

IMPLEMENTAÇÃO DE UM PROTÓTIPO MEDIDOR INDICADOR DE VAZÃO COM SISTEMA DE AQUISIÇÃO E REGISTRO DE DADOS ADAPTADO À BANCADA DE SIMULAÇÃO DE CIRCUITOS HIDRÁULICOS

Nelson Amilcar Gomes Santa Cruz Junior, nelsongomezsantacruz@gmail.com¹

André Pimentel Moreira, apmoreira@ifce.edu.br¹

Doroteu Afonso Coelho Pequeno, doroteu@ifce.edu.br¹

Evaldo Correia Mota, evaldom@ifce.edu.br¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Av. Treze de Maio, 2081 - Benfica, Fortaleza - CE, 60040-531

Resumo: No âmbito industrial é essencial a utilização de métodos para medição das variáveis do processo, dentre elas a vazão. Atualmente as bancadas de simulação do laboratório de hidráulica e pneumática do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Campus Fortaleza não possuem medidores de vazão. Tendo em vista a necessidade de acompanhar o fluxo volumétrico nas tubulações, foi elaborado um projeto de implementação de um medidor de vazão adaptado às características da bancada do laboratório com um sistema de aquisição e registro de dados. Este artigo se propõe a descrever todo o processo de produção deste medidor, desde as concepções teóricas sobre medição de vazão até a instalação final do protótipo, destacando todas as etapas de elaboração.

Palavras-chave: medidor de vazão, sistemas hidráulicos, aquisição de dados

1. INTRODUÇÃO

A medição da vazão é fundamental a todas as etapas de manipulação dos fluidos, incluindo a produção, o processamento e a distribuição. Esta atividade acompanha o homem desde os primórdios da civilização. A capacidade de medir o fluxo de água foi necessária para a justa distribuição através dos aquedutos de comunidades primitivas como as cidades sumérias de Ur, Kish e Mari, próximas aos rios Tigre e Eufrates, a cerca de 5.000 a.c (Omega, 1986).

Segundo Delmée (2003), há vestígios também do uso de medidores de vazão primitivos na civilização egípcia, aplicados à agricultura. Já em 1502, Leonardo da Vinci, em sua obra “Sobre o Movimento da Água e as Obras Fluviais”, observou que a quantidade de água por unidade de tempo que escoava em um rio era a mesma em qualquer parte, independente da largura, profundidade e inclinação. Leonard Euler, por sua vez, apresentou ao mundo as equações diferenciais gerais do movimento de líquidos perfeitos em meados do século XVIII. Contudo, o desenvolvimento de dispositivos práticos só foi possível com o surgimento da Era Industrial e o trabalho de pesquisadores como Bernoulli e Pitot, dentre outros (Cassiolato e Orellana, 2010).

Atualmente, muitos desenvolvimentos tecnológicos de áreas como eletrônica, microprocessadores, óptica, acústica e eletromagnetismo estão sendo aplicados na melhoria e no projeto de medidores de vazão (Ribeiro, 1999).

Uma medição de vazão confiável e precisa necessita de uma análise correta que envolve desde a escolha do instrumento de medição, a sua instalação, a sua operação, a sua manutenção e também a interpretação dos valores obtidos. A seleção do medidor de vazão é uma tarefa difícil e complexa. São disponíveis tabelas relacionando os tipos de medidores e as suas aplicações ideais, aceitáveis e proibidas. Entretanto, tais tabelas não são completas e não consideram todas as exigências e aplicações (Ribeiro, 1999). Os equipamentos mais comuns associados aos instrumentos de medição de vazão são: caldeiras, bombas, compressores, reatores, trocadores de calor, torres de resfriamento, secadores etc.

O laboratório de acionamentos hidráulicos e pneumáticos (LHP) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Fortaleza, não dispunha de um sensor de vazão na bancada de simulação de circuitos hidráulicos. Tendo em vista essa necessidade, foi proposto neste trabalho a implementação de um medidor de vazão adaptado às características da bancada com um sistema de aquisição e registro de dados. Este artigo se propõe ainda demonstrar as etapas de implementação do medidor utilizado, desde a escolha do instrumento até a instalação, operação, interpretação dos dados obtidos e manutenção do equipamento.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Escolha do instrumento de medição

Para escolher o método ideal de medição de vazão é necessário conhecer e especificar detalhadamente a aplicação deste medidor. É uma tarefa complexa que exige uma análise rigorosa e estudos preliminares. Os parâmetros que devem ser considerados na escolha e na especificação do medidor de vazão são os seguintes (RIBEIRO, 1999):

- Dados da vazão: o tamanho da linha a ser usada, a faixa de medição máxima, mínima e normal, a precisão requerida, a função do instrumento (indicação, registro, controle, totalização), o tipo de vazão (pulsante, constante, turbulenta, laminar).
- Custo de propriedade: incluem todos os custos relativos a instalação, operação e manutenção.
- Função: função a ser fornecida pelo instrumento (indicação instantânea, registro para totalização posterior, controle contínuo ou liga-desliga).
- Desempenho: diz respeito à repetitividade, reprodutividade, linearidade, sensibilidade, rangeabilidade, e estabilidade da operação. A precisão geralmente é expressa pelo fabricante como porcentagem do fundo de escala, como porcentagem do valor medido ou como porcentagem da largura de faixa. Essa precisão é válida para o equipamento novo. Quanto mais preciso o instrumento, maior o seu custo.
- Geometria: verifica se a tubulação é fechada, esteira ou canal aberto; disponibilidade de trechos retos antes e depois do instrumento, necessidade de uso adicional de retificadores de vazão e modificação das instalações existentes, peso do medidor, alinhamento com a tubulação.
- Instalação: incluem todos os acessórios (tomadas, filtros, retificadores, suportes e miscelânea do medidor), avaliação das condições de instalação, a simplicidade da operação futura e a possibilidade de retirada e de colocação do medidor sem interrupção do processo ou avarias ao sistema, variação de temperatura no ambiente.
- Faixa de medição: incluem os valores máximo e mínimo, largura de faixa, condições de pressão estática e de temperatura do processo.
- Fluido: são características químicas e físicas do fluido que entra diretamente em contato com partes do medidor (corrosividade, viscosidade, abrasividade, sólidos em suspensão, valor e perfil da velocidade). A densidade e a viscosidade são as propriedades mais importantes. Em alguns casos, quando não se trabalha com líquidos limpos, o teor de impurezas também deve ser conhecido.
- Perda de carga: representa a queda de pressão que o medidor provoca irreversivelmente na pressão estática da tubulação.
- Tecnologia: diz respeito à manutenção e número de peças de reposição.

2.2 Medidor de vazão do tipo turbina

Para cada técnica existem particularidades que limitam as aplicações a faixa de diâmetros, de pressões, de temperaturas, de viscosidades e de teor de impurezas (Delméé, 2003).

De acordo com Yuan e Zhang (2017), O medidor de vazão do tipo turbina é amplamente utilizado na indústria por seu tamanho pequeno, estabilidade, alta precisão e ampla faixa de medição. As normas que regulamentam o seu uso são a ISO 2715/AGA-7. As principais vantagens do uso dessa técnica, conforme Ribeiro (1999), são:

- Excelente desempenho, devido a sua altíssima precisão, linearidade e repetibilidade. É utilizada na calibração e aferição de outros medidores;
- Adequado para líquidos limpos, líquidos viscosos, gases;
- Rangeabilidade é a maior dentro todos os medidores. Possui rangeabilidades típicas de 100:1, 50:1;
- Saída linear, digital (trem de pulsos);
- Pequeno tamanho e peso, proporcionando uma fácil instalação.
- Possui uma larga faixa de temperatura de operação: -50 °C a 150 °C (padrão), -200 °C a 450 °C (especial).
- Já existe no mercado modelos com preços bem reduzidos, para aplicações simples.

Ainda segundo Ribeiro (1999), as desvantagens desse método são:

- Recalibração dificultosa;

- Custos de instalação e manutenção relativamente altos (em alguns casos).

De acordo com Kok *et al.* (2015) um medidor de fluxo de turbina indica o volume de fluido que flui através do dispositivo por unidade de tempo. Esse medidor de fluxo é comumente calibrado em algumas taxas de fluxo conhecidas em relação à sua faixa de medição. O fator K é a sensibilidade da turbina, ou seja, é o elo entre os pulsos de saída da turbina (ciclos por segundo) e a vazão (l/min ou m^3/s) (Ribeiro, 1999).

Calibrar um medidor do tipo turbina é levantar o seu fator K. Em uma turbina ideal, o fator K seria uma constante independente da viscosidade do fluido medido (Delmée, 2003). Entretanto, na prática, percebe-se que a medida que a viscosidade aumenta, o fator K deixa de ser uma constante e passa a ser uma função da viscosidade e frequência de saída da turbina. Com a viscosidade abaixo de 2 cSt, o coeficiente K é aproximadamente constante, dentro de $\pm 0,5\%$ para frequências acima de 50 Hz (Delmée, 2003).

O sinal de saída da turbina com detecção eletromagnética é um trem de pulsos de tensão, com cada pulso representando um pequeno volume discreto do fluido. A saída elétrica da turbina é transmitida ao equipamento de condicionamento de sinal e depois ao sistema de apresentação dos dados, que pode ser de totalização, indicação, registro, controle ou alarme (Ribeiro, 1999).

Para a montagem do medidor do tipo turbina torna-se necessário a medição de outras variáveis do processo para compensar os efeitos na medição e para a interpretação completa dos dados. Essas variáveis são: temperatura, pressão, viscosidade e densidade. Se, por exemplo, a temperatura de operação for diferente da temperatura de calibração ocorrerá um efeito mecânico de expansão ou contração termal da caixa e da turbina além da alteração das propriedades físicas do fluido medido colocando em risco a confiabilidade das leituras (Ribeiro, 1999).

A turbina é afetada pela configuração da linha a montante e a jusante devido, principalmente, ao movimento turbulento do fluido ocasionado por curvas ou obstruções no circuito. Este tipo de vazão turbulenta poderá, inclusive, danificar as partes móveis do medidor. Para evitar este problema é necessário usar retificadores de dimensão equivalente a 15 diâmetros da tubulação entre o último acessório e a entrada da turbina com a finalidade de tornar a vazão o mais laminar possível (Delmée, 2003). A turbina deverá ser instalada sempre na mesma posição em que foi calibrada, usualmente na posição horizontal e respeitando a seta de indicação do sentido da vazão (Ribeiro, 1999).

Segundo Delmée (2003), a manutenção de um medidor do tipo turbina consiste na inspeção periódica que verifique o estado de corrosão das partes internas ou incrustação pelo fluido medido. Caso alguma peça tenha sido danificada, ela deverá ser substituída. Entretanto, as peças internas deste tipo de medidor são projetadas para durarem muitos anos, sem que haja necessidade de troca. O que torna necessário é a calibração periódica deste equipamento, devido a estes fatores. Isso é de fundamental importância pois um medidor que não seja regularmente calibrado apresentará medições errôneas. Em caso de troca, também é necessária uma nova calibração do equipamento.

É recomendado também que, periodicamente, o medidor seja cuidadosamente lavado com solvente apropriado para retirar depósitos de sujeira. O solvente deve ser quimicamente neutro e altamente volátil de modo que haja completa secagem após a operação de lavagem. Alguns solventes recomendados são: álcool etílico, solvente padrão ou tricloro etileno (Ribeiro, 1999).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Características da bancada de simulação

O modelo da bancada didática de simulação hidráulica/eletrohidráulica utilizada no laboratório é o D744B5001-NR, do fabricante Parker. A bancada permite a realização de uma gama de exercícios tendo em vista a sua concepção modular onde adapta-se perfeitamente à montagem de novos circuitos.

As mangueiras utilizadas nas simulações foram as *No-Skive* 482TC-6 (Fig.1(a)) do fabricante Parker. A mangueira possui a capacidade para suportar pressões de até 3000 psi (206,8 bar), com bitolas mínimas de 3/8" (9,5 mm) e excedem as normas SAE 100R1AT, EN 853-1SN e ISO 1436-1 tipo 1SN.

O tubo interno é de borracha sintética, possuindo reforço de um trançado de fios de aço de alta resistência e cobertura de borracha sintética e alta resistência a abrasão. Devido ao sistema *No-Skive* da Parker não é necessário descascar ou rosquear as extremidades para se colocar as conexões, evitando o risco de má conexão.

As conexões utilizadas entre as mangueiras são do tipo engate rápido, face plana, anti-vazamento, suportando pressões de até 3000 psi. Atende às normas ISO 16028 e HTMA (*Hydraulic Tool Manufacturer's Association*) (Parker, 2016).

As conexões hidráulicas dos módulos (Fig.1(b)) são feitas através de engates rápidos anti-vazamento instalados tanto nos módulos dos componentes hidráulicos (FF-372-6FP) como também nas extremidades das mangueiras (FF-371-6FP), que combinam-se formando um perfeito sistema de acoplamento e estanqueidade. A pressão máxima de trabalho recomendada para esta bancada é 50 bar (Parker, 2016). Entretanto, por não ter movimentação de carga e proporcionar maior segurança operacional, as práticas desenvolvidas no LHP raramente ultrapassam 15 bar de pressão.

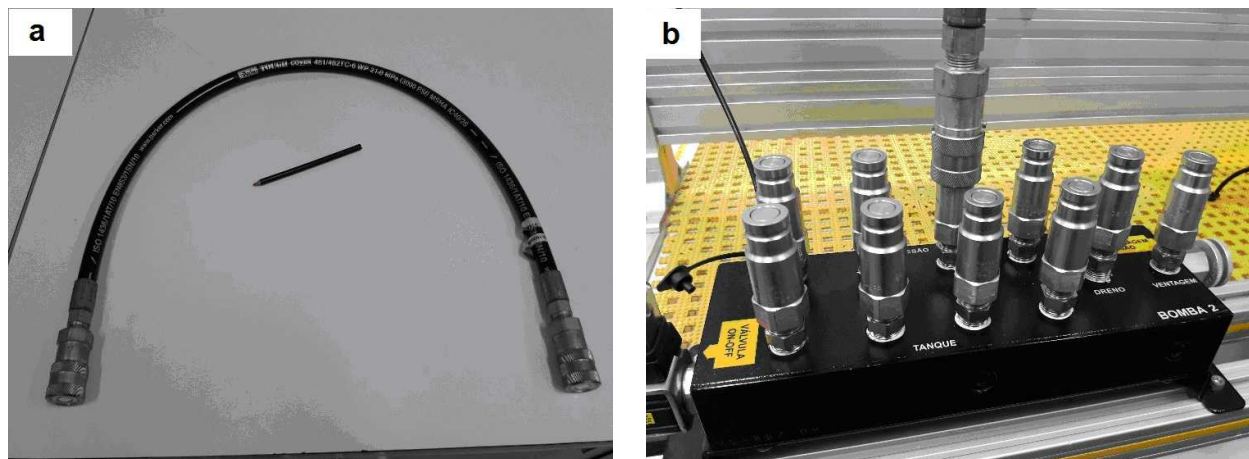


Figura 1: Mangueira Parker *No-Skive* 482TC-6 e conectores do tipo engate rápido Parker FF-372-6FP.

3.2 Características do fluido

O fluido hidráulico utilizado na bancada é o óleo ISO VG 32, do fabricante Ipiranga, rótulo Ipitur AW HLP ISO 32. O fluido percorre as mangueiras e válvulas para movimentar os atuadores. Portanto, estará em contato direto com o medidor de vazão. O fabricante atesta que o referido fluido é um óleo mineral derivado do petróleo que contém aditivos inibidor de corrosão, antiferrugem, demulsionante, melhorador de índice de viscosidade, abaixador do ponto de fluidez, antioxidante, antidesgastante e antiespumante. A Tab. 1 apresenta as principais características técnicas do óleo ISO 32.

Tabela 1: Características Óleo ISO 32.

Parâmetros	Especificações
Densidade (20 °C)	875 Kg/m ³
Ponto de fulgor	220 °C min.
Ponto de fluidez	-6 °C
Viscosidade a 40 °C	28,8 – 35,2 cSt
Viscosidade a 100 °C	4,0 – 6,0 cSt
Índice de viscosidade	98,0 - 106,2
Índice de acidez total	0,01 mgKOH/g
Corrosão em lâmina Cu, 3h a 100 °C	1b (leve)
Inflamabilidade	210 °C
Congelação	-33 °C

Fonte: Adaptado de Parker (2001).

3.3 Medidor escolhido

Foi observado que o medidor do tipo turbina seria o mais adequado para esta aplicação devido, sobretudo, à dimensão do diâmetro das mangueiras da bancada (9,5 mm). Após pesquisas, foi adquirido o medidor YF-S201 do fabricante Sea. É um medidor de vazão do tipo turbina tangencial, ou seja, quando o fluxo entra em contato com as pás, a turbina entra em rotação juntamente com o disco imantado (Fig. 3(a)). Utiliza um sensor do tipo hall e possui uma faixa de fluxo de 1-30 l/min, pode ser submetido a pressões de até 17,5 bar e possui uma exatidão de 10%.

O diâmetro interno de 1/2" torna esse medidor ideal para esta aplicação, uma vez que possui praticamente o mesmo diâmetro das mangueiras. Pode ser submetido a temperaturas -25 °C a 80 °C, o que se adequa perfeitamente às condições de temperatura do laboratório. Entretanto, o fabricante recomenda seu uso para a medição de vazão de água, indicando um fator K referente a este fluido. Deste modo, é necessário fazer uma nova calibração adaptando-o ao óleo utilizado na bancada.

Este modelo aproveita o baixíssimo atrito de um mancal de pivô, que consiste de um eixo com ponta cônica girando numa superfície de apoio côncava. O modelo YF-S201 possui na base das pás um disco imantado com um trecho não magnetizado, esse trecho possui a largura de uma das pás. O disco fica posicionado próximo ao sensor hall que detecta este campo magnético (Fig. 3(b)).

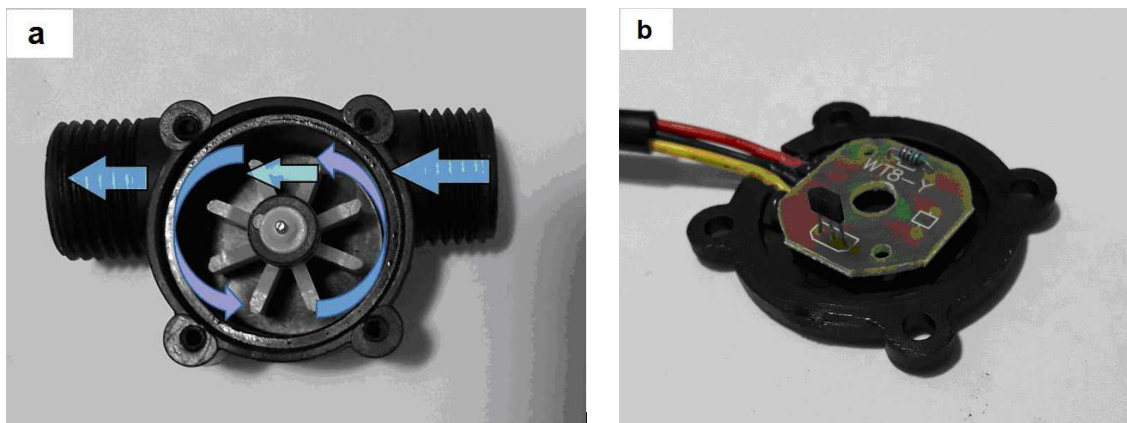


Figura 2: Medidor YF-S201. (a) Diagrama de funcionamento; (b) Sensor hall.

Ao completar uma volta o trecho não magnetizado é detectado pelo sensor hall que gera um pulso. Desta forma temos uma relação direta entre a frequência de pulsos (f) e a vazão que passa pela turbina (l/min). O sensor hall fica separado da câmara da turbina por um invólucro evitando o contato com o fluido. Uma particularidade deste medidor é que não podem haver materiais ferromagnéticos em sua composição ou muito próximos a ele durante a etapa de instalação, pois isto afetaria a leitura dos pulsos pelo sensor hall. O modelo YF-S201 apresenta um fator K indicado pelo fabricante de 7,5. Ele se relaciona com o valor da vazão pela Eq. 1.

$$Q = \frac{f}{K} \quad (1)$$

3.4 Condicionador de sinal

Neste projeto, o elemento condicionador de sinal utilizado foi um Arduino Uno. É o modelo mais básico da família Arduino. Possui 13 portas digitais, 6 portas analógicas, 3 portas GND, uma porta de 5 V e uma porta de 3,3 V. Possui uma faixa de alimentação recomendada entre 7-12 V. Portanto, se adequa perfeitamente às necessidades do projeto. O Arduino foi programado para realizar a função de um totalizador, ou seja, irá fatorar e escalonar os pulsos recebidos. Como a saída de pulsos da turbina não está diretamente em unidades de engenharia de vazão, os circuitos de fator e escalonamento fazem os pulsos representar a vazão na unidade conveniente, neste caso litros por minuto (l/min). Os dados são apresentados em um *display* LCD, com 16 colunas e 2 linhas, pois é suficiente para apresentar as informações necessárias.

3.5 Montagem

O modelo YF-S201 deve ser conectado em linha com as mangueiras Parker *No-Skive* 482TC-6. Portanto, é necessário a utilização de conectores entre o medidor e as mangueiras. Tendo em vista a necessidade e respeitando a condição de trechos retos mínimos, entre a entrada do medidor e a última obstrução da linha, foi produzido dois conectores/retificadores que são instalados a jusante e a montante do medidor. Foi utilizado o programa SolidEdge versão educacional para fazer os desenhos das peças (Fig. 3(a)) e, posteriormente, foram usinadas no Laboratório de Máquinas Operatrizes (LMO) do IFCE, campus Fortaleza (Fig. 3(b)).

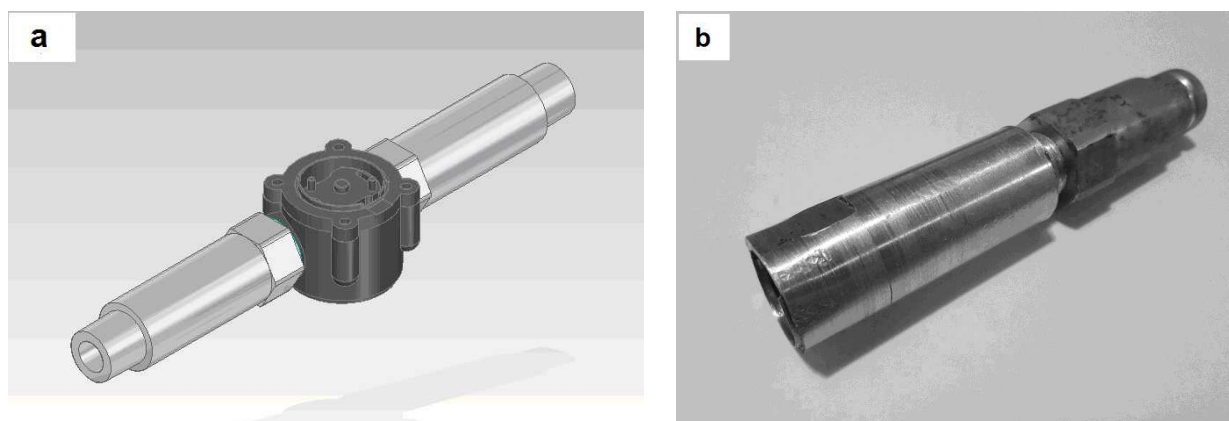


Figura 3: Conector/retificador. (a) desenho dos conectores/retificadores com o medidor (SolidEdge) (b) conector usinado com engate rápido Parker FF-372-6FP.

Devido a necessidade da utilização de materiais não-magnéticos, os conectores/retificadores foram usinados em alumínio, uma vez que são posicionados próximos ao sensor hall.

3.6 Calibração

Para calibrar a turbina, foi identificado o fator K, que representa a correspondência do número de pulsos com a vazão medida. Para fazer a calibração, deve-se conhecer a vazão simulada. Todos os procedimentos de calibração foram realizados sob as condições simuladas de temperatura e pressão do laboratório em seu funcionamento real (20°C) e pressão atmosférica. Os procedimentos realizados para determinação do fator K são relacionados a seguir:

- Montagem de um circuito fechado, permitindo a circulação do óleo (Fig. 4). O medidor, já devidamente programado, foi colocado na posição horizontal em linha com uma mangueira Parker *No-Skive* 482TC-6 (montante) e uma mangueira provisória de testes (jusante). Vazamentos foram contidos efetuando-se uma boa vedação e aperto das conexões secundárias rosqueáveis. Foi respeitado a distância mínima de trecho reto exigido pela norma (Fig. 5). Na entrada (montante) foi colocado uma válvula de controle de vazão, conectada diretamente à saída da bomba de óleo. Na saída (jusante) a mangueira provisória foi conectada ao reservatório de óleo da própria bancada, perfazendo o circuito fechado de circulação do fluido.
- Acionamento do sistema durante 5 minutos, com a mangueira a jusante conectada no reservatório de óleo hidráulico, a fim de permitir um regime permanente do fluxo.
- Parada e acionamento do sistema com a mangueira a jusante conectada a um recipiente, perfazendo um circuito aberto (Fig. 6). O procedimento foi realizado três vezes durante o período de 1 minuto cada para validar a medição do fluxo real. Foi utilizado uma jarra milimetrada para se efetuar a medição do volume no galão.
- Utilizando o fator K, indicado pelo fabricante para água, determina-se um novo fator K para o óleo a partir dos novos valores indicados no display (Fig. 7).

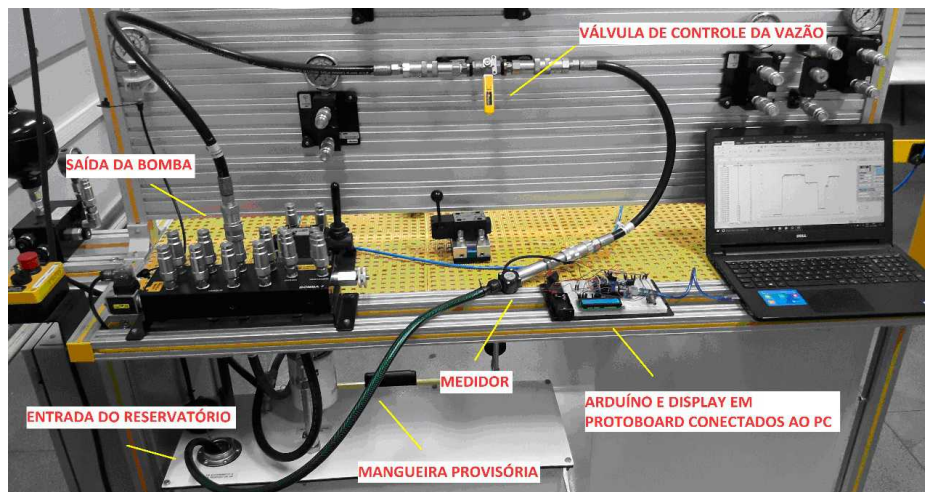


Figura 4: Montagem do circuito fechado.

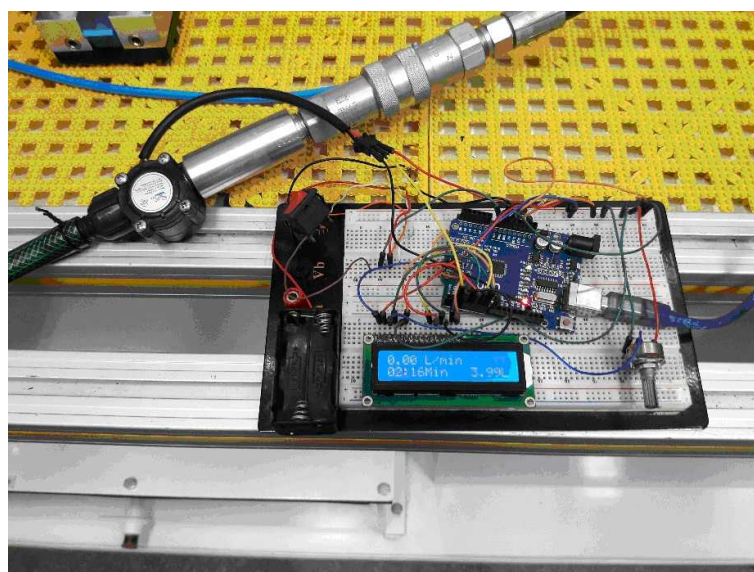


Figura 5: Conexão com a protoboard.

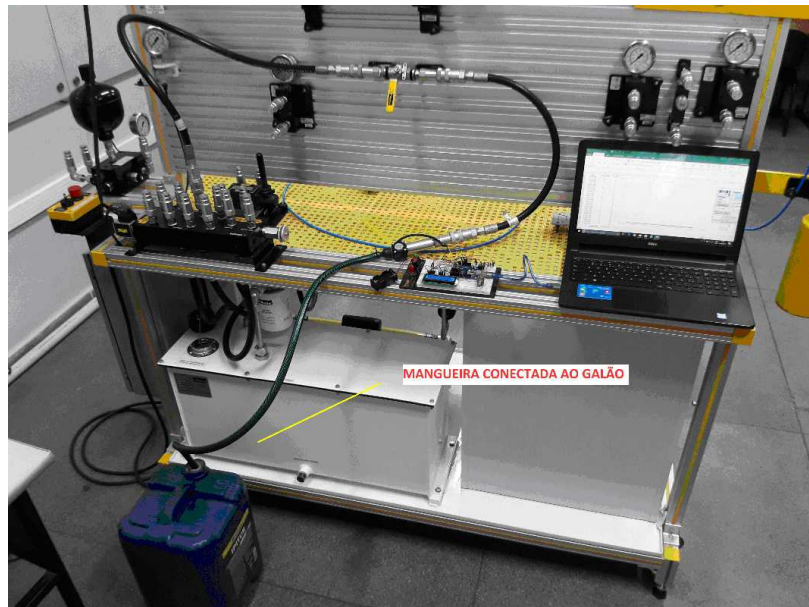


Figura 6: Montagem do circuito aberto.



Figura 7: Dados indicados no *display*.

3.7 Sistema de aquisição e registro de dados

Para complementar o uso do medidor foi elaborado um sistema de aquisição e registro dos dados indicados durante determinado período. Desta forma é possível gerar relatórios, gráficos e efetuar consultas futuras dos dados obtidos. Uma das finalidades deste projeto é tornar o uso do medidor de vazão o mais simples possível. Desta forma, a utilização de programas reconhecidos e utilizados é a forma mais adequada. Portanto, se idealizou uma maneira de transmitir estes dados diretamente para o programa Excel.

Foi utilizado o programa PLX-DAQ, disponibilizado gratuitamente em (Parallax, 2017). O programa é o responsável pelo gerenciamento entre a porta serial do Arduino e o programa Excel, organizando os dados em colunas. Através dele é possível traçar gráficos em tempo real (à medida que os dados são recebidos), usar até 26 colunas de dados e registrar o momento exato de leitura dos dados (HH:mm:ss). No projeto, foi configurado uma planilha que faz também a indicação dos dados lidos em um gráfico (Fig. 8). Após a utilização do medidor é possível salvar esta planilha em uma determinada pasta, criando assim um arquivo dos dados obtidos.

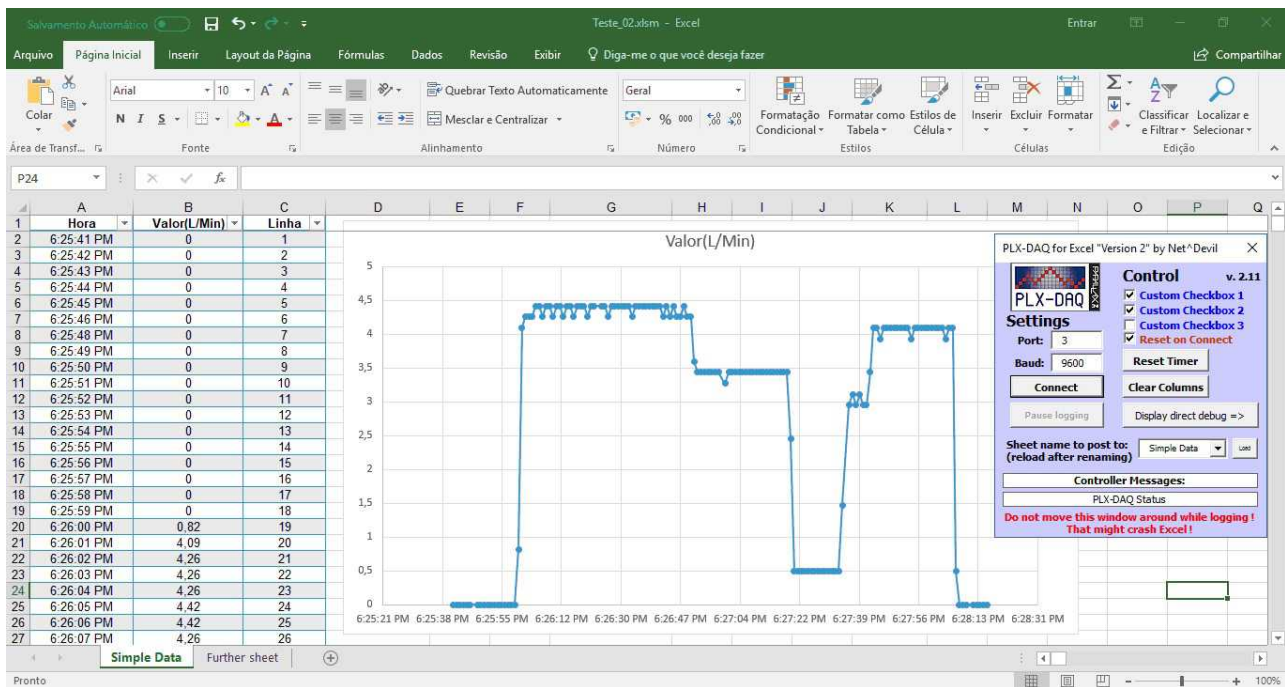


Figura 8: Planilha do Excel configurada para receber os dados via porta serial do Arduino.

À esquerda estão as colunas com horário e valor da vazão lida e à direita um gráfico vazão x tempo alimentado em tempo real.

3.8 Desenvolvimento da PCI

Após os testes do medidor de vazão e do sistema de aquisição e registro de dados realizados com auxílio de uma protoboard, foi projetada uma placa de circuito integrado (PCI) para acomodar os componentes, deixando o equipamento compacto e prático (Fig. 9(a)). Foi utilizado o programa Proteus para fazer o desenho da placa. Na PCI foi colocado um suporte para pilhas, proporcionando uma outra fonte de alimentação independente da conexão com o PC, um botão de liga/desliga e um potenciômetro regulador do contraste do *display* (Fig. 9(b)). A placa foi desenvolvida no Laboratório de Inovação Tecnológica do IFCE, campus Fortaleza.

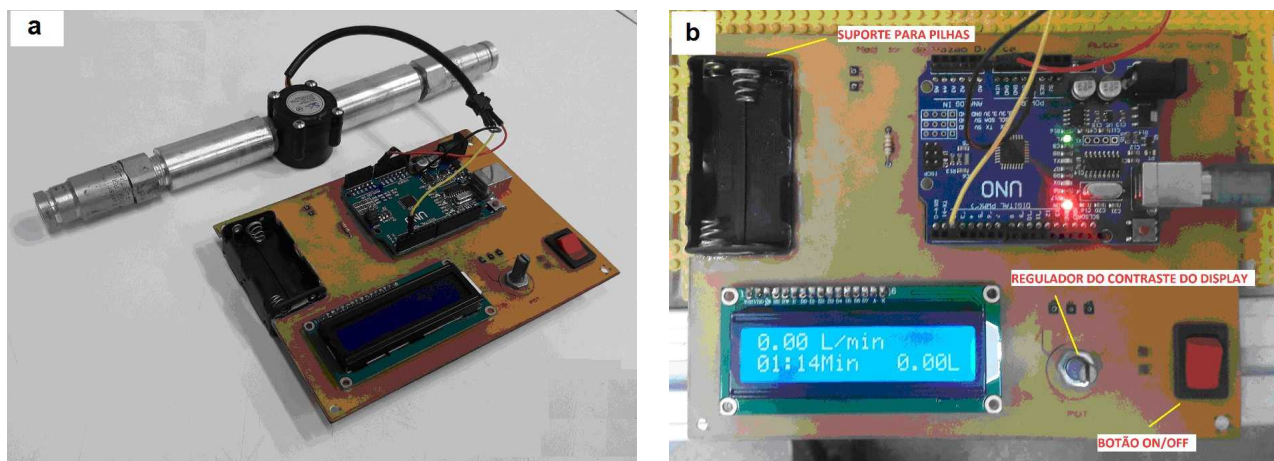


Figura 9: Medidor finalizado. (a) Visão geral. (b) Detalhes dos componentes.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através dos testes pôde-se verificar que a vazão do óleo da bancada tem um perfil laminar e pulsante. A média dos 3 valores obtidos nos testes indicou uma vazão real de 4,45 l/min. Na Tab. 2 são apresentados os valores indicados pelo medidor utilizando a água $K_a = 7,5$.

Tabela 2: Testes de calibração para $K_a=7,5$.

Teste	Valor Indicado (l/min)
1	3,54
2	3,62
3	3,65
4	3,66
5	3,66
Média	3,626

Observa-se uma diferença considerável entre o valor medido (3,626 l/min) e o real (4,45 l/min). Isso indica a diferença de comportamento do escoamento entre a água e o óleo. Com base no valor de 3,62 l/min foi determinado, através da Equação 1, a frequência de pulsos em 27,19 Hz. Com a frequência calculada e a vazão real de 4,45 l/min determina-se o fator K_o (6,11). Na Tab. 3 são observadas as vazões indicadas com a utilização do fator $K_o = 6,11$ para o óleo.

Tabela 3: Vazão para $K_o = 6,11$.

Teste	Valor Indicado (l/min)
1	4,45
2	4,54
3	4,54
4	4,52
5	4,50
Média	4,51

A média dos dados obtidos apresenta valor próximo ao real (4,45 l/min). O erro calculado entre o valor medido e o real (1,34%) pode ser atribuído, por exemplo, a pequenas quantidades de óleo que possam ter ficado acumuladas nas próprias mangueiras ou ainda pequenas diferenças nos instantes de interrupção da vazão, já que foi executada manualmente (válvula de fechamento). Este valor está, entretanto, dentro da faixa de exatidão indicado pelo fabricante do equipamento (10%). A diferença entre uma medida e outra pode estar relacionada, também, com o fenômeno da aeração, ou seja, a presença de bolhas de ar no fluido; tornando, em alguns instantes, uma vazão irregular.

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos foram satisfatórios, uma vez que o tipo de medidor escolhido para esta aplicação demonstrou ser adequado, principalmente pelo custo e dimensão. A conexão aos outros componentes da bancada não apresentou vazamentos e a calibração apresentou resultados com uma margem de erro (1,34%) dentro da especificada pelo equipamento (10%), comprovando o alto desempenho e precisão atribuídos a este tipo de medidor. O sistema de aquisição e registro de dados proposto também oferece uma fácil compreensão e operação. Em resumo, foi elaborado um equipamento simples, prático e de fácil operação, ideal para fins didáticos.

A concepção inicial do projeto foi de instalar o sensor de vazão na linha de pressão do sistema hidráulico, porém condicionado a substituição da carcaça de plástico devido a resistência à pressão, limitada pelo fabricante em 1,2 Mpa. Contudo, a usinagem da nova carcaça em alumínio ou latão não foi possível devido a disponibilidade de ferramentas (pequenos diâmetros) no centro de usinagem - CNC do LMO.

O sensor de vazão com a carcaça em plástico pôde ser instalado na linha de retorno, pois a pressão é baixa, ocasionada apenas pelo atrito do escoamento do fluido na tubulação e passagem pelo filtro de retorno do óleo ao tanque.

6. AGRADECIMENTOS

Agradeço aos responsáveis pelo Laboratório de Hidráulica e Pneumática, Laboratório de Máquinas Operatrizes e Laboratório de Inovação Tecnológica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Fortaleza, por conceder as ferramentas e apoio necessários à elaboração deste projeto.

7. REFERÊNCIAS

- Cassiolato, C. e Orellana, E., 2010. “Medição de vazão”. Technical report. Disponível em: <<http://www.smar.com/newsletter/marketing/index40.html>> . Acesso em: 09 de agosto de 2017.
- Delmée, G.J., 2003. *Manual de Medição de Vazão*. Ed. Editora Blucher, São Paulo, Brasil. ISBN 978-852-120-321-6. 366 p.
- Kok, G.J.P., van der Veen, A.M.H., Harris, P.M., Smith, I.M. e Elster, C., 2015. “Bayesian analysis of a flow meter calibration problem”. *Bureau International des Poids et Mesures - Metrologia*, Vol. 52, No. 2, pp. 392–399.
- Omega, 1986. “Medidores de vazão: Introdução aos medidores de vazão”. Technical report. Disponível em: <<https://br.omega.com/prodinfo/medidores-de-vazao.html>> Acesso em: 10 de agosto de 2017.

- Parallax, 2017. “Parallax data acquisition tool (plx-daq)”. Technical report. Disponível em: <<https://www.parallax.com/downloads/plx-daq>> Acesso em: 12 de agosto de 2017.
- Parker, 2001. *Tecnologia Hidráulica Industrial*. Parker Hannifin Ind. Com. Ltda, São Paulo, Brasil. 240p.
- Parker, 2016. *Manual de Utilização – Bancada Hidráulica/Eletrohidráulica D744B5001 – NR*. Parker Hannifin Ind. Com. Ltda, São Paulo, Brasil.
- Ribeiro, M.A., 1999. *Medição de Vazão: Fundamentos e Aplicações*. Tek Treinamento & Consultoria Ltda, São Paulo, Brasil.
- Yuan, Y. e Zhang, T., 2017. “Research on the dynamic characteristics of a turbine flow meter”. *Flow Measurement And Instrumentation*, Vol. 55, No. 2, pp. 59–66.

8. RESPONSABILIDADE AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

IMPLEMENTATION OF A FLOW INDICATOR MEASUREMENT PROTOTYPE WITH ACQUISITION SYSTEM AND DATA REGISTRY ADAPTED TO A THE SIMULATION BENCH OF HYDRAULIC CIRCUITS

Nelson Amilcar Gomes Santa Cruz Junior, nelsongomezsantacruz@gmail.com¹

André Pimentel Moreira, apmoreira@ifce.edu.br¹

Doroteu Afonso Coelho Pequeno, doroteu@ifce.edu.br¹

Evaldo Correia Mota, evaldom@ifce.edu.br¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Av. Treze de Maio, 2081 - Benfica, Fortaleza - CE, 60040-531

Resumo: In the industrial field, it is essential to use methods to measure process variables, including flow. Currently, the simulation benches of the hydraulic and pneumatic laboratory of the Federal Institute of Education, Science and Technology of Ceará (IFCE), Campus Fortaleza do not have flow meters. Considering the need to follow the volumetric flow in the pipes, a project was devised to implement a flow meter adapted to the characteristics of the laboratory bench with a data acquisition and recording system. This work proposes to describe the entire production process of this meter, from the theoretical conceptions about flow measurement to the final installation of the prototype, highlighting all the elaboration stages.

Palavras-chave: flow meter, hydraulic systems, data acquisition.