



DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE SONDA DE NÍVEL HIDROSTÁTICA COM SAÍDA ANALÓGICA

Marcelo Miranda Lima¹, Daniel Lohmann²

Resumo: Este artigo trata do desenvolvimento de um protótipo de uma sonda de nível hidrostática com saída analógica de 4 a 20 mA a dois fios. O dispositivo utiliza um sensor de pressão do tipo diferencial piezoresistivo, no qual a medição de pressão diferencial é usada de forma indireta para medição de nível em líquidos, embora muito simples em seus conceitos, na prática requer artifícios e técnicas avançadas, principalmente para fins operacionais e de custos. O protótipo terá como função principal medir nível de líquidos, através da pressão do processo por meio de um componente chamado de diafragma, que está em contato direto com o fluido. Conforme a pressão se altera, o diafragma é pressionado com intensidade proporcional. O sensor localizado na parte interna do diafragma converte a variação de pressão em uma variação de resistência elétrica equivalente. Um circuito eletrônico transforma essa informação em um sinal de corrente de (4 a 20 mA) compatível com diversos equipamentos de automação, como CLPs, indicadores digitais entre outros. Para tanto, foi realizada uma pesquisa a respeito do atual mercado comercial, aplicabilidade, entre outras informações relevantes que influenciam na viabilidade do produto e para que se obtivesse o máximo de informações, tendo em vista que o produto seja confiável e de fácil aplicabilidade.

Palavras-chave: Sonda hidrostática. Sensor piezoresistivo. Condicionamento de sinais. Transmissor de pressão.

Abstract: *This article deals with the development of a prototype of a hydrostatic level probe with analog output from 4 to 20 mA to two wires. The device uses a piezoresistive differential pressure industrial sensor, in which pressure measurement is different from a linear level measurement, although very simple in its concepts, a technique requires artifacts and techniques mainly for operating and cost purposes. The product has as its main parameter the type of liquid, through the process pressure by means of a component called diaphragm, which is in direct contact with the fluid. As the pressure varies, the diaphragm is pressed with proportional intensity. The sensor located in the internal change of diaphragm converts in the variation of pressure in the variant of the ironic equivalent. A current signal from an information board in a current signal (4 to 20 mA). For this, an opinion survey was conducted on the labour market, applicability, among other information on the influence on the viability of the product and for information to obtain maximum information, since the product is reliable and easy to apply.*

Keywords: *Hydrostatic probe. Piezoresistive sensor. Sign conditioning. Pressure Transmitter.*

¹ Especialista em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos, IFSC/Florianópolis <marcelotecta@gmail.com>.

² Professor do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN), IFSC/Florianópolis <daniel.lohmann@ifsc.edu.br>.

1 INTRODUÇÃO

Processos e sistemas de medida de nível em líquidos têm estado presentes em nosso dia a dia de maneira cada vez mais intensa. Por vezes passam despercebidos, mas estão presentes, e acompanham a evolução de grandezas que representam o estado de determinado sistema.

Este artigo apresenta o estudo e o desenvolvimento de um protótipo de uma sonda para medir nível, utilizada para automatizar em grande parte o setor de saneamento, porém este produto também é muito utilizado em outros setores dos mais diversos segmentos da indústria, com os resultados dessas medições de nível, as empresas conseguem ter mais segurança no controle de processos, elas também conseguem avaliar

seu volume estocado e reduzir suas perdas. Mas por se tratar de um projeto desenvolvido com foco principal para atender empresas do setor de saneamento, vale ressaltar que no Brasil apenas 50,3% dos brasileiros têm acesso à água tratada e coleta de esgoto, o que significa que mais de 100 milhões de pessoas utilizam medidas alternativas para resolver tal desafio, seja captando água em rios e jogando o esgoto diretamente a céu aberto ou outras. Em algumas regiões do país, como o Norte, a situação é ainda mais grave: 49% da população é atendida por abastecimento de água, e apenas 7,4%, por coleta de esgoto. Desta forma, com estes dados é possível ter uma ideia de como um equipamento nestes termos terá utilidade para o desenvolvimento da atividade do saneamento com mais praticidade e baixo custo no Brasil (VELASCO, 2017).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Contextualização

Segundo Aguirre (2013), historicamente, o processo de medição é tão antigo quanto o ser humano. Há alguns séculos, uma pessoa que desejasse trocar uma unidade de cereal por uma dúzia de laranjas enfrentaria o desafio de medir as quantidades envolvidas, a medição de nível não é diferente, precisamos efetuar tais medidas. Para tal função, uma das opções é através de elementos resistivos, que tem por objetivo fornecer uma indicação do peso da coluna do líquido vista por sensor de pressão, que deverá estar em contato com o líquido no fundo do recipiente. Essa pressão corresponde a

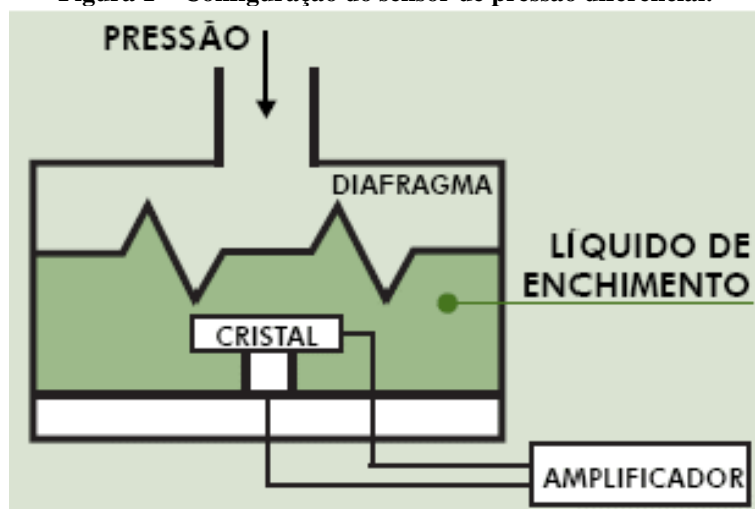
$$P = \rho \cdot g \cdot h \quad (1)$$

onde ρ é a massa específica, g é a constante de gravidade e h é o nível do líquido. Pode-se, portanto, calibrar a indicação do sensor de pressão para indicar o nível se as demais grandezas, isto é, ρ e g , forem constantes (AGUIRRE, 2013).

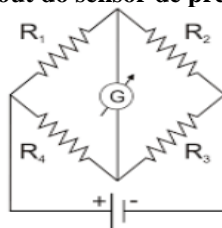
2.2 Sensor de pressão

Entre os sensores de pressão geralmente utilizados, estão os piezoresistivos. O funcionamento desses sensores é similar ao dos transdutores baseados em membranas com extensômetros, apesar de serem geralmente menores e mais compactos. Nos sensores piezoresistivos, o papel da membrana metálica é realizado por um diafragma de silício. São dispositivos semicondutores, que dependendo da pressão correspondente, são usados os termos de pressão absoluta quando a referência é o vácuo, se denomina pressão relativa quando a referência é a pressão atmosférica e o termo “diferencial” é usado quando o sensor tem duas portas para medir duas pressões diferentes. O sensor de pressão diferencial tem a mesma configuração dos sensores de pressão relativa e absoluta onde as pressões de referência são a pressão atmosférica e a pressão de zero absoluto. A Figura 1 ilustra a configuração interna de um sensor de pressão diferencial piezoresistivo. Nesta figura podemos visualizar os elementos piezoresistivo colocado sobre uma membrana de silício protegido por um gel de silicone.

Figura 1 – Configuração do sensor de pressão diferencial.



Este sensor usa uma fina membrana de silício e quatro piezoresistores difundidos com boro organizados numa estrutura de ponte de Wheatstone como ilustrado na Figura 2, o princípio de trabalho do sensor está baseado no efeito piezoresistivo que consiste em variações da resistência de saída do sensor devido à deformação da membrana de silício pela aplicação de uma pressão externa.

Figura 2 – Layout do sensor de pressão diferencial.

A medição de pressão diferencial é usada de forma indireta para medir outras variáveis físicas tais como nível em líquidos.

2.3 Condicionamento de Sinal

Condicionar um sinal é convertê-lo de forma adequada para interfacear com outros elementos. Quando a grandeza a ser medida não é elétrica, utiliza-se de transdutores que geram um sinal elétrico desta grandeza. Os sinais analógicos primeiramente serão condicionados a fim de estarem em condições adequadas de serem aquisitados.

O condicionamento de sinal passa por várias etapas: amplificar, filtrar e equalizar o sinal para que este ganhe níveis de tensão adequados, com boa relação sinal/ruído e distorção harmônica mínima. A aquisição do sinal analógico culmina na sua amostragem e posterior conversão analógica-digital (A/D). Entre as formas de condicionamento mais utilizadas se encontram as que usam técnicas puramente analógicas, baseadas principalmente no uso de redes resistivas, amplificadores operacionais e diodos (GOMES, 2009).

2.4 Amplificador de instrumentação

O CI Amplificador de instrumentação XTR106 (TEXAS INSTRUMENTS, 2003) é utilizado para excitação de ponte e linearização de sinal, podem ser transmissores de corrente, monolítico projetados para sensores de ponte completa com referência de 2,5 V ou 5 V, é um amplificador de instrumentação, utilizado para linearização de sensores e circuitos de saída de corrente.

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do circuito eletrônico de condicionamento de sinal, circuito que deve desempenhar a função de conversão de tensão-corrente e gerar o sinal de saída padronizado em (4 a 20 mA) a dois fios, foi necessário a utilização de um CI para linearização. Este CI deve atender aos requisitos de ser amplificador de instrumentação, linearização de sensor em ponte e circuitos de saída de corrente.

Para o desenvolvimento do invólucro da sonda de nível, foram feitas pesquisas sobre os materiais que melhor desempenham esta função, esta etapa é um ponto crítico do produto, tratando-se de que sondas de nível trabalham submersa em líquido. Para esta função foi necessário a utilização de produtos com grau de proteção IP68, que é um padrão internacional definido pela Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC) para classificar e avaliar o grau de proteção de produtos eletrônicos, são fornecidos contra a entrada de poeira e água, o grau de proteção IP 68 garante a proteção total contra poeira e proteção contra penetração de líquidos, atendendo à imersão por longo período e sob pressão.

Sendo o invólucro usinado em material plástico polipropileno (PP), em equipamentos apropriados, prevendo que o invólucro conta com rosca e flange de encaixe com alta precisão.

Foi necessário a utilização de um prensa-cabos que atenda o grau de proteção IP 68, e a utilização do cabo PUR, este além de alimentar a sonda de nível, transmitir o sinal de corrente e compensar a pressão atmosférica através de uma mangueira para passagem de ar, opera como suporte e fixação da sonda de nível, este cabo em PUR está de acordo com a Diretiva de Baixa Tensão 2014/35 UE, que atende o uso para cabo de controle, resistente a óleos minerais e a líquidos de arrefecimento para equipamentos.

4 MÉTODOS DE CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO DA SONDA DE NÍVEL

Visando o desenvolvimento de um protótipo para medição de nível, o presente projeto, foi pensado em fornecer ao mercado brasileiro uma sonda de nível hidrostática de qualidade que venha a concorrer com os equipamentos comercializados atualmente. Com este propósito chegou-se aos seguintes requisitos para o desenvolvimento:

- Definir o sensor de pressão piezoresistivo que irá se adaptar corretamente a sonda de nível, pois há uma grande gama de sensores que o mercado oferece.

- Desenvolvimento do circuito eletrônico para o condicionamento do sinal da sonda de nível, onde será projetado a fonte de corrente que alimenta o sensor, o conversor tensão-corrente que gera o sinal de saída 4 a 20 mA.
- Desenvolver o invólucro da sonda de nível com material que se adapte ao ambiente de trabalho submerso em líquidos.
- Aferir o funcionamento da sonda de nível conectada a um Controlador Lógico Programável (CLP), onde será possível visualizar o seu funcionamento e gerar informações referente ao seu desempenho.

4.1 Sensor de Pressão Piezoresistivo MPM281

Para o desenvolvimento do protótipo da sonda de nível foi utilizado o sensor de pressão piezoresistivo da marca Microsensor, na Figura 3, visualiza-se o modelo utilizado MPM281. Esta escolha se deu pelo motivo do sensor atender aos requisitos de custo e funcionalidade.

O sensor opera em pressão de linha de até 70 kPa, apresenta grande estabilidade e confiabilidade, diafragma isolante feito em aço inox, o que permite ao sensor trabalhar em ambientes agressivos. Internamente a pressão diferencial aplicada é transmitida a uma ponte de Wheatstone piezoresistiva por meio de um óleo de silicone (MICROSENSOR, 2011).

Figura 3 – Especificações de dados básicos do Sensor MPM281.



Na tabela 1 é especificada a faixa de pressão e a característica de exatidão do sensor de pressão. Estas características e custo acessível deste sensor foram os critérios da sua seleção para fabricação da sonda hidrostática.

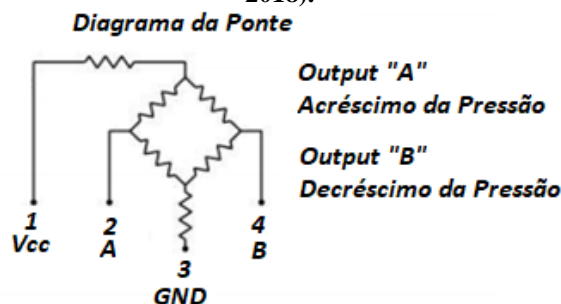
Tabela 1 - Especificações de dados básicos do Sensor MPM281.

Item	Valor	Unidade
Faixa de pressão	0 a 70	kPa
Impedância de entrada	2 a 6	kΩ
Impedância de saída	3,5 a 6	kΩ
Linearidade	0,15 a 0,20	%FS

4.2 Circuito de Condicionamento de Sinal

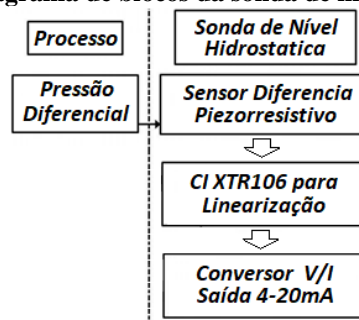
A sonda de nível é composta por um sensor de pressão piezoresistivo, que opera dentro de uma faixa de pressão de 0 a 70 kPa, o circuito eletrônico de condicionamento de sinais é responsável pela excitação da ponte de Wheatstone ou *Strain Gauge*, que apresenta uma resistência elétrica ao circuito eletrônico, esta resistência permite mudanças relativas de resistência que geralmente estão na ordem de 10^{-4} a 10^{-2} Ω/Ω, para que possam ser medidas com grande precisão. Para a determinação do valor absoluto de uma resistência por comparação com uma resistência conhecida ou para determinar as alterações relativas. Estes sensores em ponte podem ter sua representação elétrica visualizada na Figura 4.

Figura 4 – Representação elétrica do sensor de pressão em ponte. (MICROSENSOR, 2018).



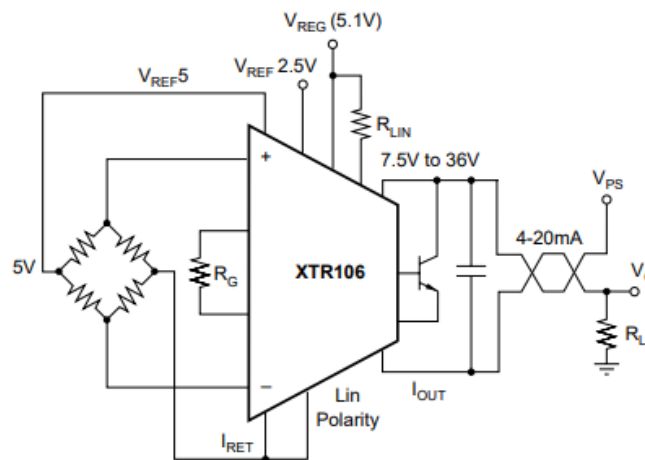
O sinal de saída de corrente de 4 a 20 mA é gerado por uma fonte de corrente controlada por tensão. O diagrama de blocos da sonda de nível é apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Diagrama de blocos da sonda de nível hidrostática.



A partir deste conceito foi aplicado o Circuito Integrado XTR106, apresentado na Figura 6; esta nota de aplicação demonstra o modelo para linearização.

Figura 6 – Nota de Aplicação (TEXAS INSTRUMENTS, 2003)



As variáveis de projeto eram a resistência do ganho R_G e a resistência de carga R_L . A primeira resistência está envolvida com o ganho do sensor, isto é, define a faixa de corrente da saída do sensor e está diretamente relacionada com a saturação do circuito. A Equação 2, que a define, é dada por

$$I_o = 4 + V_{in} \cdot (40/R_g) \quad (2)$$

Sendo:

- V_{in} a tensão diferencial de entrada, e;
- I_o a corrente de saída do circuito

Para se definir R_G , mediu-se a tensão V_{in} para a maior altura possível; o valor encontrado foi 9,1 mV. Após a substituição de valores, considerando I_o máxima de 20 mA, tem-se que $R_G = 22,75 \Omega$. Percebe-se que quanto menor R_G maior ganho. Pode-se traçar dois resultados em relação ao aumento de ganho. O primeiro é um desejável aumento na sensibilidade da medição de nível, ou seja, uma pequena variação de nível causa variação na corrente de saída do circuito.

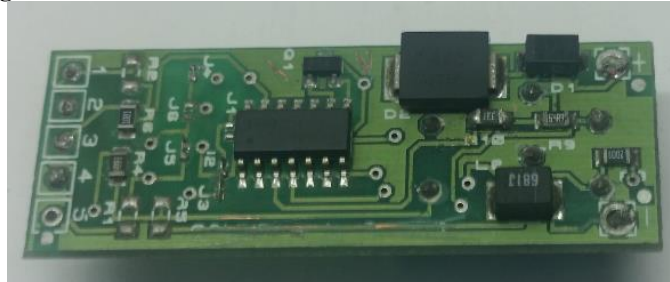
Por outro lado, amplificam-se também os ruídos na saída e pode-se saturá-la. Após a realização de alguns testes, constatou-se que com $R_G = 19,5 \Omega$ não se saturava o sistema. Definiu-se que a informação seria transmitida por um sinal de corrente e a leitura da mesma pelo CLP seria realizada sobre o resistor R_L . Logo, o projeto do R_L envolveu apenas a garantia de alimentação, de no mínimo 7,5 V, do CI. Similarmente ao R_G definido para o projeto, por disponibilidade, definiu-se $R_L = 270 \Omega$.

4.3 Hardware

O hardware do equipamento consiste no desenvolvimento do circuito esquemático e *layout* da PCI. Para tal, foi desenvolvida a fonte de corrente que alimenta o sensor. Para esta etapa, foi fundamental a utilização do software Altium Designer.

Com esta ferramenta, foi possível desenvolver os arquivos *gerber* para produção das primeiras PCIs, até chegar ao projeto final que pode ser visto na Figura 7.

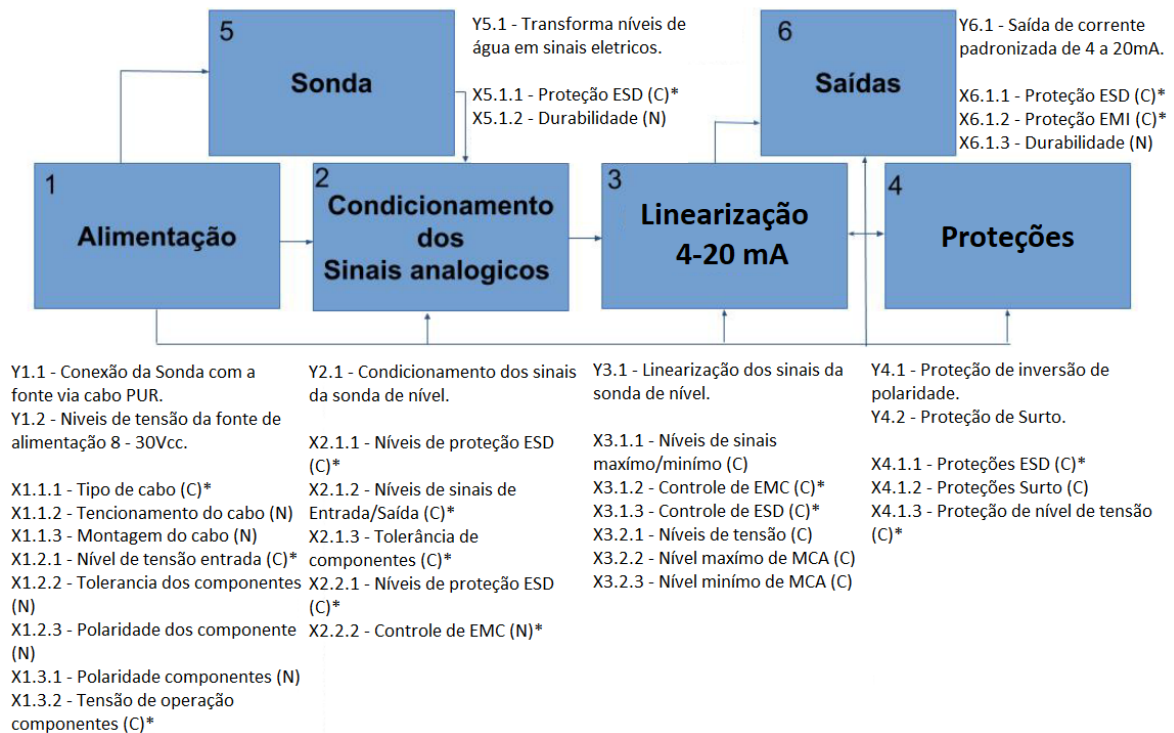
Figura 7 – PCI circuito eletrônico da sonda de nível hidrostático.



Os testes foram possíveis utilizando o XTR106P, o qual é PTH (*Pin Through Hole*); componentes que atravessam o furo da placa eletrônica e de fácil utilização em matriz de contatos para testes iniciais. Foram fabricadas dez (10) unidades da PCI para protótipo. Para a produção em maior escala, será necessário integrar a PCI a um painel, para produção em escala comercial e baixar o custo da PCI. Técnicas estudadas foram muito úteis para desenvolvimento da PCI. Pode-se citar a aplicação do Mapa do produto, apresentado na Figura 8, onde (X) significa entrada, (Y) saída, (C) controlado e (*) significa crítico.

Figura 8 – Mapa do Produto.

Y – Converte pressão da coluna de água em sinais elétricos para medir nível de líquidos



Na Tabela 2, é possível conferir algumas informações da PCI.

Tabela 2 - Especificações da PCI para sonda de nível hidrostática.

Item	Especificação
Tipo do laminado	Fibra de vidro
Espessura do laminado	1,6 mm
Número de faces	Dupla Face
Componentes	SMD e PTH
Acabamento	Hot Air
Cor	Verde e branco
Geração de fotolitos	Sim, primeiro lote

4.4 Calibração da Sonda

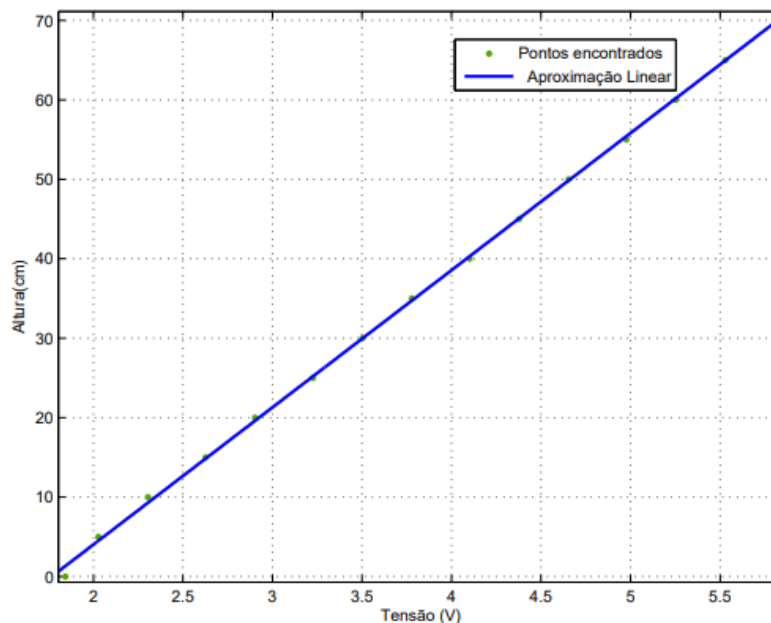
Como já visto anteriormente, a sonda de nível converte um sinal de pressão (diretamente proporcional ao nível) em um sinal elétrico de milivolts, que é convertido em um sinal de corrente. O CLP mede a tensão sobre o resistor R_L . Portanto, o objetivo na etapa de calibração é encontrar a relação entre a variável real, nível de água no reservatório, e a corrente medida pelo CLP. Além disso, é necessário realizar um estudo estatístico responsável por determinar a precisão da medição. Para isso, foi proposta a medição estática da saída do circuito, sinal de tensão, para alguns níveis de água. O resultado é mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores encontrados para calibração da sonda de nível.

Altura (cm)	Saída (V)
70	5,8060
65	5,5296
60	5,2531
55	4,9766
50	4,6540
45	4,3776
40	4,1011
35	3,7785
30	3,5020
25	3,2256
20	2,9030
15	2,6265
10	2,3040
5	2,0275
Min	1,8432

Para se encontrar a curva que melhor se ajusta ao conjunto de dados obtidos na calibração, utilizou-se o método dos mínimos quadrados. A função encontrada é mostrada na Figura 9.

Figura 9 – Dados de Altura e Tensão.



Na Equação 3, P_1 , que possui uma incerteza ΔP_1 de 0,225, é igual a 17,26 e P_2 , que possui uma incerteza ΔP_2 de 0,88, é igual a 30,5.

$$H(T) = P_1 \cdot T - P_2 \tag{3}$$

A partir de tais incertezas, é possível calcular a precisão do medidor de nível, utilizando a Equação 4.

$$\Delta h = \frac{\partial h}{\partial P_1} \Delta P_1 + \frac{\partial h}{\partial P_2} \Delta P_2 \quad (4)$$

Deste modo tem-se que:

$$\Delta h = T \cdot \Delta P_1 - \Delta P_2$$

$$\Delta h = T \cdot 0,225 - 0,88$$

$$\Delta h \cong 0,5$$

Portanto,

$$h(T) = 17,26 \cdot T - 30,5 \pm 0,5$$

4.5 Invólucro da Sonda de Nível

O projeto do invólucro da sonda de nível foi baseado em matérias específico descritos a seguir e dimensões apropriadas para os diferentes acessórios conectados ao invólucro, estes acessórios são:

- a) Sensor piezoresistivo;
- b) Prensa-cabos com rosca PG;
- c) Cabo PUR.

O invólucro deve encaixar-se com precisão ao sensor de pressão piezoresistivo através de uma conexão com Anéis de *O'ring* (Vitón). Na Figura 10, pode-se visualizar o Anel de *O'ring*.

Figura 10 – Anel de *O'ring* em material Vitón.



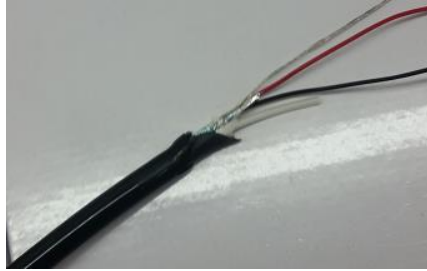
Também será necessário o encaixe com precisão ao prensa-cabos em Nylon e porca com arruela em borracha para vedação, devido a sua especificação ser IP68, que evita a entrada de água e umidade evitando danos ao circuito eletrônico. O prensa-cabos tem como finalidade a fixação e travamento do cabo elétrico ao invólucro da sonda de nível, tendo em vista que o cabo será o suporte da sonda de nível que estará submersa em líquido. O invólucro deve ser confeccionado com rosca na especificação do prensa-cabos, neste caso com rosca PG. Na Figura 11, pode-se visualizar o prensa-cabos que foi utilizado no projeto.

Figura 11 – Prensa cabo IP 68.



O cabo apropriado para o desenvolvimento, trata-se do cabo de controle, extremamente robusto, resistente a óleos minerais e a líquidos. Adequado para instalações de uso flexível e para tensões mecânicas médias, com movimento livre sem esforço de tração ou movimentos forçados. O produto está de acordo com a Diretiva de Baixa Tensão 2014/35 UE. Pode-se visualizar na Figura 12, o cabo especial de dupla camada (Interna PVC e Externa PUR) com as seguintes características, dois condutores 24 AWG, malha de aterramento, manta aluminizada, tubo de respiro (passagem de ar para igualar a pressão externa) e vias internas preenchidas com poliéster para resistência mecânica e sustentação da sonda de nível.

Figura 12 – Cabo PUR para controle e sustentação da sonda de nível.



Por fim, pode-se visualizar, na Figura 13, o invólucro que deve atender a todos os requisitos do produto, este foi usinado por empresa nacional permitindo um resultado mecânico de altíssima qualidade e baixo custo. Este invólucro feito em estrutura de polipropileno (PP) permite trabalhar submerso a líquidos e sua função é isolar o sensor dos ambientes agressivos.

Figura 13 – Invólucro da sonda de nível.



4.6 Testes

Os primeiros testes foram feitos juntamente com uma empresa que atua na área de saneamento e utilizam esta sonda de nível frequentemente, na Figura 14 pode-se visualizar o tanque de água fornecido para os testes, assim, sendo possível aferir os resultados.

Figura 14 – Tanque para aferir a sonda de nível.



Nos testes iniciais, foi conectada a sonda de nível a um Controlador Lógico Programável (CLP); este equipamento geralmente é utilizado em plantas industriais para controle e monitoramento de níveis, estanqueidade e vazão. Assim, foi possível linearizar a sonda de nível e conferir, através da comparação de corrente *versus* valor analógico-digital (A/D) da entrada de um CLP.

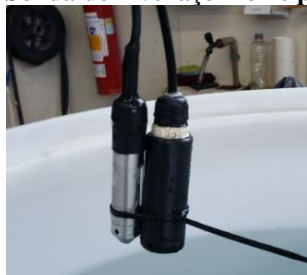
No mundo real, as grandezas físicas raramente são de natureza elétrica. O primeiro passo para trazer esse mundo para o controle processado é o de transformar essas grandezas em sinais elétricos. A sonda de nível é responsável por essa transformação e modificar-se uma grandeza física de pressão em sinais elétricos. No caso da sonda de nível o sinal elétrico a ser linearizado é proporcional à amplitude da grandeza medida. Sua natureza ainda é analógica e contínua no tempo. Para trazer essas grandezas para dentro do seu processador, será necessário realizar mais uma transformação do sinal analógico para digital, de forma que esse possa ser tratado e processado digitalmente. Essa transformação é realizada por um componente conhecido como conversor A/D que neste caso trata-se da entrada analógica do CLP. Um conversor A/D transforma um sinal analógico, contínuo no tempo, em um sinal amostrado, discreto no tempo, quantizado dentro de um

número finito de valores inteiros, determinado pela resolução característica do conversor de 10 bits que o CLP oferece. Neste caso, um conversor de 10 bits, o sinal de entrada é transformado em amostras com os valores entre 0 e 1023.

Com estes critérios estabelecidos para aferir o funcionamento da sonda de nível, foi utilizada em conjunto, uma sonda de nível fabricada por uma empresa de nome consolidado no mercado brasileiro.

Assim, os testes seguiram da seguinte maneira: através de um reservatório de água foi possível instalar as duas sondas em conjunto e aferir os resultados das mesmas, na Figura 15, pode-se visualizar as duas sondas utilizadas, sendo a de aço inox uma sonda já conhecida no mercado nacional e a em plástico polipropileno o protótipo em teste.

Figura 15 – Sonda de nível aço inox e protótipo PP.



Assim, em conjunto com o CLP e com um multímetro, foi possível prosseguir com os testes. Inicialmente foi calibrada a sonda de nível do protótipo ao ar livre, a qual deve medir 4 mA e, se tratando de um CLP de resolução de 10 bits, este deve apresentar 204 contagens de A/D. A sonda de mercado já comercializada deve apresentar os mesmos valores. Na Figura 16, pode-se visualizar a forma como os valores foram lidos.

Figura 16 – Valores lidos sonda de nível protótipo.



Na sequência, as duas sondas foram inseridas em conjunto no tanque, o qual deve apresentar valores relativamente iguais, pois trata-se de sondas da mesma faixa de medição, que é de 0 a 5 MCA e de sinais de corrente iguais 4 a 20 mA. Desta forma, para a profundidade máxima do tanque de 140 cm, deve-se obter os valores calculados e linearizados de 8,47 mA de corrente e após convertido pelo CLP, 433 contagens de A/D. Na Tabela 4, pode-se visualizar os resultados para as sondas submersas.

Tabela 4 - Valores encontrados para medições das sondas de nível.

Altura (cm)	Sonda Protótipo	Sonda Concorrente
140	8,50 mA – 434 A/D	8,49 mA – 434 A/D
130	8,16 mA – 417 A/D	8,15 mA – 416 A/D
120	7,82 mA – 400 A/D	7,79 mA – 398 A/D
110	7,51 mA – 383 A/D	7,48 mA – 382 AD
100	7,18 mA – 367 A/D	7,15 mA – 365 A/D
90	6,87 mA – 351 A/D	6,84 mA – 349 A/D
80	6,56 mA – 335 A/D	6,52 mA – 333 A/D
70	6,22 mA – 317 A/D	6,19 mA – 316 A/D
60	5,91 mA – 302 A/D	5,87 mA – 300 A/D
50	5,60 mA – 285 A/D	5,57 mA – 219 A/D
40	5,27 mA – 269 A/D	5,23 mA – 267 A/D
30	4,95 mA – 252 A/D	4,92 mA – 251 A/D
20	4,62 mA – 235 A/D	4,59 mA – 234 A/D
10	4,30 mA – 219 A/D	4,27 mA – 218 A/D
0	4,03 mA – 206 A/D	3,98 mA – 203 A/D

Após diversas leituras e aferições, os testes foram de grande importância para verificar se todas as funcionalidades do equipamento estavam laborando corretamente. Após referidos testes, foram corrigidos alguns ajustes no *Span* que é a diferença entre o valor máximo e mínimo da saída. Também foram feitas pequenas alterações no circuito de proteção, adicionando um supressor para prevenção de surtos, a fim de proporcionar o melhor desempenho do equipamento.

5 RESULTADOS E TRABALHOS FUTUROS

Com os primeiros testes realizados e corrigidos. O equipamento irá entrar em uma rotina de testes, para que possa realmente ser comercializado. Referida rotina irá envolver testes de confiabilidade dos resultados obtidos, robustez e durabilidade. Foi possível especificar e selecionar o sensor de pressão piezoresistivo que cumpriu com todas as características de exatidão solicitadas na fabricação da sonda de nível.

Foi construído um protótipo da sonda de nível que fornece um sinal de 4 a 20 mA, proporcional a 0 a 5 MCA e a dois fios, o qual foi proposto no início do trabalho.

Para os testes futuros serão produzidas novas sondas de nível, as quais serão expostas aos mesmos ambientes. Os equipamentos ficarão no setor de qualidade da empresa de saneamento que é parceira no desenvolvimento, sendo que, cada equipamento estará submerso em Estações Elevatórias (EE) desta empresa. Os equipamentos também irão enviar as informações obtidas para um Sistema Supervisório Scada (*Supervisory Control and Data Acquisition*), para aquisição de dados das sondas; com os resultados será possível confrontar estes dados com equipamentos comerciais com certificado de calibração.

Os testes irão durar cerca de 3 a 6 meses, e, após os resultados obtidos e corrigidos possíveis defeitos, serão feitos novamente os mesmos testes em ambiente real de operação do equipamento. Caso ainda persista algum defeito, ele será corrigido e reiniciado os testes, até que o equipamento esteja totalmente confiável. Durante referidos testes serão feitos novos estudos, a fim de adicionar melhorias ao produto.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou o estudo e o desenvolvimento de um produto para automatizar em grande parte o setor de saneamento, porém este produto também é muito utilizado em outros setores dos mais diversos segmentos. Porém, com estes dados é possível ter uma base de como um equipamento nestes termos terá utilidade para o desenvolvimento da atividade do saneamento com mais praticidade e baixo custo no Brasil.

REFERÊNCIAS

AGUIRRE, Luis Antônio. **Fundamentos de Instrumentação**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013. 235p.

GOMES, A. F. **Calibração e compensação de sensores de pressão piezoresistivos**. Departamento de Eng. de Sistemas Eletrônicos., São Paulo, (Dissertação de mestrado), 109p. 2009.

MICROSENSOR. **Folha de dados do componente MPM281**. Disponível em: <http://www.microsensorcorp.com/upload/article/190221/5_MPM281datasheet_282018_2e11_2e01_29_1550732894.pdf>. Acesso em: 7. mar. 2019.

TEXAS INSTRUMENTS. **Folha de dados do componente XTR106**. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/xtr106.pdf>>. Acesso em: 5. mar. 2019.

VELASCO, Clara. **Saneamento melhora, mas metade dos brasileiros segue sem esgoto no país**. 2017. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/saneamento-melhora-mas-metade-dos-brasileiros-segue-sem-egoto-no-pais.ghtml>>. Acesso em: 7. mar. 2019.