

MEDIÇÃO REDUNDANTE DE VAZÃO COM ELETROMAGNÉTICO, ULTRASSÔNICO CLAMP ON E SIMULAÇÃO DIGITAL EM DUTO DE 1,5M DE DIÂMETRO

Marcos Tadeu Pereira⁽¹⁾

Doutor em Engenharia Mecânica, Professor da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Área de concentração: medição de vazão, escoamento de fluidos, eficiência de bombeamento.

Daniel Masiero Nering⁽²⁾

Engenheiro Mecânico, danielnering@gmail.com

Danyllo de Lima Guedes⁽³⁾

Engenheiro Naval, danylloguedes@gmail.com

Olavo Alberto Prates Sachs⁽⁴⁾

Engenheiro Sanitarista, osachs@sabesp.com.br

Adauto Luiz de Souza da Silva⁽⁵⁾

Técnico Mecânico, adautosilva@sabesp.com.br

André Luiz dos Santos⁽⁶⁾

Engenheiro Elétrico, santosal@sabesp.com.br

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Engenharia Mecânica da USP- Av. Professor Mello Moraes, 2231 - Butantã, São Paulo - SP, 05508-030 – Brasil, Telefone: (11) 3091-5570. e-mail: marcospereira@usp.br.

RESUMO

O trabalho descreve o emprego de técnicas redundantes de medição de vazão aplicadas ao duto de saída da nova ETA Vargem Grande, da Sabesp. A vazão foi medida com o medidor eletromagnético residente na saída da estação, com um medidor ultrassônico *clamp on* e com o uso de um tubo de Pitot tipo Cole instalado a jusante da estação. Foi feita uma simulação digital para verificar a forma das linhas de corrente do escoamento. Os resultados mostraram concordância entre o eletromagnético e o ultrassônico, confirmado pela simulação, dentro de 2%. Os resultados com o Pitot foram piores devido a problemas na medição.

PALAVRAS-CHAVE: medição de vazão; simulação de escoamento em conduto fechado; comparação entre medidores de vazão de grande porte em condutos forçados.

INTRODUÇÃO

Este trabalho faz parte de um projeto da Sabesp com um grupo de consultores para, entre outros assuntos, investigar métodos de medição de vazão com o uso de macromedidores de porte superior a 400mm (tubos de Venturi, medidores eletromagnéticos, medidores ultrassônicos, etc.) em situações não normalizadas, quase sempre sem trecho reto que permita obediência às normas. Medidores deste tipo são costumeiramente calibrados com tubos de Pitot tipo Cole, em muitas situações também instalados em condições não corretas. Foi realizado um experimento na tubulação de saída de água tratada da nova ETA Vargem Grande, onde está instalado um medidor de vazão do tipo eletromagnético, a jusante do conjunto de bombas e de uma curva a 90°. O ensaio foi realizado por comparação com as medições realizadas por um medidor de vazão ultrassônico do tipo *clamp on*, instalado de maneira peculiar como descrito à frente e próximo ao medidor eletromagnético, e contra a medição executada por meio de um medidor Pitot tipo Cole, situado a 300m a jusante. Foi então feita uma simulação digital do escoamento por meio do software Ansys, para entender melhor o tipo de escoamento e as influências do perfil de velocidades nas medições de vazão com os instrumentos disponíveis.

OBJETIVO

O objetivo do trabalho foi verificar a possibilidade de utilizar outros métodos de calibração de macromedidores em campo, além da estação de medição com tubo de Pitot tipo Cole. Como alternativas foram utilizados um medidor do

tipo *clamp on* instalado em diversas posições ao longo de um perímetro do tubo, e a simulação digital que permitiria verificar como o escoamento se desenvolve em determinadas situações e como se poderia aproveitar estas informações para corrigir e melhorar a qualidade das medições.

MÉTODO UTILIZADO

Nos ensaios foram utilizados o medidor eletromagnético próprio da ETA, na saída da estação de bombeamento de água tratada, um tubo de Pitot tipo Cole em uma estação hidrométrica situada algumas centenas de metros a jusante do medidor eletromagnético e também um medidor ultrassônico *clamp on*, em uma posição próxima ao eletromagnético. O medidor ultrassônico foi utilizado em três direções diametrais diferentes, num mesmo perímetro.

A figura a seguir mostra a posição relativa entre os medidores.

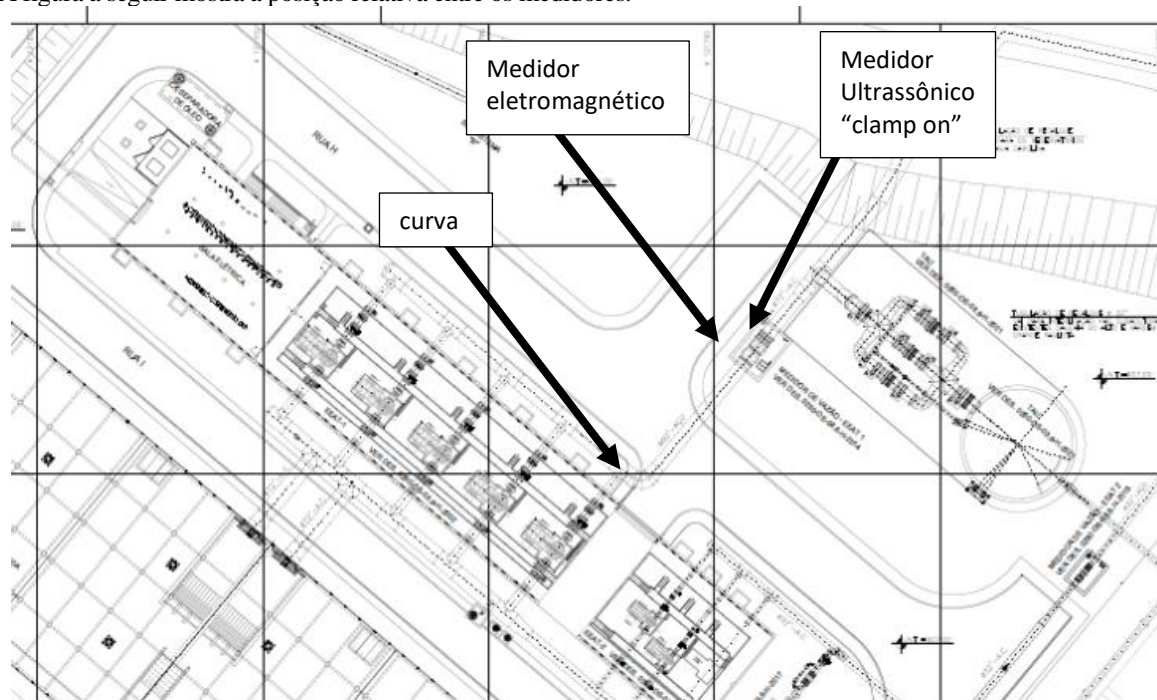


Figura 1 - Planta mostrando a situação da casa de bombas, das curvas da tubulação ainda dentro da casa de bombas, da última curva a montante da estação de medição com medidor eletromagnético, da estação do medidor eletromagnético e do medidor ultrassônico, e da tubulação e curvas a montante da estação Pitométrica, situada na rua fora da ETA.

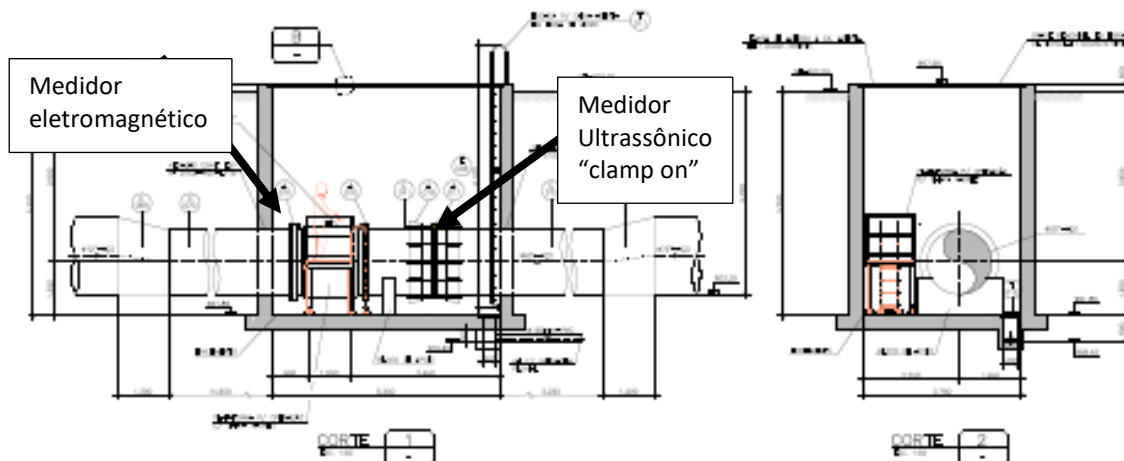


Figura 2 - Vista lateral do poço onde está instalado o medidor eletromagnético e onde foi instalado o medidor ultrassônico “clamp on” em diversas posições. Diâmetro de 1524 mm.



Figura 3 Estação de bombeamento de água tratada da ETA

A foto seguinte mostra o trecho lixado para a instalação do medidor ultrassônico por “clamp on” em diversas posições perimetrais da tubulação.



Figura 4 - Foto do ponto de medição da ETA onde fica o medidor eletromagnético de água tratada, bem defronte a escada amarela. Os técnicos da SABESP estão posicionando o medidor ultrassônico “clamp on” para as medições redundantes, nas duas pistas de onde foi retirada a tinta da tubulação.

Para estimar qual é o perfil de velocidades na seção do medidor eletromagnético na saída da água tratada da ETA Vargem Grande, foi realizado um trabalho de simulação numérica utilizando o software ANSYS Fluent. A geometria utilizada para realizar a simulação é apresentada abaixo na Figura 5.

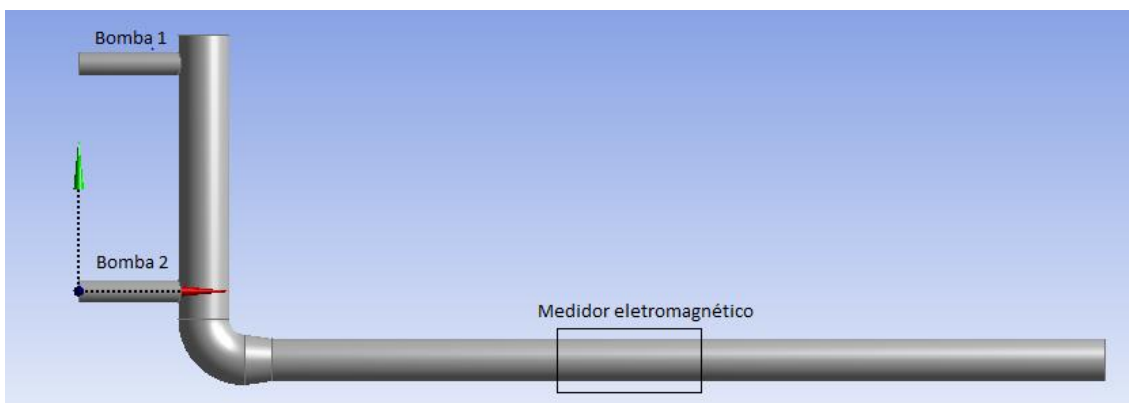


Figura 5 Modelo utilizado para simulação numérica

Para realizar a simulação foram utilizadas algumas hipóteses com o intuito de facilitar o entendimento e aumentar a precisão do modelo:

- Foi considerado que o perfil da saída das bombas é simétrico, pois o perfil de velocidades na saída da bomba não é conhecido. Para descobrir esse perfil de velocidades, teria que ser simulada a bomba em si, o que consumiria um tempo excessivo de computação, e que normalmente não acrescenta qualidade aos resultados sem esta simulação. Para compensar essa simplificação, foi considerado que o perfil é simétrico em velocidades, mas com alta turbulência e vorticidade, como é esperado da saída de uma bomba.
- Foram simuladas duas situações: uma bomba funcionando e resultando em uma vazão de $2,7\text{m}^3/\text{s}$; e duas bombas funcionando resultando em uma vazão de $4,8\text{m}^3/\text{s}$.
- O modelo utilizado para realizar as simulações foi o “realizable k-ε”. Esse modelo foi utilizado devido a sua eficácia em simular escoamentos fechados.

A malha gerada para realizar a simulação contém 559 mil nós com a utilização de técnicas para capturar os efeitos da camada limite com maior precisão. Além disso, a malha próxima das singularidades apresenta elementos menores para capturar com mais precisão as alterações de gradientes de velocidade e turbulência.

Após cerca de 1000 iterações os resultados convergiram.

Para realizar o estudo dos perfis de velocidade foram definidas 4 seções diferentes da tubulação, todas na mesma tubulação de diâmetro de 60", onde fica localizado o medidor eletromagnético. As quatro seções, apresentadas na figura 6 são:

- Seção 1: Logo após as singularidades (cotovelo + redução de diâmetro). Esse perfil de velocidades deverá mostrar a magnitude de toda a distorção que ocorre devido as singularidades.
- Seção 2: A montante dos medidores, que deverá ser o perfil capturado pelo medidor eletromagnético.
- Seção 3: A jusante dos medidores, que deverá ser o perfil que mais se aproxima da medição do medidor ultrassônico realizado por nós.
- Seção 4: Logo a montante da próxima singularidade, que seria a seção onde o escoamento estaria mais desenvolvido.

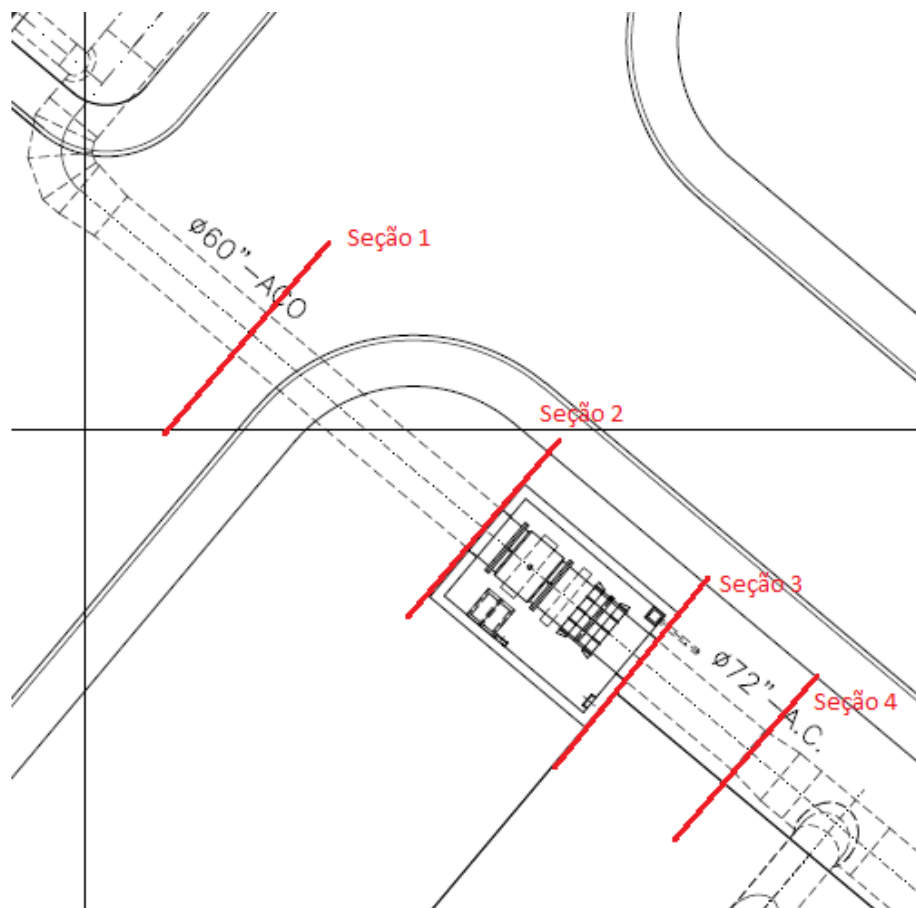


Figura 6 Seções transversais de análise de perfis de velocidade

RESULTADOS DAS MEDIÇÕES COM ELETROMAGNÉTICO, ULTRASSOM E PITOT

A Figura mostra as três posições físicas que representam os três diâmetros onde foram posicionados os sensores do medidor ultrassônico. A visada é de quem olha da posição do ultrassônico para o medidor eletromagnético, de jusante para montante. A posição 1 está na horizontal.

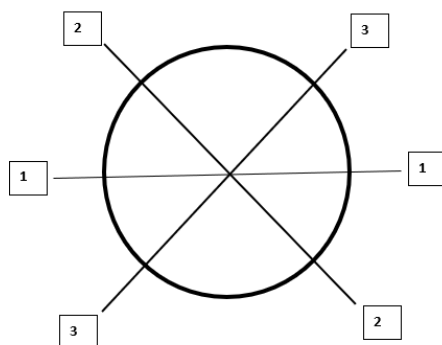


Figura 7 Croquis mostrando as posições de instalações dos sensores do medidor ultrassônico

Na fase de ajuste, com o ultrassônico na posição 1 foi realizada uma medição às 10:57, sendo obtido no eletromagnético 2,830 m³/s e no ultrassônico 2,775 m³/s.

Os conjuntos de medição foram assim divididos:

a) Vazão com uma única bomba, ao redor de 2,700 m³/s

Posição 1 - 10:58 às 11:02

Posição 2 - 11:17 às 11:20

Posição 3 - 11:33 às 11:37

b) Vazão com duas bombas, ao redor de 4,850 m³/s

Posição 3 - 12:01 às 12:04

Posição 1 - 12:26 às 12:30

Posição 2 - 12:34 às 12:38

Estes períodos serão utilizados para estimar as vazões médias e desvios com os três conjuntos de dados disponíveis: ultrassom, eletromagnético e Pitot.

Após os cálculos, foram gerados gráficos que mostram o comportamento dos medidores utilizados, dentro das janelas de comparação acima descritas.

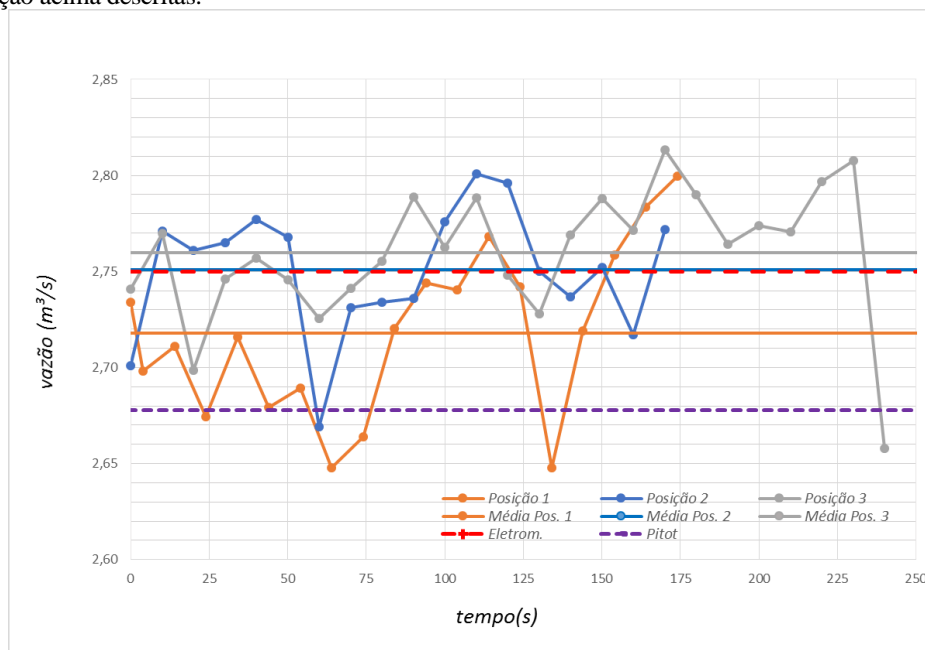


Figura 8 Comparação entre as medidas de vazão realizadas com o medidor ultrassônico nas três direções (direções 1; 2 e 3, segundo a Figura), e o medidor eletromagnético e as medições com o Pitot. Medidas realizadas para uma bomba operando na vazão média de 2,7 m³/s.

Pode-se observar que a vazão média do medidor eletromagnético está muito próxima da média medida com o medidor ultrassônico na posição 2, e também próxima da média obtida com o medidor ultrassônico na posição 3. A medição na posição 1 possui um desvio maior, talvez influência da curva de 90° a montante desta estação de medição, como se verá mais adiante. As medições com o Pitot apresentam o maior desvio de vazão média dentre todas as realizadas.

A tabela a seguir mostra as médias e desvio padrão de cada medidor, respectivamente a suas variações temporais.

Tabela 1 - Médias das medições para a vazão de 2,7 m³/s. Esta tabela foi **corrigida e ampliada** em relação à tabela apresentada no relatório anterior, número 3. Observar que foi incluída uma coluna com o desvio porcentual das médias em relação ao medidor eletromagnético considerado como padrão, segundo a fórmula:

$$\text{Méd. Rel. Elet: } 100 \frac{\text{Vazão Medidor} - \text{Vazão Eletromagnético}}{\text{Vazão Eletromagnético}}$$

Posição	Média	Méd. Rel. Elet.	Desvio Padrão	Máximo Valor	Mínimo Valor
Ult -1	2,718	-1,17%	0,044	2,800	2,648
Ult- 2	2,751	0,03%	0,033	2,801	2,669
Ult -3	2,760	0,36%	0,034	2,814	2,658
Eletrom.	2,750	-	0,159	2,936	2,400
Pitot	2,678	-2,62%	*valores em m ³ /s		

Observar que o medidor ultrassônico instalado na posição 2 apresentou o menor desvio em relação ao eletromagnético, e o Pitot, o maior.

A Figura mostra a situação para a medição realizada com duas bombas em operação.

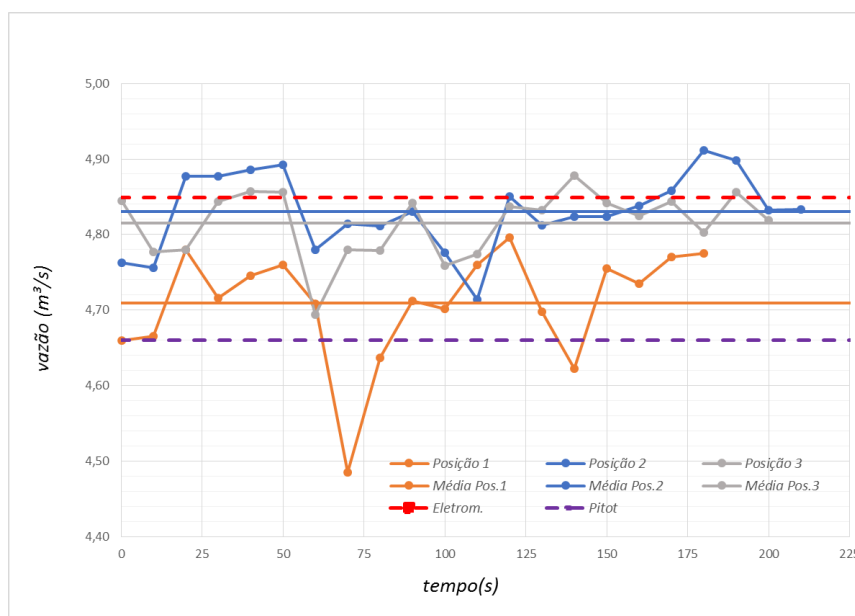


Figura 9 Comparação entre as medidas de vazão realizadas com o medidor ultrassônico nas três posições (posições 1;2 e 3, segundo a figura 20), e o medidor eletromagnético e as medições com o Pitot. Medidas realizadas para duas bombas operando na vazão média de 4,8 m³/s.

As curvas repetem o mesmo comportamento que para a vazão menor, com apenas uma bomba.

Tabela 2 Médias para a vazão de 4,8 m³/s.

Posição	Média	Méd. Rel Elet.	Desvio Padrão	Máximo Valor	Mínimo Valor
---------	-------	----------------	---------------	--------------	--------------

Ult -1	4,710	-2,88%	0,074	4,796	4,485
Ult- 2	4,830	-0,39%	0,051	4,912	4,714
Ult -3	4,815	-0,70%	0,044	4,878	4,694
Eletrom.	4,849	-	0,040	4,915	4,753
Pitot	4,66	-3,90%	*valores em m ³ /s		

Observar que também para esta vazão, com duas bombas e com 4,8 m³/s de vazão total, quando se considera o medidor eletromagnético como padrão, o menor desvio porcentual novamente é aquele ocasionado pela medição com o medidor ultrassônico na posição dois.

As figuras 10 e 11 mostram os desvios, considerando o medidor eletromagnético como referência (e não o Pitot). Isso atenta para o fato de que, potencialmente, o eletromagnético pode fornecer incertezas de medição da ordem de 0,5%, enquanto o Pitot fornece incertezas da ordem de 2,0% a 2,5%. Trata-se de aplicar outro olhar sobre os dados, para testar métodos diferentes.

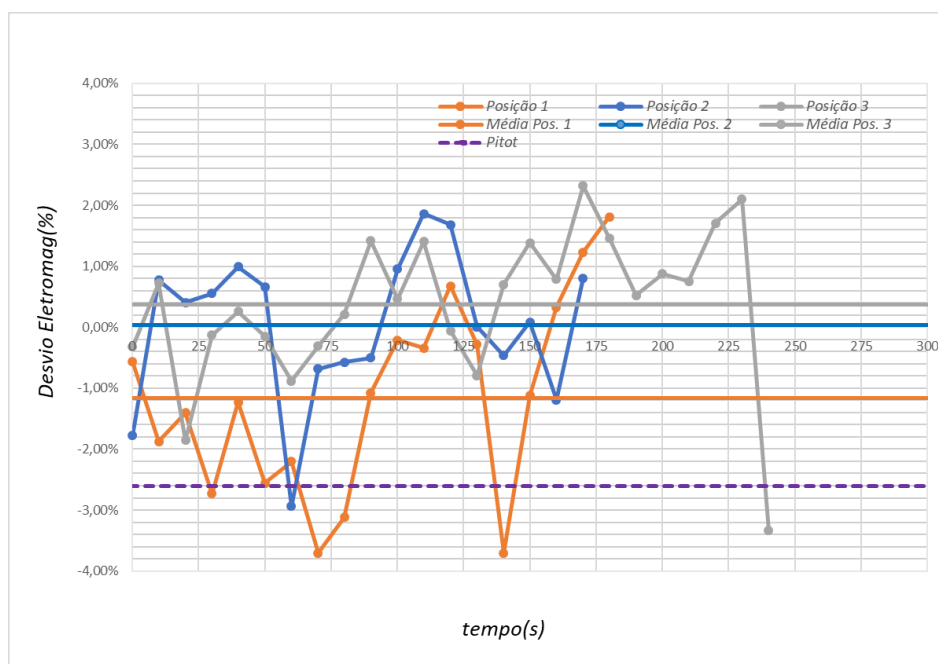


Figura 10 Desvios das medições, considerando o medidor eletromagnético como referência, na vazão com uma bomba, a 2,7 m³/s.

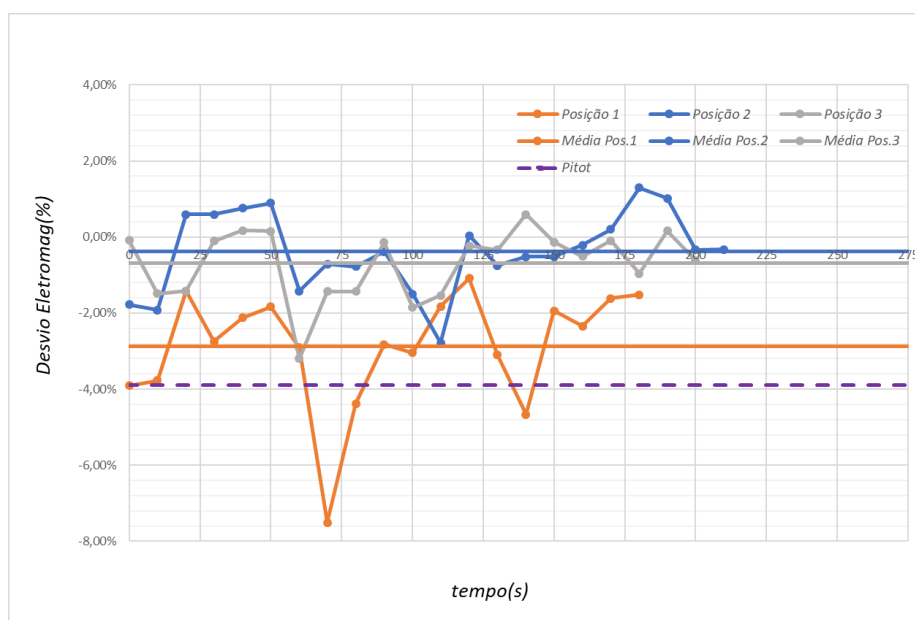


Figura 11 Desvios das medições, considerando o medidor eletromagnético como referência, na vazão com duas bombas, a 4,8 m³/s.

Para entender como a posição das sondas do medidor ultrassônico forneceram resultados de vazões muito próximos aos do medidor eletromagnético, foram realizadas simulações digitais para verificar como a forma do perfil de velocidades pode influenciar os resultados.

Com a simulação numérica do conjunto de tubulações que alimenta o medidor eletromagnético, mostrada a seguir, se poderá compreender melhor a situação e as possibilidades que se abrem para outras soluções.

RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DIGITAL

Foram analisados os escoamentos nas quatro seções transversais apresentadas na figura 6. Isso foi necessário para que se pudesse entender como as linhas de corrente e as velocidades se desenvolvem neste trecho, e como podem afetar os resultados obtidos nas medições.

Na seção transversal 1 (logo a jusante da curva de 90° na saída da casa de bombas), pode se ver que o perfil (axial) de velocidades apresenta uma distorção bem pronunciada (Figura 12 e Figura 1), nas duas vazões. Observa-se que há uma região de pico de velocidades do lado esquerdo das figuras, compatível com a curva de 90°, que acelera o escoamento do lado mais longo da curva e desacelera do lado mais curto.

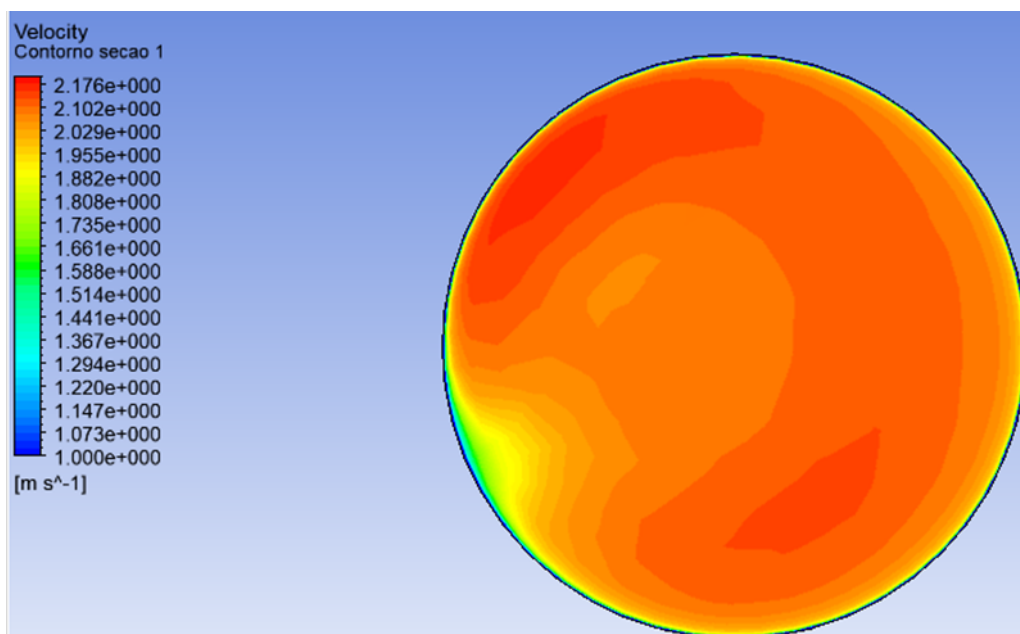


Figura 12 Perfil de velocidades na seção 1 para a velocidade de 2,7 m³/s. Visão de jusante pra montante.

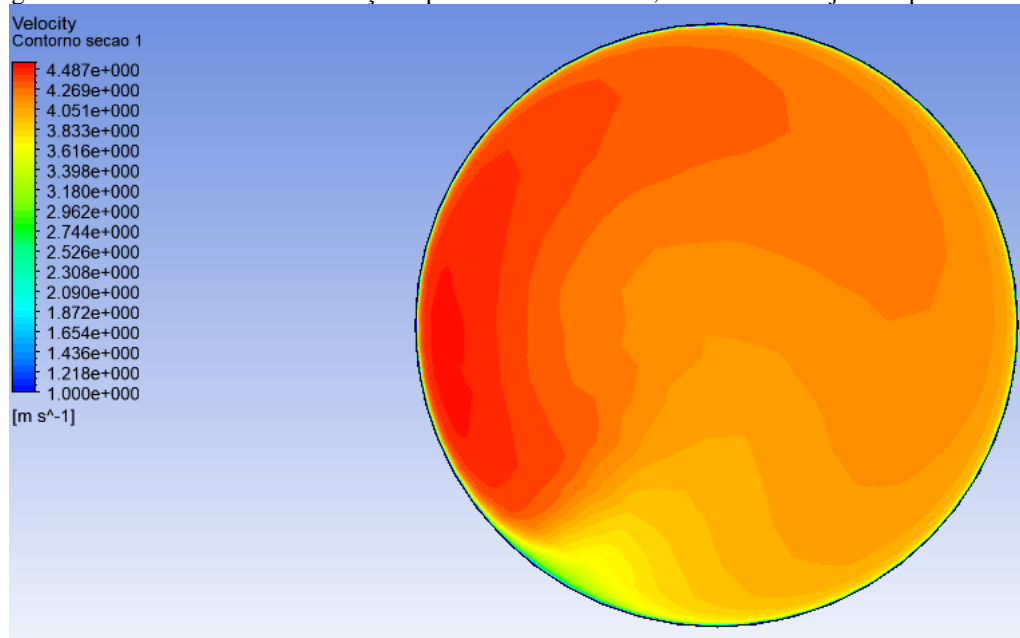


Figura 1 Perfil de velocidades na seção 1 para a velocidade de 4,8 m³/s

Comparando o comportamento dos perfis nas duas situações, com uma e duas bombas em funcionamento, é possível observar que no caso de uma bomba em funcionamento o perfil se apresenta um pouco mais distribuído ao longo da seção transversal, e no caso de duas bombas, as velocidades são bem maiores e o escoamento girou mais no sentido anti-horário, indicando um movimento rotacional, como era de se esperar pela influência da curva de 90°.

Para completar a análise, observa-se nas Figura 14 e 15 que os vetores de velocidades tangenciais mostram o quanto o escoamento ainda está com alta vorticidade. Nessas figuras, observa-se que as velocidades tangenciais apresentam grande magnitude, da mesma ordem de grandeza das velocidades axiais, principalmente do lado esquerdo da figura. Esse comportamento, à medida que o fluido percorre a tubulação, se modifica e o escoamento se desenvolve e vai reduzindo a intensidade, como será mostrado nas seções transversais subsequentes.

Comparando as duas situações, é possível observar um comportamento muito similar, com apenas um pequeno deslocamento entre as direções. É interessante perceber que a velocidade tangencial máxima é maior

proporcionalmente no caso com as duas bombas funcionando, sendo o resultado de maior velocidade e possivelmente também influenciado pela mistura entre os escoamentos nas duas bombas.

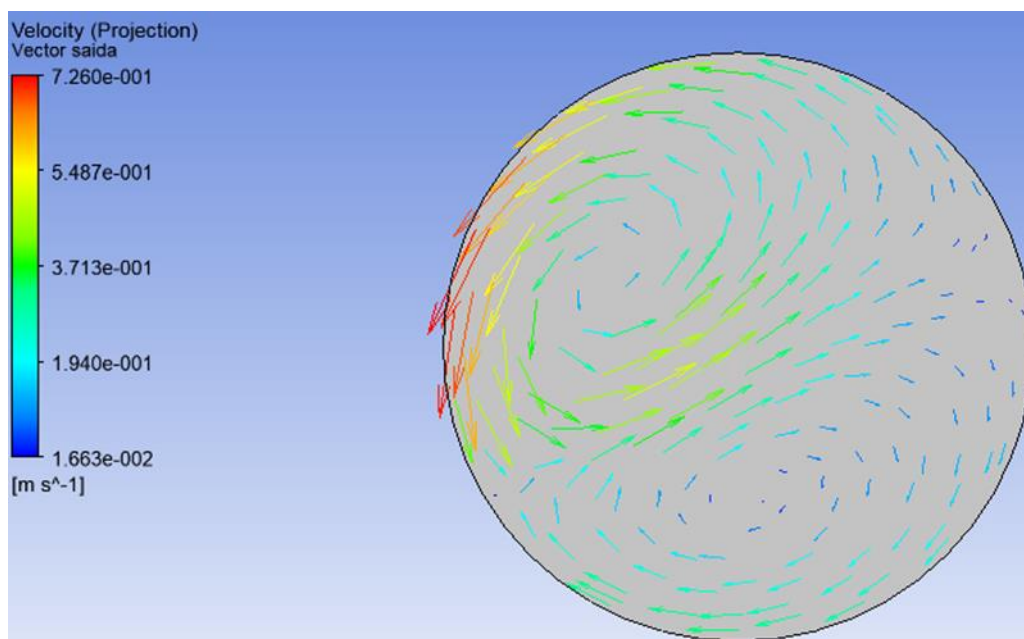


Figura 14 Vetores de velocidade tangencial na seção 1, para uma bomba.

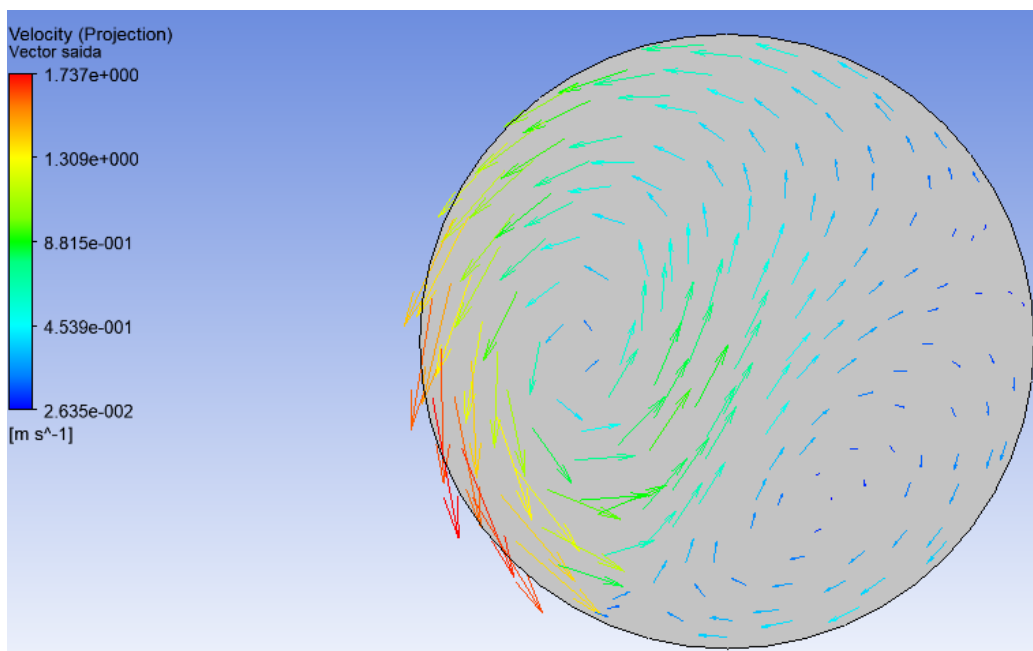


Figura 15 Vetores de velocidade tangencial na seção 1, para duas bombas

Analisando o perfil de velocidades na seção transversal 2 (Figura e 17), imediatamente a montante do medidor eletromagnético, vê-se que o escoamento se desenvolveu um pouco mais, embora guarde ainda muita informação do que ocorre na seção transversal 1. Aqui já se percebe que o escoamento tende a ficar mais simétrico, o que certamente representa uma vantagem na medição de vazão, qualquer que seja o tipo do medidor.

A diferença entre as duas vazões de funcionamento continua coerente com o esperado, com um giro maior no sentido anti-horário quando se tem velocidade maior.

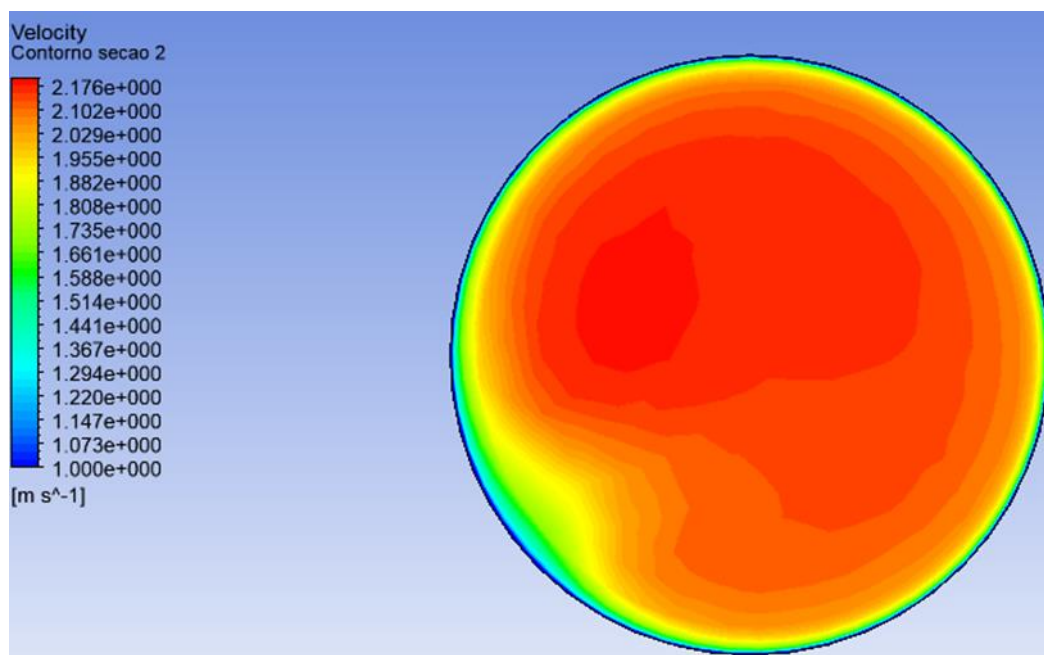


Figura 16 Perfil de velocidades na seção transversal 2, com uma bomba em funcionamento

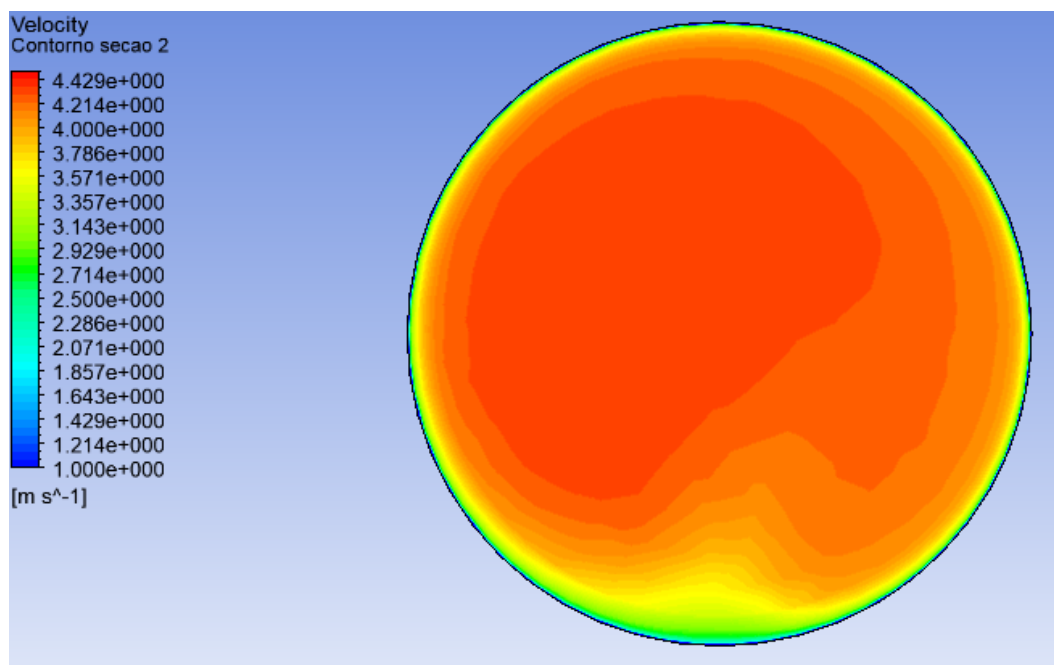


Figura 17 Perfil de velocidades na seção transversal 2, com duas bombas em funcionamento

Analisando as velocidades tangenciais na seção transversal 2, é possível observar uma redução na magnitude dos vetores velocidade concentrada próxima à parede da tubulação ao lado esquerdo da figura. No entanto, a magnitude dessas velocidades ainda é consideravelmente alta em relação à velocidade axial ao duto, ou seja, ainda é grande o impacto da vorticidade no escoamento.

Observando as velocidades tangenciais nas duas vazões, é possível observar uma intensidade muito menor no caso com uma bomba, com as velocidades mais altas um pouco deslocadas em relação ao caso com as duas bombas.

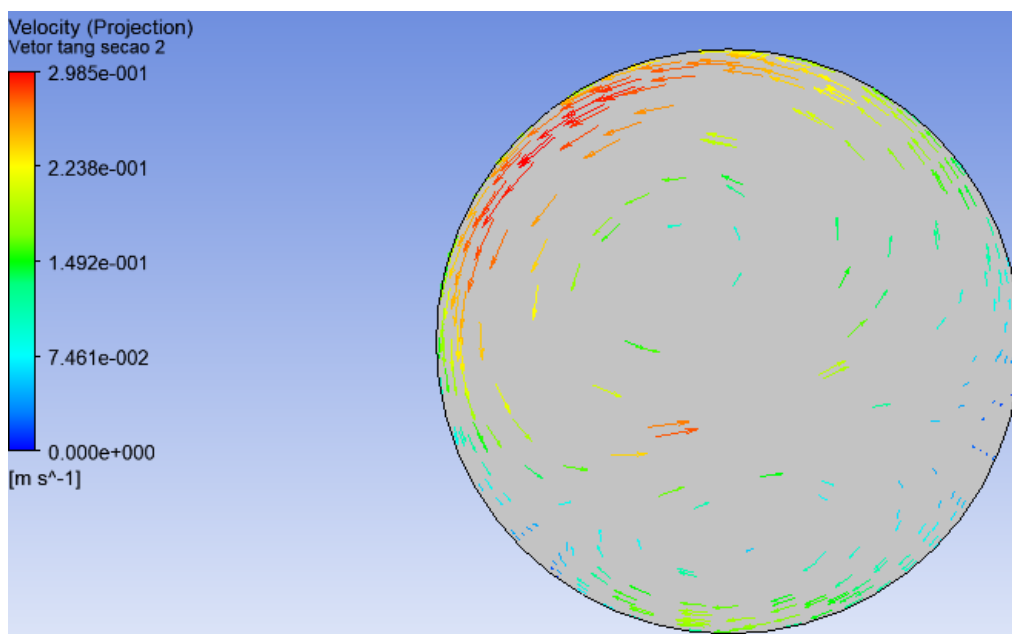


Figura 18 Velocidades tangenciais na seção 2 para uma bomba em funcionamento

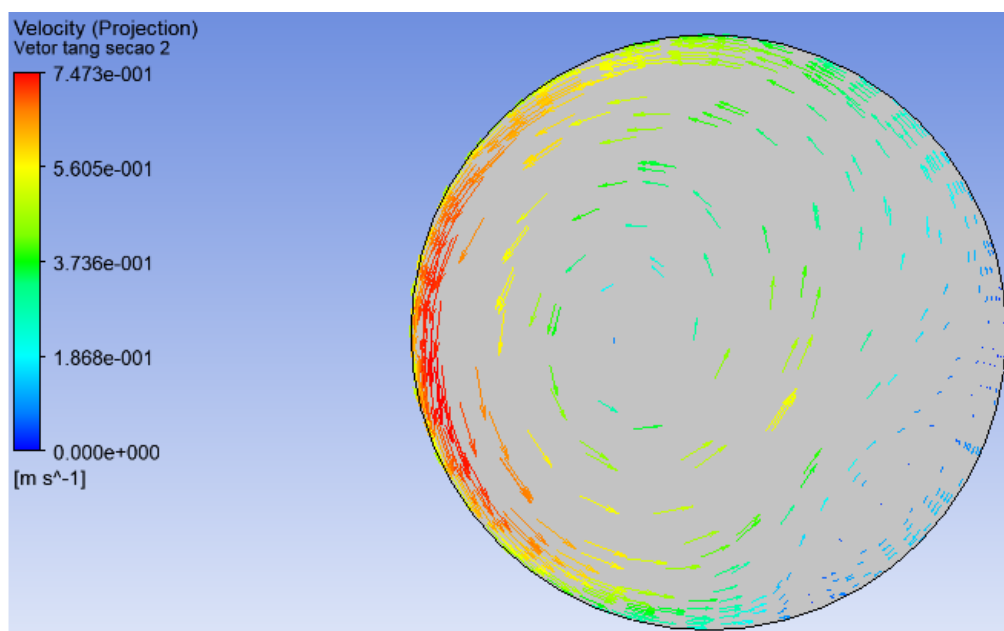


Figura 19 Velocidades tangenciais na seção 2, para duas bombas em funcionamento

Na seção transversal 3, logo a jusante do medidor ultrassônico, o perfil está um pouco mais desenvolvido que na seção anterior, mas ainda apresenta distorção (Figura).

Novamente, o efeito das velocidades mais altas na vazão com as duas bombas operando, é notável.

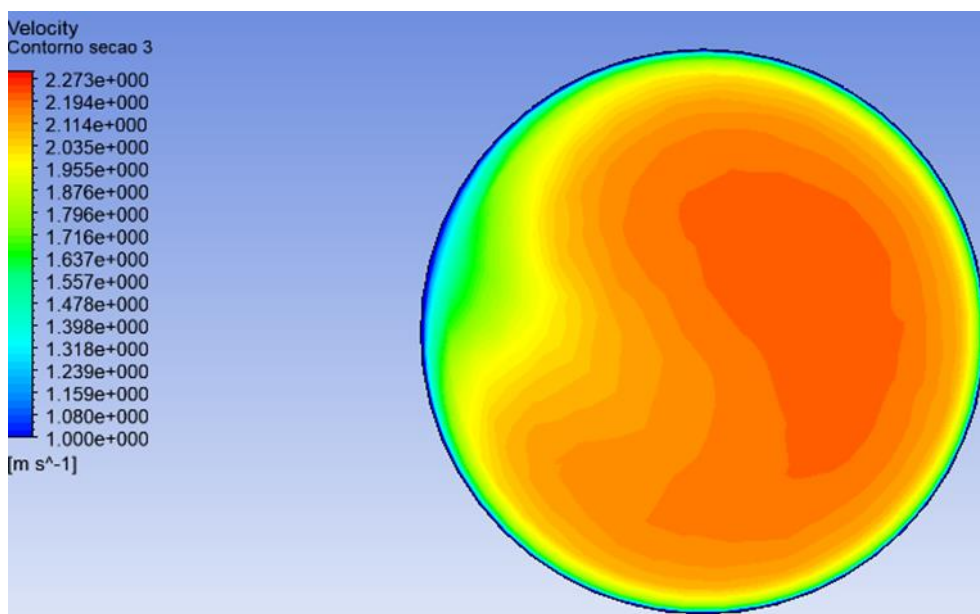


Figura 20 Perfil de velocidades na seção 3 para uma bomba em funcionamento

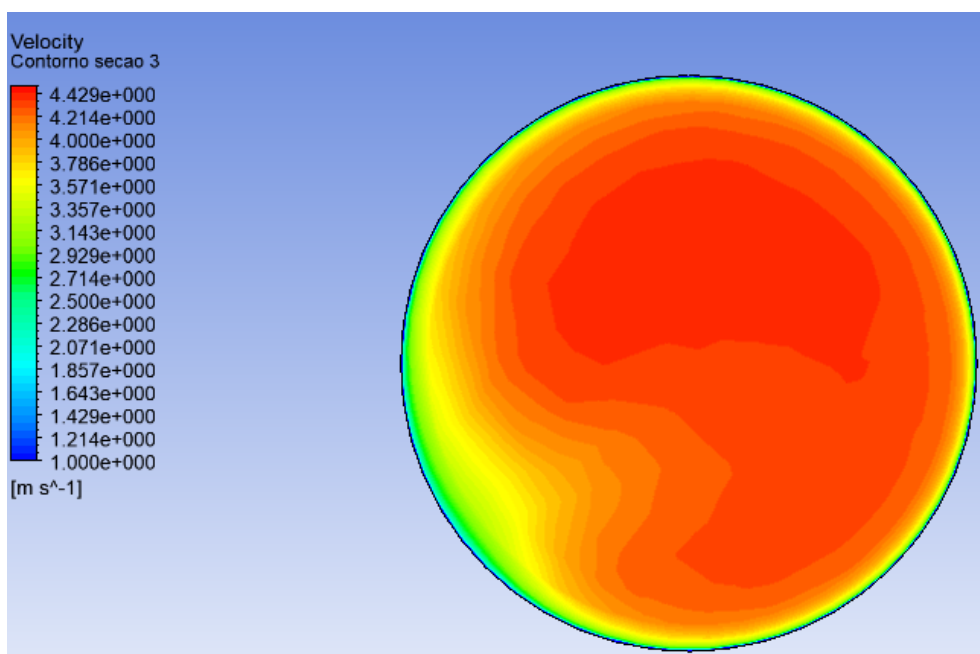


Figura 21 Perfil de velocidades na seção 3 para duas bombas em funcionamento

Observando as velocidades tangenciais na seção 3 (Figura 22), é possível observar uma lenta mudança do centro de rotação dos vórtices, e também uma redução na magnitude. Um ponto interessante de ser observado, é que a magnitude da velocidade tangencial é de cerca de 10% da velocidade total, bem diferente da seção transversal 1 onde os valores eram idênticos. Isso mostra claramente como o atrito foi consumido energia e diminuindo a velocidade tangencial à medida em que afasta da curva e das bombas a montante.

As velocidades tangenciais também começam a se tornar menos expressivas no caso com uma bomba, apesar de ainda representar uma boa parcela da velocidade total em termos de magnitude.

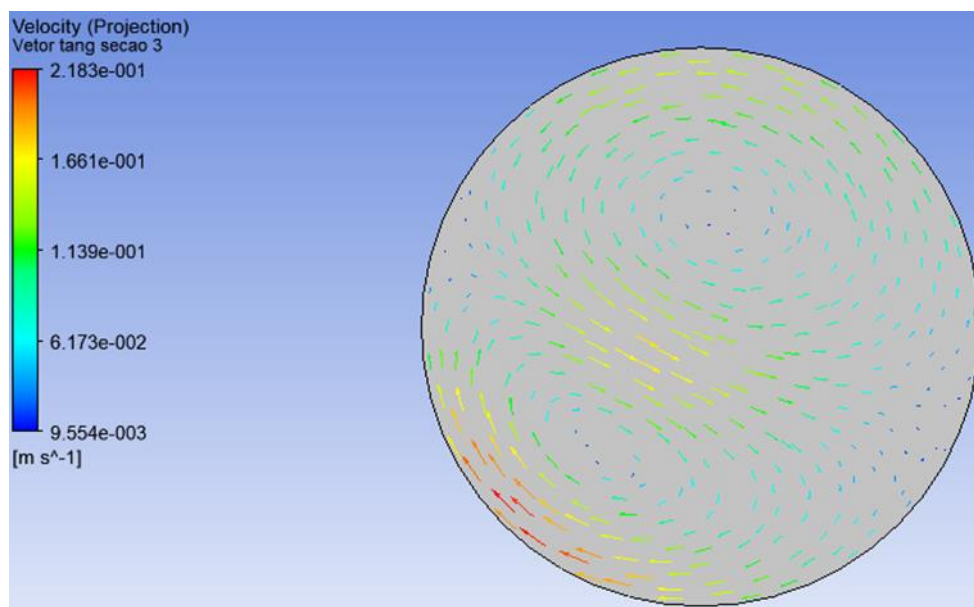


Figura 22 Velocidades tangenciais na seção transversal 3, com uma bomba funcionando

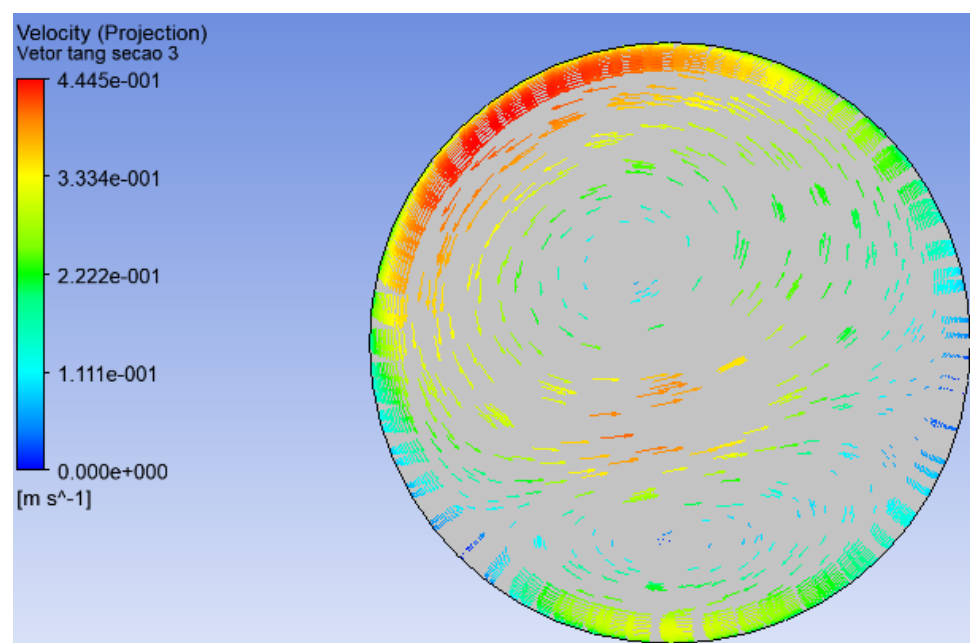


Figura 23 Velocidades tangenciais na seção 3, com duas bombas operando.

Finalmente, na seção transversal 4 pode-se observar que o perfil de velocidades continua a se desenvolver, mas ainda longe de estar plenamente desenvolvido, apresentando uma região com valores de velocidade mais desenvolvidos agora à direita da tubulação (Figura).

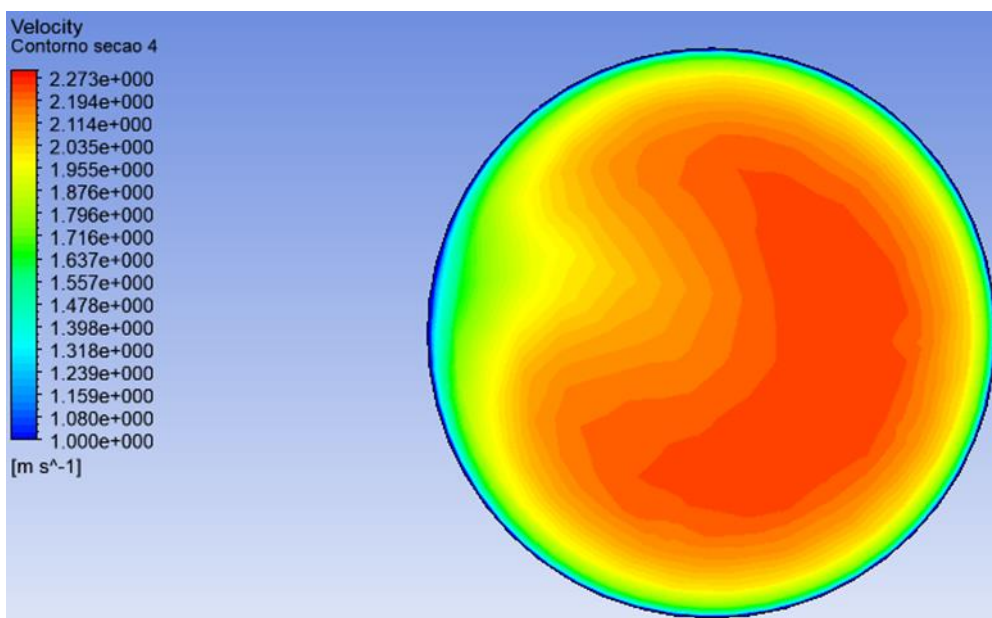


Figura 24 Perfil de velocidades na seção transversal 4, para uma bomba funcionando

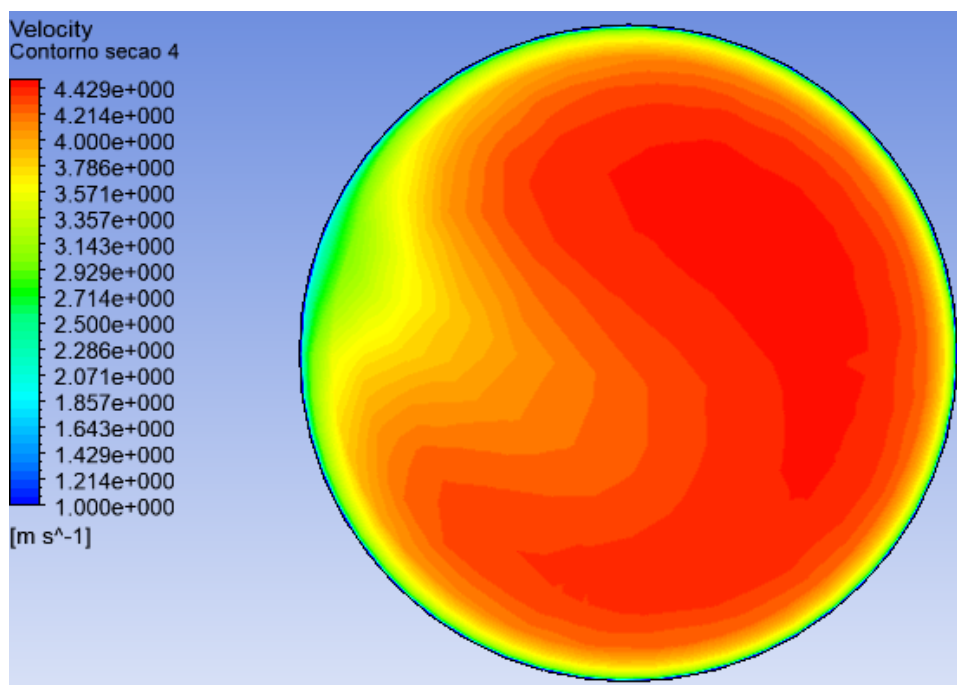


Figura 25 Perfil de velocidades na seção 4, com duas bombas funcionando

As velocidades tangenciais na seção 4 começam a ficar com magnitudes menores, indicando que os efeitos viscosos estão consumindo energia desta componente de velocidade, concentradas próximas às paredes da tubulação, mas ainda não desconsideráveis em relação a velocidade máxima.

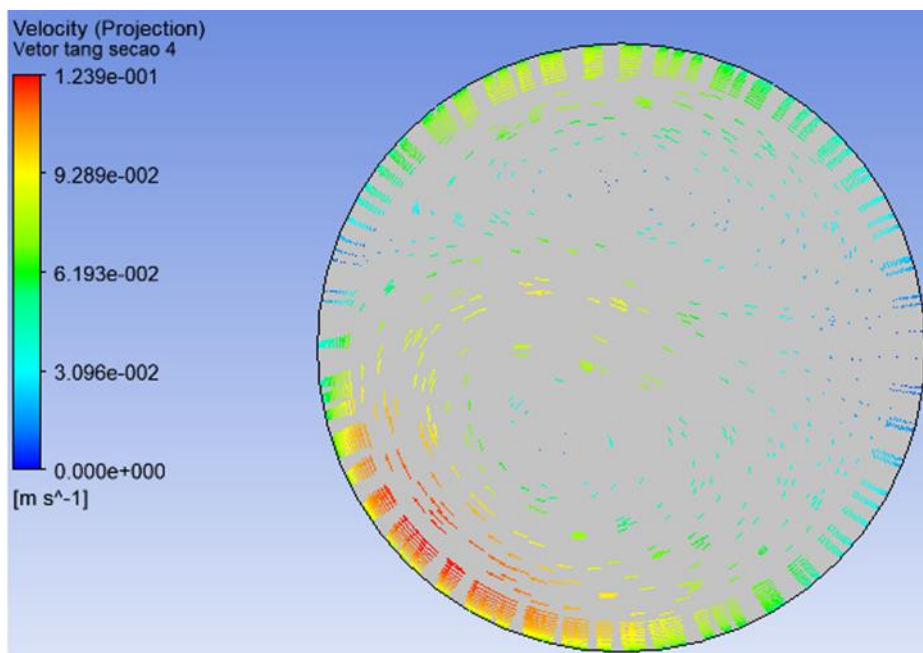


Figura 26 Velocidades tangenciais na seção transversal 4, para uma bomba funcionando

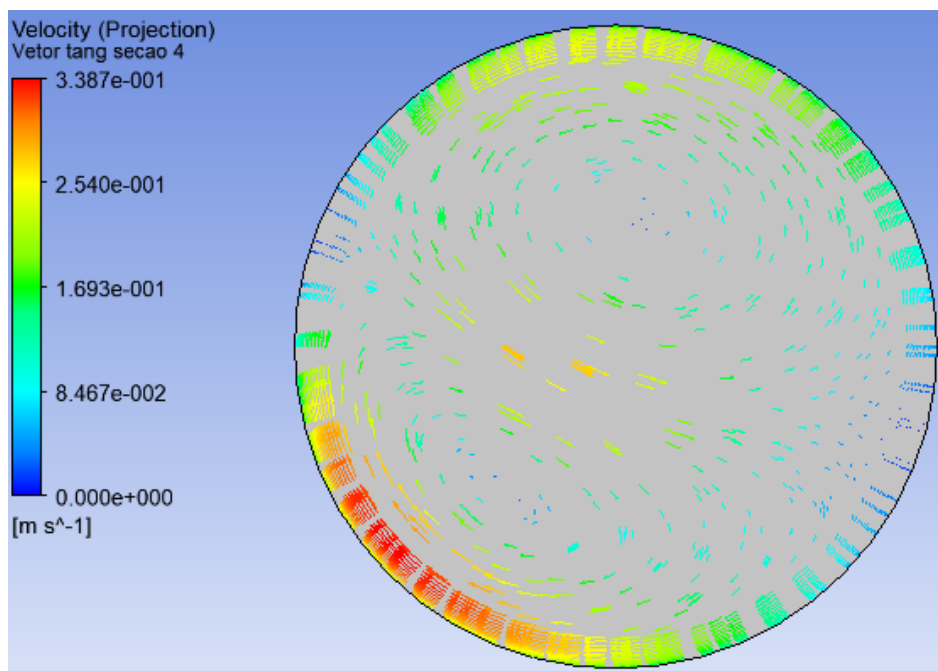


Figura 27 Velocidades tangenciais na seção transversal 4, para duas bombas funcionando

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A sequência de simulações mostrada na figura a seguir mostra que a influência da curva de 90° a montante da primeira seção é muito importante, embora não se possa descartar a influência das curvas a 90° das saídas das bombas e o perfil provavelmente muito perturbado devido à movimentação do rotor das bombas. Mas se observa claramente que o escoamento gira no sentido anti-horário, e que isso pode representar diferenças ao utilizar o medidor ultrassônico em

diferentes posições diametrais, fato que pode ser indicação das diferentes medições nas três posições (embora existam também outras formas de incertezas associadas: variações de vazão e de qualidade de posicionamento das sondas).

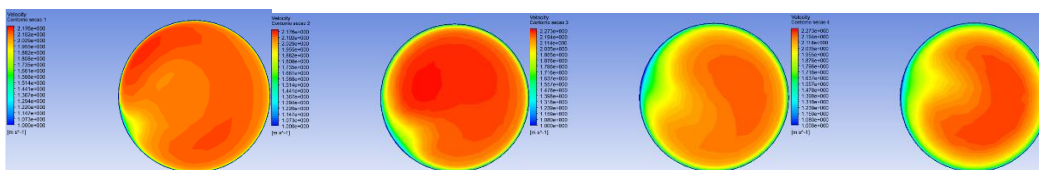


Figura 28 Observar a rotação no sentido anti-horário, para vazão com uma bomba, nas quatro seções transversais apresentadas na figura 6.

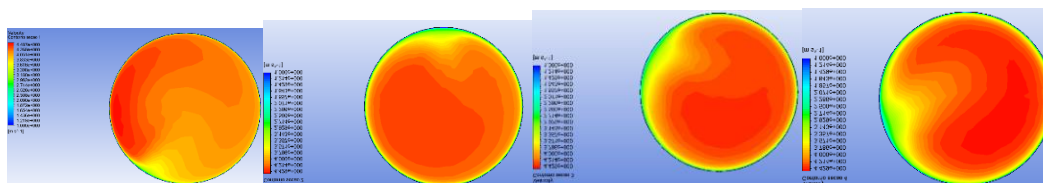


Figura 29 Observar a rotação no sentido anti-horário, para vazão com duas bombas, nas quatro seções transversais apresentadas na figura 6.

Tomando agora a seção transversal 3, são traçados os eixos diametrais onde foram instalados os sensores “clamp on”, com os resultados descritos nas tabelas anteriores (Figura).

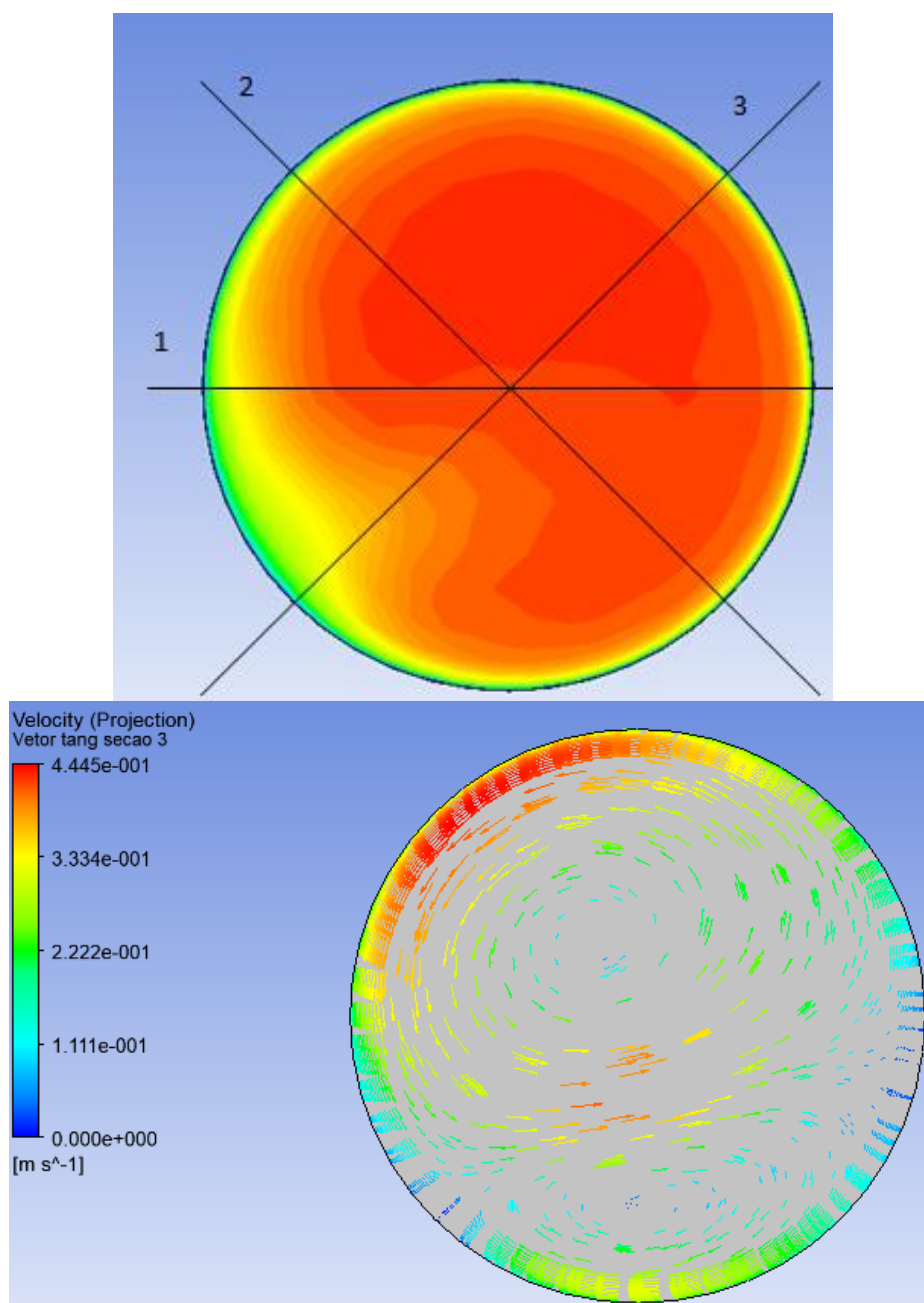


Figura 30 Os valores representam o desvios das medições nas três direções com o medidor ultrassônico, em relação ao medidor eletromagnético como “padrão”. Nesta condição o desvio com o tubo de Pitot era de -3,90%.

Foi mostrado que a medição na direção 1 apresentou os maiores desvios de vazão na média, -2,88%, ou seja, a menor vazão. Deve ser observado que a direção 1 não atravessa a região de maior velocidade axial (mancha vermelha mais escura) e na extremidade da esquerda atravessa região de baixa velocidade.

Já a direção 2 (-0,39%) apresenta o menor desvio, pois cruza apenas regiões sem grandes gradientes de velocidades.

A direção 3 (-0,70%) atravessa áreas de altas velocidades, mas também de baixas velocidades, que podem ter se compensado e produzido este resultado intermediário. A direção três curiosamente ficou bem alinhada com as velocidades tangenciais em boa parte do trajeto assim como a direção 1, o que pode ter influenciado a leitura do ultrassônico. Já a direção 2 ficou quase sempre perpendicular às velocidades tangenciais e, como obteve o menor desvio, é algo a ser melhor investigado com novos ensaios em outras situações ou velocidades.

CONCLUSÕES

É importante ressaltar que nessa simulação os efeitos das bombas não foram considerados integralmente. As bombas produzem grande vorticidade no escoamento e distorções no perfil de velocidades, e não se pode considerar que os medidores estão suficientemente longe das bombas para que esses efeitos não tenham alguma influência.

A situação é complexa e estes resultados são apenas preliminares, necessitando muito mais estudos para a consolidação de resultados, tendências e métodos. Complexo, porque se tem uma situação onde o medidor padrão, ou de referência, utilizado é o tubo de Pitot, com incertezas da ordem de 2,5%, enquanto o medidor sendo calibrado é um eletromagnético, com incertezas potencialmente na faixa de 0,5%. O medidor padrão possui incerteza de medição cerca de 5 vezes pior que o medidor sendo calibrado, enquanto as normas de calibração indicam que a situação deveria ser ao contrário, como medidor de referência sendo tendo incerteza no mínimo 4 vezes melhor que o medidor sendo calibrado.

Mas esse é o caso em que a situação assim exige: não há maneiras, aparentemente, melhores para levantar a curva de calibração de um medidor eletromagnético deste porte, que a utilização de um tubo de Pitot como padrão. Estes resultados mostram que o medidor ultrassônico por *clamp on* pode vir a ser uma alternativa.

Este estudo necessita de mais medições em campo, mas os resultados obtidos com as medições e as simulações para Vargem Grande são bastante animadores, como mostram os resultados apresentados na tabela 2, onde na posição dos diâmetros 2 e 3 as diferenças entre o medidor eletromagnético e o ultrassom foram inferiores a 0,4%, e no diâmetro 1 inferiores a 3%.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ISO 3966. *Measurement of fluid flow in closed conduits – Velocity area method using Pitot static tubes*, International Organization for Standardization ,2008.
2. ISO 6416. *Hydrometry. Measurement of discharge by the ultrasonic (acoustic) method* ,2005.
3. SABESP. *Norma Técnica Sabesp NTS 280 – Calibração de macromedidores*, São Paulo, Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, 2001.
4. ULTRAFLOW. *Medidor de vazão ultrassônico por tempo de trânsito - Manual*, Rev 11, 2017.
5. ISO 5168. *Measurement of fluid flow - Estimation of uncertainty of a flow rate measurement* International Organization for Standardization, 1978.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 9001:2008: *Sistemas de gestão da qualidade - requisitos*. Rio de Janeiro, 2008.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO/IEC 17025: *Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaios e calibração*. Rio de Janeiro, 2017