

Universidade Federal da Paraíba
Centro de Energias Alternativas e Renováveis
Departamento de Engenharia Elétrica

Emmanuel Leite de Medeiros

**Aprimoramento e Instalação do SADIR no
laboratório do LENHS - UFPB**

João Pessoa

2019

Emmanuel Leite de Medeiros

Aprimoramento e Instalação do SADIR no laboratório do LENHS - UFPB

Relatório de estágio supervisionado submetido à Coordenação de Engenharia Elétrica da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) como parte dos requisitos necessários a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica

Área de Concentração: Eletrônica

Orientador:

Professor Dr. Carlos Alberto de Souza Filho

João Pessoa

2019

Emmanuel Leite de Medeiros

Aprimoramento e Instalação do SADIR no laboratório do LENHS - UFPB

Relatório de estágio supervisionado submetido à Coordenação de Engenharia Elétrica da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) como parte dos requisitos necessários a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica

Área de Concentração: Eletrônica

Trabalho aprovado:

Professor Dr. Heber Pimentel Gomes
Supervisor da empresa

**Professor Dr. Juan Moises Mauricio
Villanueva**
Avaliador

**Professor Mestre Ronildo Inácio
Soares de Alencar**
Avaliador

João Pessoa
2019

Lista de ilustrações

Figura 1 – Placa de orifício do LENHS	6
Figura 2 – Sensor MPX5010	8
Figura 3 – Sistema de Aquisição e Interface de Rede - SADIR.	9
Figura 4 – Interfaces: a) Celular/Tablet. b)Computador.	10
Figura 5 – Caixas Blindadas	11
Figura 6 – Cenário 1 - A)Bateria fora. B) - Bateria dentro da caixa blindada. . . .	12
Figura 7 – Resultado do Cenário 1: A)Bateria fora. B) - Bateria dentro da caixa blindada. C) SADIR próximo a ponteira	13
Figura 8 – Cenário 1 - A)Bateria e sensor fora. B) - Bateria e sensor dentro da caixa blindada.	14
Figura 9 – Resultado do cenário 2 - A)SADIR perto do sensor. B) - SADIR perto da bateria.	14
Figura 10 – Resultado do cenário 2 - A)SADIR afastado da ponteira. B) - SADIR próximo a ponteira.	14
Figura 11 – Cenário 3.	15
Figura 12 – Resultado do Cenário 3.	16
Figura 13 – Resultado do cenário 4.	16
Figura 14 – Instalação do SADIR no LENHS.	17
Figura 15 – Esquemático do adaptador RS485-USB.	17
Figura 16 – Placa em 3D do adaptador RS485-USB.	18
Figura 17 – Curva vazão x coluna de mercúrio.	19
Figura 18 – Curva vazão x vazão sensor eletromagnético.	20
Figura 19 – Curva vazão sensor MPX x vazão sensor eletromagnético.	21

Sumário

1	DESCRIÇÃO DO LOCAL	5
2	REFERENCIAL TEÓRICO	6
2.1	Medidores de Fluxo	6
2.2	Sensor MPX5010	8
2.3	SADIR	9
3	DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES	10
4	CONCLUSÃO	22
	REFERÊNCIAS	26

1 Descrição do local

As atividades deste estágio aconteceram no Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS). Fundado em 1975, o laboratório está localizado no Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba e desenvolve serviços, atividades de ensino, pesquisa e extensão que visam a eficiência do uso de energia e água em sistemas e equipamentos.

O responsável pelo Laboratório atualmente é o professor Doutor Heber Pimentel Gomes, formado em engenharia Civil e atua na coordenação do LENHS.

O LENHS possui diversos equipamentos como túnel de vento, carneiro hidráulico, conjuntos moto bomba, tubulações, conexões, manômetros, barômetros e outros medidos de velocidade e fluxo.

Com os equipamentos presentes no laboratório é possível realizar experimentos como determinação da densidade relativa de substâncias líquidas, viscosidade de óleos em função da temperatura, determinar o fluxo de água por meio de placas de orifício, ou tubo de Venturi, determinar o perfil de velocidade de escoamento turbulento em tubo pressurizado, dentre outros.

Das atribuições do LENHS estão a realização de estudos para comprovar a eficiência energética de equipamentos elétricos e hidráulicos voltados ao saneamento, apoiar e desenvolver pesquisas destinadas a eficiência do uso da energia e água, entre outros.

2 Referencial Teórico

Neste capítulo serão abordados conceitos fundamentais que foram necessários para as atividades do estágio e envolvem a descrição de conceitos e equipamentos utilizados.

2.1 Medidores de Fluxo

Balbinot e Brusamarello (2000, p. 294) determinam que fluxo é “a quantidade de matéria, volume ou massa que escoar por unidade de tempo em uma dada instalação” e é uma grandeza física cujas medições são de grande importância no âmbito industrial local e global.

Para medição de fluxo é necessário ser levado em consideração os métodos de análise e as características do fluido. Dentre os métodos de medição estão placa de orifício, bocal, tubo de Pitot, tubo de Venturi, área variável, deslocamento positivo, efeito Coriolis, efeito eletromagnético, ultrassônico, turbina, vórtice e transporte térmico, sendo que cada um analisa o fluxo do fluido através de respostas específicas como temperatura, tensão, pressão, dentre outras.

No LENHS existem dois tipos de sensores de fluxo por diferença de pressão: tubo de Venturi e placa de orifício que, segundo Balbinot e Brusamarello (2000, p. 296), são baseado na obstrução de um fluido que ocasiona uma queda de pressão, utilizada no cálculo da vazão.

Para as atividades deste estágio, optou-se pela placa de Orifício (Figura 1) por causa do manômetro de mercúrio do tipo tubo em U que estava conectado a este medidor e tem dimensões de 100 mm e 50 mm de diâmetro externo e interno respectivamente.

Figura 1 – Placa de orifício do LENHS



Fonte: Própria do autor (2018).

A equação que rege o funcionamento desses tipos de medidor de pressão é a equação de Bernoulli, encontrada na equação 2.1.

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + h_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_2 \quad (2.1)$$

em que v , P e ρ são respectivamente velocidade, pressão e massa específica do fluido, g é a gravidade e h é a altura do ponto de pressão analisado. As ícognitas de índice 1 se referem antes da queda e o índice 2 a depois da queda. Se h_1 for aproximadamente igual a h_2 , então será obtido:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} \quad (2.2)$$

$$\frac{P_1}{\rho} - \frac{P_2}{\rho} = \frac{v_2^2}{2} - \frac{v_1^2}{2} \quad (2.3)$$

$$P_1 - P_2 = \rho \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} \quad (2.4)$$

Usando e rearranjando a equação do princípio de conservação de massa (eq. 2.5), obteve-se a Equação 2.6:

$$v_1 A_1 \rho = v_2 A_2 \rho \quad (2.5)$$

$$v_1 = \frac{v_2 A_2}{A_1} \quad (2.6)$$

em que A_1 é a área da tubulação e A_2 a área da placa de orifício. Aplicando a Equação 2.6 em 2.4

$$v_2 = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \sqrt{2 \frac{P_1 - P_2}{\rho}} \quad (2.7)$$

Por fim, aplicando 2.7 em 2.5, obtém-se:

$$Q = v_1 A_1 = \frac{A_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \sqrt{2 \frac{P_1 - P_2}{\rho}} \quad (2.8)$$

em que Q é o fluxo volumétrico determinado pela diferença de pressão entre P_1 e P_2 . A pressão pode ser escrita como na Equação 2.9. Aplicando-a na Equação 2.8 obtém-se o resultado na Equação 2.10.

$$P = \rho g H \quad (2.9)$$

$$Q = \frac{A_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \sqrt{2g H_d} \quad (2.10)$$

em que H_d é a diferença de altura causada pela diferença de pressão. As Equações 2.8 e 2.10 são para condições ideais. Em casos reais, de acordo com Balbinot e Brusamarello (2000, p. 299), é determinada pela equação 2.11.

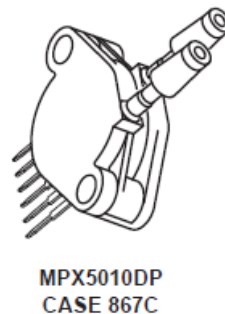
$$Qv = \frac{C_d}{\sqrt{1 - \beta^4}} \epsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2 \frac{\Delta P}{\rho}} \quad (2.11)$$

sendo d o diâmetro da placa de orifício, β igual a d/D , a relação entre os diâmetros da placa e o diâmetro da tubulação interna (D), C_d o coeficiente de descarga que tem relação com o β e o coeficiente de Reynolds, sendo este dependente do tipo de material e ϵ é o fator de expansibilidade relacionado a compressibilidade do fluido.

2.2 Sensor MPX5010

O sensor utilizado para o projeto é o sensor por pressão diferencial MPX5010 da *Freecale Semiconductor Inc.* Diversos são os encapsulamentos para esse sensor que são apresentados no manual do fabricante, sendo Figura 2 a representação do sensor utilizado neste trabalho.

Figura 2 – Sensor MPX5010



Fonte: *Freescale Semiconductor Inc* (2002).

A sua tensão de alimentação é de 5 volts (V), a tensão de saída varia de 0,2 a 4,7 V para uma variação de pressão entre 0 a 10 quilopascal (kPa) com uma precisão de 5% da tensão de fundo de escala. A pressão pode ser causada tanto por ar quanto por água.

Segundo o manual, ele possui 6 pinos dos quais apenas 3 são usados. O pino 1 possui um chanfro para identificação do pino e é a saída do sensor, o pino 2 é o terra (GND) e o 3 é a alimentação. Os outros pinos correspondem a ligações internas do dispositivo e não são usados.

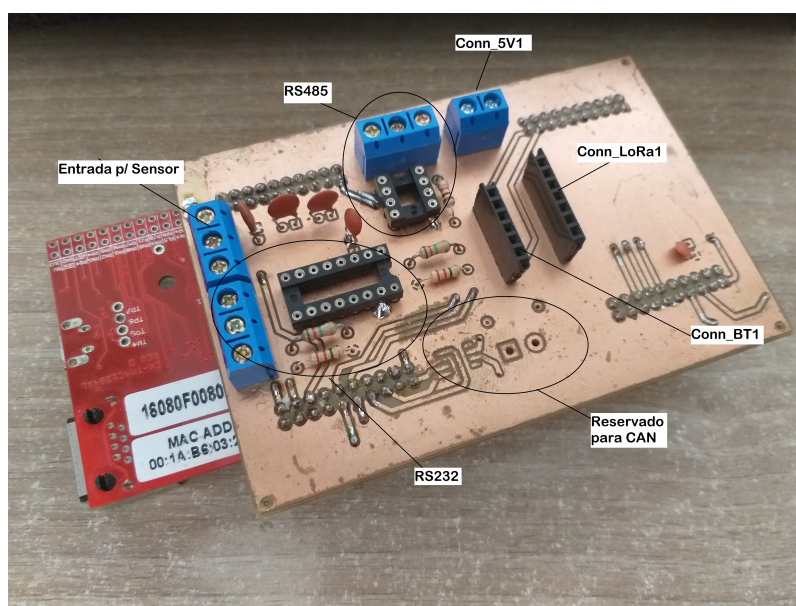
2.3 SADIR

O Sistema de Aquisição de Dados e Interface de Rede ou SADIR (Figura 3) é um sistema capaz de fazer leituras de um sensor, que para esta atividade foi o sensor MPX5010, e transmiti-las por redes cabeadas ou sem fio. O sensor mede a diferença de pressão e gera um sinal elétrico que será adquirido pelo SADIR e transmitido por uma de suas interfaces de redes. O SADIR foi desenvolvido com o intuito de facilitar a integração de redes de sensores e o monitorá-los eficientemente, principalmente de maneira remota.

O *hardware* do SADIR permite uma comunicação híbrida por meio de cinco interfaces: RS485, RS232 e CAN como redes cabeadas e *Bluetooth* e *Long Range* (LoRa) como redes sem fio. Conectado a esse hardware está o módulo Tiva1294, da Texas Instrument, que possui um microcontrolador embarcado com processador de 120 MHz, 2 módulos AD (analógico-digital) com 20 canais, taxa de amostragem de 2 Mbps, 8 UARTS (*Universal Asynchronous Receiver/Transceiver*) e placa de rede *ethernet*. Por meio dessas especificações que foi possível interconectar diversos dispositivos de comunicação.

Como a comunicação da Tiva funciona com níveis de tensão entre 0 a 3,3 V mas o sensor MPX5010 funciona de 0 a 5 V, é necessário condicionar o sensor para os níveis de tensão suportada a Tiva. As estruturas de comunicação cabeadas permitem um monitoramento local do SADIR como também se conectar a outras redes presentes no LENHS. O *bluetooth* (Conn_BT1) permite uma rápido monitoramento do SADIR pelos *smartphones*, enquanto o LoRa (Conn_LoRa) possibilita um monitoramento remoto do SADIR.

Figura 3 – Sistema de Aquisição e Interface de Rede - SADIR.



Fonte: Própria do autor, 2018.

3 Descrição das atividades

As atividades deste estágio, desenvolvidas no LENHS, foram em torno da correção de *bugs* e acréscimo de melhorias no Sistema de Aquisição de Dados e Interface de Rede (SADIR) e a sua instalação dentro do laboratório do LENHS. O SADIR foi utilizado, juntamente a um sensor de pressão diferencial MPX5010, para o monitoramento da vazão de uma tubulação de uma planta hidráulica dentro do LENHS.

Para o SADIR, foi feito um redimensionamento do tamanho da placa para melhor fixar o SADIR dentro de sua caixa, além da adição de outros componentes a placa por meio do *software* Kicad. Ao circuito de condicionamento (CC) do sensor MPX5010 também foi feito um redimensionamento para sua fixação na caixa. Entretanto, não havia materiais disponíveis durante as atividades para a implementação física das placas após os ajustes.

Além dos ajustes nas placas, também foram desenvolvidos interfaces tanto para computador, através do software Labview, como também para celulares e/ou tablets por meio do aplicativo Bluetooth Eletronics. Essas interfaces se encontram na Figura 4 e ambas servem para mostrar um gráfico do comportamento da vazão em função do tempo e o valor atual de vazão recebido em um visor.

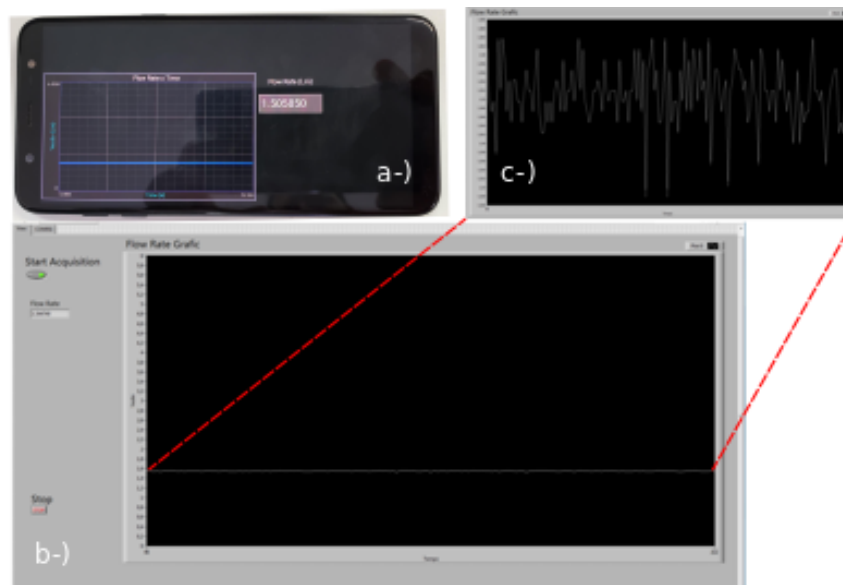


Figura 4 – Interfaces: a) Celular/Tablet. b) Computador.

Fonte: Própria do autor (2019)

Durante as atividades, foi percebido que o módulo LoRa (*Long Range*) durante a transmissão de dados do SADIR estava interferindo no sensor MPX5010, no CC e no sinal adquirido pelo SADIR. Para solucionar esse problema, foi decidido a utilização de uma caixa blindada para o SADIR, para o sensor MPX5010 e usar cabos blindados entre o sensor e o SADIR.

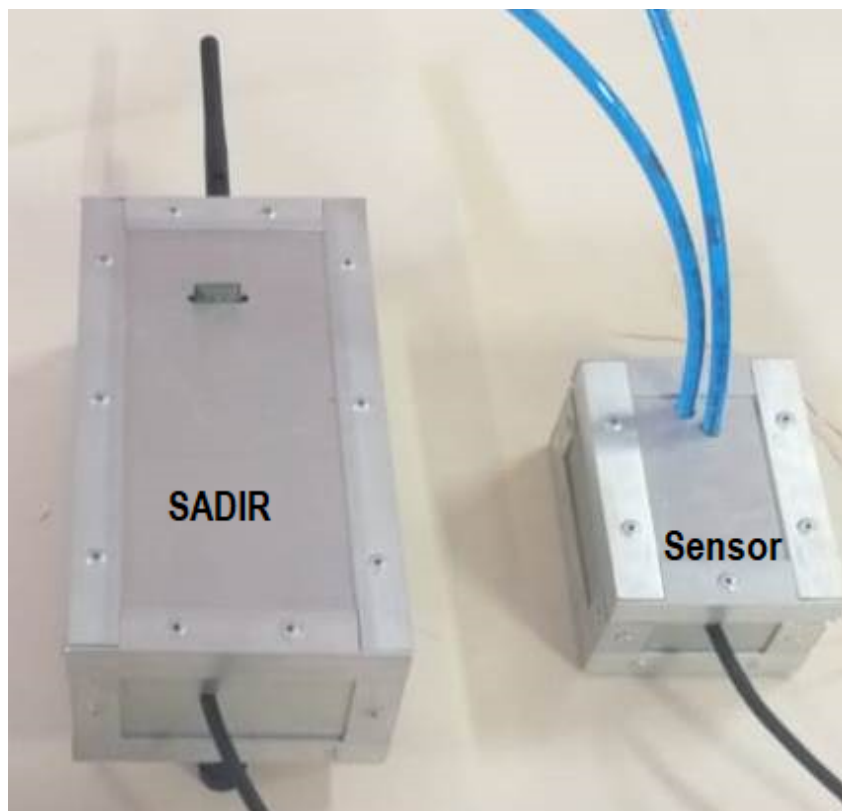


Figura 5 – Caixas Blindadas

Fonte: Própria do autor (2019)

Com isso, adquiriu-se uma chapa metálica e rebites para montagem das caixas (Figura 5) e também foi feito um levantamento de preços de cabos blindados. Contudo, o cabo blindado não foi adquirido ou usado durante as atividades devido ao custo e ao prazo de entrega do produto, que levaria muito tempo para chegar. A tabela do local, do tipo de blindagem e do preço se encontram anexados ao apêndice A deste relatório. Os tipos de cabos blindados são: *Foiled Twisted Pair (FTP)* cujo cabo tem vários pares de fio trançados e todo o cabo é revestido por uma blindagem metálica externa, *Shielded Twisted Pair (STP)* com vários pares de fio trançados sendo cada par revestido com seu próprio material metálico e *Screened Foiled Twisted Pair (SFTP)* que combina a blindagem individual com a externa.

Com as caixas blindadas, estipulou-se alguns cenários para análise da qualidade da blindagem sobre os módulos, ou seja, para avaliar a influência do ruído causado pelo módulo LoRa do SADIR sobre o sensor como também sobre a bateria externa que alimenta os módulos. Em cada cenário foi utilizado um osciloscópio para auxiliar na análise do comportamento do ruído.

Cenário 1 - Análise do ruído sobre a bateria externa

O cenário 1 foi a análise da influência do ruído do módulo sobre a bateria externa e foi dividido em duas etapas: a primeira foi a análise do ruído sobre a bateria fora da caixa e a segunda com ela dentro da caixa blindada, como podem ser vistas na Figura 6.

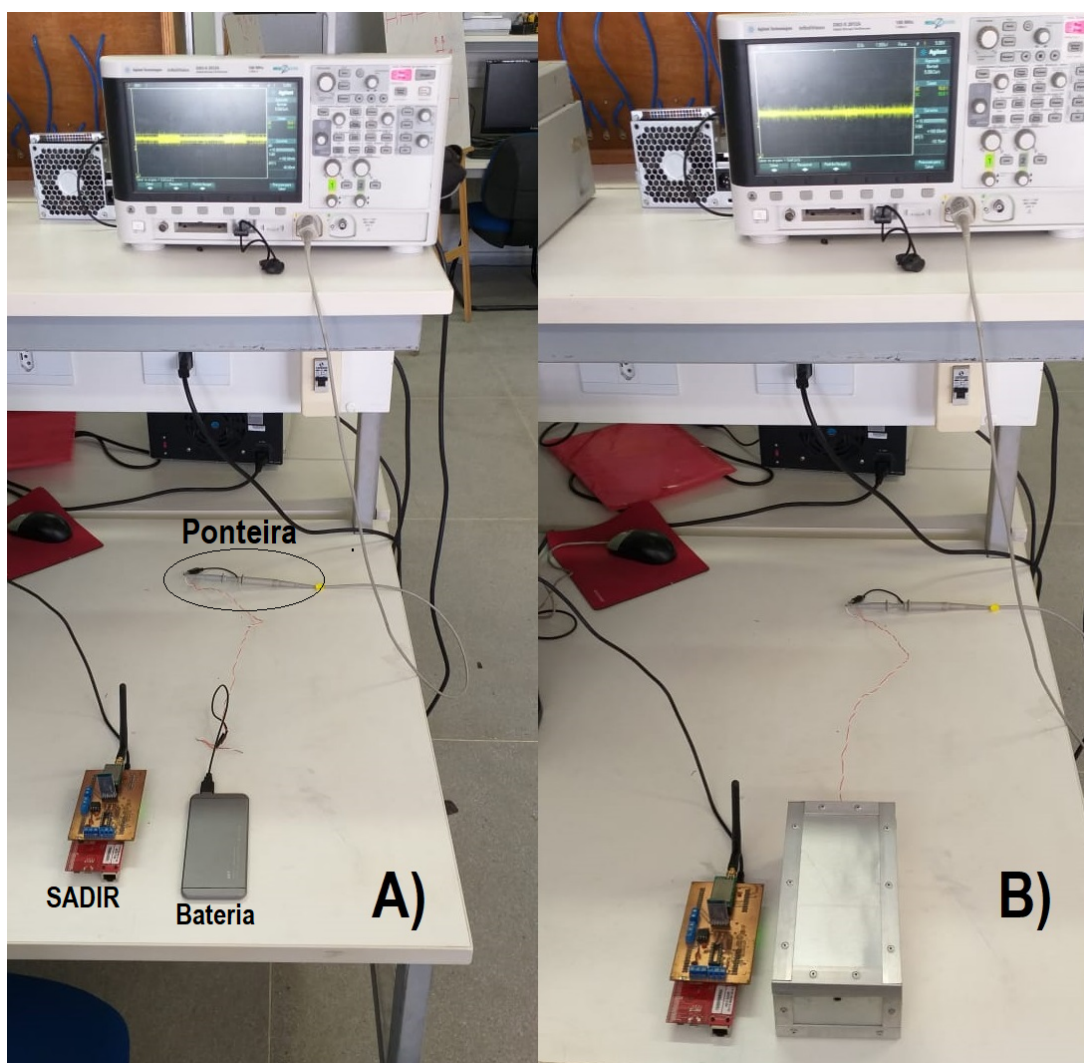


Figura 6 – Cenário 1 - A) Bateria fora. B) - Bateria dentro da caixa blindada.

Fonte: Própria do autor (2019)

O SADIR foi alimentado por um computador enquanto o osciloscópio adquiria o sinal da alimentação da bateria. O resultado das duas etapas se encontra na Figura 7.

Na primeira etapa (Figura 6-A), a interferência sobre a bateria tem o comportamento da Figura 7-A em que o ruído aparece de forma periódica a medida que o dado é enviado pelo SADIR. O resultado da segunda etapa (Figura 6-B) é apresentado na Figura 7-B e percebe-se que com a caixa blindada houve a atenuação do ruído.

Contudo, se o SADIR estiver próximo a ponteira do osciloscópio, o ruído aparece novamente, resultando no comportamento da Figura 7-C. Por isso, como pode ser

observado na Figura 6, a ponteira foi colocada o mais distante possível para não sofrer influências desse ruído.

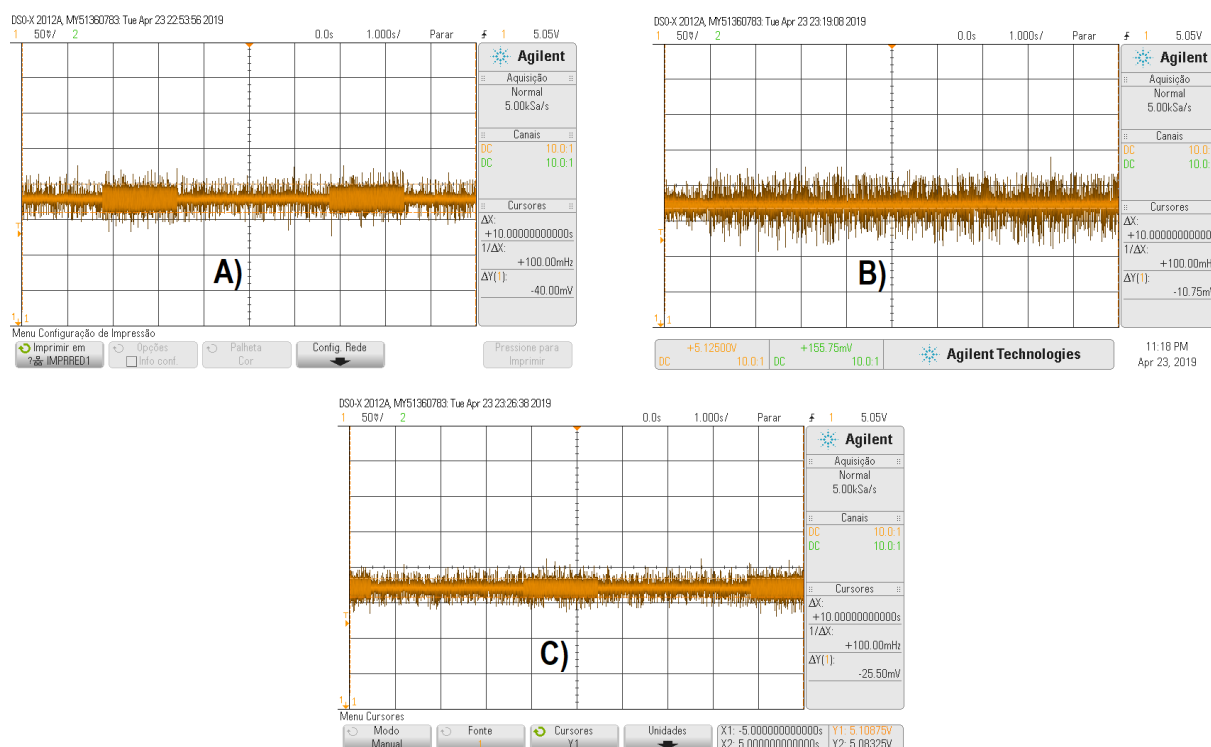


Figura 7 – Resultado do Cenário 1: A) Bateria fora. B) - Bateria dentro da caixa blindada. C) SADIR próximo a ponteira

Fonte: Própria do autor (2019)

Cenário 2 - Análise do ruído sobre a bateria e o sensor MPX5010

No cenário 2 foi feita a análise do ruído sobre bateria e sensor com eles fora e dentro da caixa, de acordo com a Figura 8. Nesse cenário, a bateria alimentava o sensor e o osciloscópio analisava a saída do sensor. O SADIR era alimentado por um computador.

A interferência, no instante em que estavam fora da caixa, tinha dois comportamentos: no primeiro momento, o SADIR estava próximo ao sensor, resultando no comportamento da Figura 9-A. Já ao aproximar o módulo à bateria, obteve-se comportamento da Figura 9-B. Em ambos, a ponteira estava distante ao máximo para não sofrer também influências.

Ao colocar bateria e sensor dentro da caixa blindada (Figura 8-B), o ruído foi atenuado, como ilustrado na Figura 10-A. Também foi possível colocar parte da ponteira dentro da caixa a fim de blindá-la ao máximo e diminuir a influência do SADIR nela.

Contudo, aproximando o módulo à ponteira, o ruído surge novamente e resulta na Figura 10-B.

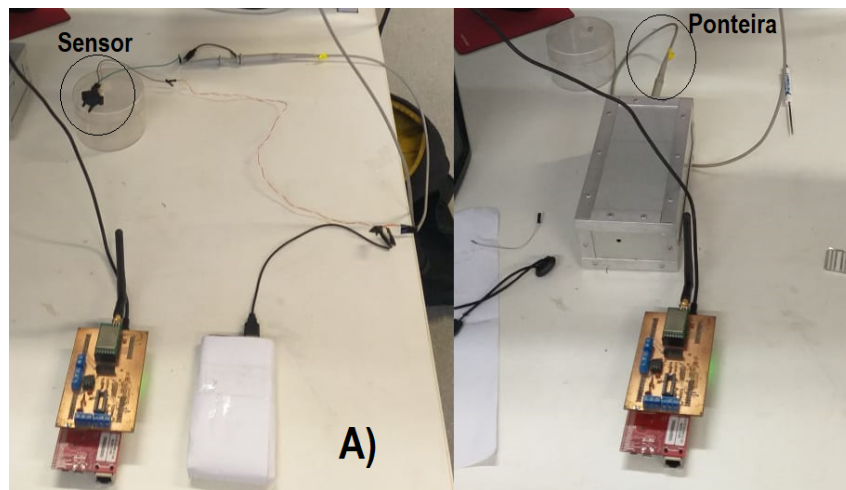


Figura 8 – Cenário 1 - A) Bateria e sensor fora. B) - Bateria e sensor dentro da caixa blindada.

Fonte: Própria do autor (2019)

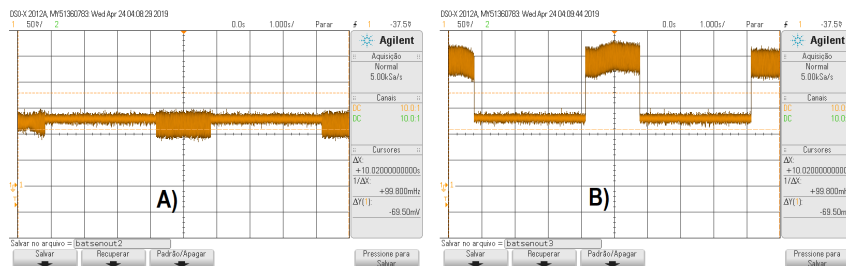


Figura 9 – Resultado do cenário 2 - A) SADIR perto do sensor. B) - SADIR perto da bateria.

Fonte: Própria do autor (2019)

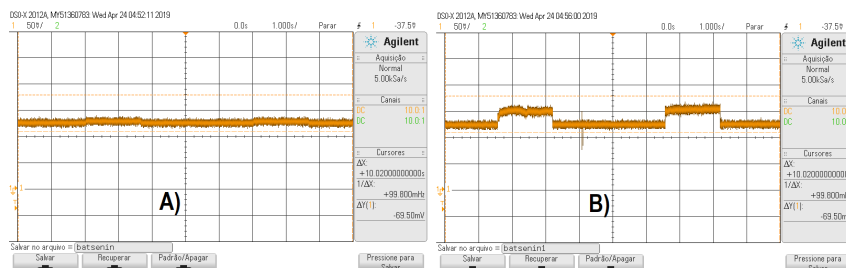


Figura 10 – Resultado do cenário 2 - A) SADIR afastado da ponteira. B) - SADIR próximo a ponteira.

Fonte: Própria do autor (2019)

Cenário 3 - Análise do ruído sobre a bateria e o sensor MPX5010 em caixas separadas

No cenário 3, a bateria estava dentro da caixa maior com parte da ponteira dentro para analisar o comportamento do sinal da fonte, enquanto o sensor estava na caixa menor com a ponteira fora da caixa para avaliar o sinal de saída do sensor. A bateria e o sensor estavam conectados entre si por meio de um fio de alimentação par trançado, como ilustrado na Figura 11.

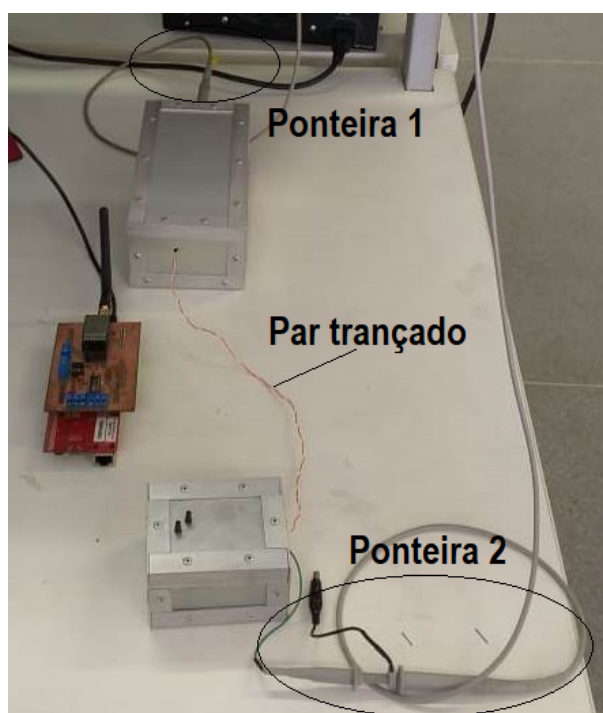


Figura 11 – Cenário 3.

Fonte: Própria do autor (2019)

Quando o módulo está próximo a ponteira 1, o ruído tem a característica do sinal superior da Figura 12-A. Quando o módulo está próximo ao par trançado a ruído é como o apresentado na Figura 12-B. Como o par trançado é responsável pela alimentação, era de se esperar que a interferência ocorresse no sinal superior. Com isso, apesar de a bateria estar no interior da caixa, os elementos conectados a ela (ponteira 1 e par trançado) estavam expostos sofrendo influência do SADIR. Logo, era esperado que houvessem ruídos no sinal superior das Figuras 12-A e 12-B.

Aproximando o SADIR ao sensor, o resultado obtido se encontra na Figura 12-C. O sinal inferior está relacionado a ponteira 2 responsável pela leitura da saída do sensor. Nesse momento, a ponteira 2 estava afasta ao ponto de não sofrer influência do SADIR, mas o par trançado continuou exposto e sofria influências do módulo, logo o ruído aparece novamente no sinal superior. Por fim, ao aproximar o módulo à ponteira 2, o ruído aparece

no sinal inferior, como observado na Figura 12-D.

Nesse cenário, observa-se que há a necessidade de usar também cabos blindados, pois mesmo blindando as caixas, se os cabos estiverem expostos, ainda haverá interferência no sinal.

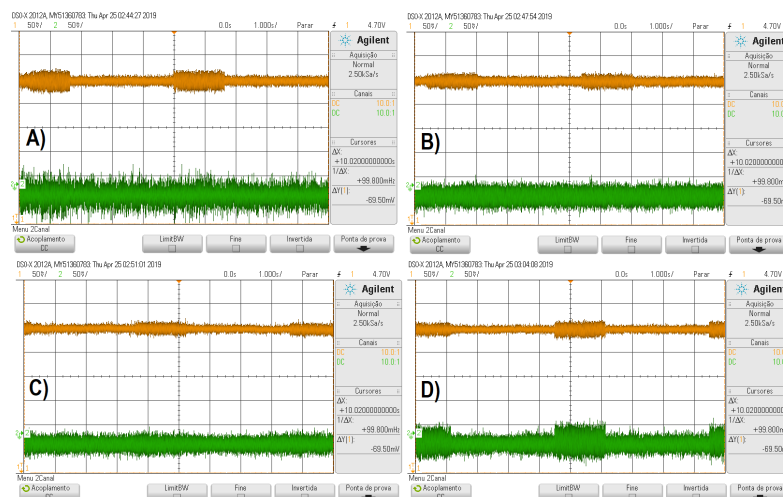


Figura 12 – Resultado do Cenário 3.

Fonte: Própria do autor (2019)

Cenário 4 - SADIR, bateria e sensor dentro da caixa

Nesse cenário, o SADIR, a bateria e o sensor estavam todos dentro da caixa grande e a ponteira conectada a saída do sensor. No momento em que a caixa estava aberta, ou seja, todos estavam expostos, o ruído teve o comportamento da Figura 13-A. Mas quando a caixa está fechada ocorre uma atenuação do ruído, só que a ponteira continuava exposta e próximo a caixa, assim o ruído ainda permaneceu, resultando no comportamento da Figura 13-B.

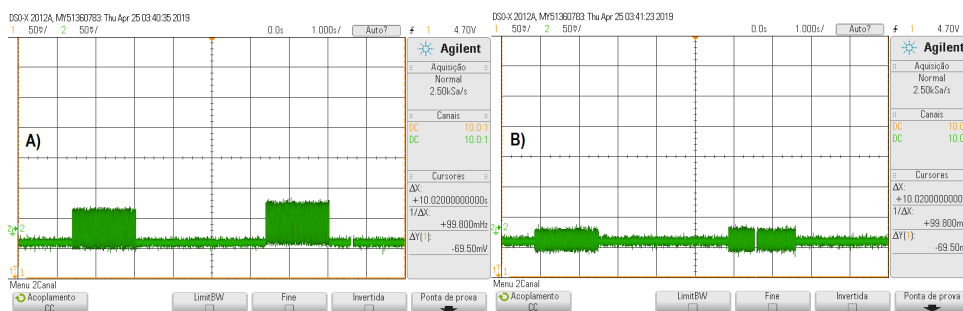


Figura 13 – Resultado do cenário 4.

Fonte: Própria do autor (2019)

Após a análise do ruído e a construção das caixas, houve a instalação do SADIR e do sensor no laboratório do LENHS. O sensor estava acoplado a planta hidráulica por meio de tubos (Figura 14) que adquiria a diferença de pressão da tubulação e gerava um sinal elétrico para o SADIR, o qual convertia o nível de tensão para vazão.

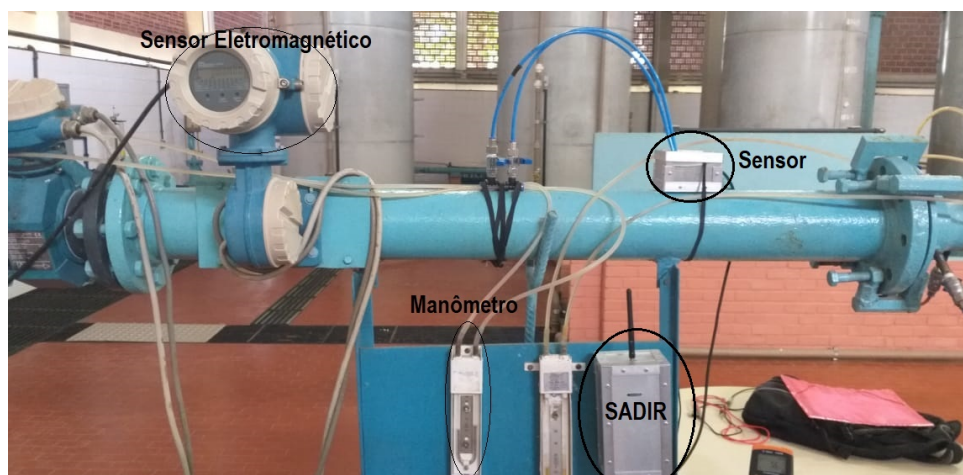


Figura 14 – Instalação do SADIR no LENHS.

Fonte: Própria do autor (2019)

O SADIR permite o monitoramento por redes cabeadas ou sem fio. Assim, a interface cabeada RS485 foi escolhida como meio de comunicação para o monitoramento do módulo através do PC. Para viabilizar a comunicação entre SADIR e PC, foi desenvolvido via software um circuito de conversão RS485 para USB, cujo esquemático se encontra na Figura 15.

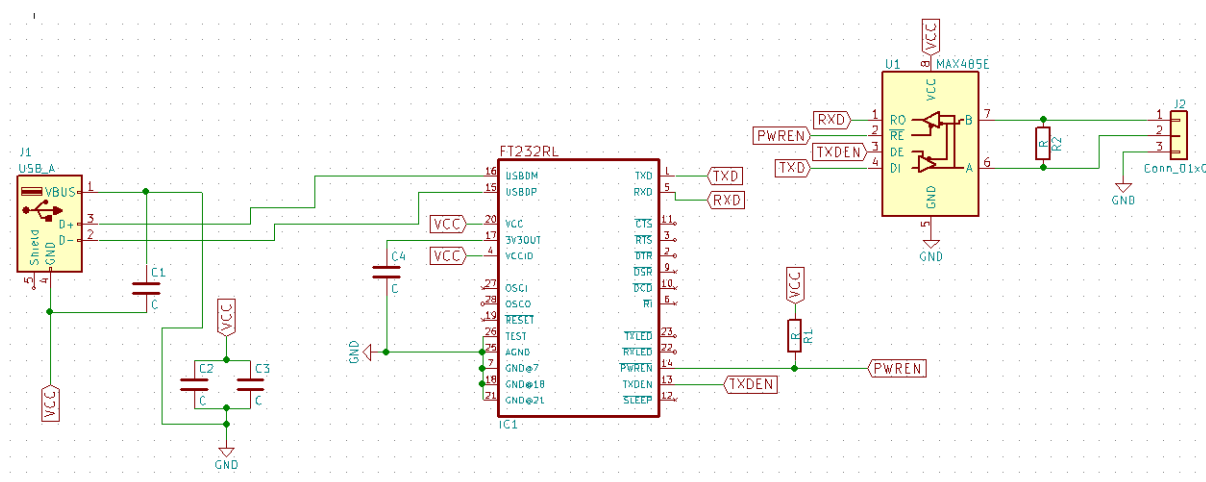


Figura 15 – Esquemático do adaptador RS485-USB.

Fonte: Própria do autor (2019)

O adaptador RS485-USB possui um conector para a rede RS485, um circuito integrado (CI) MAX485, que é responsável por receber a informação via RS485 e convertê-

lo em TTL (*transistor-transistor Logic*), um CI FT232R, que recebe o sinal TTL do MAX485 para transmiti-lo via USB, um conector USB e alguns capacitores e resistores. A placa de circuito impresso em 3D desse adaptador pode ser vista na Figura 16 e possui dimensões de 3,46 cm de largura e 5,42 cm de largura.

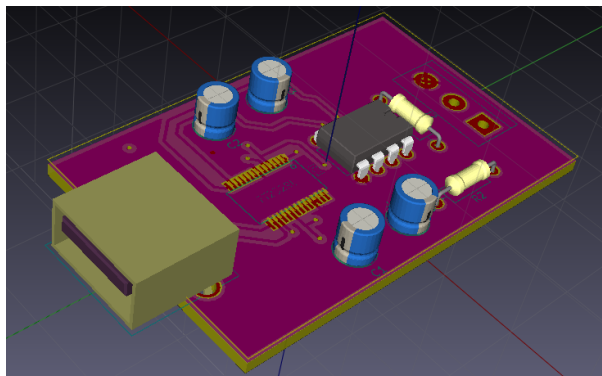


Figura 16 – Placa em 3D do adaptador RS485-USB.

Fonte: Própria do autor (2019)

A não implementação física ocorreu devido a indisponibilidade de recursos durante as atividades do estágio. Entretanto, foi feita a medição da distância do SADIR a sala de monitoramento para futura instalação, resultando em uma distância de 30 m.

Após a instalação do sistema no LENHS (Figura 14), o sensor que estava conectado ao circuito de condicionamento foi calibrado e então levantou-se dados da vazão do sensor eletromagnético Promag 30 F da Endress+Hauser, do manômetro de mercúrio do tipo U e SADIR que estavam conectados a planta hidráulica, apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Coluna de mercúrio e Vazão dos sensores.

Coluna de mercúrio	Vazão Sensor Elemag.	Vazão Sensor MPX5010	Vazão Manômetro tipo U
2	0	0,271	0,909
7	1,576	1,665	1,701
12	2,4	2,42	2,227
22	3,106	3,115	3,015
28	3,376	3,392	3,402
33	3,683	3,657	3,693
43	4,1772	4,15	4,216
53	4,642	4,598	4,68
58	4,903	4,884	4,896
68	5,25	5,22	5,302
75	5,603	5,586	5,568

As aquisições de dados do SADIR foram feitas via *Bluetooth* e procedeu da seguinte forma: a vazão do fluxo de água da planta foi sendo variada para variar a coluna de

mercúrio, sendo que a cada variação foram adquiridos 10 valores do sensor eletromagnético (Elemag) e 10 do SADIR, sendo a média desses valores mostrados na Tabela 1. A coluna de mercúrio é dada em milímetros e a vazão em litros/segundo.

Através da Tabela 1 é possível plotar o gráfico, visto na Figura 17, das vazões de cada sensor em função da coluna de mercúrio e compará-los ao comportamento da curva teórica regida pela equação 2.11.

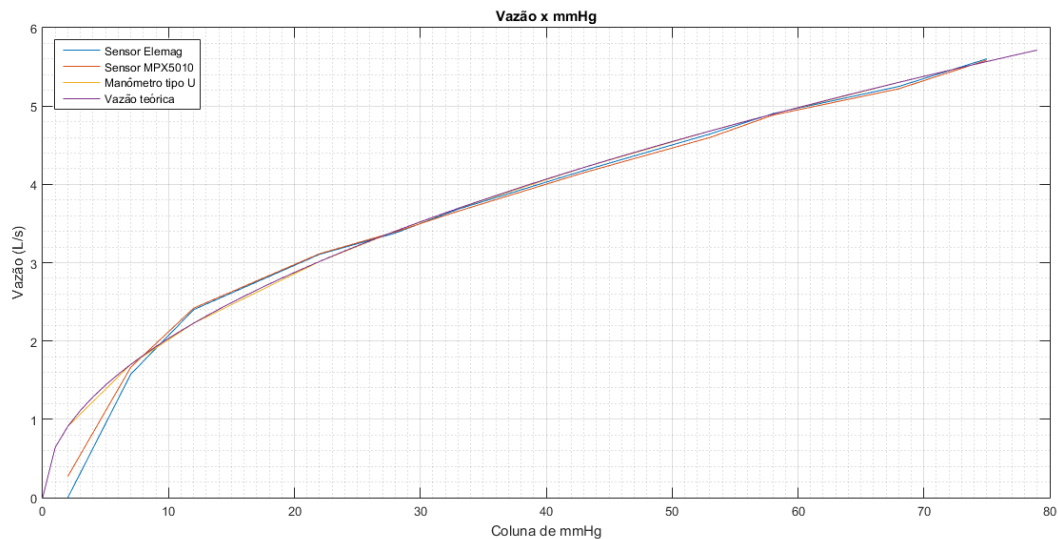


Figura 17 – Curva vazão x coluna de mercúrio.

Fonte: Própria do autor (2019)

Da Figura 17, percebe-se que o comportamento das curvas dos sensores se assemelham a curva teórica.

Dentre os sensores utilizados, o eletromagnético é o mais preciso. Usando os dados de vazão dele como referência é possível plotar a curva da vazão do sensores com relação ao sensor Elemag. que resulta na Figura 18.

Durante a calibração do sensor MPX5010, a planta hidráulica, inicialmente, estava ligada mas sem fluxo de água. Nesse momento, o sensor Elemag. apontava uma vazão de 0 L/s. Sendo assim, a saída do circuito de condicionamento para o sensor MPX5010 foi ajustada para que sua saída fosse 0 V a fim de obter uma leitura de 0 L/s, entretanto, mesmo com o ajuste, havia um *offset* de aproximadamente 6 mV que resultou em uma vazão média de 0,271 L/s. Entretanto, essa tensão restante da calibração grosseira poderia ser retirada via software no próprio SADIR. Enquanto isso, no manômetro havia 2 mm de mercúrio que resulta em 0,909 L/s. Por isso, na Figura 17, o ponto inicial parte de 2 mm no eixo X, enquanto há valores diferentes de 0 L/s no eixo Y para o manômetro e o MPX. Por esse mesmo motivo, na Figura 18, o eixo Y parte de valores diferentes de 0.

Ainda durante a calibração, o fluxo da planta foi variado para atingir um ponto

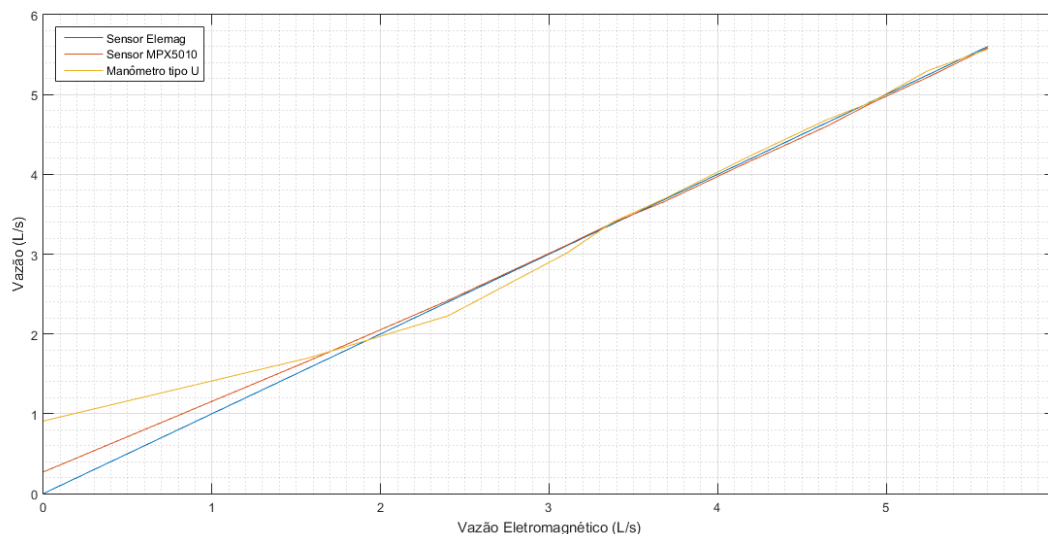


Figura 18 – Curva vazão x vazão sensor eletromagnético.

Fonte: Própria do autor (2019)

próximo de 75 mm de mercúrio do manômetro, que equivale a aproximadamente ao máximo suportado de pressão do sensor MPX (10 KPa). Nesse ponto de máxima pressão, a saída do CC deveria ser ajustada para a tensão máxima suportada pelo SADIR (3,3 V). Contudo, durante alguns instantes dessa parte da calibração, a tensão de saída do CC ultrapassava o valor de 3,3 V. Assim, como medida protetiva, a tensão de saída máxima foi ajustada por ser em média próxima de 3,2 V, ou seja, quando a pressão diferencial no sensor MPX fosse de 10 KPa, resultaria em uma saída de 3,2 V.

Por isso, o ponto máximo analisado na Figura 17 ocorre próximo de 75 mm, resultando em um valor médio aproximado de 5,56 L/s. O valor médio adquirido do sensor Elemag, nesse mesmo ponto, foi de 5,6 L/s, enquanto no sensor MPX foi de 5,58 L/s, resultando em um erro de 0,3% entre o sensor MPX e o Elemag.

Analisando a Figura 18, a diferença entre o sensor MPX e o de referência (Elemag.) se deu por vários motivos: o um deles aconteceu pela calibração do offset, em que ainda existiam 6 mV. Outro possível erro pode estar associado ao erro de Paralax durante o ajuste de tensão máxima pois, visualmente, a coluna de mercúrio indicava 75 mm, mas poderia ser maior ou menor, o que implica erros na calibração. Outro motivo pode ser devido à presença de bolhas no interior do tubo de conexão do sensor a planta que atenuam o valor real que deveria ser lido pelo MPX a medida que a pressão aumenta. O erro pode estar na precisão do sensor, que é de 5% da tensão de fundo de escala.

Para visualizar melhor o comportamento dos valores adquiridos pelo sensor MPX em relação ao eletromagnético, plotou-se a curva do sensor MPX com os valores médios de vazão e o desvio padrão dos valores recebidos em função do sensor Elemag., visto na Figura 19. Percebe-se por essa figura que o desvio padrão em torno da média dos valores

do sensor MPX foram baixos e seu comportamento estão próximos a curva do sensor Elemag.

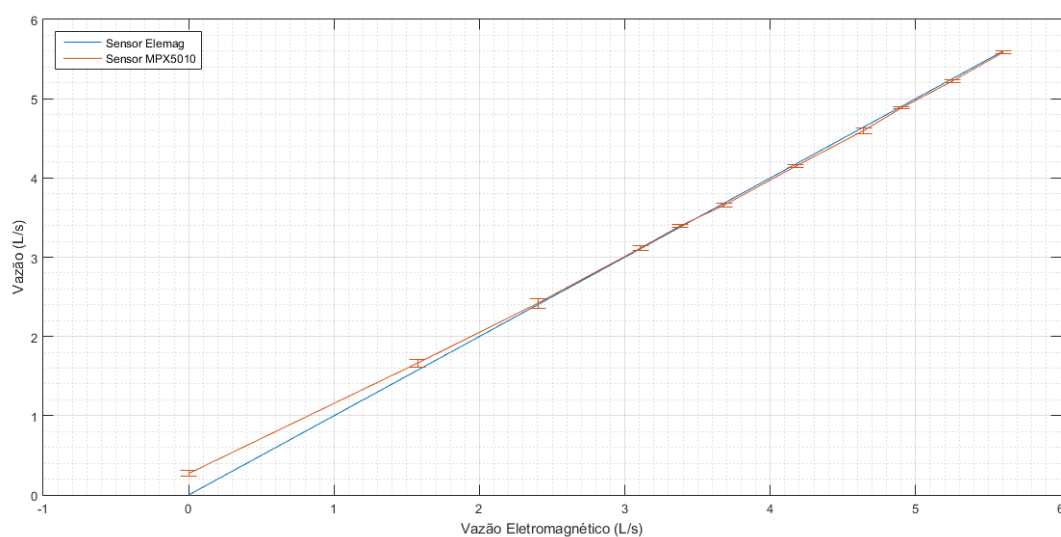


Figura 19 – Curva vazão sensor MPX x vazão sensor eletromagnético.

Fonte: Própria do autor (2019)

Para a implementação física do módulo SADIR, há um custo associado e que pode ser encontrado na tabela do Apêndice B. Uma das vantagens do módulo SADIR é sua versatilidade devido a sua facilidade de permitir a adição de outros sensores ao módulo. Para isso, basta ter um circuito para o condicionamento do sensor como o usado para o MPX5010, um microcontrolador para endereçamento do sensor e um driver compatível com uma das comunicações do SADIR (RS485 ou CAN), que resulta em um custo como o da tabela de preços do apêndice C.

4 Conclusão

A partir das atividades do estágio foi possível aprimorar o SADIR via software e criar uma caixa para sua instalação dentro do laboratório do LENHS. Além disso, foi analisado o comportamento do ruído produzido pelo módulo LoRa do SADIR sobre o sinal adquirido pelo sensor.

Devido as análises do ruído, viu-se a necessidade de usar equipamentos (caixas e cabos) blindados com o intuito de minimizar a influência do ruído sobre o SADIR e o sensor MPX5010. Essas melhorias e incrementos permitiram a otimização do sistema para ser menos susceptível a ruídos e interferência.

Ao observar os cenários, as caixas blindam a interferência eletromagnética do sinal vindo do SADIR, porém, foi percebido a necessidade do uso de cabos blindados para conectar a caixa maior à caixa menor. Foi observado também que apesar de blindar os componentes, houve momentos em que o ruído apareceu devido as ponteiras não estarem blindadas junto com as caixas.

Durantes as atividades foram desenvolvidos interfaces de monitoramentos para computador e smartphones, como também foram implementados em *software* um módulo RS485-USB para que haja um monitoramento local do SADIR e de sensores conectados a ele, utilizando a rede RS485 como comunicação e um computador como dispositivo de monitoramento.

Com os módulos instalados no laboratório, observou-se o comportamento da planta hidráulica por meio do SADIR que foi comparado aos sensor eletromagnético e ao manômetro tipo U. Com isso, foi percebido que apesar de existirem algumas imprecisões, como o ajuste da calibração e a precisão do sensor MPX5010, o sistema instalado se comportou dentro do esperado.

Apêndice A

Tabela de preços dos cabos

Cabos de rede - Link	Tipo de blindagem*	Comprimento	Preço (sem frete)	Frete	Total
americanas	FTP	305 m	R\$ 244,90	R\$ 121,92	R\$ 366,82
americanas	FTP	305 m	R\$ 279,90	R\$ 67,11	R\$ 347,01
americanas	SFTP	305 m	R\$ 399,00	R\$ 33,71	R\$ 432,71
americanas	SFTP	100 m	R\$ 199,00	R\$ 31,35	R\$ 230,35
cirilo	STP	100 m	R\$ 359,00	grátis	R\$ 359,00
mercadolive	FTP	305 m	R\$ 299,00	grátis	R\$ 299,00
mercadolive	FTP	305 m	R\$ 279,00	grátis	R\$ 279,00
mercadolive	STP	305 m	R\$ 332,00	grátis	R\$ 332,00

Fonte: Própria do autor (2019)

Apêndice B

Tabela de preços do SADIR

Componente	Quantidade	Preço/unidade	Preço/unidade	Preço/unidade
Capacitor 1nF	1	R\$ 0,08	R\$ 0,09	-
Capacitor 0.1uF	5	R\$ 0,19	R\$ 0,12	-
Resistor 10Kohm	1	R\$ 0,08	R\$ 0,12	-
Resistor 1Mohm	2	R\$ 0,08	R\$ 0,11	-
Resistor 1.2Mohm	2	R\$ 0,08	R\$ 0,11	-
Borne 1x2 - 5.8mm	2	R\$ 0,78	R\$ 0,64	-
Borne 1x3 - 5.8mm	3	R\$ 1,09	R\$ 0,93	-
Barra de pino simples (fêmea) 1x4 - 2.54mm	1	R\$ 0,39	R\$ 0,84	-
Barra de pino simples (fêmea) 1x7 - 2.54mm	1	R\$ 0,88	R\$ 0,84	-
Barra de pino duplo (fêmea) 2x10 - 2.54mm	4	R\$ 0,98	R\$ 1,66	-
Driver MAX232	1	R\$ 2,22	R\$ 1,59	-
Driver MAX485	1	R\$ 2,90	-	-
Módulo CAN SV65H	1	-	-	-
Placa Fenolite 10x15 cm	1	R\$ 3,77	R\$ 4,97	-
Soquete para CI - 8 pinos	1	R\$ 0,15	R\$ 1,69	-
Soquete para CI - 16 pinos	1	R\$ 0,32	R\$ 0,33	-
LaunchPad Tiva TM4C1294	1	-	-	R\$ 107,00
Módulo Bluetooth HC05	1	-	-	R\$ 9,92
Módulo LoRa E32-TTL-100	1	-	-	R\$ 28,46
Fornecedor		Eletrodex	Solda Fria	AliExpress

Fonte: Própria do autor (2019)

Apêndice C

Tabela de preços para adicionar sensores a rede

Componente	Quantidade	Preço/unidade
Resistor 1Kohm	1	R\$ 0,08
Resistor 10Kohm	1	R\$ 0,08
Resistor 12Kohm	2	R\$ 0,08
Resistor 100Kohm	2	
AmpOp TL084CN	1	R\$ 2,05
PIC12C058A	1	R\$ 3,46
Borne 1x3 - 5.8mm	1	R\$ 1,09
Driver MAX485	1	R\$ 2,90
Trimpot 3296W 1kohm	1	R\$ 1,22
Trimpot 3296W 100Kohm	1	R\$ 1,25
Fornecedor		Eletrodex

Fonte: Própria do autor (2019)

Referências

BALBINOT, A; BRUSAMARELLO, V. J. *Instrumentação e Fundamentos de Medida*. 2. ed. Grupo GEN - LTC, 2000. 2 v.

FREESCALE SEMICONDUCTOR. *Integrated Silicon Pressure Sensor On-chip Signal Conditioned, Temperature Compensated and Calibrated*. Disponível em: <<https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MPX5010.pdf>>. Acesso em: 01 maio 2019.

LENHS. Disponível em: < <http://www.lenhs.ct.ufpb.br/> >. Acesso em: 01 maio 2019.

MEDEIROS, Emmanuel Leite. *Desenvolvimento de um Sistema de Aquisição de Dados em Rede Híbrida de Comunicação de uma Planta Hidráulica focado em LoRa*. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.