

# ANÁLISE EXPERIMENTAL DA MEDIÇÃO DE VELOCIDADE COM UM TUBO DE PITOT EM ESCOAMENTO INTERNO

## EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE MEASUREMENT OF VELOCITY IN AN INTERNAL FLOW WITH PITOT TUBE

Kallyne Melo Silveira  
Talita Sauter Possamai

### RESUMO

O tubo de pitot é um instrumento de medição de pressões muito utilizado para medir velocidades de fluidos em movimento. Criado em 1732 por Henri Pitot, o tubo de pitot é utilizado em modelos físicos em laboratórios de hidráulica, de aerodinâmica e também hidrologia para a medição indireta de vazões em canais e rios, em redes de abastecimento de água, em adutoras, em oleodutos e ainda a velocidade dos aviões, medindo a velocidade de escoamento do ar. A caracterização de escoamentos passa pela medição de propriedades locais, integradas e globais. As propriedades locais podem ser termodinâmicas, como pressão, temperatura, massa específica, etc., que definem o estado do fluido, além de sua velocidade. As propriedades integradas são as vazões em massa e volumétrica, e as propriedades globais são aquelas relativas à visualização de todo campo de escoamento. O estudo aplicado se dedica à realização do procedimento da medição de velocidades com Tubo de Pitot na Universidade Federal de Santa Catarina – Campus Tecnológico de Joinville. Para isto, foi utilizada uma bancada experimental de Tubo de Pitot desenvolvida no Laboratório de Fenômenos de Transporte. Inicialmente foi analisado quais métodos de divisão da seção transversal para medição de velocidade no tubo de pitot seriam aplicados, dentre os quatro existentes os dois escolhidos foram o Método das Áreas Iguais e o Método de Newton, depois de aplicados os métodos e obtidos o perfil de velocidade de cada um foi realizado a comparação entre os mesmos para verificação do perfil real do tubo de pitot do laboratório. Os resultados demonstraram que a diferença na estimativa da vazão volumétrica chega até a 30 % entre os dois métodos evidenciando a relevância do método escolhido.

**Palavras-chave:** Medição de vazão, Tubo de Pitot e Perfil de Velocidade.

### ABSTRACT

The Pitot tube is a measurement instrument velocity used to measure the variation of fluids in motion. Created in 1732 by Henti Pitot, the Pitot tube is used in hydraulic, aerodynamic and hydrology laboratory models for the indirect orientation of flows in channels and rivers, in water supply networks, in pipelines and even the speed of airplanes, measuring the speed of air flow. The characterization of flows involves the ownership of local, integrated and global proprieties. Local propriety can be thermodynamic, like as pressure, temperature, specific mass, etc., which defines the state of the fluid, beyond your speed. The integrated proprieties are the mass and

volumetric flows, and the global proprieties are those related to the visualization of the entire flow field. The applied study is dedicated to performing the speed measurement procedure in the Pitot tube of the Federal University of Santa Catarina – Joinville Technological Campus. For this, the Pitot tube experimental bench developed at the Transport Phenomena Laboratory was used. Initially it was analyzed which methods of division of the cross section to measure speed in the applicable Pitot tube, between the four existing ones the chosen were the Equal Areas Method and Newton's Method, after applied the methods and obtained of the speed profiles of each, was a comparison was made between the same to verify the actual profile of the laboratory Pitot tube. Results indicated an approximated 30% difference in the estimation of the volumetric air flow between methods showing that the choice of the method is important for this type of measurement.

**Key words:** Flow measurement, Pitot tube and speed profile.

## 1 INTRODUÇÃO

O tubo de Pitot é um instrumento empregado para determinar a velocidade de um fluido em escoamento. Existem vários métodos para se determinar a velocidade de um fluido, entre as quais podemos mencionar: medir o tempo que uma partícula leva para percorrer uma distância conhecida, medir a rotação da hélice introduzida no fluxo, a mudança na resistência pelo resfriamento do fluido, ou no caso do tubo de Pitot, medir a pressão estática e de estagnação do escoamento. O tubo de Pitot foi inventado por Henry de Pitot em 1732. *“A idéia deste instrumento era tão simples e natural que no momento que eu o concebi, corri imediatamente a um rio para fazer o primeiro experimento com um tubo de vidro”*, (Benedict, 1984). O funcionamento e método de emprego do tubo de Pitot para medição de vazão de escoamentos pode ser encontrado em detalhes em Klopsfenstein (1998). Diversos tipos podem ser encontrados na atualidade, como o tipo S (Kay et al, 2015) e o tipo tudo reto (Ezzedine, 2019). As aplicações de tubos de Pitot para medição de velocidade são inúmeras, sendo de particular interesse em aeronáutica, devido ao uso em aviões para medição da velocidade de voo. Nesta aplicação específica, diversos estudos analisam os fatores de risco relacionados ao uso de Pitot, como Jockel 2020, que investiga o uso de um sistema de aquecimento redundante para aumentar a segurança contra o congelamento em uso e Ezzedine (2019) que analisa o grau de risco devido a fatores relacionados como posicionamento correto do instrumento e outros.

Neste sentido, este trabalho se enquadra completamente ao empregar um tubo de Pitot em L para medição de escoamento interno turbulento desenvolvido. Foram levantadas curvas de perfil de velocidade e de vazão, com dois métodos de estimativa de velocidade através do tubo de Pitot, o método das Áreas Iguais e o método de Newton. A análise foi realizada com auxílio de uma bancada experimental de tubo de pitot desenvolvida no Laboratório de Fenômenos de Transporte da Faculdade Federal de Santa Catarina – Campus Tecnológico de Joinville. O objetivo é comparar as estimativas de velocidade e vazão volumétrica com base nos dois métodos de medição.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta sessão, é mostrada a metodologia adotada para a abordagem experimental. Inicialmente foram realizados testes em bancada para se obter as pressões estáticas e de estagnação, que permitem obter as curvas características do perfil de velocidade. As medidas de velocidade na saída do ventilador foram executadas para três velocidades de rotações do ventilador.

### 2.1 Bancada para Ensaio do Tubo de Venturi e Pitot

Uma bancada equipada com um ventilador radial conectado a uma tubulação com diâmetro de 69,3 mm foi empregada para a medição do escoamento. Ao final da tubulação foi colocado um tubo de Pitot para a medição das pressões e estimativa da vazão. A área de seção transversal na saída da tubulação é de  $3,77 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ .

O tubo de Pitot foi montado com um mecanismo que permite o seu deslocamento ao longo da seção transversal do tubo, com isso é possível avaliar a pressão dinâmica ao longo da seção com o auxílio de um manômetro inclinável de coluna de álcool. Através deste mecanismo também é possível avaliar a variação do perfil de velocidades ao longo da seção transversal do tubo e posteriormente avaliar a vazão na entrada e na saída do tubo.

#### 2.1.1 Procedimento Experimental

Três velocidades de rotação foram analisadas, através do emprego de um inversor de frequência. A Figura 2 mostra o inversor utilizado. As velocidades empregadas foram 507 rpm, 647,83 rpm e 788,67 rpm.

Figura 1 - Inversor de Frequência.



Fonte: Autor (2020)

Os dados do motor do ventilador utilizado para o experimento estão mostrados na Figura 3 abaixo, onde é possível notar que a potência nominal do mesmo é de 1,5 cv.

Figura 2 - Dados do Motor



Fonte: Autor (2020)

Para cada vazão o Tubo de Pitot acoplado a um mecanismo com paquímetro foi deslocado em 8 pontos ao longo da seção transversal, conforme cada método. A Tabela 1, abaixo, indica o posicionamento dos 8 pontos para cada método aplicado. Em  $x$  são as posições de medição para uma seção retangular, e  $r$  para uma seção circular. O peso associado a cada seção é dado por  $w$ . A tubulação empregada neste estudo é de seção circular.  $N$  é o número de pontos empregados em cada metade da seção de medição, ou seja, neste estudo foi empregado  $N = 4$ .

Tabela 1 – Métodos de divisão da seção transversal para emprego de tubo de Pitot na medição de velocidade de escoamento interno.

N	Método de Divisão											
	Áreas Iguais			Newton			Chebyshev			Gauss		
	x	r	w	x	r	w	x	r	w	x	r	w
2	0,2500	0,5000	1/2	0	0	1/2	0,2113	0,4597	1/2	0,2113	0,4597	1/2
	0,7500	0,8660		1	1		0,7887	0,8881		0,7887	0,8881	
3	0,1667	0,4082	1/3	0	0	0,1667	0,1464	0,3827	1/3	0,1127	0,3357	0,2778
	0,5000	0,7071		0,5	0,7071	0,6667	0,5000	0,7071		0,5000	0,7071	0,4444
	0,8333	0,9129		1	1	0,1667	0,8536	0,9239		0,8873	0,9420	0,2778
4	0,1250	0,3536	1/4	0	0	0,1250	0,1027	0,3203	1/4	0,0694	0,2635	0,1739
	0,3750	0,6124		1/3	0,5774	0,3750	0,4072	0,6382		0,3300	0,5745	0,3261
	0,6250	0,7906		2/3	0,8165	0,3750	0,5928	0,7699		0,6700	0,8185	0,3261
	0,8750	0,9354		1	1	0,1250	0,8973	0,9473		0,9306	0,9647	0,1739
5	0,1	0,3162	1/5	0	0	0,0778	0,0838	0,2891	1/5	0,0469	0,2166	0,1185
	0,3	0,5477		0,25	0,5000	0,3556	0,3127	0,5592		0,2308	0,4804	0,2393
	0,5	0,7071		0,50	0,7071	0,1333	0,5000	0,7071		0,5000	0,7071	0,2844
	0,7	0,8367		0,75	0,8660	0,3556	0,6873	0,8290		0,7692	0,8771	0,2393
	0,9	0,9487		1	1	0,0778	0,9162	0,9572		0,9531	0,9763	0,1185

Fonte: Nicolau e Güths (2001)

A Figura 3 mostra o manômetro utilizado e acoplado ao tubo de Pitot para medição da pressão.

Figura 3 – Manômetro utilizado para medição de pressão



Fonte: Autor (2020)

As tomadas de pressão dinâmica foram repetidas 6 vezes para cada um dos pontos e para cada um dos métodos. Com isso é possível avaliar o valor médio da pressão dinâmica e o desvio para estas medidas. O paquímetro utilizado possui escala de medição em milímetros, com faixa de medição de 0 a 150 mm e resolução de 0,01 mm. A Figura 4 mostra o mecanismo utilizado para variar a posição do tubo de Pitot ao longo da seção transversal do tubo.

Figura 4 – Paquímetro acoplado ao tubo de Pitot

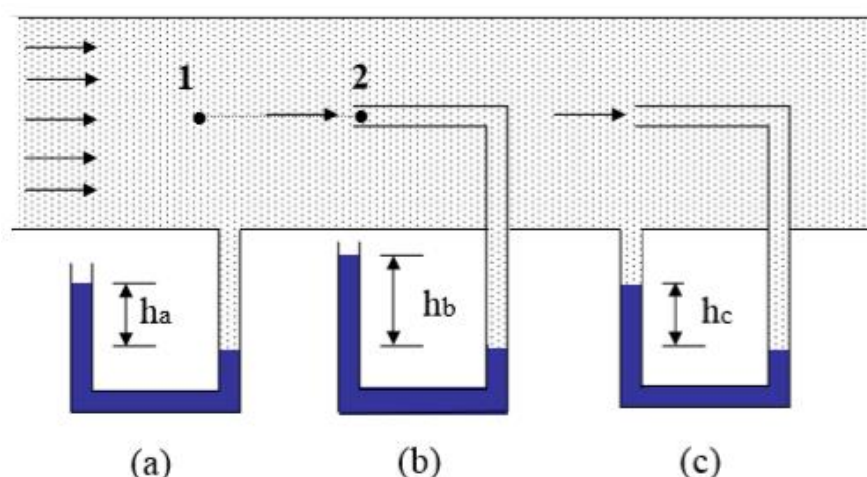


Fonte: Autor (2020)

### 2.1.2 Tubo De Pitot

O Tubo de Pitot é um instrumento utilizado para a medição da pressão de estagnação e estática de escoamentos de fluidos. Pressão estática é a pressão real ou termodinâmica que atua no fluido. A pressão dinâmica é a pressão medida devido à energia cinética do fluido em escoamento. A pressão de estagnação, também conhecida como pressão total (quando desconsiderada a força gravitacional), é a soma da pressão estática com a pressão dinâmica. A Figura 5 mostra como são feitas as medidas de pressão estática, total e dinâmica.

Figura 5 - Métodos de leitura de pressão estática, total e dinâmica.



Fonte: Vicente de Paulo Nicolau e Saulo Güths (2001)

A pressão estática é a pressão que pode ser medida quando o sensor estiver posicionado de forma perpendicular ao sentido do escoamento, desta forma não é medida a parcela da pressão dinâmica. Para que a pressão estática possa ser medida deve ser feito um furo na parede do tubo, como no sensor (a) e para a obtenção de um valor médio da pressão estática em um determinado ponto, pode ser usada mais de uma tomada de pressão ao longo da seção (BENEDICT, 1984).

A equação que governa o princípio físico por trás do Tubo de Pitot é a Equação de Bernoulli. Com ela é possível relacionar a variação de velocidade e pressões ao longo de uma linha de fluxo. Para que ela seja válida, deve-se assegurar um escoamento em regime permanente, incompressível, sem fricção e analisar o escoamento ao longo de uma linha de corrente. Como a bancada de experimento possui um ventilador com baixa variação de pressão, é possível utilizar esta análise. A Equação 1 mostra a Equação de Bernoulli, desprezando-se a força gravitacional,

$$\frac{p_1}{\rho_f} + \frac{v_1^2}{2} = \frac{p_2}{\rho_f} + \frac{v_2^2}{2} \quad (1)$$

onde  $p$  é a pressão estática,  $v$  é a velocidade do escoamento,  $\rho_f$  é a massa específica do fluido em escoamento e os sub índices 1 e 2 representam a entrada e a saída do tubo de Pitot, respectivamente. Com a equação de Bernoulli, é possível encontrar a pressão total ( $p_{total}$ ) do escoamento, assumindo que o fluido está completamente parado no ponto 2 da Figura 5, como mostrado na Equação 2.

$$p_2 = p_{total} = p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 \quad (2)$$

A partir da Equação 2 e relacionando as pressões com a diferença de altura medida no manômetro e da massa específica do fluido manométrico, pode-se encontrar a velocidade do escoamento, como mostrado na Equação 3.

$$v = \sqrt{2gh \frac{\rho_m - \rho_f}{\rho_f}} \quad (3)$$

Onde  $\rho_m$  é a massa específica do fluido manométrico,  $h$  é a altura lida no manômetro e  $g$  é a aceleração gravitacional, porém a fórmula da pressão dinâmica pode também ser colocada como mostra a Equação 4.

$$p_d = gh(\rho_m - \rho_f) \quad (4)$$

Logo, juntando a Equação 4 com a Equação 3, temos a fórmula da velocidade do escoamento em função da pressão dinâmica do escoamento, conforme é mostrado na Equação 5.

$$v = \sqrt{2 \frac{p_d}{\rho_f}} \quad (5)$$

### 2.1.3 Obtenção Da Vazão

O Tubo de Pitot pode ser usado para medir a velocidade do escoamento em diversos pontos da seção transversal de uma tubulação, sendo que estes valores podem ser usados para o cálculo da vazão ( $Q$ ) do escoamento. Para retirar a vazão é necessário fazer uma integração conforme mostra a Equação 6.

$$Q = \int v dA = \sum_{i=1}^n v_i A_i \quad (6)$$

O somatório apresentado na Equação 6 fornece a vazão total na seção e considera a discretização da seção transversal do escoamento, dividindo-a em  $n$  elementos de área  $A_i$ . Em cada um destes elementos será medida a velocidade  $v_i$  e o produto  $(v_i A_i)$  fornece o valor da vazão ao longo do escoamento. A divisão dos elementos de área  $A_i$  pode ser feita de diversas formas, na Tabela 1 apresentada na sessão 2.1.1 estão mostrados os principais métodos de divisão de área usados. Para esses métodos a área  $A_i$  foi dividida pela área total do tubo  $A$  e esta razão foi denominada de peso  $w_i$ , ou seja, o peso  $w_i$  representa o valor da área  $A_i$  em relação à área total. A Equação 7 mostra como calcular a vazão no tubo em função dos pesos  $w_i$ .

$$Q = A \sum_{i=1}^n v_i \frac{A_i}{A} = A \sum_{i=1}^n v_i w_i \quad (7)$$

No método das áreas iguais as áreas são divididas igualmente ao longo da seção do tubo, com isso todos os pesos são iguais. A vantagem deste método está na simplicidade, visto que se deve encontrar a média das velocidades e multiplicar pela área do tubo. No método de Newton as medidas são feitas em pontos uniformemente espaçados ao longo da seção, com a peculiaridade de que o primeiro ponto a ser medido deve ser na superfície do tubo, onde a velocidade é nula e o último ponto é posicionado no meio da seção transversal, onde a velocidade deve ser máxima. Com isso um dos pontos não contribui com informações sobre o escoamento. O método de Chebyshev e o de Gauss foram desenvolvidos buscando reduzir o erro atribuído às medidas. Em



ambos os casos os pontos são posicionados de forma apropriada para reduzir o erro. O método de Gauss apresenta o menor erro entre os quatro métodos (NICOLAU; GÜTHS, 2001).

Para avaliar o perfil de velocidade obtido pelo tubo de Pitot do laboratório foram escolhidos os métodos das áreas iguais e de Newton para análise neste trabalho.

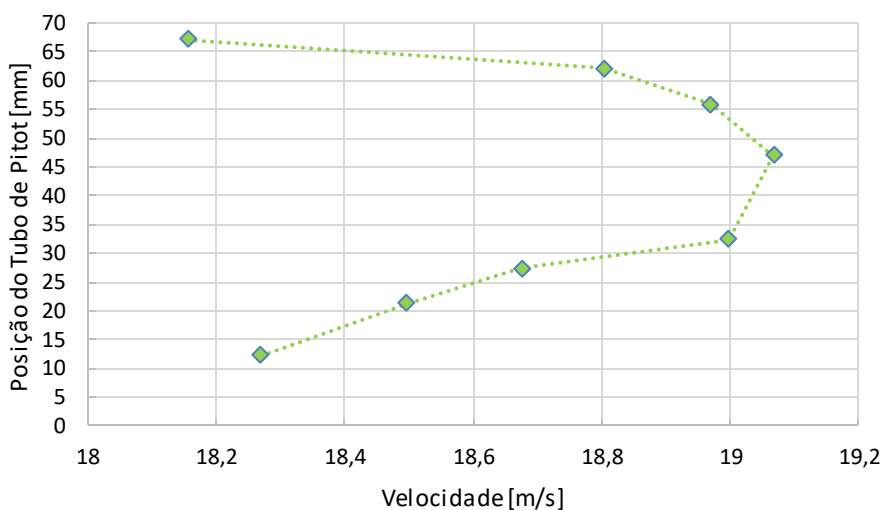
### 3 RESULTADOS

Nesta sessão são apresentados os resultados obtidos na bancada experimental, mostrando um comparativo entre os resultados obtidos por cada um dos métodos utilizados.

#### 3.1 Perfil de Velocidades – Áreas Iguais

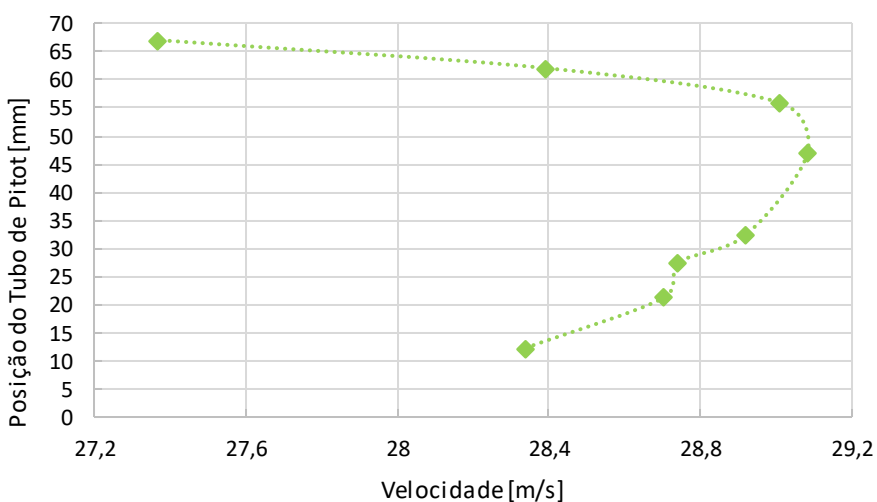
A partir das velocidades encontradas em função dos 8 pontos de medição de pressão dinâmica ao longo da seção transversal do duto de saída do ventilador com o método das áreas iguais, conforme mostra a Figura 6, foi possível levantar o comportamento do perfil de velocidades do escoamento para várias rotações. As Figuras 7, 8 e 9 mostram o comportamento do perfil de velocidades para a rotação de 507 RPM, 647,83 RPM e 788,67 RPM, respectivamente.

Figura 6 - Perfil de velocidade para 18 Hz – 507 RPM.



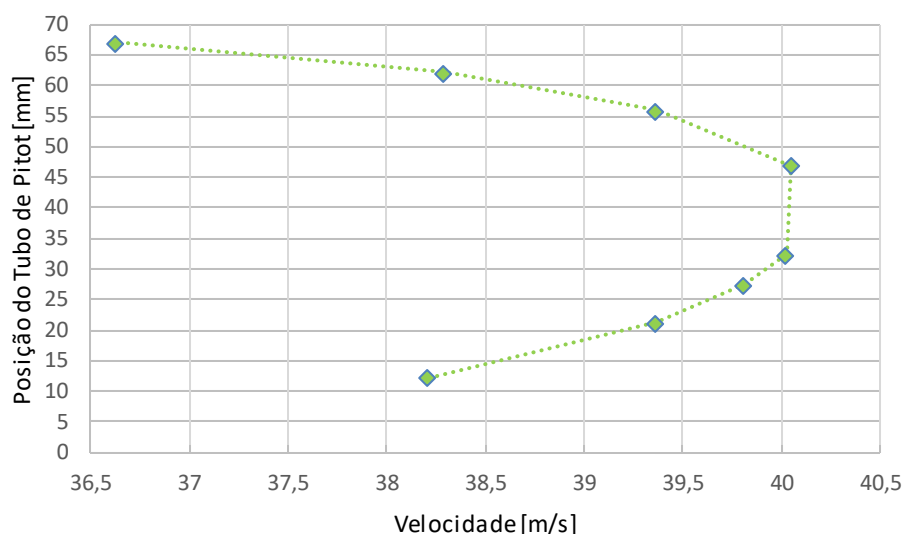
Fonte: Autor (2020)

Figura 7 - Perfil de velocidade para 23Hz - 647,83 RPM.



Fonte: Autor (2020)

Figura 8 - Perfil de velocidade para 28Hz - 788,67 RPM.



Fonte: Autor (2020)

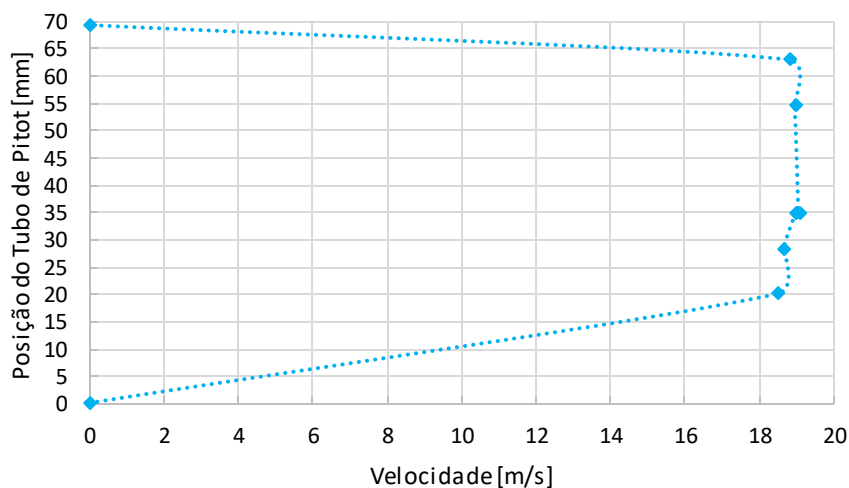
Primeiramente pode-se notar que o perfil de velocidade é coerente com o perfil turbulento desenvolvido esperado em escoamentos internos.

Nos três casos, ocorreu uma redução da velocidade do escoamento próximo à superfície do tubo com relação a velocidade máxima, no centro, como esperado. Como comentado anteriormente, o método das áreas iguais não permite avaliar a velocidade do escoamento próximo da superfície interna do tubo e por conta disso as velocidades na extremidade estão distantes da velocidade nula.

### 3.2 Perfil de Velocidades – Newton

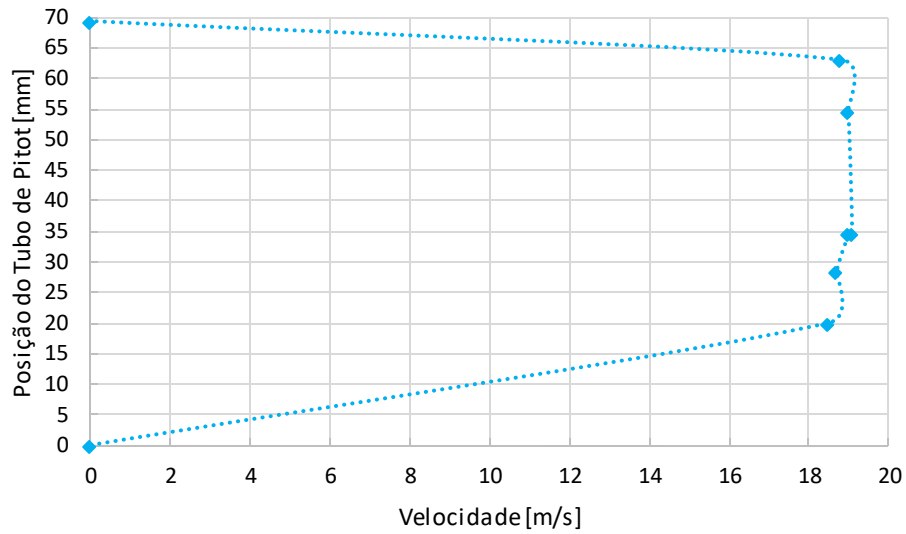
As Figuras 10, 11 e 12 mostram o perfil de velocidade estimado para a rotação de 507 RPM, 647,83 RPM e 788,67 RPM, respectivamente, com o método de Newton.

Figura 9 - Perfil de velocidade para 18 Hz – 507 RPM.



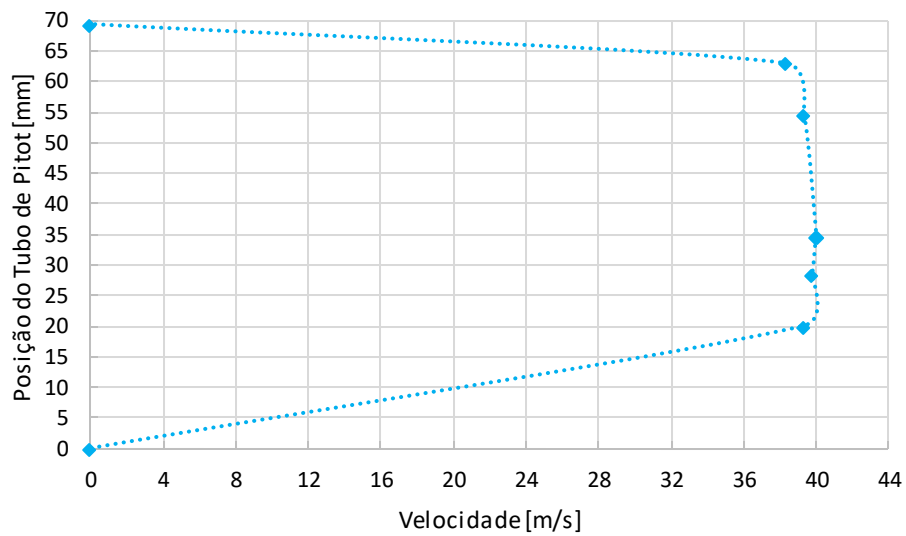
Fonte: Autor (2020)

Figura 10 - Perfil de velocidade para 23Hz - 647,83 RPM.



Fonte: Autor (2020)

Figura 11 - Perfil de velocidade para 28Hz - 788,67 RPM.



Fonte: Autor (2020)

O método de Newton possui uma peculiaridade no tocante ao posicionamento da primeira e da última leitura. Estas são colocadas sobre as fronteiras, de modo estes pontos já são conhecidos e considerados com velocidade nula.

Na Tabela 2, abaixo, temos os valores experimentais de Reynolds, da velocidade média e da vazão para cada um dos métodos em função da rotação aplicada. Onde MAI - Método das Áreas Iguais e MN – Método de Newton.

Tabela 2 – Estimativa de velocidade média e vazão

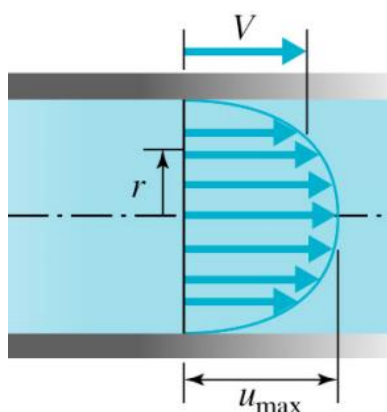
Rotação (rpm)	Velocidade Média - MAI (m/s)	Velocidade Média - MN (m/s)	Re - MAI	Re - MN	Vazão - MAI [m <sup>3</sup> /s]	Vazão - MN [m <sup>3</sup> /s]
507	18,67	14,12	97295	73580	0,0705	0,0532
647,83	28,57	21,59	148817	112500	0,1077	0,0814
788,67	38,97	29,61	202987	154262	0,1470	0,1117

Fonte: Autor (2020)

Note que para todos os casos o escoamento é classificado como turbulento, devido ao Re ser maior que 2300, o valor indicado para transição do escoamento de laminar para turbulento em escoamentos internos em duto circular desenvolvido. Há uma diferença de aproximadamente 32% entre as velocidades médias estimados para cada método em uma mesma rotação do motor. Essa diferença se propaga para as estimativas de Re e de vazão volumétrica, como esperado.

O perfil teórico de velocidade para escoamento turbulento desenvolvido em escoamentos internos é dado conforme mostrado na Figura 12, onde é possível ver a semelhança no formato entre os perfis obtidos.

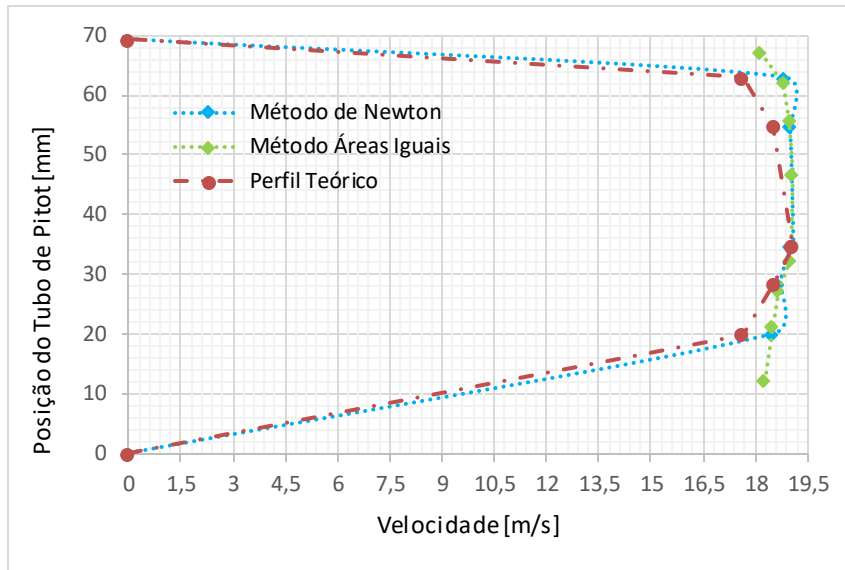
Figura 12 - Perfil Teórico de Velocidade de um Escoamento Turbulento



Fonte: Wasdsworth Group/ Thomson Learning (2002)

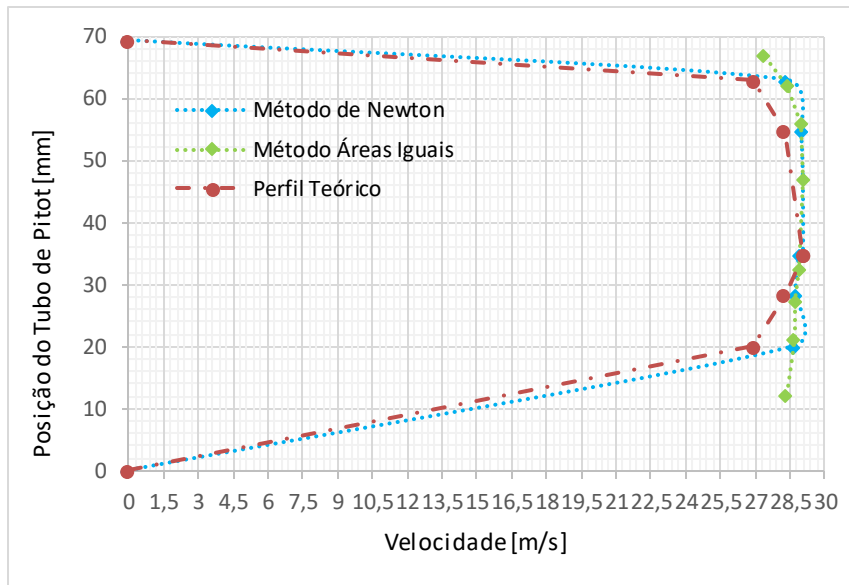
Agora, vamos comparar os dois métodos entre si e com o escoamento interno turbulento teórico de um tubo, nos gráficos abaixo analisaremos a diferença dos perfis de velocidade estimado para as rotações de 507rpm, 647,83 rpm e 788,67 rpm do Método de Newton com o Método das Áreas Iguais.

Figura 13 - Perfil de velocidade para 18 Hz – 507 RPM.



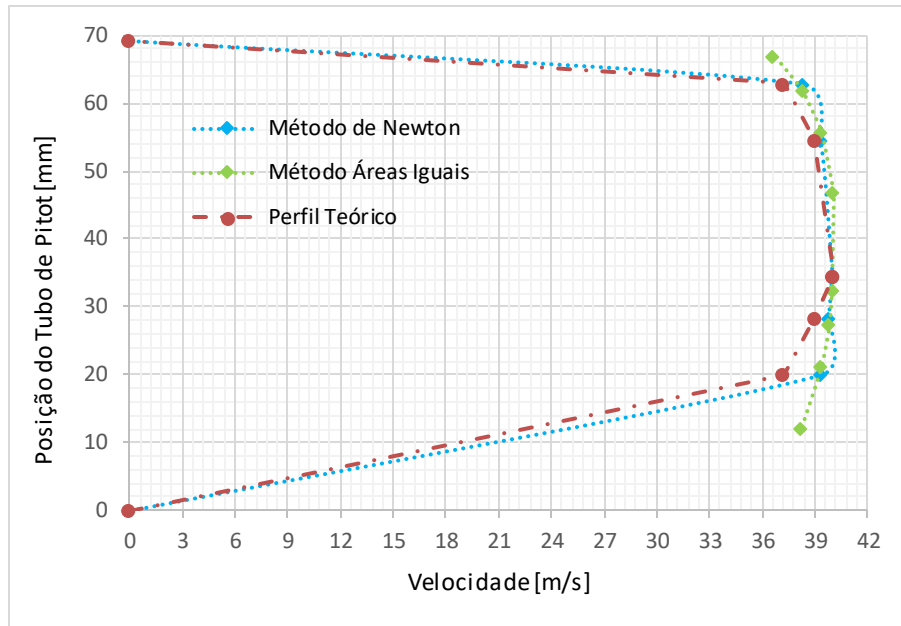
Fonte: Autor (2020)

Figura 14 - Perfil de velocidade para 23Hz - 647,83 RPM.



Fonte: Autor (2020)

Figura 15 - Perfil de velocidade para 28Hz - 788,67 RPM.



Fonte: Autor (2020)

Analisando os gráficos acima, pode-se observar que o Método de Newton é o que melhor se aqueda ao perfil teórico desejado, apesar do Método de Áreas Iguais alcançar as velocidades maiores no perfil desejado, ao comparar com de Newton vemos que ele deixa a desejar ao não considerar os pontos de velocidade nula ( $y = 0\text{mm}$  e  $y = 69,3\text{mm}$ ).

## 4 CONCLUSÃO

A pesquisa e experimentos desenvolvidos no presente estudo possibilitou uma análise do perfil de velocidade na saída de um tubo, verificando quais métodos apresentam melhores desempenhos para determinadas características. Neste trabalho foi realizada a coleta de dados experimentais de um tubo circular acoplado a um ventilador radial acoplado com um tubo de pitot para verificar o perfil de velocidades no duto de saída. Os resultados obtidos de forma experimental na bancada desenvolvida no Laboratório de Fenômenos de Transporte na Universidade Federal de Santa Catarina foram validados com os resultados do perfil de um escoamento interno turbulento teórico.

Os pequenos erros obtidos nos valores das velocidades pontuais e médias podem ser atribuídos a diversos fatores, como imprecisão na calibração, erro por fator humano ou alguma configuração não-ótima de processamento. Também deve se levar em conta o fato de terem sido analisadas apenas oito campos pontuais, o que é um grupo estatístico pequeno mesmo para escoamentos turbulentos. A diferença dada nos valores das velocidades médias de cada rotação para cada vazão foi conforme o esperado, apesar dos erros eventuais.

Destaca-se que as curvas de perfil de velocidades e os dados das vazões encontrados tanto para as medidas experimentais, quanto para as teóricas, o comportamento foi muito similar e coerente com o encontrado em outros trabalhos.

Finalmente, foi então possível encontrar bons resultados e gráficos que validassem o uso da técnica das metodologias utilizadas e comprovassem sua qualidade na obtenção de perfis de velocidade em um escoamento interno.



## REFERÊNCIAS

BENEDICT, Robert P. Fundamentals of Temperature, Pressure, and Flow Measurements. 3. ed. New York: Wiley Interscience, 1984.

BORTOLI, Marcelo Ruaro. Análise Experimental E Numérica Do Desempenho De Uma Bomba Centrífuga Radial Monoestágio. 2017. 76 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Marcelo Ruaro Bortoli, 2017.

BRAN, Richard; SOUZA, Zulcy de. Máquinas de Fluxo: turbinas, bombas e ventiladores. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico S.A., 1969.

CARRILLO, Rubén Alexis Miranda. Projeto e Análise de Desempenho de Turbinas Radiais. 2010. 224 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2010.

DIXON, S. L.; HALL, C. A.. Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery. 7. ed. Kidlington: Elsevier, 1966.

EZZEDDINE, Wajih, SCHUTZ, Jérémie, REZG, Nidhal. Pitot sensor air flow measurement accuracy: causal modelling and failure risk analysis. Flow Measurement and Instrumentation 65 (2019), 7-15.

FOX, Robert W.; MCDONAL, Alan T.. Introdução à Mecânica dos Fluidos. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1981.

JÄCKEL, Robert, TAPIA, Fidencio, GITUÉRREZ-URUETA, Geydy, JIMÉNEZ, Cíntia Monreal. Design of an aeronautic pitot probe with a redundant heating system incorporating phase change materials. Flow Measurement and Instrumentation 76 (2020).

KANG, Woong, TRANG, Nguyen Doan, LEE, Saeng, Hee, SHIM, Jae Sig, JANG, Hee Soo, CHOI, Yong Moon. Experimental and numerical investigations of the factors affecting the S-type Pitot tube coefficients. Flow Measurement and Instrumentation 44 (2015) 11-18.

KLOPFENSTEIN, Rex Jr. Air velocity and flow measurement using a Pitot tube. ISA Transactions 37 (1998) 257-263.

NICOLAU, Vicente de Paulo; GÜTHS, Saulo. Medição de Velocidade de Escoamentos com O Tubo de Pitot. Florianópolis: Laboratório de Ciências Térmicas, 2001.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida, saúde, proteção e acolhimento em todos os momentos que necessitei e clamei por ele.

A minha orientadora, Prof<sup>a</sup>. Talita Possamai, pela orientação, amizade e confiança posta em mim. Aos professores da banca examinadora, pelas sugestões, críticas e contribuições finais ao trabalho. A Universidade Federal de Santa Catarina em especial ao do curso de Ciência e Tecnologia.

A minha mãe Solange por não medir esforço para me ajudar a realizar esta graduação, a me ensinar que é necessário esforço e dedicação para chegar onde queremos chegar, e me mostrar que a vida é uma luta diária e que vale a pena lutar por ela. Aos meus irmãos Kelly e Kevin por me aturarem nos meus surtos, nos meus choros mas acima de tudo por todo o carinho. Ao meu pai Jelson por ser minha fonte de inspiração e perseverança, me motivando sempre, até quando eu não queria ser motivada, mas estava ali do meu lado me mostrando que precisamos vencer aquilo que nos comprometemos.

Aos meus amigos Arthur, Leonardo e Gabriela pela amizade, carinho e pelos momentos de descontração. Aos demais amigos e colegas que de alguma forma estiveram ao meu lado ao longo da graduação. Aos companheiros de CONEMB, DALEM e Nisus, pela amizade e companheirismo nos momentos difíceis. E um agradecimento em especial a Amarilis Laurenti, pelo incentivo, amizade e apoio ao longo da graduação que me ajudaram a progredir e evoluir sempre, ela fez meus dias na UFSC melhores.