

# Análise Temporal De Calibrações De Medidores De Vazão Do Tipo Deslocamento Positivo Para Previsibilidade De Falhas

Davi Medeiros Pimenta  
Universidade Federal Rual do Semi-Árido  
Departamento de Engenharia e Tecnologia  
Mossoró, Brasil, 2023  
davi.mep@hotmail.com

Bruno Emmanuel De Oliveira Barros Luna  
Universidade Federal Rual do Semi-Árido  
Departamento de Engenharia e Tecnologia  
Mossoró, Brasil, 2023  
bruno.luna@ufersa.edu.br

**Resumo – O presente trabalho apresenta o estudo do histórico de calibração de medidores de vazão do tipo deslocamento positivo, utilizado na indústria de Petróleo e Gás, o qual está regulamentado, atualmente, pela Resolução Conjunta ANPInmetro N°.1 De 10 De Junho De 2013 [1], com o intuito de identificar possíveis falhas que ocorreram durante o período de utilização analisado, para identificação de falhas e auxiliar na previsibilidade possíveis falhas futuras, desse modo auxiliando na execução de manutenções preditivas e preventivas, evitando possíveis necessidades de manutenções corretivas que acabam sendo mais onerosas.**

**Palavra-chave: Calibração; Medidor de vazão; Manutenção.**

**Abstract – The present work presents the study of the measurement history of positive displacement flow meters, used in the Oil and Gas industry, which is currently regulated by the Joint Resolution ANPInmetro N°.1 of June 10, 2013 [1], in order to identify possible failures that occurred during the analyzed period of use, to identify failures and help predict possible future failures, thus assisting in the execution of predictive and preventive maintenance, avoiding possible needs for corrective maintenance that end up being more costly .**

**Keyword: Calibration; Flowmeter; Maintenance.**

## 1. INTRODUÇÃO

A Medição de Vazão se faz necessária para uma ampla variedade de aplicações que necessitem medir e mensurar a passagem de líquidos e fluidos de diversas naturezas, desse modo, os medidores de vazão têm por finalidade mensurar a quantidade de líquidos, gases ou sólidos que passam por um determinado local durante um intervalo de tempo, que, por definição, é o volume de um determinado fluido por um tempo estipulado.

Esse tipo de medição é necessário para o controle eficiente e a qualidade dos processos industriais. Através da Medição de Vazão há uma melhor gestão da produção e consequentemente maior eficiência, lucro e crescimento, já que haverá um maior controle contra perdas e gastos desnecessários.

Existem vários tipos de medidores de fluxo, cada um dos quais tem as suas vantagens e áreas específicas de utilização, onde devem ser avaliadas suas características que melhor atendem ao processo ao qual o mesmo será aplicado. Dentre os medidores disponíveis existem do tipo Placa Orifício, Tubo Venturi, Tubo Pitot, Tubo Annubar, Rotâmetros, Vórtex, Térmico, Placas de Impacto, Ultrassônico, Eletromagnético, Coriolis, Turbina e Deslocamento Positivo (também conhecido como de engrenagens), sendo os cinco últimos os mais frequentemente utilizados.

O trabalho centralizará o estudo em medidores do tipo Deslocamento Positivo, utilizados na indústria de Petróleo e Gás, regulamentados pela Resolução Conjunta ANPInmetro N°.1 De 10 De Junho De 2013 [1], analisando o histórico de calibração desses equipamentos para identificação de possíveis falhas que ocorreram durante um período determinado, a fim de realizar uma estimativa de previsibilidade de falhas futuras que podem ocorrer nesses equipamentos, viabilizando um melhor controle de manutenções desses equipamentos, possibilitando melhor alinhamento para manutenções preditivas e preventivas, evitando manutenções corretivas que podem se tornar mais desgastantes para as operações.

## 2. MEDIDOR DE VAZÃO DO TIPO DESLOCAMENTO POSITIVO

Um medidor de fluxo de Deslocamento Positivo é um instrumento que mede a taxa de fluxo de um fluido, esse tipo de medidor funciona passando o fluido ao longo de um mecanismo composto de várias células ou divisões de igual volume. O fluido que passa gira ou motiva este mecanismo, causando desse modo a passagem do fluido através do corpo do medidor em uma série de porções iguais. O mecanismo de rotação aciona um contador que lê o número de rotações efetuadas e, devido à natureza conhecida de cada porção passada, calcula o volume exato passado em qualquer dado momento. As células ou divisões que compõem o mecanismo do contador são formadas por lâminas impulsoras, as câmaras de diafragma e engrenagens ovais [2].

Esses medidores possuem vários meios de funcionamento, tais como pistão alternativo, de diafragma e tipos de engrenagens ovais. Dentre esses tipos de medidores deslocamento positivo, os medidores de engrenagens ovais estão entre os de construção mais simples, o que se traduz em menor necessidade e maior facilidade de manutenção.

Os medidores de engrenagens ovais são do tipo câmara simples, ou seja, o corpo além de servir como elemento de proteção atua também como câmara de medição. O medidor é composto de apenas quatro elementos: o corpo do medidor, um par de engrenagens ovais, as tampas de fechamento da câmara de medição e gerador de pulsos. A combinação adequada de materiais para o corpo, engrenagens e mancais tornam esse medidor aplicável em praticamente todas as condições de serviço [3].

O elemento de medição é constituído por somente um par de engrenagens ovais, movimentadas pelo próprio fluido a ser medido. Conforme Figura 1, o par de engrenagens captura e desloca um volume exato e definido de líquido através do medidor. Desta forma, o número de revoluções das engrenagens é diretamente proporcional ao volume medido [3].

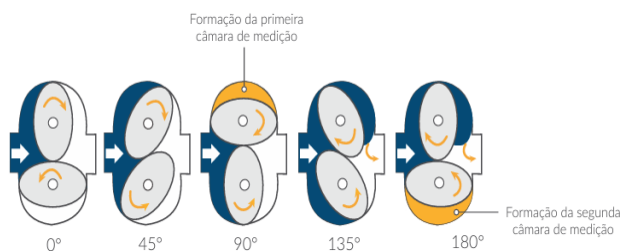


FIGURA 1 – FUNCIONAMENTO DO MEDIDOR DE VAZÃO DO TIPO DESLOCAMENTO POSITIVO [3].

Esse tipo de medidor possui várias vantagens sobre outros tipos e são amplamente utilizados como dispositivos de medição de pontos de consumo. Dentre essas vantagens incluem alta precisão e a capacidade para medir com precisão baixas taxas de fluidos. Além disso, os medidores do tipo deslocamento positivo também têm uma alta taxa de abertura de cama, que é o intervalo efetivo total de medições de vazão que eles são capazes de entregar.

Além dos detalhes supracitados, o medidor de fluxo de deslocamento positivo requer pouco condicionamento de medição de fluxo de fluido, desse modo é possível que o mesmo seja instalado diretamente após as curvas ou junções no sistema de tubulação sem que cause problemas na medição. Sua precisão e flexibilidade tornam o medidor de fluxo de deslocamento positivo uma escolha popular para vários tipos de aplicações. A desvantagem deste tipo de medidor é a sua sensibilidade aos fluidos sujos ou corrosivos.

### 3. FALHA DE MEDIDORES DE VAZÃO DO TIPO DESLOCAMENTO POSITIVO

Tendo em mente as informações sobre a forma de funcionamento dos medidores de vazão do tipo deslocamento positivo é possível entender os motivos aos quais esse tipo de medidor pode apresentar problemas em suas operações.

Dentre os principais problemas que podem apresentar nesse tipo de medidor é o desgaste de suas engrenagens devido ao tempo de uso e o tipo de fluido que possa estar sendo aplicado a eles. O desgaste das engrenagens pode fazer com que apresentem erros nas medidas realizadas, afetando a repetibilidade das medições.

Essa situação pode ocasionar desgastes nos “dentes” das engrenagens, onde isso pode ocasionar alguns fenômenos, como o deslize das engrenagens, que fará com que os dentes das engrenagens percam o passo uma da outra, proporcionando assim a perda da sincronia mostrada na Figura 1, desse modo fazendo leitura errada da quantidade de voltas.

Outras situações que podem ocorrer são ocasionadas por folgas nas peças das engrenagens, que pode fazer com que as engrenagens saltem, pois a medida que as engrenagens giram, como há folgas, fará com que ocorram vibrações e que essas vibrações podem fazer com que os dentes das engrenagens pulem, fazendo assim com que percam o passo dos giros e causem erros nas leituras.

Da mesma forma, essas folgas nas engrenagens podem desengrenar as mesmas, fazendo com que percam completamente os passos dos giros ou até mesmo a trava das peças, deixando o medidor completamente inoperante até que sejam realizadas as devidas intervenções corretivas.

Por fim, outro tipo de falha que possa ocorrer nesse tipo de medidor são falhas nos sensores ópticos, que são responsáveis por captarem os passos dos giros das engrenagens e enviarem esses pulsos para serem lidos e interpretados pelos computadores de vazão, onde a falha desses sensores podem causar tanto erros na leitura da quantidade de pulsos, como também a completa falta de leitura dos passos.

A principal forma de identificação das falhas é através do processo de calibração dos medidores.

### 4. CALIBRAÇÃO DE MEDIDORES DE VAZÃO

O procedimento de calibração pode ser compreendido como uma forma de realizar a comparação dos valores de medição de um instrumento que possui erros conhecidos, chamado de instrumento padrão, com um instrumento que está em teste.

A calibração de instrumentos é realizada com o auxílio de ferramentas e/ou equipamentos específicos, que variam de acordo com o instrumento de medição e em que local o procedimento será realizado.

Se em algum momento os dados apresentados pelos instrumentos fiquem fora do que foi previamente estabelecido, o mesmo deve ser recalibrado. Com o ajuste correto, a curva de medição do instrumento será acertada, fazendo com que o desempenho dele se torne adequado para a sua aplicação. A referência para aferição sempre será o instrumento padrão.

Contudo, mesmo que o instrumento não apresente avaria aparente nas informações de suas medições, o mesmo deve ser calibrado periodicamente, variando o tempo e complexidade de acordo com o tipo de instrumento a ser calibrado.

A calibração correta e periódica dos instrumentos de medição é importante e essencial para que o processo conte com a maior precisão e confiabilidade em suas medições, assim como identificações de possíveis falhas.

Os medidores de vazão aqui estudados passam por processo de calibração através de um provador móvel compacto, chamado de Small Volume Prover, pois os medidores são aferidos em loco, ou seja, passam por processo de calibração em seu local de instalação.

## 5. PROVADORES DE VAZÃO

Um provador é um sistema automático que fornece calibração no local para garantir que os medidores de vazão em operação para aplicações de transferência fiscal e de custódia mantenham desempenho de medição sustentável, além de permanecerem em conformidade com os padrões da indústria.

Uma vez que as condições operacionais (de campo) podem mudar significativamente a partir do momento em que o medidor de vazão foi calibrado originalmente, a prova garante desempenho ideal do medidor ao longo de sua vida útil.

Garantir o desempenho preciso da medição ao longo do tempo é um dos maiores desafios para as aplicações de medição fiscal. O desempenho da medição pode ser afetado por muitos fatores, por isso, os sistemas de medição precisam ser regularmente verificados em relação a uma referência rastreável.

A referência rastreável é obtida com o uso de um medidor padrão, previamente aferido por laboratório acreditado, que no Brasil é regulamentado pelo Inmetro, para provar a conformidade com os requisitos de precisão e repetibilidade exigidos por cada tipo de medidor e/ou tipo de medição, explanado com maiores detalhes no procedimento de calibração.

Os provadores garantem que um sistema de transferência de custódia esteja fornecendo a medição mais precisa possível ao oferecer um meio estacionário ou móvel de facilitar a calibração de medidores de vazão antes, durante ou após uma transferência.

### 5.1. Tipos De Provadores

Tubo (estacionário) e compacto (móvel) são os dois tipos mais comuns de provadores de deslocamento em uso hoje em dia. A diferença primordial desses dois tipos são, como os próprios nomes sugerem, que o de Tubo é instalado no mesmo local em que o instrumento a ser aferido é instalado, já o Compacto é do tipo móvel, onde pode ser instalado em algum veículo automotivo para que possa ser deslocado para onde o instrumento a ser aferido é instalado, possibilitando assim que esse provador seja utilizado em mais de um local.

### 5.2. Classificação De Provadores

O pipe prover consiste em um tubo de dimensões conhecidas estatisticamente que utiliza como deslocador um pistão ou uma esfera preenchida com um fluido de trabalho. A detecção do deslocador é feita por sensores em posição cujos sinais são interrompidos durante a sua passagem, como apresentado na Figura 2.

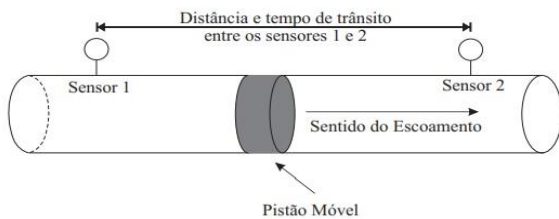


FIGURA 2 – MÉTODO DE FUNCIONAMENTO [4].

Lee, 2005 [5], relata com mais detalhes a classificação do pipe prover (Provadores) através de um diagrama, como pode ser observado na Figura 3.

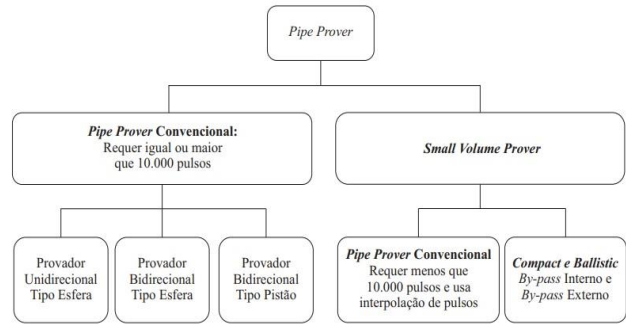


FIGURA 3 – CLASSIFICAÇÃO DOS PROVADORES [5].

#### 5.2.1. Pipe Prover Convencional

Esses medidores são classificados quanto ao número de pulsos, tipo de deslocador (pistão ou esfera) e unidirecional ou bidirecional.

Vários tipos de provadores de tubo estão disponíveis, que, como mencionado anteriormente, podem ser provadores do tipo esférico bidirecional e do tipo pistão bidirecional, que combinam volumes de avanço e reversão durante um ciclo de prova único. Os provadores do tipo pistão bidirecional são mais adequados para aplicações de baixa temperatura.

##### 5.2.1.1. PROVADORES UNIDIRECIONAIS

Os provadores unidirecionais, como observado na Figura 4, permitem um único sentido de escoamento. Nessa configuração permite que o retorno da esfera a sua posição inicial seja feito por duas formas, segundo a ISO 7278-2/1988 [6], revisada pela ISO 7278-2:2022 [7], que é por meio do retorno manual e retorno automático.

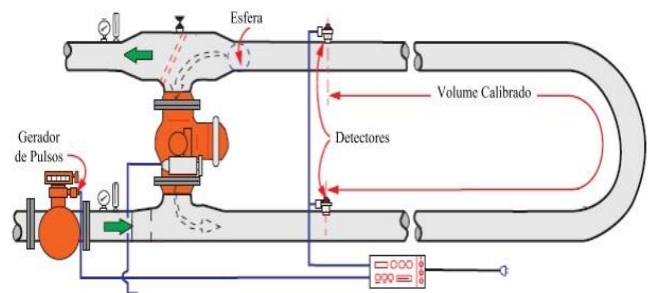


FIGURA 4 – PIPE PROVER UNIDIRECIONAL [8].

Desse modo, no retorno manual, a esfera é lançada no provador em escoamento contínuo. Ao percorrer o provador, a esfera passa pelo primeiro sensor interrompendo o sinal emitido por aquele e assim começa a contagem do tempo de viagem. Ao passar pelo segundo detector a contagem é finalizada e é retirada no receptor, que é o conjunto de válvulas que permite a retirada da esfera sem a interferência do escoamento.

Já no retorno automático permite o retorno da esfera à posição inicial sem a necessidade de retirá-la da tubulação. Desta forma é possível realizar vários ciclos sem a interrupção, permitindo maior confiabilidade nos dados obtidos.

A Figura 5 mostra o exemplo de um pipe prover unidirecional.

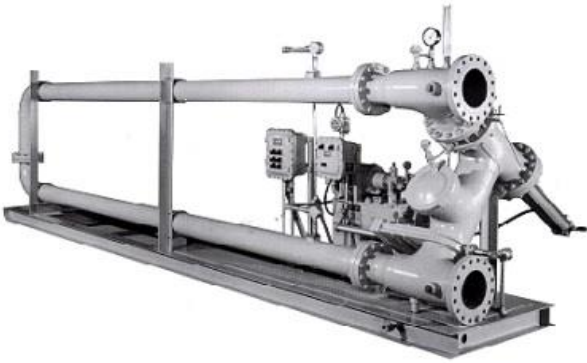


FIGURA 5 – EXEMPLO DE PIPE PROVER UNIDIRECIONAL [5].

#### 5.2.1.2. PROVADORES BIDIRECIONAIS

Os provadores que permitem o escoamento em ambos os sentidos são conhecidos como bidirecionais, como pode ser observado na Figura 6. O equipamento que permite a mudança no sentido do escoamento é chamado de válvula de reversão de escoamento ou válvula de quatro vias. Neste sentido, é necessário um trecho suficiente no provador antes do primeiro detector e depois do último detector para a estabilização do escoamento.

O pipe prover bidirecional possibilita a verificação de vícios e tendências que possam ocorrer no sistema devido à coleta de dados em ambos os sentidos, além disso, pode ser usado como um provador de múltiplos volumes, ou seja, com o mesmo volume calibrado em série. Isso torna-se uma vantagem em comparação ao pipe prover unidirecional, pois a esfera percorre o provador em apenas um sentido e retorna para a posição inicial, seja por retorno manual ou automático.

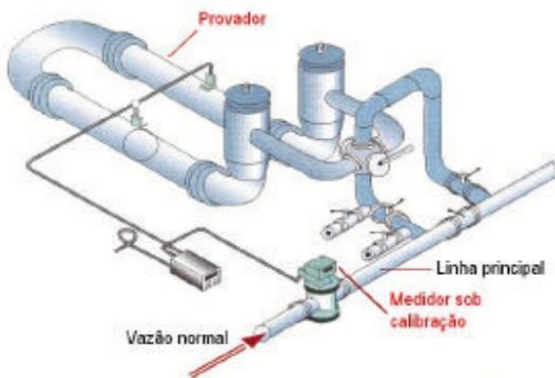


FIGURA 6 – PROVADORES DO TIPO ESFÉRICO/PISTÃO BIDIRECIONAL [9].

A Figura 6 mostra um provador tubular do tipo bidirecional em U. Este dispositivo é bastante comum nas aferições de medidores em oleodutos em virtude de sua similaridade com as configurações dos oleodutos. Durante o procedimento de aferição, o líquido é desviado através do provador e de volta para dentro do oleoduto, à montante ou à jusante do medidor da unidade. O volume registrado no medidor é comparado com o volume que fluía através do provador tubular.

#### 5.2.2. Small Volume Prover

Esse tipo de provador possui uma seção de tubos ou cilindro com volumes menores que o pipe prover convencional apresentados anteriormente, além de requerer menos que 10.000 pulsos gerados, enquanto que o pipe prover convencional necessita de pelo menos 10.000 pulsos por corrida. Por esse motivo é requerida uma maior precisão dos detectores e interpolação dos pulsos para obter repetibilidade determinada.

O Small Volume Prover é um instrumento preciso que recebe um comando do computador de vazão para iniciar a retração do pistão de deslocamento e iniciar o processo de prova do medidor. Quando o pistão é liberado, os controladores enviam pulsos de volta para o contador do computador durante o movimento do pistão para o tempo de ativação entre as posições um e dois do interruptor óptico.

#### 6. PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO

O procedimento de calibração dos medidores de vazão utilizando um pipe prover do tipo Small Volume Prover se faz através de vazo conectado à um motor elétrico, onde no interior desse vazo possui um pistão de fluxo livre com um recurso inerte de segurança contra falhas que não causara interrupção no fluido que flui caso o eixo do atuador de gatilho seja desconectado ou falhe.

O provador no modo de espera, o pistão está a jusante e estacionário, conforme Figura 7. A válvula de gatilho de fluxo interno do pistão está aberta, permitindo o fluxo livre do fluido através do cilindro de medição com queda de pressão mínima.

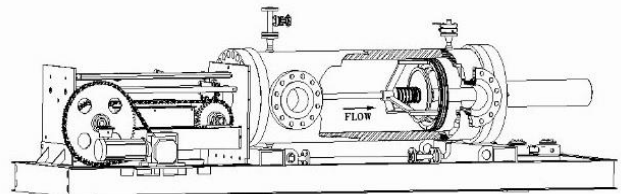


FIGURA 7 – PROVER EM MODO DE ESPERA [10].

Quando o operador inicia uma sequência de prova, o computador de fluxo sinaliza ao motor de acionamento de retorno para puxar o pistão, que permanece com a válvula de gatilho de fluxo interno aberta até chegar à posição a montante. O pistão se desconecta mecanicamente do mecanismo de retorno da unidade de corrente. Quando o pistão é liberado, a vazão através da válvula de gatilho fecha pela tensão da mola, como pode ser visto na Figura 8. O pistão agora está livre para seguir o fluxo de fluido com o menor efeito possível no fluxo. A velocidade do pistão agora está sincronizada com a velocidade do fluido.

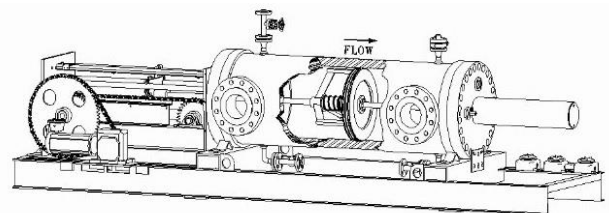


FIGURA 8 – PROVER EM OPERAÇÃO [10].

Depois que o pistão é liberado e sincronizado com o fluxo de fluido, é acionado o início óptico de precisão da chave de volume, que envia um sinal ao computador de fluxo para iniciar a sequência de temporização. O pistão continua a jusante com o fluxo. Ao chegar ao final do comutador de volume, um sinal é enviado ao computador de fluxo para interromper a sequência de temporização. Depois de passar o final do sensor de volume, o eixo do pistão é parado mecanicamente. A pressão do fluido no provador empurra o perímetro do pistão mais a jusante, abrindo a válvula de gatilho de fluxo através, permitindo que o fluxo continue com pouca ou nenhuma pulsação ou aumento na pressão da linha. O motor de acionamento de retorno é acionado eletronicamente para puxar o pistão de volta a montante, se o computador de fluxo exigir mais passagens a sequência é repetida.

### 6.1. Periodicidade De Calibrações

Os critérios para a periodicidade de calibração dos medidores de vazão aqui estudados atendem normativas estabelecidas pela ANP – Agência Nacional Do Petróleo, Gás Natural E Biocombustíveis e INMETRO – Instituto Nacional De Metrologia, Qualidade E Tecnologia.

Onde faz-se necessário entender inicialmente os modos de medição, os quais são do tipo apropriação, fiscal e master.

- **Modo Apropriação:** Toda a produção de petróleo e gás natural deverá ser apropriada aos poços e aos campos de origem. Ou seja, é o modo de calibração para aqueles medidores estão na condição de medição a ser utilizada para determinar os volumes de produção a serem apropriados a cada campo em um conjunto de campos com medição compartilhada ou a cada poço em um mesmo campo.
- **Medição Fiscal:** Medição do volume de produção fiscalizada efetuada num ponto de medição da produção.
- **Medição Master:** Medição utilizada para estabelecer um medidor padrão, utilizado para calibração de outros medidores.

Através dessas informações a ANP e o INMETRO estabeleceram a periodicidade de calibração dos medidores, inicialmente através da Portaria Conjunta Nº 01, De 19 De Junho De 2000 [11], onde futuramente a mesma foi revogada, sendo substituída pela Resolução Conjunta ANP/Inmetro Nº.1 De 10 De Junho De 2013 [1].

A primeira regulamentava que os medidores deveriam ser aferidos com intervalo entre calibrações sucessivas não superior a 60 dias para medidores fiscais e master, e não superior a 90 dias para outros medidores (apropriação). Onde nessa portaria não determinava a diferença entre os tipos de medidores existentes.

Já a sua substituta veio com maiores detalhamentos sobre a periodicidade dos intervalos de calibração, onde

detalha os prazos a serem seguidos para cada tipo de medidor. A Tabela 1 mostra a periodicidade de calibração dos sistemas de medição de petróleo estabelecido pela Resolução Conjunta ANP Inmetro Nº.1 De 10 De Junho De 2013 [1].

TABELA 1 – PERIODICIDADE DE CALIBRAÇÃO DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE PETRÓLEO [1].

Instrumento de Medição e Medidas Materializadas	Tipos de aplicações		
	Fiscal	Apropriação	Transferência de Custódia
Tanques de Calibração, instrumentos associados e medidas de capacidade	36 meses	36 meses	36 meses
Instrumentos associados aos tanques de calibração, medidas de capacidade e provadores	12 meses	12 meses	12 meses
Provador convencional	60 meses	60 meses	60 meses
Provador compacto	36 meses	36 meses	36 meses
Provador móvel	12 meses	12 meses	12 meses
Medidor padrão de trabalho deslocamento positivo, rotativo e turbina	6 meses	12 meses	12 meses
Medidor padrão de trabalho Coriolis	12 meses	12 meses	12 meses
Medidor padrão de trabalho Ultrassônico	12 meses	12 meses	12 meses
Medidor Padrão de trabalho outras tecnologias	6 meses	12 meses	12 meses
Medidor em operação deslocamento positivo, rotativo e turbina	3 meses	6 meses	6 meses
Medidor em operação Coriolis	6 meses	12 meses	12 meses
Medidor em operação Ultrassônico	6 meses	12 meses	12 meses
Medidor em operação outras tecnologias	3 meses	6 meses	6 meses
Analísadores em linha	3 meses	6 meses	6 meses
Temperatura	3 meses	6 meses	6 meses
Pressão	3 meses	6 meses	6 meses
Trenas e termômetros associados aos tanques	12 meses	12 meses	12 meses
Sistemas de medição automático de nível em tanques	6 meses	6 meses	6 meses

### 6.2. Critérios De Aceitação

Para todas as calibrações são adotados, segundo os critérios da Portaria Conjunta ANP-INMETRO n°. 01, de 10 de junho de 2013 [1] e API MPMS - Manual of Petroleum Measurement Standards [12], 35 corridas, dentro das quais o medidor será aprovado se atingir os critérios abaixo em 5 corridas de 6 consecutivas.

- **Fiscal**  
Critério de repetibilidade: 0.05 %  
Desvio do IMF: 0.25%
- **Master Meter**  
Critério de repetibilidade: 0.02 %  
Desvio do IMF: 0.25%
- **Apropriação / Operacional**  
Critério de repetitividade: 0.4 %  
Desvio do IMF: 2.0%

### 6.3. Detalhamento Da Operação De Calibração De Medidores De Vazão Por Meio De Provador Móvel Compacto

O equipamento padrão utilizado para as calibrações é o Small Volume Prover, onde o mesmo é acoplado em um caminhão, tornando assim o equipamento móvel, permitindo assim realizar calibrações em loco, ou seja, transportar o equipamento para o local onde o medidor a ser aferido está instalado. Dessa forma é possível realizar as calibrações nas condições as quais o medidor está submetido no seu funcionamento normal, garantindo uma melhor confiabilidade nas informações coletadas no processo.

O local onde o medidor é instalado deve ser adaptado para receber os equipamentos de calibração. A Figura 9 mostra a forma de conexão do provador para realizar a calibração. Como pode ser observado, o local onde o medidor é instalado deve ser adaptado para receber a conexão do provador para que o fluido consiga ser transferido do seu fluxo normal para o provador, para então ser possível realizar procedimento de calibração.

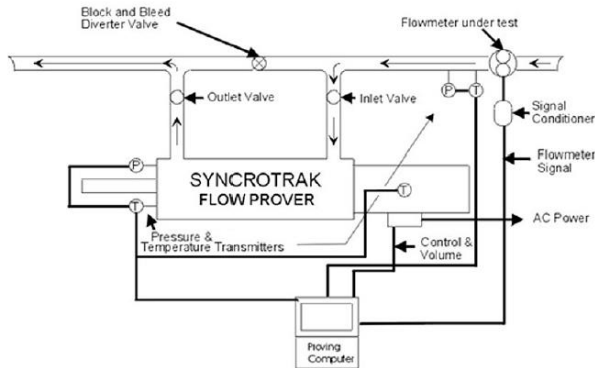


FIGURA 9 – ESQUEMA DE CONEXÃO DO PROVADOR PARA CALIBRAÇÃO [10].

Nessa instalação deve possuir a válvula de entrada (“Inlet Valve”), válvula de saída (“Outlet Valve”) – ambas inicialmente fechadas – e a válvula by-pass (“Block and Bleed Diverter Valve”) – inicialmente aberta. Além disso, deve possuir instrumentos capazes de fornecer informações de pressão e temperatura da linha de escoamento do fluido. Também, o medidor deve fornecer a conexão para transmissão de seu sinal para o provador.

Após chegar no local designado, são realizadas as conexões das mangueiras auxiliares do provador nas conexões de entrada e saída (montante e jusante, respectivamente) na linha onde o fluido está escoando.

Depois de serem realizadas essas conexões, é realizada a abertura dessas válvulas para que o fluido possa escoar pelo provador. Com isso, é possível fechar a válvula by-pass, dessa forma o fluido deixa de escoar pelo seu sentido normal e passará a passar apenas através do provador.

Também são realizadas as conexões elétricas do medidor para o provador, a fim do mesmo receber as informações do sinal emitido pelo medidor.

Com todos os processos supracitados realizados, é possível iniciar o procedimento de calibração.

É utilizado o software ProveIt para gerenciar o processo, através dele é dado o comando para começar a calibração, com isso os equipamentos seguem o passo a passo descrito anteriormente no item 6 desse documento. O software permite que o ciclo se repita automaticamente até que atinja os critérios de aceitação para a calibração ser aprovada ou então até completar a quantidade máxima de 35 corridas (ciclos).

## 7. METODOLOGIA

O projeto utilizou informações históricas de 31 medidores de vazão do tipo deslocamento positivo, das quais foram obtidas através de calibrações realizadas por um provador Calibron Syncrotrak Flow Prover da marca Honeywell Enraf Americas, Inc. Esse provador se caracteriza como um Small Volume Prover.

Os medidores analisados são caracterizados no modo de calibração como apropriação, ou seja, inicialmente tinham intervalos entre calibrações de 3 meses, porém, a partir de 10 de julho de 2013, conforme resolução da Portaria Conjunta ANP-INMETRO nº. 01 [1], passaram a ter intervalos de calibrações de 6 meses.

As calibrações foram realizadas dentre os períodos de 2008 até 2023, podendo haver variações do período para cada medidor devido as particularidades de utilização dos mesmos nas instalações. Para todo o conjunto de medidores, no período analisado, somam 655 calibrações.

As informações coletadas foram compiladas para identificação de possíveis falhas ocorridas nesses medidores. A primeira análise realizada foi com relação a variação da repetibilidade que o medidor apresentou ao logo do período de calibrações, onde devido aos desgastes da utilização dos equipamentos, a repetibilidade tende a aumentar até que em determinado momento venha a não atingir os critérios de aceitação previamente estipulados, sendo assim identificada a falha no medidor, fazendo com que o mesmo venha a precisar passar por manutenção corretiva, onde após essa manutenção o mesmo deve passar a apresentar, em calibrações futuras, repetibilidade dentro dos níveis aceitáveis.

Outra forma de identificação de falhas é quando é identificado a mudança de instalação do medidor, pois subentende-se que o medidor só precisará passar por alguma alteração de instalação quando apresentar alguma avaria em seu funcionamento, sendo assim necessário passar por alguma ação corretiva para voltar a ser utilizado em alguma outra instalação.

Sendo assim, analisando o histórico de calibrações de cada um dos medidores é possível determinar os momentos em que foi necessário realizar algum tipo de intervenção no medidor e então contabilizar as falhas, podendo então também determinar o tempo de utilização desse medidor até que ocorresse a falha.

Desse modo, será possível analisar estatisticamente a média de tempo que os medidores ficaram operantes para determinar uma previsibilidade de possíveis falhas que possam ocorrer nesses medidores nas condições aos quais os mesmos estão submetidos. Auxiliando também na elaboração de um plano de manutenção preventivo mais eficiente para esses medidores.

Além disso, a análise das calibrações realizadas permitirá a coleta de maiores informações sobre as variáveis do processo para então auxiliar no entendimento das possíveis falhas que esses medidores possam vir a apresentar em sua vida útil.

## 8. RESULTADOS

Foram analisadas 655 calibrações em um total de 31 medidores de vazão do tipo deslocamento positivo instalados em 23 localizações. Com isso foi possível analisar as falhas ocorridas nos medidores durante o período analisado.

Após a síntese dos dados foi possível a obtenção das médias dos dados para melhor entendimento do histórico de calibrações.

Para isso, a Tabela 2 traz o resumo da média das informações dos medidores de vazão de deslocamento positivo estudados.

TABELA 2 – ANÁLISE DE DADOS DE CALIBRAÇÕES [AUTORIA PRÓPRIA].

Medidor	Repetibilidade (%)	Vazão (m³/h)	Densidade (kg/m³)	Temperatura (°C)	Pressão (kPa)	Dias Para Calibração	Dias Para Falha	N° De Calibrações	N° De Falhas	Taxa De Falhas
A	0.233	103.8	953.5	38.4	395.6	94	339	5	1	20.00%
B	0.203	95.1	984.6	39.2	180.2	106	248	29	11	37.93%
C	0.289	93.4	986.8	40.1	927.3	103	255	29	11	37.93%
D	0.279	169.4	1001.9	41.4	1124.7	85	238	14	4	28.57%
E	0.268	185.9	981.0	43.5	1301.6	104	234	27	12	44.44%
F	0.277	106.1	951.5	38.8	1036.4	123	218	12	6	50.00%
G	0.213	111.0	959.2	39.3	1060.2	106	201	19	10	52.63%
H	0.264	84.3	924.3	37.6	489.0	83	203	17	7	41.18%
I	0.225	164.7	983.5	43.2	969.0	93	153	17	8	47.06%
J	0.233	186.5	984.4	41.9	1161.0	103	240	25	10	40.00%
K	0.227	107.6	957.4	39.8	1196.8	110	301	29	10	34.48%
L	0.255	139.6	968.3	40.1	1228.2	91	272	3	1	33.33%
M	0.262	174.0	980.1	41.3	1017.3	109	239	22	10	45.45%
N	0.282	183.9	995.4	44.2	1618.9	101	241	30	11	36.67%
O	0.226	85.8	969.3	37.0	601.8	82	228	14	5	35.71%
P	0.329	354.7	989.5	43.7	1507.2	97	225	29	11	37.93%
Q	0.269	223.4	995.2	42.1	2188.1	88	211	12	5	41.67%
R	0.340	327.1	990.7	45.5	1043.0	96	251	21	8	38.10%
S	0.370	330.9	987.5	45.3	1205.6	96	164	24	13	54.17%
T	0.383	329.2	986.5	45.2	975.5	99	244	17	6	35.29%
U	0.286	345.5	981.2	46.7	1146.2	93	289	24	6	25.00%
W	0.261	333.1	969.5	47.3	1355.0	71	108	15	6	40.00%
X	0.310	363.8	989.4	46.2	1502.4	102	377	26	7	26.92%
Y	0.273	127.8	961.1	81.2	238.9	77	184	50	19	38.00%
Z	0.326	289.2	955.9	44.4	1254.4	90	241	32	12	37.50%
AA	0.292	181.7	982.8	42.7	1169.2	80	216	19	7	36.84%
AB	0.315	355.3	981.8	45.4	1222.7	93	321	26	7	26.92%
AC	0.304	337.7	983.7	45.2	1058.8	97	350	18	5	27.78%
AD	0.253	122.5	895.7	36.5	646.4	105	279	16	6	37.50%
AE	0.224	113.2	936.9	39.6	1096.6	115	250	22	8	36.36%
AF	0.315	331.0	973.8	48.6	1141.7	99	90	12	7	58.33%

Desse modo, a Figura 10 mostra de forma compactada as informações referentes ao intervalo de dias em média de uma calibração para outra.

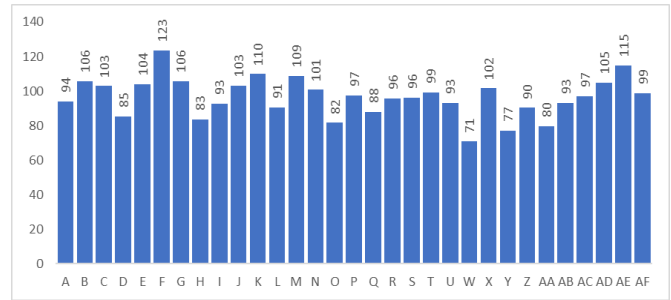


FIGURA 10 – GRÁFICO DO INTERVALO DE DIAS PARA CALIBRAÇÃO [AUTORIA PRÓPRIA].

Já a Figura 11 apresenta os dados referente a quantidade de calibrações realizadas no período estudado.

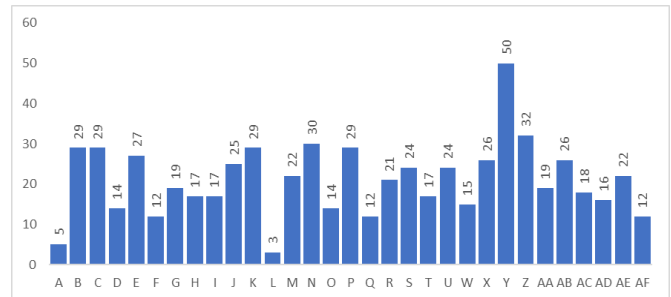


FIGURA 11 – GRÁFICO DA QUANTIDADE DE CALIBRAÇÕES REALIZADAS [AUTORIA PRÓPRIA].

Além disso, a Figura 12 apresenta os dados referente as médias de dias para que ocorresse a falha e cada medidor.

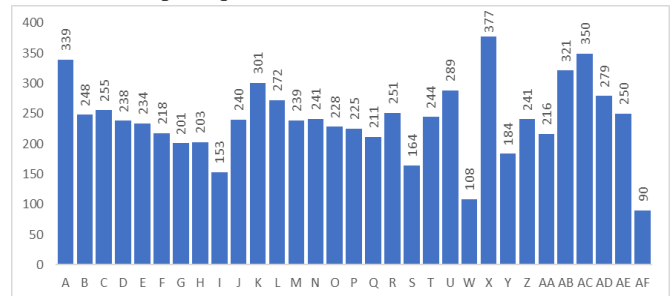


FIGURA 12 – GRÁFICO DA MÉDIA DE DIAS PARA OCORRER FALHAS [AUTORIA PRÓPRIA].

De forma análoga, a Figura 13 mostra as informações sobre a quantidade de falhas identificadas em cada medidor.

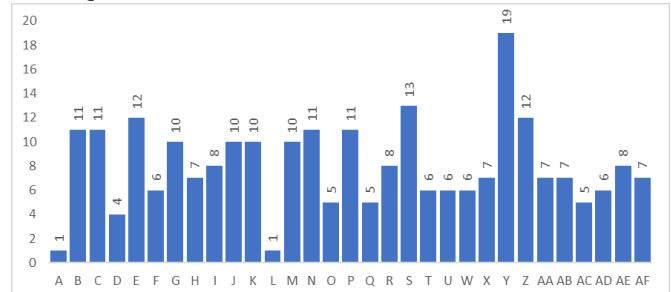


FIGURA 13 – GRÁFICO DA QUANTIDADE DE FALHAS POR MEDIDOR [AUTORIA PRÓPRIA].

Desse modo, a Figura 14 apresenta a taxa de falhas identificadas dentro da quantidade de calibrações realizadas no período estudado.

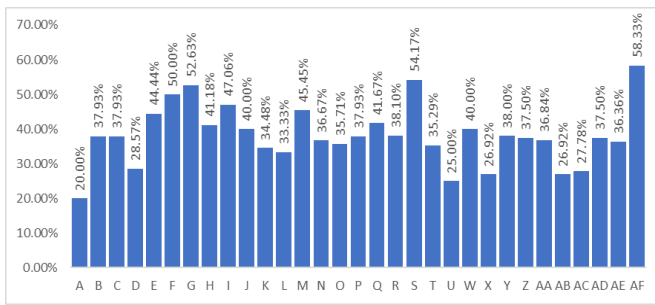


FIGURA 14 – GRÁFICO DA TAXA DE FALHAS [AUTORIA PRÓPRIA].

Além disso, a Figura 15 mostra os dados da vazão média aos quais os medidores foram submetidos.

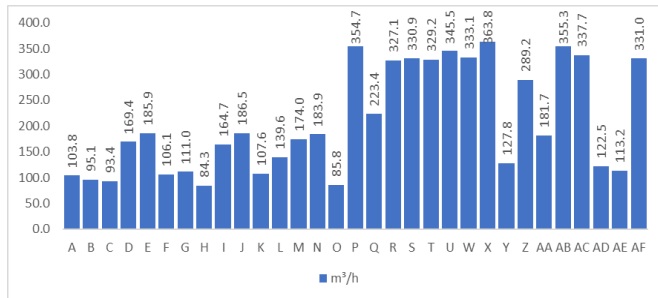


FIGURA 15 – GRÁFICO DE VAZÃO MÉDIA POR MEDIDOR [AUTORIA PRÓPRIA].

A Figura 16 apresenta os dados de pressão média que os medidores enfrentaram em suas operações.

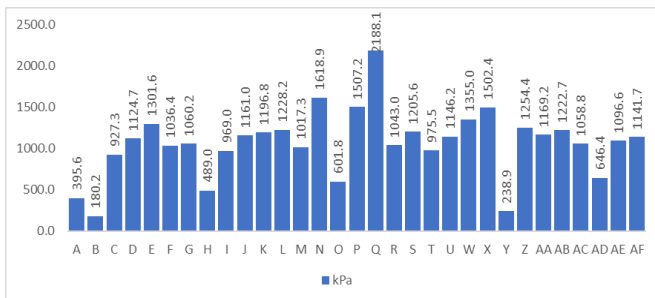


FIGURA 16 – GRÁFICO DE PRESSÃO MÉDIA [AUTORIA PRÓPRIA].

Por fim, a Figura 17 apresenta os dados de temperatura média ao qual os medidores foram submetidos.

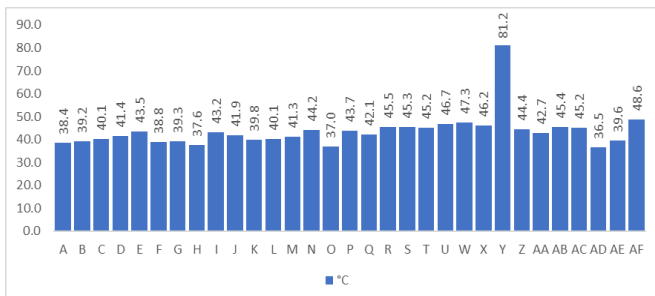


FIGURA 17 – GRÁFICO DE TEMPERATURA MÉDIA [AUTORIA PRÓPRIA].

## 9. CONCLUSÃO

Com base nas informações obtidas foi possível identificar algumas características importantes sobre as falhas identificadas.

A primeira análise a ser tomada é a média do intervalo de calibrações, onde foi possível verificar que as calibrações analisadas atendem aos critérios de prazos para calibração, onde inicialmente era de 90 dias e posteriormente passou a ter prazo de calibração de 180 dias, conforme Resolução Conjunta ANP Inmetro N.º.1 De 10 De Junho De 2013 [1].

Outro parâmetro importante é a quantidade de falhas identificada em cada medidor, atendendo principalmente a verificação de variação de repetibilidade, principal parâmetro de avaliação para determinação de aprovação ou não de um medidor numa calibração. Desse modo, foi possível também identificar o intervalo de tempo entre o seu momento inicial de operação até a identificação de falha, assim podendo ser tomada uma estimativa de quando poderá ocorrer novas falhas no medidor. Através da compilação de dados foi possível identificar que em média a cada um ano o medidor poderá apresentar alguma falha, precisando assim de alguma intervenção para correção.

Além disso, os dados permitem verificar que em média os medidores submetidos a vazões mais altas tentem a apresentar uma taxa de falhas maior que medidores submetidos a vazões mais baixas. Isso pode ser interpretado devido ao aumento da velocidade do giro das engrenagens presentes nos medidores de vazão do tipo deslocamento positivo devido ao aumento da vazão a ele imposto. Assim, como esses medidores passarão a operar com velocidades maiores, as engrenagens passarão a enfrentar maiores vibrações e desgastes pelo contato constante entre os dentes, possibilitando a geração de folgas e/ou quebra em seus componentes, sejam eles os dentes das engrenagens, como também dos sensores ou até de sua parte estrutural como um todo.

Dentre os dados apresentados, destaca-se o medidor Y, onde o mesmo foi o que mais apresentou falhas durante o período estudado, porém isso se dá devido ao fato de o mesmo ter sido o medidor que teve maior frequência de calibrações realizadas, tornando então a probabilidade de identificações de falhas maior, mas que isso não fez com que o medidor se torna divergente do restante analisado, fato podendo ser constatado na taxa de falhas, onde apresentou estimativa semelhante à média restante.

Portanto, a análise temporal dos medidores de deslocamento positivo permitiu analisar parâmetros aos quais podem auxiliar na previsibilidade de falhas que podem vir a ocorrer nesses nos mesmos ao longo de sua vida útil, podendo então ser utilizado como base para programação de manutenções preventivas e preditivas de forma mais assertiva, buscando evitar manutenções corretivas sem planejamento, que podem causar transtornos a operação a qual o medidor estará submetido, melhorando também controle de estoque para peças e/ou medidores reservas de reposição para quando forem necessárias as realizações de manutenções.

## REFERÊNCIAS

- [1] ANP. **Resolução Conjunta ANP/Inmetro n.º.1, de 10 de junho de 2013**. 2013. Disponível em: <http://sistema-sil.inmetro.gov.br/rtac/RTAC001995.pdf>. Acesso em: 17 jan. 2023.
- [2] MECÂNICA INDUSTRIAL. **Como Funciona Um Medidor De Fluxo De Deslocamento Positivo**. Disponível em: <https://www.mecanicaindustrial.com.br/165-como-funciona-um->



- medidor-de-fluxo-de-deslocamento-positivo/. Acesso em: 16 jan. 2023.
- [3] METROVAL. **Medidores de Deslocamento Positivo Metroval – MDPM**. Disponível em: <https://metroval.com.br/produtos/medicao-de-vazao/medidores-de-deslocamento-positivo-metroval-mdpm/>. Acesso em: 21 mar. 2023.
- [4] BARONE, Marcelo. **Análise Experimental Sobre A Utilização De Sensores Infravermelhos Em Provadores De Vazão De Fluidos Claros**. Vitória, ES, 29 out. 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufes.br/bitstream/10/6231/1/Marcelo%20Aiolfi%20Barone%20-%20cap%2000%20-%20001%20-%20002%20-%20003%20-%20004.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2022.
- [5] LEE, G. Diane. **Small Volume Provers: Identification, Terminology and Definitions**. 2005. Disponível em: <https://www.nist.gov/system/files/documents/2017/05/09/h-003.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2023.
- [6] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Liquid Hydrocarbons - Dynamic Measurement - Proving Systems For Volumetric Meters**. 1988. Disponível em: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/13935/c1958c0c922947efa1db5749257f1df4/ISO-7278-2-1988.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2023.
- [7] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Petroleum measurement systems: part 2: pipe prover design, calibration and operation. Part 2: Pipe prover design, calibration and operation**. 2022. Disponível em: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/81588/321faa6913474634ab21dd1ad8321487/ISO-7278-2-2022.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2023.
- [8] RYAN, Brendan S.. **Liquid flow provers: Operations of liquid of liquid flow provers**. Disponível em: <http://info.smithmeter.com/literature/docs/liquid%20flow%20provers.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2023.
- [9] RIBEIRO, Marco Antônio. **Medição de Petróleo e Gás Natural**. 2º Edição. ed. Salvador, BA, Outono 2003. Disponível em: [http://www.associacaoodeinspetores.com.br/arquivos/arquivo\\_artigo/399be382aa37c6850a9ca02d2075fb14.pdf](http://www.associacaoodeinspetores.com.br/arquivos/arquivo_artigo/399be382aa37c6850a9ca02d2075fb14.pdf). Acesso em: 19 fev. 2022.
- [10] HONEYWELL ENRAF. **SYNCROTRAK. Liquid Flow Prover Service Manual. For Models 05, 15, 25, 35, 50, 85, 120**. Disponível em: <https://docplayer.net/100004661-Syncrotrak-liquid-flow-prover-service-manual-for-models-05-15-25-35-50-85-120-u-s-patent-5-052-211-2nd-edition-released-07-january-2008.html>. Acesso em: 17 jan. 2023.
- [11] ANP. **PORTARIA CONJUNTA Nº 1, DE 19 DE JUNHO DE 2000**. Disponível em: <https://atosoficiais.com.br/anp/portaria-conjunta-n-1-2000-aprova-o-regulamento-tecnico-de-medicao-de-petroleo-e-gas-natural-que-estabelece-as-condicoes-e-requisitos-minimos-para-os-sistemas-de-medicao-de-petroleo-e-gas-natural-com-vistas-a-garantir-resultados-accurados-e-completos>. Acesso em: 17 jan. 2023.
- [12] API. **Manual of Petroleum Measurement Standards**. 2013. Disponível em: <http://www.normservis.cz/download/view/api/1154505.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2023.
- [13] EMERSON. **Tipos De Provador**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.emerson.com/pt-br/automation/measurement-instrumentation/flow-measurement/about-prover-systems>. Acesso em: 19 fev. 2022.
- [14] NIVETEC. **Medição de Vazão: O que é? Como fazer?** 2021. Disponível em: <https://www.nivetec.com.br/medicao-de-vazao-o-que-e-como-fazer/>. Acesso em: 20 mar. 2023.
- [15] OMEGA. **Lições sobre Medidores de Vazão por Deslocamento Positivo**. Disponível em: <https://br.omega.com/artigos-tecnicos/medidor-de-vazao-por-deslocamento-positivo.html>. Acesso em: 22 mar. 2023.