexo que o de um fluido ideal. Para se obter um fluido real ele deve ter as seguintes características: ser compressível, viscoso e seu escoamento deve ser rotacional e turbulento. A viscosidade dos fluidos reais é responsável pelas forças de atrito entre as partículas fluidas, bem como entre estas e os contornos sólidos.

Para que o escoamento ocorra, um trabalho deve ser realizado contra as forças de atrito e, durante este processo, parte da energia mecânica se transforma em calor, isto princípios da energia.

Existem dois tipos de escoamento permanente de fluidos reais: o escoamento laminar e o escoamento turbulento. Para definir esses dois tipos de escoamento recorrem-se à experiência de Reynolds (1883), que demonstrou sua existência.

Laminar: As partículas do fluido deslocam-se reto e contínuo, conclui-se que as partículas viajam sem agitações transversais, mantendo-se em lâminas concêntricas, entre as quais não há troca macroscópica de partículas. Para que ocorra, é necessário que as partículas desloquem-se com uma certa velocidade, denominada de velocidade crítica inferior.

A viscosidade do fluido é dominante e assim suprime qualquer tendência a condições turbulentas. O perfil da velocidade é parabólico e as condições são de equilíbrio

Velocidade crítica é a velocidade abaixo da qual toda turbulência é amortecida pela viscosidade do fluido. O limite superior representado pelo número de Reynolds para o escoamento laminar é aproximadamente igual a 2.000.

Turbulento: as partículas do fluido movem-se ao acaso heterogeneamente em todas as direções durante o escoamento, não permanecendo assim em camadas. As partículas apresentam velocidades transversais importantes, já que o filete desaparece pela diluição de suas partículas no volume de água. Para que isso ocorra, no escoamento laminar tem que haver um acréscimo de velocidade, que é a velocidade crítica superior. Percebe-se então que os dois tipos de escoamento são separados por um escoamento de transição. (BRUNETTI, 2005) De uma forma geral, na prática, o escoamento se dá em regime turbulento, exceção feita a escoamentos com velocidades muito reduzidas ou fluidos de alta viscosidade.

Isso dá para ser observado através do aparelho como ilustrado na Figura que consiste em um reservatório com água, um tubo de acrílico, em cuja extremidade é adaptado um convergente, é mantido dentro do reservatório e ligado a um sistema externo que contém uma válvula (torneira) que tem a função de regular a vazão. No eixo do tubo de acrílico é injetado um líquido corante que possibilitará a visualização do padrão de escoamento.

Para garantir o estabelecimento do regime permanente, o reservatório contendo água deve ter dimensões adequadas para que a quantidade de água retirada durante o experimento não afete significativamente o nível do mesmo, e ao abrir ou fechar a válvula de controle de vazão de água, as observações devem ser realizadas após um intervalo de tempo suficientemente grande para que haja estabilidade. O ambiente também deve ter sua temperatura e pressões controladas.

Ao abrir gradualmente a válvula de controle de vazão de água, observa-se a formação de um filete retilíneo paralelo ao eixo do tubo, neste tipo de movimento definido como laminar, as partículas apresentam trajetórias bem definidas que não se cruzam.

Ao abrir mais a torneira a velocidade aumenta e o filamento se difunde no líquido, como consequência do movimento desordenado das partículas. Este regime denomina-se turbulento.

Ao reverter o processo, o filamento regular se restabelece a partir de certa velocidade, a qual recebe a denominação de velocidade crítica interior a qual é menor que a velocidade na qual o escoamento passa de laminar para turbulento.

Reynolds observou que no fenômeno ensaiado não se prendia exclusivamente ao valor da velocidade para determinar o tipo de movimento em uma canalização, mas dependia das seguintes variáveis:

- ρ - massa específica do fluido;
- v - velocidade média do escoamento;
- D - diâmetro interno da tubulação;
- μ - viscosidade cinemática do fluido.

Foi-se então que Reynolds verificou que o fato do movimento ser laminar ou turbulento depende do valor do número adimensional dado por Número de Reynolds que é expressa pela seguinte fórmula(1):

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \quad [1]$$

Essa expressão mostra que o tipo de escoamento depende do conjunto de grandezas ν , D e V , e não somente de cada uma delas. Um número adimensional é quando independe de todas as grandezas fundamentais, isto é sua equação dimensional apresenta expoente zero em todas as grandezas fundamentais ($F^0 L^0 T^0$)

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu} \quad [2]$$

Onde: $[v] = \frac{L}{T} = LT^{-1} \quad [3]$

$$[v] = L^2T^{-1} \quad [4]$$

$$[Re] = \frac{LT^{-1}L}{L^2T^{-1}} = F^0L^0T^0 \quad [5]$$

Então nota-se que Re independe das grandezas fundamentais, sendo, por definição, um número adimensional.

A medição do regime de escoamento em tubo é feita através do número adimensional, onde se obteve o chamado número de Reynolds (Re) estabelecendo assim:

- para $Re \leq 2000$ - escoamento laminar;
- para $2000 < Re < 2400$ - escoamento de transição;
- para $Re \geq 2400$ - escoamento turbulento.

Porém atualmente são utilizados para os encanamentos, o escoamento em regime laminar ocorre e é estável para valores do número de Reynolds inferiores a 2000. Entre esse valor e 4000 encontra-se uma zona crítica, na qual não se pode determinar com segurança a perda de carga nas canalizações. Esta nova classificação foi estabelecida pela ABNT:

- para $Re \leq 2000$ escoamento laminar;
- para $2000 < Re < 4000$ escoamento de transição;
- para $Re \geq 4000$ escoamento turbulento.

1.3 Colocação da questão estudada

O principal objetivo era compreender os estudos realizados por Reynolds, assim como demonstrar suas teorias, a partir de experimentos realizados em bancada de laboratório, produzindo vídeos e documentação para ajuda nas aulas práticas.

2. Atividades Desenvolvidas

As atividades foram desenvolvidas no Laboratório de Hidráulica localizado na Faculdade de Tecnologia da UNICAMP situada na cidade de Limeira-SP.

No início houve a montagem de um equipamento móvel, sua estrutura consistia em basicamente materiais de plástico, em uma bancada que se encontra no laboratório, neste foi efetuado apenas um teste, onde após os cálculos viu-se que não foi bem sucedido tendo assim que haver a montagem de outro equipamento.

Logo, com a ajuda dos técnicos do laboratório de hidráulica montou-se um equipamento fixo com materiais mais resistentes com dimensões adequadas e nivelamento adequado.

Iniciou-se assim a elaboração dos testes, anotando sempre os dados obtidos para cálculos posteriores. Houve registros fotográficos e gravações de vídeos.

2.1 Materiais e Métodos

Materiais do Primeiro Equipamento montado como ilustra a figura 1:

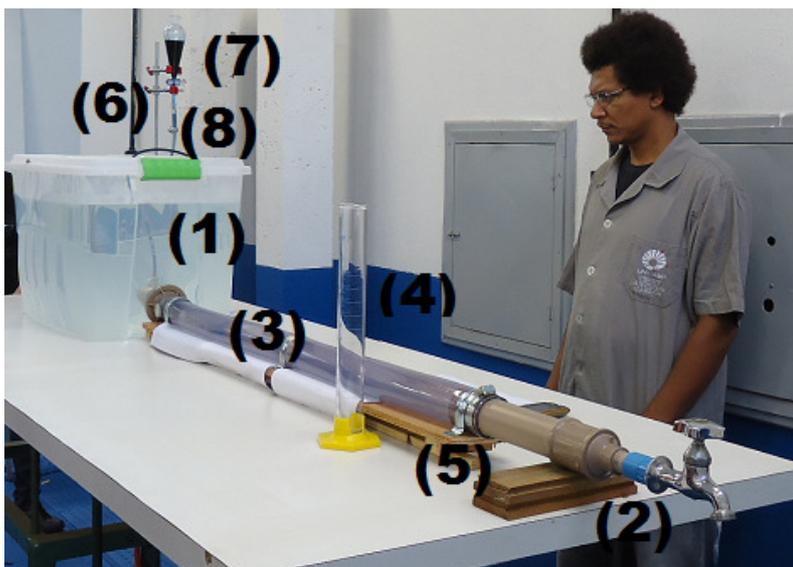


Figura 1- Primeiro equipamento montado

- ✓ 1 Recipiente de plástico quadrangular grande (1);
- ✓ Mangueira Plástica;
- ✓ 2 Torneiras (2);
- ✓ Tudo de plástico com 50 mm de diâmetro interno (3);
- ✓ 1 Agulha;
- ✓ 1 Proveta de 250 mL 2/1 (4);
- ✓ 1 Cronometro;

- ✓ 1 Balde plástico de 20 L;
- ✓ 1 Suporte de madeira (5);
- ✓ 1 Suporte metálico para o recipiente que contem o corante azul de metila(6);
- ✓ 1 Recipiente que contem o corante de cor azul de metila;
- ✓ 1 Funil de separação (7);
- ✓ Válvula controladora de saída de corante(8);
- ✓ Tubulações conectadas ligando o recipiente quadrangular ao tubo de plástico e a torneira ao tubo de plástico.

Materiais do Segundo Equipamento:

- ✓ Reservatório de água 70 L;
- ✓ Tubo de acrílico 24mm;
- ✓ Suporte de madeira;
- ✓ Torneira;
- ✓ Recipiente contendo corante de cor azul de metila (Funil de separação);
- ✓ Balde plástico 20L;
- ✓ Proveta 2/1 250mL;
- ✓ Cronômetro;
- ✓ Válvula controladora de corante;

Descrição da Bancada

A bancada (Figura 2) está localizada no Laboratório de Hidráulica da Faculdade de Tecnologia da UNICAMP e é composta por basicamente: um reservatório de água de cor preta (1) preso á parede; este conectado á uma tubulação(2) que conecta o tubo de acrílico de 24 mm(3) com a válvula controladora da saída de corante (4). A cima do reservatório se encontra o recipiente contendo o corante de cor azul (funil de separação)(5) alimentado por um suporte metálico(6) para que haja pressão. Logo no fim da tubulação de acrílico se encontra a torneira(7), onde vai se controlar a vazão, em baixo localiza-se o balde plástico(8) com 20 L e dentro a proveta de 250 mL.

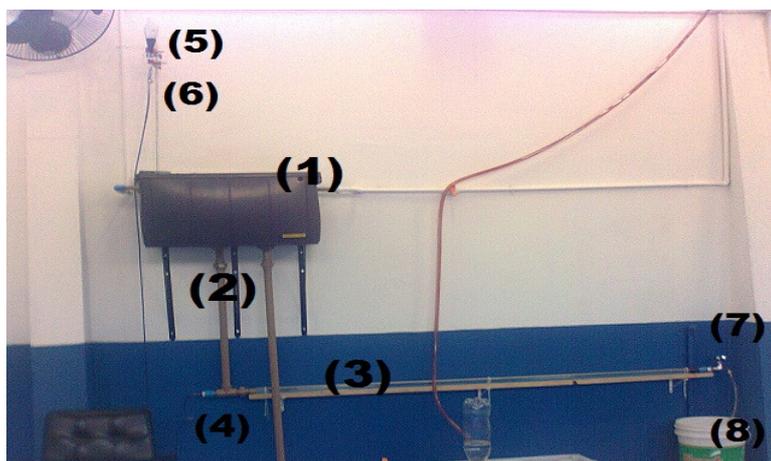


Figura 2- Foto do segundo aparelho montado

Métodos

Esta metodologia foi usada tanto para o equipamento um quanto para o segundo equipamento.

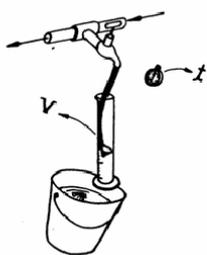
Primeiramente retira-se a tampa do recipiente onde está contido o corante de cor azul de metila, para que pudesse haver a entrada de ar. Foi-se necessário abrir o registro para manter sempre o mesmo nível de água no reservatório, tendo assim estabilidade ao mesmo tempo em que a torneira está aberta.

Girou-se lentamente a válvula do recipiente do corante, onde se controla a quantidade de corante, deixando sair uma quantidade adequada para a visualização do filete. Abriu-se lentamente a torneira localizada no final da extremidade para controlar a vazão. Esperou-se haver uma estabilização.

Controlando-se a vazão pela torneira abriu-se bem pouco, até que a água escorresse pelo duto. Esperou-se o filete do corante se estabilizar, e percebeu-se pelo tubo de acrílico transparente a formação de um filete contínuo, sendo caracterizado então como escoamento laminar. Assim começou-se a determinação da vazão de forma direta volume/tempo (Figura 3), cronometrou-se o tempo gasto para se recolher um certo volume d'água num tubo graduado, no caso a proveta. Fez-se isso três vezes para a medição da vazão no escoamento que se encontrava laminar, anotou-se os valores.

Girou-se lentamente a torneira para ter um aumento na vazão, esperou-se um tempo para que o filete se estabilizasse, então pode-se notar que o filete começou a ondular, já estava em sua fase caracterizada como transição. Também foi cronometrado o tempo gasto para se recolher um certo volume d'água em uma proveta. Fez-se isso uma vez para a medição da vazão no escoamento que se encontrava em transição, anotou-se os valores.

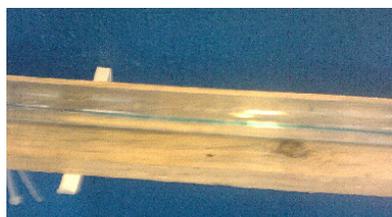
Continuou-se abrindo a torneira, para que novamente houvesse um aumento na vazão, notou-se assim que rapidamente o filete de cor azul já estava com perturbações intensas, caracterizando assim o escoamento turbulento. Cronometrou-se o tempo gasto para se recolher um certo volume d'água em uma proveta. Fez-se isso uma vez para a medição da vazão. Anotou-se todos os valores para realização dos cálculos posteriormente.



$$Q = \frac{V}{t}, \text{ onde :}$$

- V - volume recolhido na proveta graduada
- t - tempo cronometrado para se recolher o volume v.

Figura 3- Demonstração de como se realiza a medição da vazão



Escoamento Laminar



Escoamento em Transição



Escoamento Turbulento

Figura 4- Tipos de escoamento observado no experimento realizado

3.Resultados

3.1 Descrição dos resultados:

Para a realização dos cálculos dos experimentos feitos no primeiro equipamento foi necessária a utilização das seguintes fórmulas:

Equação da continuidade:

$$Q = V.A = V \frac{\pi.D^2}{4} \quad [6]$$

Número de Reynolds:

$$Re = \frac{V.D}{\nu} = \frac{\rho.V.D}{\mu} \quad [7]$$

De acordo com os dados obtidos na realização do experimento, pegaram-se os volumes medidos em seus respectivos tempo e de acordo com a formula abaixo calcularam-se a vazão. Lembrando-se de converter as unidades, como o volume é medido em mL/s deve-se converter para m³/s:

$$Q = \frac{Vol}{t} \quad [8]$$

Com os dados obtidos com a realização do experimento fez-se três vezes a medida da vazão, assim fez-se uma média das vazões dividindo-se pelo tempo cronometrado, então chegamos que a vazão de T1=0,065 L/s como a unidade da vazão é em m³/s transformou-se então as unidades :

$$Q_{T1} = 0,065 \frac{L}{s} \cdot \frac{1m^3}{10^{-3}L} = \frac{6,5 \times 10^{-5} m^3}{s} \quad [9]$$

Realizou-se o mesmo procedimento de cálculos com a vazão de T2=0,048 L/s logo:

$$Q_{T2} = 0,048 \frac{L}{s} \cdot \frac{1m^3}{10^{-3}L} = \frac{4,8 \times 10^{-5} m^3}{s} \quad [10]$$

E assim através da equação da continuidade se acha as velocidades, tanto de V₁ quanto de V₂:

$$V_1 = \frac{4Q}{\pi.D^2} = \frac{4 \times 0,065 \times 10^{-5}}{\left(50mm \cdot \frac{1m}{10^3mm}\right)^2 \cdot \pi} = \frac{0,033m}{s} \quad [11]$$

$$V_2 = \frac{4Q}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \times 4,8 \times 10^{-6}}{\left(50 \text{mm} \cdot \frac{1\text{m}}{10^3 \text{mm}}\right)^2 \cdot \pi} = 0,024 \text{m/s} \quad [12]$$

Com os valores acima já estabelecidos, atribui-se estes na fórmula do Número de Reynolds, (onde $\vartheta = 10^{-6} \text{ s/m}^2$) para os dois valores:

$$Re = \frac{V \cdot D}{\vartheta} = \frac{\left(\frac{0,033 \text{m}}{\text{s}}\right) \cdot (50 \times 10^{-3} \text{m})}{10^{-6} \text{s/m}^2} = 1,65 \times 10^3 = 1650 \quad [13]$$

$$Re = \frac{V \cdot D}{\vartheta} = \frac{\left(\frac{0,024 \text{m}}{\text{s}}\right) \cdot (50 \times 10^{-3} \text{m})}{10^{-6} \text{s/m}^2} = 1,2 \times 10^2 = 120 \quad [14]$$

De acordo com os dados obtidos na realização do experimento com o segundo equipamento, pegaram-se os volumes medidos em seus respectivos tempo e através da fórmula calculou-se a vazão. Procurou-se sempre medir a mesma quantidade de volume = 250 mL, variando o tempo e a vazão da torneira. Temos então para os cinco valores:

$$Q = \frac{250 \text{mL} \times 10^{-6}}{70 \text{s}} = 3,571 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{s} \quad [15]$$

$$Q = \frac{250 \text{mL} \times 10^{-6}}{32,85 \text{s}} = 7,610 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{s} \quad [16]$$

$$Q = \frac{250 \text{mL} \times 10^{-6}}{8,2 \text{s}} = 3,048 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{s} \quad [17]$$

$$Q = \frac{250 \text{mL} \times 10^{-6}}{4,7 \text{s}} = 5,319 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{s} \quad [18]$$

$$Q = \frac{250 \text{mL} \times 10^{-6}}{1,35 \text{s}} = 1,851 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{s} \quad [19]$$

Anotando-se as vazões, através da fórmula da equação da continuidade já citada anteriormente, podemos concluir que a fórmula da velocidade (Equação). Como o fluido usado é a

água adotamos que a viscosidade dinâmica $\vartheta = 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$, também há a necessidade de controlar a temperatura ambiente que poderá influenciar. Também por questões de unidades deve-se transformar o diâmetro 24mm em metros o que resulta em 0,024m. Através dos dados obtidos, feita as devidas conversões, pode-se calcular o numero de Reynolds para comparação do escoamento observado e o escoamento calculado, comprovando assim as conclusões do mesmo.

$$V = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} = \text{m/s} \quad [20]$$

$$Re = \frac{V \cdot D}{\vartheta} \rightarrow Re = \frac{4}{\pi \cdot D^2} \cdot \frac{1}{\vartheta} \cdot x D \cdot x Q \quad [21]$$

$$Re = \frac{4}{\pi \cdot (0,024\text{m})^2} \cdot \frac{1}{10^{-6} \text{m}^2/\text{s}} \cdot x(0,024\text{m}) \cdot x \left(\frac{3,571 \times 10^{-6} \text{m}^3}{\text{s}} \right) = 189 \quad [22]$$

$$Re = \frac{4}{\pi \cdot (0,024\text{m})^2} \cdot \frac{1}{10^{-6} \text{m}^2/\text{s}} \cdot x(0,024\text{m}) \cdot x \left(\frac{7,610 \times 10^{-6} \text{m}^3}{\text{s}} \right) = 403,74 \quad [23]$$

$$Re = \frac{4}{\pi \cdot (0,024\text{m})^2} \cdot \frac{1}{10^{-6} \text{m}^2/\text{s}} \cdot x(0,024\text{m}) \cdot x \left(\frac{3,048 \times 10^{-5} \text{m}^3}{\text{s}} \right) = 1617 \quad [24]$$

$$Re = \frac{4}{\pi \cdot (0,024\text{m})^2} \cdot \frac{1}{10^{-6} \text{m}^2/\text{s}} \cdot x(0,024\text{m}) \cdot x \left(\frac{5,319 \times 10^{-5} \text{m}^3}{\text{s}} \right) = 2821 \quad [25]$$

$$Re = \frac{4}{\pi \cdot (0,024\text{m})^2} \cdot \frac{1}{10^{-6} \text{m}^2/\text{s}} \cdot x(0,024\text{m}) \cdot x \left(\frac{1,851 \times 10^{-4} \text{m}^3}{\text{s}} \right) = 9824 \quad [26]$$

Feito os cálculos do Número de Reynolds(Re), com os resultados obtidos comparou-se com a teoria $Re \leq 2000$ o escoamento seria laminar; $Re \geq 4000$ o escoamento seria turbulento; e entre 2000 e 4000 seria de transição.

A seguir a tabela 1 e 2 respectivamente mostram os resultados obtidos em experimento feito com o segundo aparelho montado. No caso da tabela 1 os cálculos estão representados acima, e os valores contidos na tabela 2 foram executados exatamente como foi representado os cálculos e os métodos da tabela 1.

Ensaio I	vol (mL)	t(s)	Q(m ³ /s)	Re	Tipo de Escoamento Observado	Tipo de escoamento por cálculos
1	250	70	3,571x10 ⁻⁶	189	Laminar	Laminar

2	250	32,85	$7,610 \times 10^{-6}$	403	Laminar	Laminar
3	250	8,2	$3,048 \times 10^{-5}$	1617	Laminar	Laminar
4	250	4,7	$5,319 \times 10^{-5}$	2821	Transição	Transição
5	250	1,35	$1,851 \times 10^{-4}$	9824	Turbulento	Turbulento

Tabela1- Dados resumidos do ensaio I e a comparação do tipo de escoamento observado/cálculos

EnsaioII	vol (mL)	t(s)	Q(m ³ /s)	Re	Tipo de Escoamento Observado	Tipo de escoamento por cálculos
1	58	12	$4,83 \times 10^{-6}$	256,23	Laminar	Laminar
2	75	13	$5,76 \times 10^{-6}$	305,57	Laminar	Laminar
3	169	4,23	$3,99 \times 10^{-5}$	2116	Transição	Transição
4	237	3,41	$6,95 \times 10^{-5}$	3687	Transição	Transição
5	239	2,14	$1,11 \times 10^{-4}$	5888	Turbulento	Turbulento

Tabela 2- Dados resumidos do ensaio II e a comparação do tipo de escoamento observado/cálculos

4. Discussão / Conclusões

Nota-se pelos cálculos que não obteve sucesso no primeiro equipamento montado. Pois segundo observou quando a vazão estava no Q_{T2} o escoamento foi laminar, o que foi confirmado com cálculos de acordo segundo Re. Já o Q_{T1} observou-se pelo experimento que o escoamento era turbulento, porém pelos cálculos constatou-se que foi menor que 2000 sendo assim caracterizado escoamento laminar também.

Uma das causas deste insucesso se dá pelo fato do tubo de plástico não ser rígido, contendo deformações. O que ocasionava uma má interpretação dos tipos de escoamento e instabilidade dos mesmos. Na medição da vazão usa-se um método com pouco preciso que seria o do cronometro e da pipeta, isso também pode ocasionar erros no experimento, seria necessário a implementação de um equipamento que já resulta na vazão exata, sem precisar do volume e do tempo para cálculo da mesma.

Já os experimentos realizados com o segundo aparelho, onde os materiais eram de melhor qualidade fez-se os cálculos do Número de Reynolds(Re), com os resultados obtidos comparou-se com a teoria $Re \leq 2000$ o escoamento seria laminar; $Re \geq 4000$ o escoamento seria turbulento; e entre 2000 e 4000 seria de transição. Conclui-se que no primeiro momento o escoamento laminar não tem dúvidas, o filete fica retilíneo durante todo o percurso do tubo. Após abrir mais a torneira percebeu-se pequenas oscilações, sem desfazer o filete, o que seria praticamente na transição, ou entrando nesse tipo de escoamento. Nota-se que começa laminar, mas em alguns centímetros percorridos pelo tubo o filete se dispersa, formando ondulações “calmas” o que caracteriza a transição. Abrindo-se ainda mais a torneira percebeu-se que nem chega a formar o filete, logo entra em grandes oscilações

perturbadoras, o que caracteriza a entrada no escoamento turbulento. Tudo o que foi observado pode-se comprovar pelos cálculos feitos de acordo com tabela 1 e 2.

Assim como Franco Brunetti também percebeu-se que “O escoamento laminar é menos comum na prática, mas pode ser visualizado por todos, num filete de água de uma torneira pouco aberta ou no início da trajetória, já que a uma certa distância dele notam-se movimentos transversais. Note-se que o movimento turbulento é variado por natureza, devido às flutuações da velocidade em cada ponto. Pode-se, no entanto, muitas vezes, considera-lo permanente, adotando em cada ponto a média das velocidades em relação ao tempo. Esse fato é comprovado na prática, já que somente aparelhos muito sensíveis conseguem indicar as flutuações dos valores das propriedades em cada ponto. A maioria dos aparelhos, devido ao fato de que apresentam uma certa inércia na medição, indicará um valor permanente em cada ponto que corresponderá exatamente à medida citada anteriormente. Assim, mesmo que o escoamento seja turbulento, poderá em geral, ser admitido como permanente em média nas aplicações”(BRUNETTI,2005). Quando o escoamento está caracterizado como turbulento percebe-se maior interação entre as moléculas e isso é considerado uma coisa boa para fluidos.

Conclui-se que pelo experimento no laboratório, foi possível restabelecer o experimento de Reynolds evidenciando a suas conclusões através da comparação dos tipos de escoamentos e contratando também visualmente os resultados matemáticos com os experimentos físicos.

Pode-se notar que com a realização da experiência em laboratório a teoria se transforma em algo palpável aos olhos dos estudantes. Deixando assim as disciplinas da área de fluídos que são vistas como complicadas e incompreensíveis tornarem disciplinas agradáveis e bem recebidas pelos alunos, o que poderá levar um retorno dos alunos ao uso do laboratório de hidráulica que nesta Unidade estava desabitado.

5.Bibliografia

AZEVEDO NETTO, José M. de; ACOSTA ALVAREZ, Guillermo. Manual de hidráulica. 7. ed. rev. e compl. São Paulo: E. Blucher, 1985. 2v., il.

BRUNETTI, Franco. Mecânica dos fluidos. São Paulo:Pearson, 2005. 410 p.

Copyright Society of Tribologists and Lubrication Engineers Oct 1999 Copyright Society of Tribologistas e Engenheiros em Lubrificação outubro 1999 .

GILES, Ranald V. **Mecânica dos fluidos e hidráulica**. Rio de Janeiro, RJ: McGraw-Hill, 1970. 401p., il.

"História da lubrificação: Osborne Reynolds". Lubrificação Engenharia 2010.. FindArticles.com 21. http://findarticles.com/p/articles/mi_qa5506/is_199910/ai_n21445677/ março 2011.

QUINTELA, Antônio de Carvalho. "Hidráulica". 2. ed. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, Portugal, 1981. 539p., il.