

Sensores de Nível

Neste capítulo vamos abordar um dispositivo muito comum em ambientes industriais, comerciais e rurais: o sensor de nível. Esse dispositivo é um dos elementos mais comuns encontrados em sistemas de controle elétricos, desde a simples aplicação de controle de uma motobomba em um poço doméstico até complexos sistemas de medição em silos, represas, grandes tanques, etc.

Existem vários dispositivos fabricados para monitoração e controle de nível, dentre esses dispositivos podemos destacar os instrumentos para controle de elementos líquidos, sólidos ou ambos. Muitos possuem o seu princípio de funcionamento bastante simples e com custo baixo, outros mais complexos com placas eletrônicas e circuitos aprimorados, estes com um custo mais elevado, porém vale lembrar que existe um dispositivo indicado e adequado para cada aplicação.

Os sensores de nível podem detectar a presença ou ausência de uma substância através de uma ação mecânica ou pela ação elétrica da substância sob o sensor, portanto é indispensável que o projetista conheça as características da substância a ser monitorada antes de dimensionar o instrumento adequado para cada aplicação.

12.1. Tipos de Sensores

Dentre os sensores que atuam através de uma ação mecânica podemos destacar os modelos mais comuns:

- Sensor de bóia magnética
- Sensor magnetorresistivo
- Sensor bóia lateral
- Sensor bóia tipo pêndulo
- Sensor hidrostático
- Sensor vibratório
- Sensor motorizado
- Sensor de diafragma

Esses dispositivos sofrem influências mecânicas da substância monitorada, ou seja, a substância exerce uma ação sob o sensor através de suas características físicas (peso, densidade, pressão, volume, etc.).

Já os sensores que atuam sob a ação elétrica da substância podem ser descritos como:

- Sensor de condutividade
- Sensor capacitivo
- Sensor ultra-sônico
- Sensor do tipo radar



Esses sensores detectam as características elétricas da substância, como condutividade, capacitância, capacidade de reflexão de ondas de som ou ondas eletromagnéticas.

12.1.1 Sensor de Bóia Magnética

As chaves de bóia magnética possuem um princípio de funcionamento extremamente simples, em geral possuem um baixo custo de aquisição aliado à facilidade de ajuste. Esse tipo de dispositivo é indicado somente para substâncias em estado líquido e com densidade similares à da água ($\rho = 1$) e baixas viscosidades, apresentam uma ótima imunidade a variações de temperatura do processo, pressões e alterações na composição da substância.

O princípio de funcionamento baseia-se em um tubo circular lacrado, que serve como guia por onde se movimenta uma bóia magnetizada. Sensores magnéticos do tipo “REED SWITCHES” são posicionados no interior do tubo-guia em alturas pré-determinadas pelo usuário, assim, quando a substância exercer contato sobre a bóia, esta tende a flutuar, como está pressa e montada junto ao tubo-guia, ela se movimenta para cima ou para baixo, dependendo do nível da substância. Nessa movimentação a ação de um ímã permanente instalado estrategicamente no interior da bóia aciona os sensores dentro do tubo-guia, fazendo assim a detecção do nível em intervalos pré-definidos pelo posicionamento dos sensores.

A alma desses sensores de nível são os dispositivos do tipo reed switches, que podem ser encontrados nas configurações SPST ou SPTD. Cada posição física desses dispositivos corresponde a um ponto de controle, quando o nível da substância monitorada força a bóia a se posicionar sobre o sensor, o contato é aberto ou fechado, dependendo da lógica utilizada, e permanece acionado enquanto a bóia estiver posicionada sobre o ponto.

Um detalhe importante a respeito da instalação desse tipo de sensor está relacionado à sua posição de montagem: o fato de a bóia magnética deslizar em torno de um tubo-guia limita a instalação desse dispositivo somente na posição vertical, ou seja, o sensor deve ser montado no topo do tanque com sua haste inserida verticalmente ou de forma perpendicular ao movimento da substância monitorada. Outro fator importante é a não-indicação para operação em substâncias com alta viscosidade ou em líquidos com partículas em suspensão que possam causar incrustação no tubo-guia, esses detalhes garantem a livre movimentação da bóia com um mínimo de esforço possível, evitando travamento e, conseqüentemente falha em seu funcionamento,

Abaixo na figura 12.1 podemos identificar as configurações básicas desse tipo de sensor, bem como sua instalação típica em tanques de armazenamento, acompanhe.



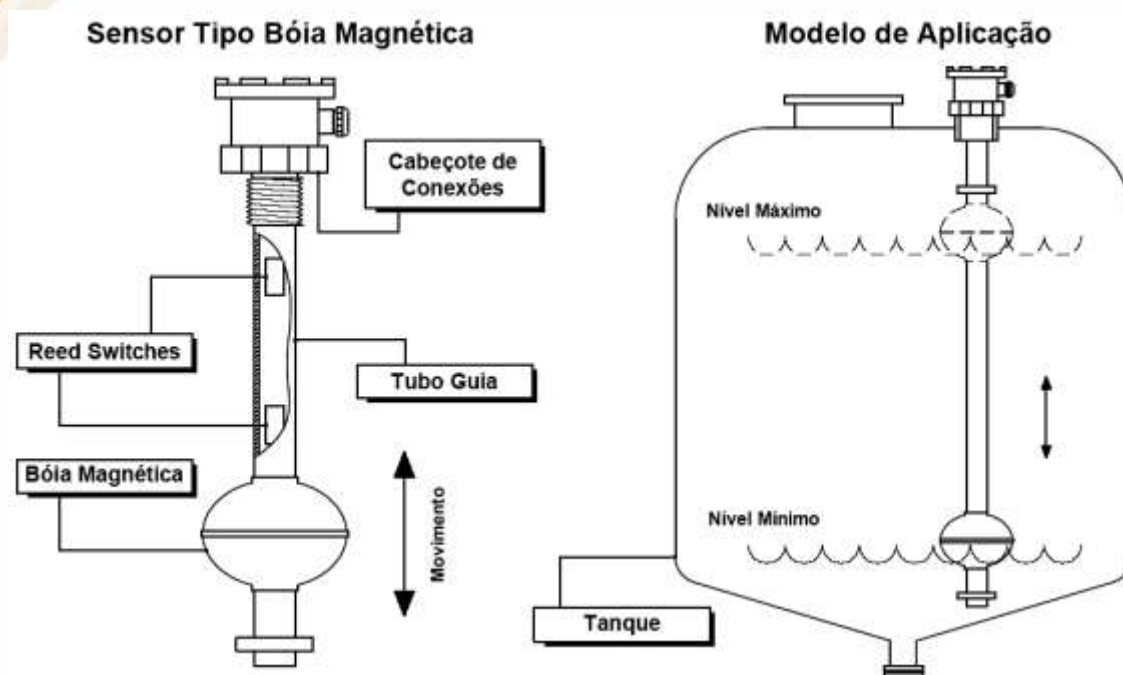


Figura 12.1

O sensor de nível do tipo bóia magnética, através de sua lógica de contatos pode ser conectado a qualquer instrumento que possua uma entrada digital, ou seja, CLPs, Controladores, dispositivos eletrônicos ou ainda de forma indireta na operação de alarmes, bombas ou válvulas de controle, porém, neste caso, é indispensável a utilização de uma relé auxiliar para interface, pois os sensores montados no corpo do dispositivo são projetados para chaveamento de um baixo nível de corrente elétrica, geralmente na ordem dos miliamperes.

Uma característica de utilização desse tipo de sensor é a aplicação em ambientes agressivos ou em instalações que requerem instrumentos à prova de explosão. O fato de possuírem um acoplamento magnético e os elementos de contato estarem lacrados dentro de um tubo metálico torna o dispositivo altamente seguro.

12.1.2. Sensor Magnetorresistivo

Os sensores de nível do tipo magnetorresistivo se assemelham muito ao sensor do tipo bóia magnética, sua forma construtiva é praticamente idêntica, as diferenças estão relacionadas ao sinal de saída, que nesse caso, não são fornecidos através dos sensores do tipo "Reed Switches" (sinais on-off), mas sim de um circuito eletrônico que provê um sinal analógico padrão de corrente ou tensão proporcional ao curso da bóia no tanque.

Por possuírem um circuito eletrônico mais elaborado e complexo, estes sensores costumam apresentar um custo mais alto quando comparado ao sensor do tipo bóia magnética, porém, em algumas aplicações, o custo do equipamento se justifica devido à alta precisão de leitura aliada à robustez do equipamento. Os sensores magnetorresistivos apresentam resoluções que



podem variar de 1 mm a 5 mm (curso de movimento da bóia), quando ligado a um CLP, por exemplo, é possível calcular com precisão o volume real da substância monitorada, bem como a taxa de vazão de saída ou alimentação da substância no recipiente de armazenamento.

Dentre as principais aplicações para esses sensores, podemos destacar as indústrias petrolíferas, como refinarias de combustível e produtos químicos e corrosivos, além de apresentarem um ótimo funcionamento para substâncias como álcool, solventes, entre outros.

Sua interface elétrica é similar aos sensores analógicos (transdutor de pressão, temperatura, transdutores de sinais) vistos nos capítulos anteriores. O sinal analógico padrão típico é de 4 a 20 ma, ligação a dois fios em loop de corrente, porém também podem ser encontrados com sinais padrões de 0 a 20 ma e 0 a 10 Vcc, e interfaces seriais com protocolos como Device Net, Profibus, ModBus etc. Todas essas interfaces podem ser conectadas sem maiores problemas na maioria dos CLPs disponíveis atualmente.

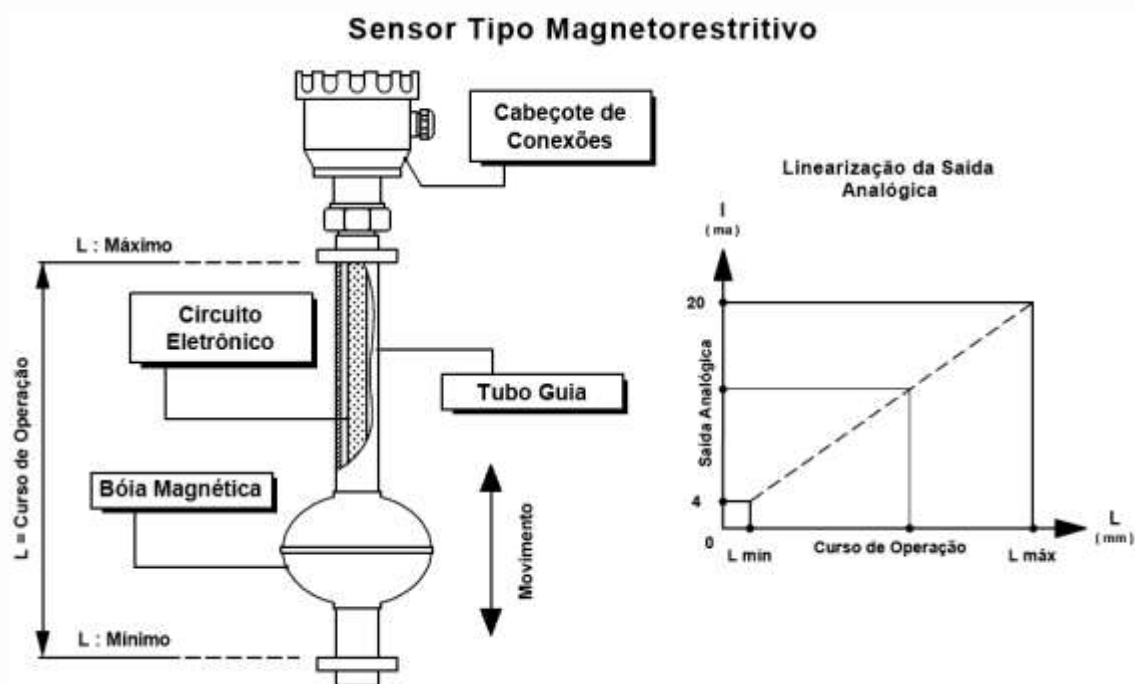


Figura 12.2

Na figura 12.2, podemos identificar a configuração típica desse sensor, bem como o gráfico referente ao sinal analógico de saída proporcional ao curso mecânico da bóia.

As considerações de instalação dos sensores de nível do tipo magnetorresistivo são semelhantes às notações de instalação dos sensores do tipo bóia magnética. Devem ser instalados obrigatoriamente na vertical e submetidos a substâncias líquidas com baixa viscosidade e livre de partículas incrustantes que venham prejudicar a movimentação da bóia magnética sobre o tubo-guia.



12.1.3. Sensor de Bóia Lateral

Os sensores de nível do tipo bóia lateral são desenvolvidos para instalação em tanques de armazenamento de líquidos variados. O acionamento dos contatos é garantido com a flutuação da bóia sobre o fluido monitorado. Analogamente, é muito similar aos sensores do tipo bóia magnética, porém devido à sua forma construtiva, deve ser instalado lateralmente nos tanques de armazenamento, ou seja, é indicado para aplicações em que o sensor de bóia magnética não pode ser aplicado.

Sua interface elétrica é muito simples, possui uma microchave de contatos SPTD que, quando acionado, estabelece a condutividade elétrica para o circuito, assim pode ser considerado um elemento que fornece ao circuito de controle um sinal digital, portanto pode ser interligado em controladores ou CLPs sem maiores problemas. Os contatos do sensor também podem ser utilizados para acionamento de motobombas, alarmes ou válvulas de controle, porém essa ação deve ser realizada de forma indireta, ou seja, o usuário deve adicionar ao circuito relés auxiliares para acionamento de cargas maiores, pois a corrente elétrica suportada pelos sensores é demasiadamente baixa.

Devido a sua forma construtiva ser simples e robusta, são ideais para aplicações em ambientes agressivos, com altas temperaturas ou pressões, também podem ser classificados para aplicações que necessitem de instrumentos à prova de explosão. Na figura 12.3 podemos identificar a forma construtiva desse dispositivo, bem como um exemplo de integração ao processo, acompanhe:

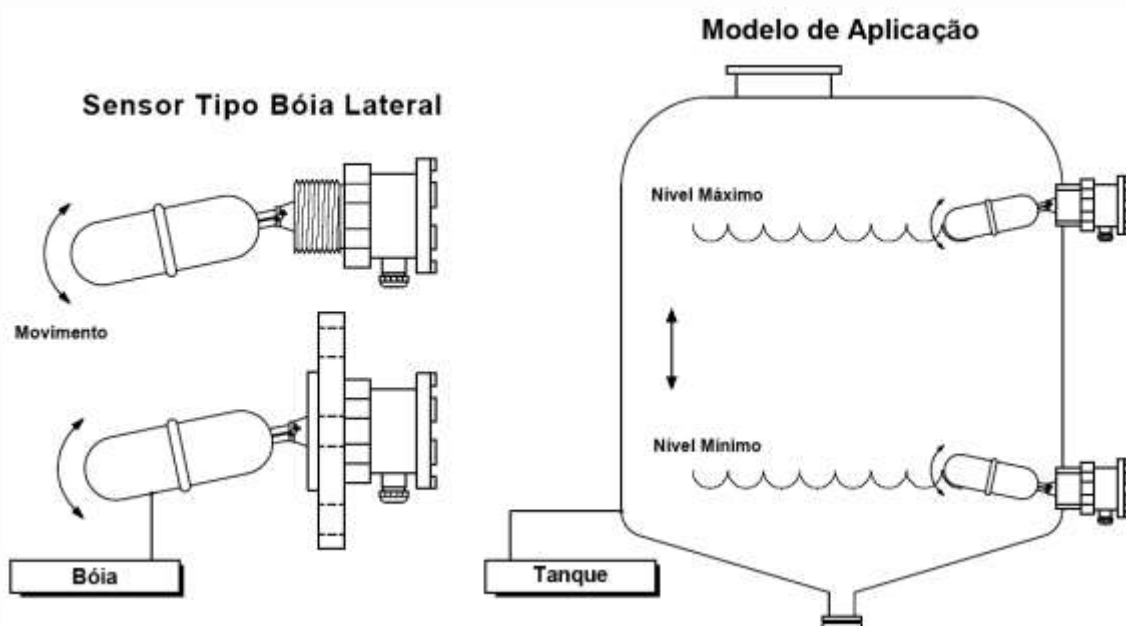


Figura 12.3

Os sensores de nível do tipo bóia lateral não têm seu funcionamento alterado quando submetidos a ambientes com presença de fumaça, vapor, ou partículas em suspensão dentro do tanque, isso define ao dispositivo uma característica de confiabilidade e garantia de operação por milhares de ciclos consecutivos.

A transmissão de movimento mecânico para o elemento de contato elétrico se dá por meio de um acoplamento magnético entre dois ímãs permanentes, ou seja, o dispositivo elétrico está alojado externamente na caixa de conexão, enquanto o braço de alavanca se movimenta dentro do tanque de forma livre. Um ímã instalado estrategicamente na extremidade do braço de alavanca gera um campo magnético que quando movimentado na região do dispositivo de contato, acopla-se magneticamente com outro ímã permanente instalado no invólucro externo, esse segundo ímã permanente está acoplado ao dispositivo de contato, dessa forma o movimento interno é transmitido ao mecanismo externo. Esse procedimento garante um perfeito isolamento elétrico e um acoplamento mecânico entre os dispositivos livres de desgastes.

12.1.4. Sensor de Bóia Tipo Pêndulo

Os sensores de nível do tipo pêndulo ou (também como são chamados) sensores do tipo pêra representam o que existe de mais comum em medição de nível de líquidos, seu design simples e robusto, aliado ao baixo custo, faz desse dispositivo um dos mais procurados e utilizados para aplicações de controle de nível em poços, tanques, reservatórios etc. Seu princípio construtivo simples garante um funcionamento contínuo livre de manutenções, são constituídos por uma bóia de material plástico ou borracha montada na extremidade de um cabo elétrico que é utilizado para condução dos sinais elétricos de acionamento. O ajuste do ponto de acionamento é definido através de um contrapeso posicionado ao longo do comprimento do cabo.

Existem dois tipos de mecanismos para o chaveamento elétrico dos sensores do tipo pêndulo. Um utiliza o mercúrio como agente de contato e o outro utiliza microchaves, ambos instalados e lacrados no interior da bóia, livre de contaminações pela substância monitorada. A tendência atual dos fabricantes é a descontinuidade de fabricação de sensores à base de mercúrio, devido às consequências ao meio ambiente, e com isso os fabricantes estão adequando seus produtos para utilização de microchaves ou mecanismos isentos dessa substância, que são mais seguras e proporcionam a mesma funcionalidade, porém ainda podemos encontrar sensores do tipo pêndulo com esses dois métodos de funcionamento.

- **Sensor com Acionamento de Mercúrio**



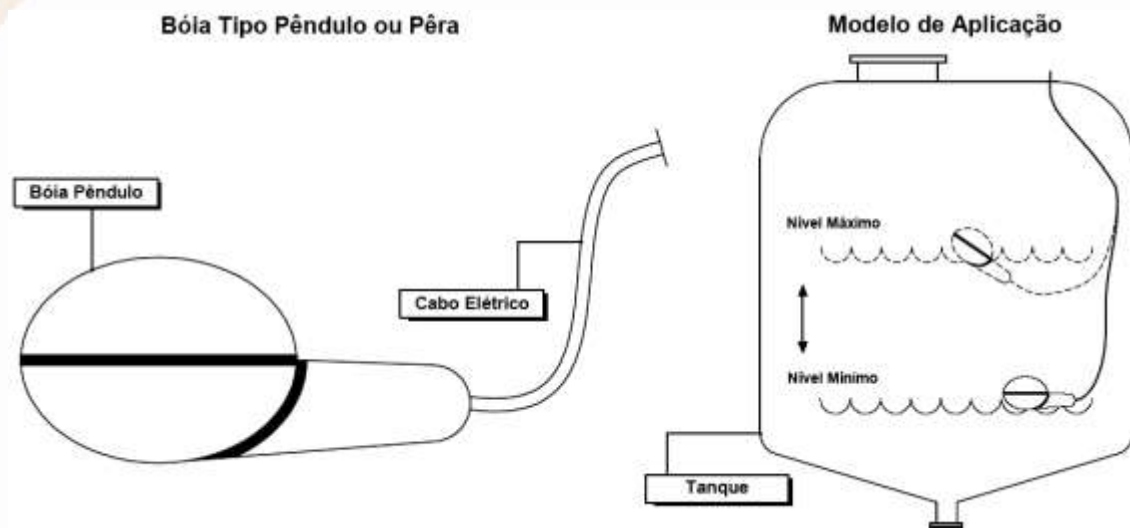


Figura 12.4

O mecanismo que utiliza o mercúrio como agente de contato elétrico é bastante simples de compreender. O método utiliza uma ampola de vidro com dois eletrodos posicionados nas extremidades, dentro da ampola hermeticamente fechada é adicionado o mercúrio. Assim quando a ampola é inclinada a uma certa posição, o mercúrio flui para os eletrodos inundando-os, estabelecendo o contato elétrico entre os terminais. Na figura 12.4 podemos visualizar essa configuração.

Ainda na figura 12.4, podemos identificar o princípio básico de funcionamento desse tipo de sensor. A bóia simplesmente flutua sob o fluido a ser monitorado e, quando se inclina, o mercúrio flui dentro de uma ampola de vidro posicionada estrategicamente dentro da bóia, proporcionando o contato elétrico entre os eletrodos e conseqüentemente permitindo a condutividade elétrica do circuito, note que o próprio cabo de conexão elétrica é responsável pelo travamento mecânico do instrumento dentro do tanque, abaixo é demonstrada internamente como o mercúrio flui pela ampola de vidro e estabelece o contato elétrico nos eletrodos de acordo com sua inclinação, acompanhe:

Princípio de Funcionamento Sensor de Nível com Ampola de Mercúrio

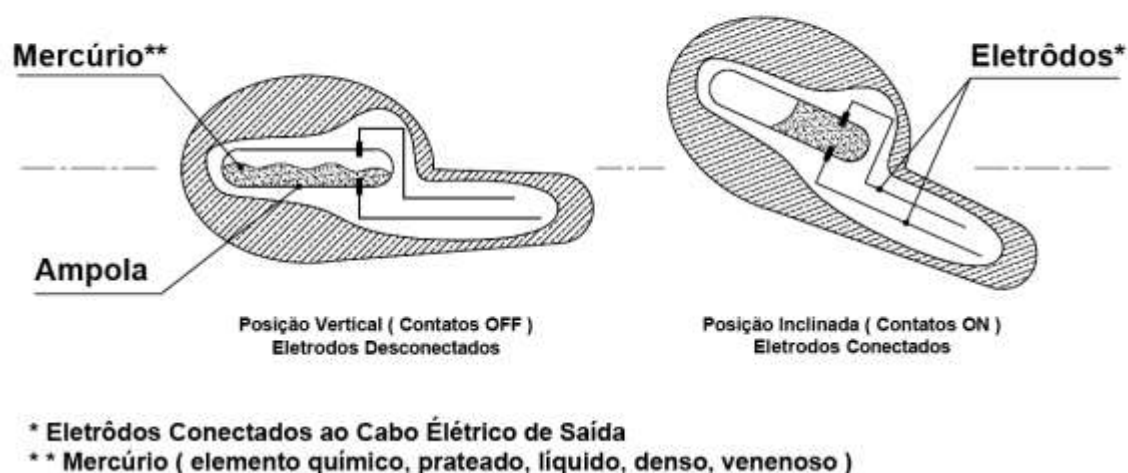


Figura 12.5

- **Sensor com Acionamento por Microchaves**

Os sensores com princípio de acionamento através de microchaves não se diferenciam muito dos princípios construtivos vistos anteriormente na figura 12.4. A diferença é vista na ausência da ampola com mercúrio, no local existe uma canaleta moldada dentro da bóia por onde se movimenta uma esfera de metal. A bóia quando inclinada, desloca a esfera na direção do mecanismo de acionamento da microchave, ao contato físico a conexão é estabelecida, permitindo assim a condutividade elétrica do circuito, portanto não existe diferença na funcionalidade. O principal benefício é a ausência do mercúrio, que pode ser tóxico, ou prejudicar o meio ambiente caso a bóia seja descartada indiscriminadamente sem controle. Na figura 12.6 podemos visualizar esse mecanismo:

Princípio de Funcionamento Sensor de Nível com Microchaves

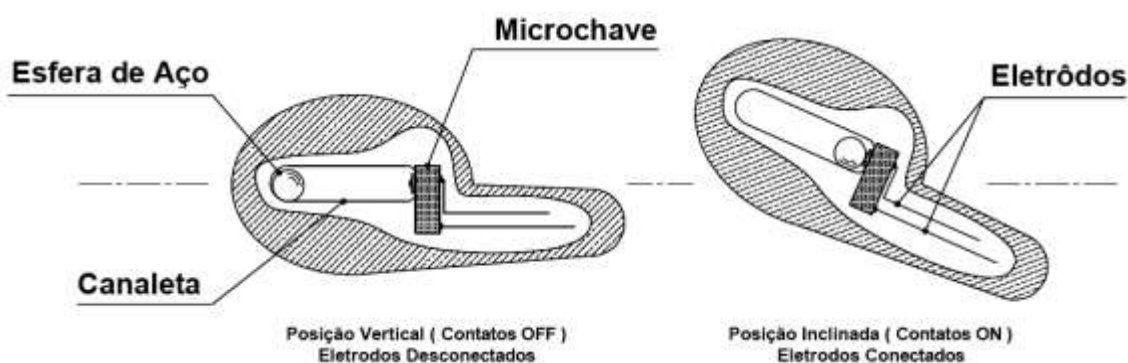


Figura 12.6

Esses sensores são utilizados na maioria dos líquidos industriais, que podem variar de aplicações em água potável até tratamentos de esgoto sanitário e efluentes industriais. Como o princípio de funcionamento é bastante simples, esses sensores podem ser utilizados em líquidos que contenham partículas em suspensão ou incrustantes como óleos combustíveis ou substâncias de médias densidades.

Atenção: esses sensores não são indicados para substâncias com características inflamáveis ou em ambientes que requerem dispositivos à prova de explosão. O fato de o cabo elétrico de conexão do circuito de controle ser utilizado para dar sustentação física ao dispositivo e manter contato direto com a substância monitorada não garante a integridade e segurança da instalação.

12.1.5. Sensor Hidrostático

Os sensores de nível do tipo hidrostático são muito semelhantes aos transdutores e transmissores de pressão vistos anteriormente no capítulo 9.2. As particularidades estão relacionadas à sua forma construtiva, o instrumento é projetado para utilização em poços ou tanques profundos, possui uma ótima precisão, aliada ao baixo custo de instalação. Seu projeto permite a instalação em aplicações como poços artesianos profundos ou em tanques com alturas elevadas, e são exclusivos para medição de substâncias líquidas.

Seu princípio de funcionamento é idêntico a um manômetro eletrônico, ou seja, o sensor tem a capacidade de realizar medidas da pressão diferencial entre sua face sensora e a atmosfera local. Desse modo o instrumento transmite um valor analógico padrão típico de 4 a 20 ma, referente à pressão absoluta do local da instalação. Em outras palavras, o sensor mede a coluna de líquido (pressão hidrostática) sobre a membrana sensora submersa no reservatório.

Para que se possa determinar a altura real do líquido sobre o sensor, a escala utilizada para representação da pressão é o m.c.a (metros de coluna de água). Dessa forma o usuário pode linearizar os valores analógicos diretamente em metros e com isso identificar com precisão a altura real da coluna de líquido sobre o sensor. Vale lembrar que m.c.a é uma unidade de pressão e, portanto, pode ser convertida para qualquer outra escala de referência de pressão, por exemplo, 10 m.c.a equivalem à pressão de 0,981 Bar, ou 14.22 PSI, portanto o dispositivo em sua essência pode ser considerado um manômetro eletrônico (transmissor de pressão) já que ele simplesmente realiza medições de pressões no ponto de instalação.

O princípio construtivo do sensor é bastante simples: uma caixa metálica de forma circular construída em aço inox é conectada na extremidade de um cabo multivias, por onde passarão os condutores elétricos para o sinal analógico e um tubo plástico oco. Esse tubo é responsável pela compensação da pressão atmosférica local e define a característica do sensor de realizar medições de pressão absoluta. O circuito eletrônico de medição é montado no interior da caixa metálica e é submerso na substância líquida a ser monitorado, um detalhe importante, na construção da caixa metálica, é a presença de uma



região sensível onde é instalada uma membrana piezo-resistivo, que sofrerá a ação da pressão do líquido e converterá os valores de pressão em sinal elétrico padrão. A figura abaixo ilustra este dispositivo:

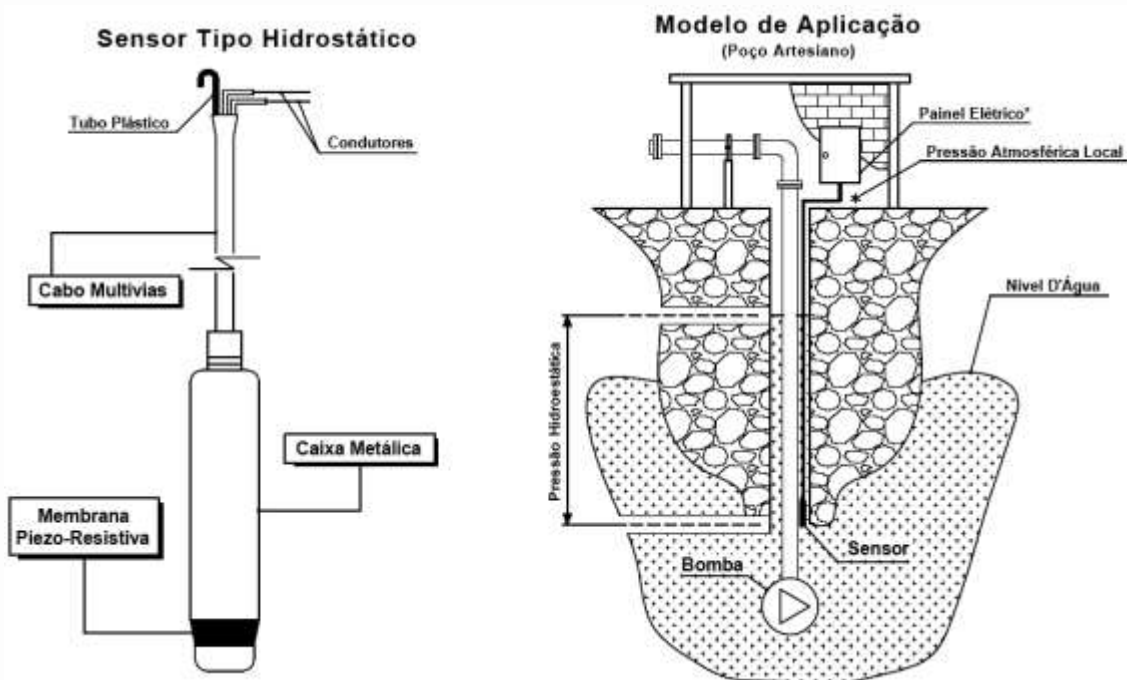


Figura 12.7

Na figura 12.7 podemos identificar uma instalação típica para esse tipo de sensor, a medição de nível em um poço artesiano, na ilustração podemos identificar que o sensor é inserido dentro do poço até sua profundidade máxima, sustentado pelo cabo multivias, que deverá possuir comprimento igual ou maior do que a profundidade do poço. É comum encontrarmos sensores de nível hidrostático conectados a cabos com algumas dezenas de metros. Em razão disso é necessária a informação da profundidade de instalação na ocasião de aquisição do sensor.

Existem algumas particularidades quando tratamos os sinais analógicos de saída desse sensor e os convertemos em unidades usuais em campo, a escala calibrada para o sensor é definida em m.c.a (metros de coluna de água), então, se dimensionamos, por exemplo, um sensor com escala de 10 m.c.a, equivale a dizer que esse sensor poderá medir um limite máximo de 10 metros de coluna de água acima do elemento sensor submerso no reservatório. Seguindo a linearização quando o nível da coluna de água estiver sob o elemento sensor, teremos na saída um sinal equivalente a 4 ma. De forma análoga, quando a água estiver a uma altura de 10 metros acima do elemento sensor, teremos na saída um sinal equivalente a 20 ma.

Por meio da unidade m.c.a é referida a força que uma determinada substância exerce em uma unidade de área (pressão), como vimos anteriormente no capítulo 9, a unidade adotada internacionalmente para definir o termo pressão é o newton/metro² que é expresso pela sigla Pa (Pascal), porém o termo Pascal não é muito comum em ambientes industriais, sendo mais usual a utilização da unidade "atm" (atmosfera), que nada mais é do que a



pressão de referência ao nível do mar . Uma unidade de “atm” corresponde à força exercida por uma coluna de 760 mm de mercúrio a uma temperatura de 0°C em uma unidade de área. Como estamos nos referindo a unidades de pressão, podemos estabelecer uma correlação entre a unidade “Pa” e “atm” sem maiores problemas. Para estabelecer essa relação, é necessário conhecermos a relação entre as variáveis envolvidas, pressão, altura e a substância que exercerá a pressão em um determinado ponto. A expressão matemática que correlaciona todas essas variáveis pode ser descrita como:

$$P = h \times \rho \times g$$

De maneira que: P = pressão exercida pela coluna da substância [N/m²]

h = Altura da coluna da substância [m]

ρ = Densidade da Substância [kg/m³]

g = aceleração da gravidade [9,80665 m/s²]

Aplicando essa relação ao mercúrio (densidade de 13595,1 kg/m³) a uma coluna de 760 mm, podemos definir que:

$$P = h \times \rho \times g$$

$$P = 0,760 [m] \times 13595,1 [kg / m^3] \times 9,80665 [m / s^2]$$

$$P = 101325 \text{ N/m}^2 \text{ ou } 101325 \text{ Pa}$$

Dessa forma 1 atm equivale a 101325 Pa, no sistema internacional de medidas. Com essa relação podemos identificar com facilidade a altura necessária para a água (1000 kg/m³) exercer a pressão de 1 atm, acompanhe:

$$P = h \times \rho \times g \quad . . . \quad h = \frac{P}{\rho \times g}$$

$$h = \frac{P}{\rho \times g}$$

$$h = \frac{101325 [N / m^2]}{1000 [Kg / m^3] \times 9,80665 [m / s^2]}$$

$$h = 10,33 \text{ m} \quad \text{ou} \quad 10,33 \text{ m.c.a}$$

Desse modo podemos extrair a relação por meio de uma regra de três simples:

$$\frac{10,33 \text{ m.c.a}}{1 \text{ m.c.a}} = \frac{101325 \text{ N} / \text{m}^2}{X \text{ N} / \text{m}^2}$$

$$101325 \text{ N} / \text{m}^2 = 10,33 \text{ mca} . X \text{ N} / \text{m}^2$$



$$X = \frac{101325 \text{ N/m}^2}{10,33 \text{ mca}} \therefore X = 9808 \text{ N/m}^2$$

Portanto, 1 m.c.a é igual a 9808 Pa

. . .

Porém essa análise somente estará correta se estivermos realizando medições em substâncias com densidade igual ou muito próximas à densidade da água ($\approx 1000 \text{ Kg/cm}^3$). Se a medição for realizada em substâncias com densidades diferentes, os valores deverão ser corrigidos, pois a pressão exercida sobre o sensor será diferente para substâncias diferentes em alturas iguais. Nesse caso o usuário deverá corrigir o valor medido utilizando uma fórmula matemática simples, acompanhe:

$$h = \frac{P [\text{m.c.a}] \times 9808}{\rho [\text{Kg/m}^3] \times 9,80665}$$

Sendo: P = Pressão em m.c.a

9808 = Constante de conversão da unidade “Pa” para unidade “m.c.a”

ρ = Densidade da substância monitorada Kg/m^3

9,800665 = Constante, aceleração da gravidade m/s^2

h = Altura da coluna de líquido em metros

Exemplo: um sensor hidrostático, calibrado para utilização em uma faixa de 10 m.c.a com saída linearizada padrão de 4 a 20 ma, está instalado em um reservatório subterrâneo e envia ao controlador um sinal equivalente a uma pressão de 8 m.c.a (16,8 ma), qual a altura real da coluna (substância) apresentada acima do sensor;.

- Se :
- a) O líquido monitorado for água $\rho = 1000 [\text{Kg/m}^3]$
 - b) O líquido monitorado for álcool etílico $\rho = 789 [\text{Kg/m}^3]$
 - c) O líquido monitorado for glicerina $\rho = 1260 [\text{Kg/m}^3]$

a) Se o líquido monitorado for água, a altura será dada diretamente pela saída do sensor, ou seja, 8 m.c.a é equivalente a 8 metros, a densidade da água para fins de cálculo pode ser considerada aproximadamente igual a 1000 Kg/m^3 ,

$$h = \frac{P [\text{m.c.a}] \times 9808}{\rho [\text{Kg/m}^3] \times 9,80665} \quad h = \frac{8 \times 9808}{1000 \times 9,80665}$$

Altura da Coluna = 8 m

b) Se o líquido monitorado for álcool etílico, a altura deverá ser corrigida, pois a densidade da substância é menor do que a densidade da água, a densidade do álcool etílico é de aproximadamente 789 Kg/m^3 portanto a coluna será maior, pois a substância exercerá menor pressão por unidade de área.



$$h = \frac{P [m.c.a] \times 9808}{\rho [Kg / m^3] \times 9,80665} \quad h = \frac{8 \times 9808}{789 \times 9,80665}$$

Altura da Coluna = 10.14 m

c) Se o líquido monitorado for glicerina, a altura deverá ser corrigida , pois a densidade da substância é maior do que a densidade da água, a densidade da glicerina é de aproximadamente 1260 Kg/m³, Portanto a coluna será menor, pois a substância exercerá maior pressão por unidade de área.

$$h = \frac{P [m.c.a] \times 9808}{\rho [Kg / m^3] \times 9,80665} \quad h = \frac{8 \times 9808}{1260 \times 9,80665}$$

Altura da Coluna = 6.35 m

Existem alguns cuidados que o usuário deverá tomar antes de manusear esses dispositivos. O primeiro está relacionado ao contato físico sobre a membrana piezo-resistiva, por ser um elemento sensível, a pressão pode ser danificada se o dispositivo sofrer impactos diretos ou esforços além de sua especificação, o segundo fator mas não menos importante, se refere ao manuseio do cabo multivias de conexão. Por esse cabo é inserido um tubo plástico oco, que é responsável pela compensação da pressão atmosférica do local, portanto não deve ser obstruído de forma alguma ou ser danificado ao logo do cabo, pois a pressão atmosférica é conduzida através desse tubo por toda sua extensão até o circuito eletrônico submerso no interior do reservatório. O sensor deve obrigatoriamente ser instalado na posição vertical, ou perpendicular ao nível da substância.

Ligação Típica / Sensor Hidrostático

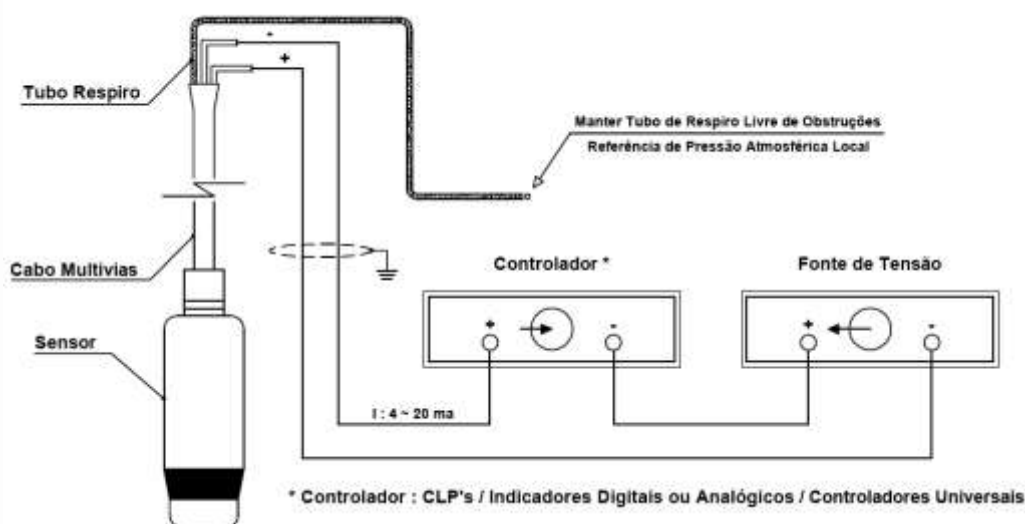


Figura 12.8

Sua interface elétrica segue os padrões vistos anteriormente para sinais analógicos, ligação a dois fios em loop de corrente, e pode ser conectado a qualquer instrumento que possua interface de entrada analógica de corrente



(CLPs, Controladores Universais etc.). A ilustração 12.8 demonstra o diagrama típico dessa conexão.

Assim, com a utilização desse tipo de sensor, o usuário pode calcular com precisão a altura real da coluna de líquido presente no sistema. Se o sensor estiver instalado em um tanque com dimensões e geometrias conhecidas, o usuário pode facilmente expressar a quantidade de substância armazenada diretamente na unidade “L” (litros) com extrema precisão, bastando, para isso, identificar a constante de área do reservatório (m^2), multiplicado pela altura em metros da coluna da substância monitorada. Desse modo o resultado será exatamente o Volume (m^3), esta ação pode ser facilmente implementada em qualquer CLP comercial.

12.1.6. Sensor Vibratório

Os sensores de Nível do tipo vibratório são indicados para aplicações em substâncias líquidas, com baixa ou média viscosidade (como óleos alimentícios, óleos lubrificantes, xaropes, líquidos com presença de espuma, gases, etc), ou sólidas de baixa granulação (como açúcar, amido, café, farinhas, etc.). São extremamente simples de se instalar e possuem interface digital, ou seja, a saída para o controle pode ser do tipo contato sólido PNP ou NPN, transistorizado ou ainda através de relés com contatos NA ou NF, e podem ser instalados em qualquer posição no processo, verticais, horizontais ou inclinados.

O princípio de funcionamento se baseia na ressonância vibratória de duas hastes mecânicas, que vibram com frequências e amplitudes prefixadas. O produto, ao entrar em contato com as hastes vibratórias, tende a diminuir a frequência e a amplitude de vibração. Nessa situação o circuito eletrônico detecta a mudança e com isso identifica a presença ou ausência de produto na região do sensor.

A vibração das hastes é obtida através da oscilação de um cristal piezoelétrico e transferida para o sistema mecânico por meio de contato físico. Os elementos piezoelétricos possuem características bastante interessantes, eles têm a propriedade de alterar sua dimensão quando excitados com uma tensão elétrica, desse modo, todas as vezes que excitamos o elemento piezoelétrico, ocorre uma variação em sua dimensão, um exemplo simples de aplicação desses elementos são as ondas sonoras emitidas por relógios de pulso ou brinquedos infantis. O som agudo e cadenciado é produzido em função da vibração de um elemento piezoelétrico montado no interior do relógio ou brinquedo. Assim, quando o circuito eletrônico excita o cristal com um sinal elétrico padrão, o elemento sofre deformação em sua dimensão de forma idêntica ao sinal elétrico de excitação, portanto transformamos o elemento piezoelétrico em um pequeno alto-falante, capaz de propagar ondas sonoras proporcionais ao sinal elétrico de excitação.



Cristal Piezoelétrico

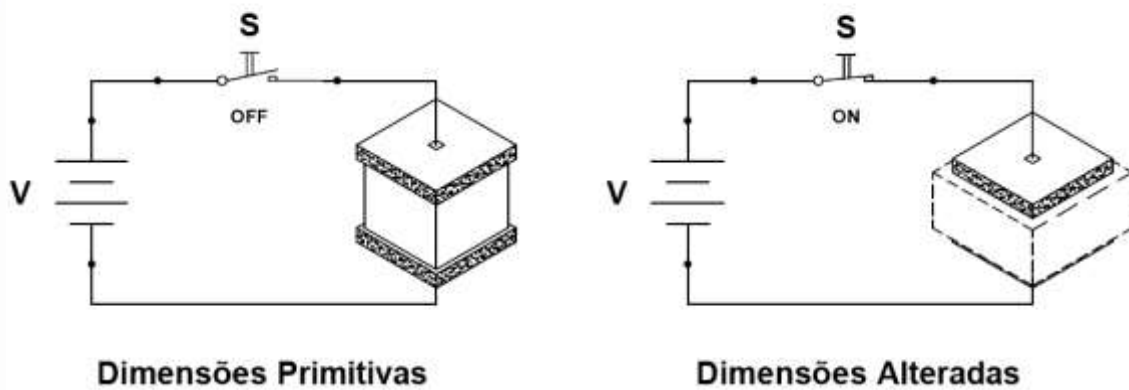


Figura 12.9

Um detalhe interessante sobre esses materiais é que sua propriedade de se deformar sob a ação de um sinal elétrico é também observada quando aplicamos uma força deformante na estrutura do cristal, ou seja, se, por um lado, ao excitarmos o cristal com um sinal elétrico, ele produzirá uma deformação física, por outro lado, se provocarmos uma deformação física no cristal, ele produzirá um sinal elétrico com as mesmas proporções da força deformante.

Utilizando essas propriedades, é possível construir um elemento mecânico, rígido e robusto, capaz de gerar ondas mecânicas idênticas a de um diapasão, e, com a análise eletrônica do comportamento dos sinais elétricos gerados e absorvidos no mecanismo, identificar a presença ou ausência de substâncias no dispositivo. A figura 12.10 abaixo ilustra um sensor de nível do tipo vibratório típico.

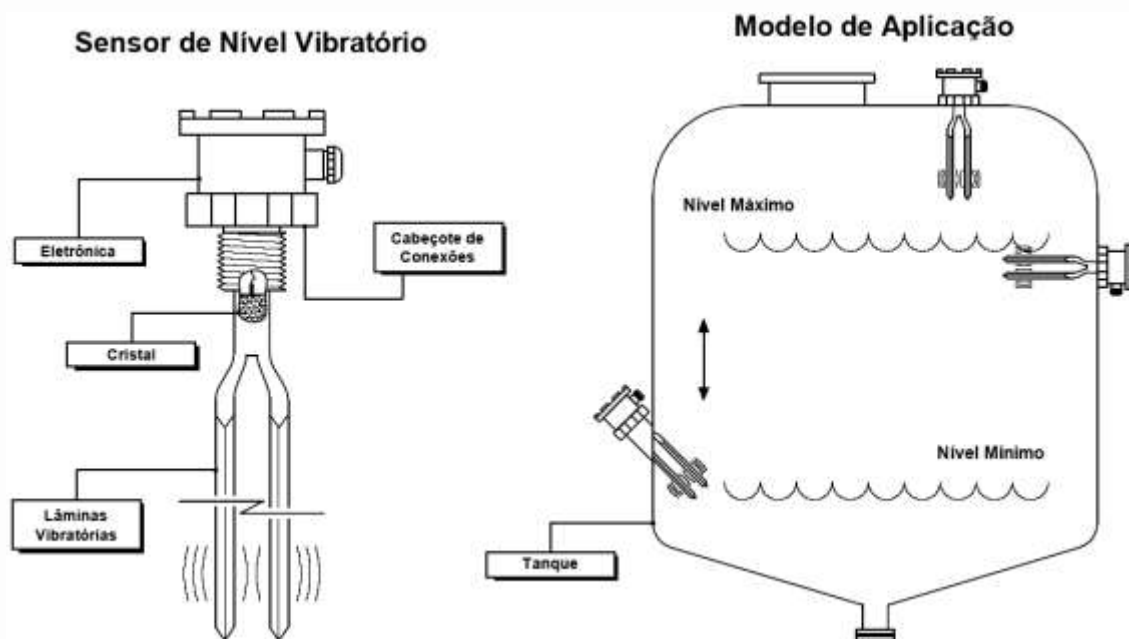


Figura 12.10



O sensor de nível do tipo vibratório, visto na figura 12.10 também é muito utilizado para detecção do fluxo de substâncias líquidas em tubulações. Nesse caso o sensor possui hastes menores e é instalado perpendicularmente ao sentido de fluxo na tubulação. É ideal para aplicações em substâncias sólidas com partículas em suspensão, como farinha, açúcar, café etc; o fato de as lâminas vibrarem em alta frequência a maioria do tempo contribui para a não incrustação de pó nas paredes da lâmina. Para substâncias em forma de grãos, a única observação é que a substância não seja maior do que a abertura das lâminas, ou seja, não pode ser aplicado em substâncias que possam vir a se prender entre as lâminas e com isso proporcionar uma indicação falsa de presença de produto no dispositivo.

12.1.7 Sensor Motorizado

Os sensores de nível do tipo motorizado são utilizados exclusivamente para detecção de substâncias sólidas. São largamente utilizados nas indústrias agrícolas, sendo sua principal função a monitoração de nível em silos de armazenamento de grãos, como milho, soja, trigo etc; sua forma construtiva permite a instalação em ambientes agressivos, e suportam com certa facilidade as intempéries da natureza, como chuva, sol, poeira, frio, dentre outros.

Seu princípio de funcionamento baseia-se na movimentação de uma pequena hélice ou aleta, que, quando submetida ao esforço da substância monitorada, trava e o movimento é cessado. Um dispositivo eletromecânico identifica a não movimentação da hélice e aciona as saídas de controle correspondentes, indicando o status do nível da substância.

A movimentação da hélice de sensora é obtida através do acoplamento de um micromotor de corrente alternada (ou contínua dependendo do modelo), que, quando ligado, transmite movimento rotacional para a hélice ou aleta que deverá estar posicionada dentro do silo de armazenamento na altura desejada para o controle. Junto ao mecanismo de movimentação existem duas microchaves, ambas ajustadas para acionamento caso o eixo de transferência de movimento deixe de rotacionar. Quando isso acontece, uma das microchaves sinaliza ao controle que a substância atingiu a altura de instalação do sensor e a outra microchave é responsável pelo desligamento do micromotor, já que nessa situação o eixo de transmissão de movimento estará bloqueado.

O micromotor fornece ao mecanismo de movimento um baixo torque rotacional. Desse modo não é necessário aplicar uma força excessiva para que se bloqueie o mecanismo de movimento. O simples fato de a hélice ou da aleta sensora entrar em contato com os grãos da substância é suficiente para bloquear o mecanismo e o acionamento das microchaves. Após a liberação do mecanismo de movimento, o sistema volta a se ligar automaticamente, dessa forma o sensor assume um regime contínuo de funcionamento, ligando ou desligando automaticamente segundo a variação do nível da substância monitorada.



Além das aplicações típicas em silos de armazenamento de grãos, esse tipo de sensor pode ser utilizado também para outras substâncias sólidas que se apresentam em forma de pó, como açúcar, farinha ou derivados. Sua interface elétrica é do tipo digital, ou seja, o instrumento disponibiliza através de sua microchave destinada ao controle contatos do tipo C (comum), NA (normalmente aberto) e NF (normalmente fechado), que devem ser utilizados de acordo com a lógica de controle definida no projeto. O usuário, no entanto, deve estar atento, pois a maioria das microchaves utilizadas para interface elétrica não são capazes de conduzir correntes elevadas, portanto, caso o usuário deseje acionar diretamente dispositivos como motores ou válvulas, a instalação deve ser provida de relés auxiliares para acionamento desses dispositivos.

A figura 12.11, define as características desse tipo de sensor, acompanhe.

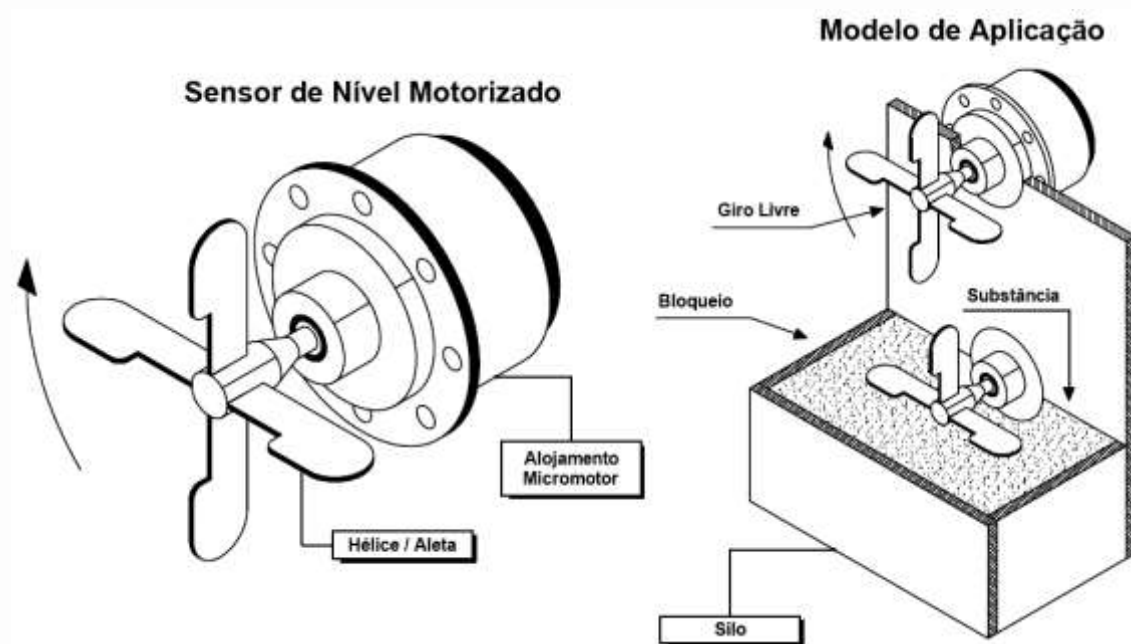


Figura 12.11

Na figura 12.11 podemos identificar a configuração e a instalação típica desse instrumento. Note que o sensor é montado com o mecanismo de movimento no interior do silo para que a substância monitorada possa entrar em contato com as hélices sensoras e com isso proporcionar o bloqueio mecânico necessário para acionamento dos dispositivos de controle. A conexão elétrica típica pode ser observada na figura 12.12 abaixo:

Diagrama de Conexões Típico Relé de Nível Motorizado

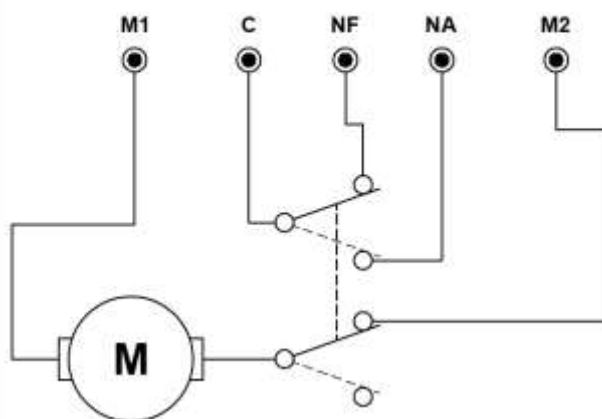


Figura 12.12

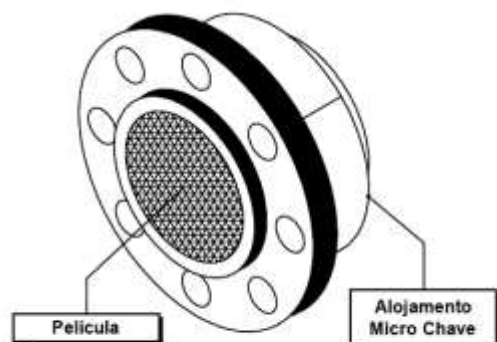
Sendo: M1 e M2 Conexões de Alimentação do Sensor
C - NA - NF : Contatos de Controle para Interface Externa

12.1.8 Sensor de Diafragma

Os sensores de nível do tipo diafragma são aplicados em instalações idênticas às observadas nos sensores motorizados, ou seja, exclusivamente para medição de substâncias sólidas granuladas, são muito comuns em silos de armazenamento de grãos (milho, soja, café, etc.) e na monitoração de partículas sólidas granuladas em geral. A diferença é observada no método de acionamento das microchaves de controle. Nesse tipo de sensor não existe um mecanismo de movimento contínuo, mas sim uma película maleável que faz o isolamento entre o produto e o mecanismo elétrico.

A película sensora é fabricada em materiais que possuam características elásticas como a de uma mola. Deve ser montada com sua face sensora em contato com a substância no interior do silo. Assim, quando a substância monitorada atingir o nível da película sensora, ela é pressionada, acionando uma microchave posicionada estrategicamente do lado oposto ao movimento de pressão, indicando, desse modo, que a substância atingiu o nível do sensor. Quando a substância escoar no interior do silo e deixa de pressionar a película do sensor, ela retorna em sua posição original desativando a microchave e, portanto, sinalizando a ausência de produto no sensor.

Sensor de Nível do Tipo Diafragma



Modelo de Aplicação

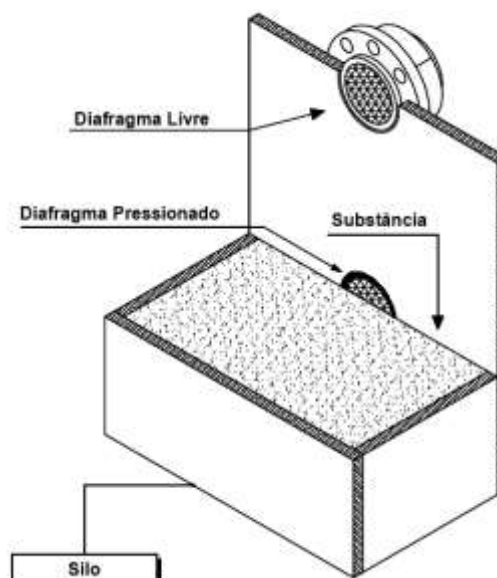


Figura 12.13

A figura 12.13 ilustra a configuração típica de um sensor de nível do tipo diafragma. Podemos observar no desenho a ausência da hélice rotativa, no local é instalado um diafragma constituído por uma película de material elástico que, ao ser pressionada pela substância monitorada, aciona do lado externo uma microchave responsável pela indicação de nível. Essa configuração é muito simples, quando comparada os sensores do tipo motorizado, possuem um custo extremamente baixo, já que não são necessários os mecanismos motorizados e uma microchave adicional para o controle do micromotor.

A interface elétrica desse dispositivo pode ser considerada digital. Em outras palavras, o fato de o dispositivo enviar somente duas informações (ligado ou desligado) caracteriza o instrumento como um dispositivo discreto. Dependendo de sua configuração no painel de controle elétrico, ele pode enviar informações de nível diretamente a um CLP (via entrada digital) ou acionamento indireto de motores, válvulas ou mecanismos de controle (via relés auxiliares). A figura abaixo ilustra o diagrama típico de ligação desse dispositivo.

Diagrama de Conexões Típico Relé de Nível Diafragma

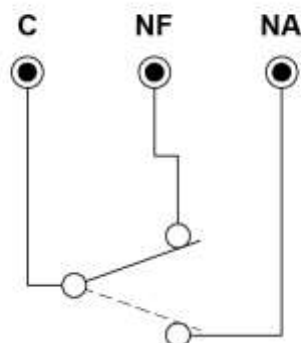


Figura 12.14

12.1.9 Sensor de Condutividade

Os sensores de nível de condutividade são desenvolvidos para aplicações em substâncias líquidas que possuem certa condutividade elétrica. Devido à sua simplicidade e baixo custo de aquisição, dominam as aplicações em sistemas industriais em conjunto com os sensores de nível de bóia tipo pêndulo. São indicados para instalação em tanques, caixas d'água, poços, tubulações, máquinas, etc, e por não possuírem partes móveis, não necessitam de manutenção constante. Seu princípio de funcionamento baseia-se na condutividade elétrica da substância monitorada, ou seja, eletrodos inseridos na substância estabelecem um caminho físico para um pequeno fluxo de corrente elétrica que é gerada e detectada por um circuito eletrônico simples. Quando uma pequena corrente elétrica flui pelos eletrodos, um relé auxiliar é acionado, sinalizando a presença da substância no ponto de monitoramento do nível. Em termos gerais o sensor funciona detectando a variação de resistência elétrica entre um eletrodo de referência e um eletrodo de nível.

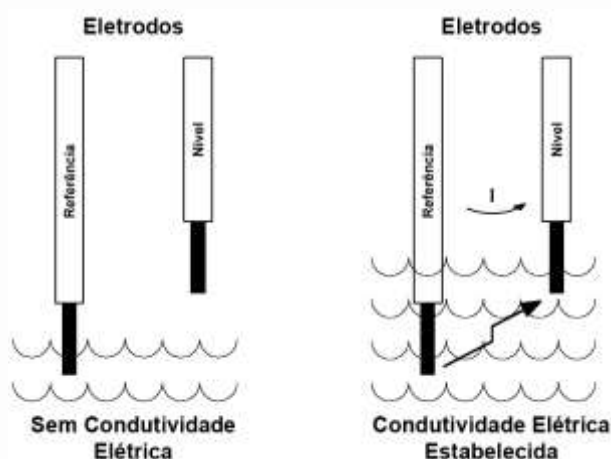


Figura 12.15

Os sensores de nível do tipo condutividade possuem no mínimo dois terminais, um de referência e outro de controle, porém é comum encontrarmos no mercado sensores com três ou mais terminais para o controle de nível, em diversas configurações. Em aplicações nas quais o tanque de armazenamento é metálico, o eletrodo de referência pode ser substituído pela massa do tanque. Nessa configuração o circuito eletrônico avalia a presença ou ausência de corrente elétrica entre o chassi do tanque e os eletrodos subsequentes da instalação. A interface elétrica desse tipo de sensor é do tipo convencional, um pequeno relé auxiliar disponibiliza ao usuário contatos do tipo C (comum), NA (normal aberto) e NF (normal fechado). Desse modo o instrumento pode ser interligado em qualquer sistema de comando presente no ambiente industrial.

As configurações básicas desse tipo de sensor incluem o controle monoponto, controle monoponto com retenção e controle multiponto. Todos os casos definem a lógica de controle desejada para o sistema de monitoramento do nível, com algumas particularidades. Cabe ao usuário definir o melhor método de controle para a instalação.



- **Controle Monoponto**

O controle monoponto define ao sistema a condição de operação sem retenção dos contatos de saída, ou seja, quando a substância monitorada envolve os eletrodos de referência e de controle o relé de saída é acionado. Para que o relé de saída seja desligado, basta que a substância deixe de manter o contato físico entre os eletrodos. A figura abaixo ilustra esse modelo.

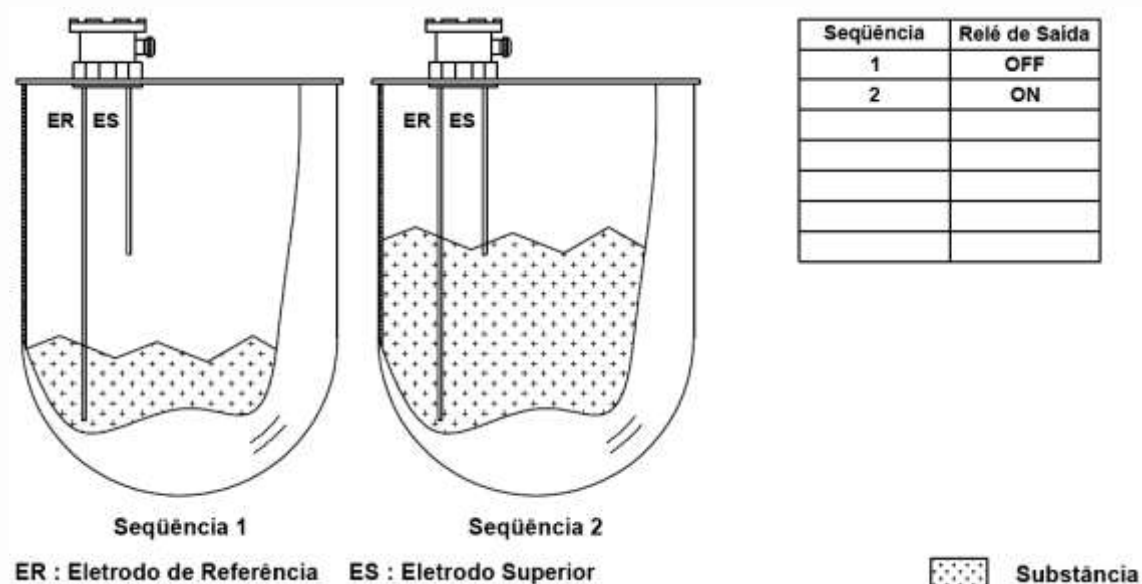


Figura 12.16

A configuração vista na figura 12.16 é a mais simples encontrada para esse dispositivo. Traz a vantagem da simplicidade e fácil instalação, mas, por outro lado, pode não ser interessante para líquidos que estejam em constante agitação dentro do tanque. As ondas formadas pelo líquido no interior do tanque fazem com que o relé de saída fique com muita instabilidade, ou seja, liga e desliga em intervalos muito curtos, causando problemas para o acionamento de cargas de maiores potências ou válvulas de controle. Porém essa particularidade da instalação pode ser resolvida com a instalação de um relé temporizador nos contatos de saída do sensor, assim pode-se configurar um tempo mínimo para que o sinal de saída seja realmente validado. Esse recurso é definido como filtragem do sinal.

A seqüência observada pode ser descrita como:

Seqüência 1: A substância mantém contato somente com o eletrodo de referência (ER), relé de saída “OFF”.

Seqüência 2: A substância mantém contato com o eletrodo de referência e o eletrodo superior (ES), relé de saída “ON”.

- **Controle Monoponto com Retenção**

O controle monoponto com retenção define ao sistema a condição de operação com retenção dos contatos de saída. Nesse caso são necessários três eletrodos para o controle, ER (eletrodo de referência), EI (eletrodo intermediário), ES (eletrodo superior). Esse tipo de controle não necessita de filtragem no sinal de saída do sensor como no caso anterior. Para que o sensor indique nível alto é necessário que a substância mantenha contato físico com os eletrodos ER - EI - ES. Após essa ação ocorrida o relé de saída passa para o estado “ON” indicando nível alto e assim permanece até que a condição para o desligamento ocorra. Essa condição é configurada para a situação em que a substância deixe de manter o contato físico com o eletrodo intermediário (EI). A figura abaixo ilustra os passos do funcionamento.

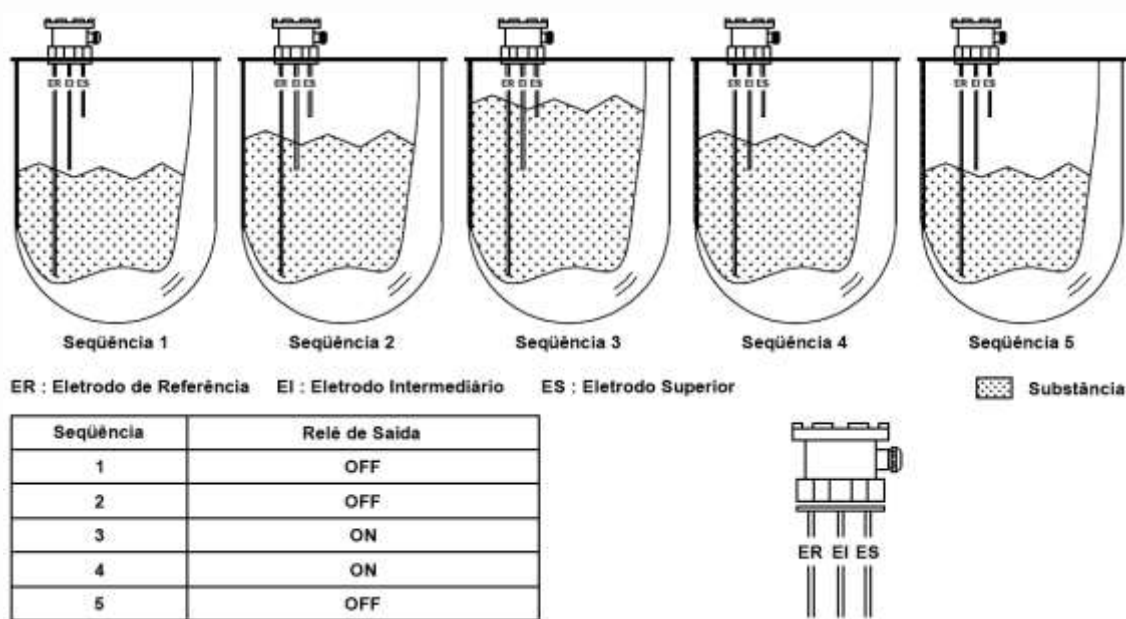


Figura 12.17

A configuração vista acima na figura 12.17 é observada na configuração de controle monoponto com retenção, traz a vantagem da instalação em sistemas onde haja excesso de agitação da substância dentro do tanque. Para isso os eletrodos EI e ES devem ser separados por uma distância maior do que a altura do fluido em agitação. Assim as ondas formadas pelo líquido no interior do tanque não produzirão o efeito cíclico de acionamento do relé de saída do sensor. A distância entre o eletrodo EI e ES também pode ser definida como sendo a histerese de acionamento do sensor. Desse modo o usuário pode configurar os pontos de acionamento do sensor de acordo com as necessidades e particularidades do sistema.

A sequência de operação pode ser descrita como:

Sequência 1: A substância mantém contato somente com o eletrodo de referência (ER), relé de saída “OFF”.

Sequência 2: O nível da substância se eleva e mantém contato com o eletrodo de referência e o eletrodo intermediário (EI), relé de saída permanece em “OFF”.



Seqüência 3: A substância se eleva e mantém contato com o eletrodo de referência, eletrodo intermediário (EI) e Eletrodo Superior (ES), relé de saída sofre transição para o estado “ON”.

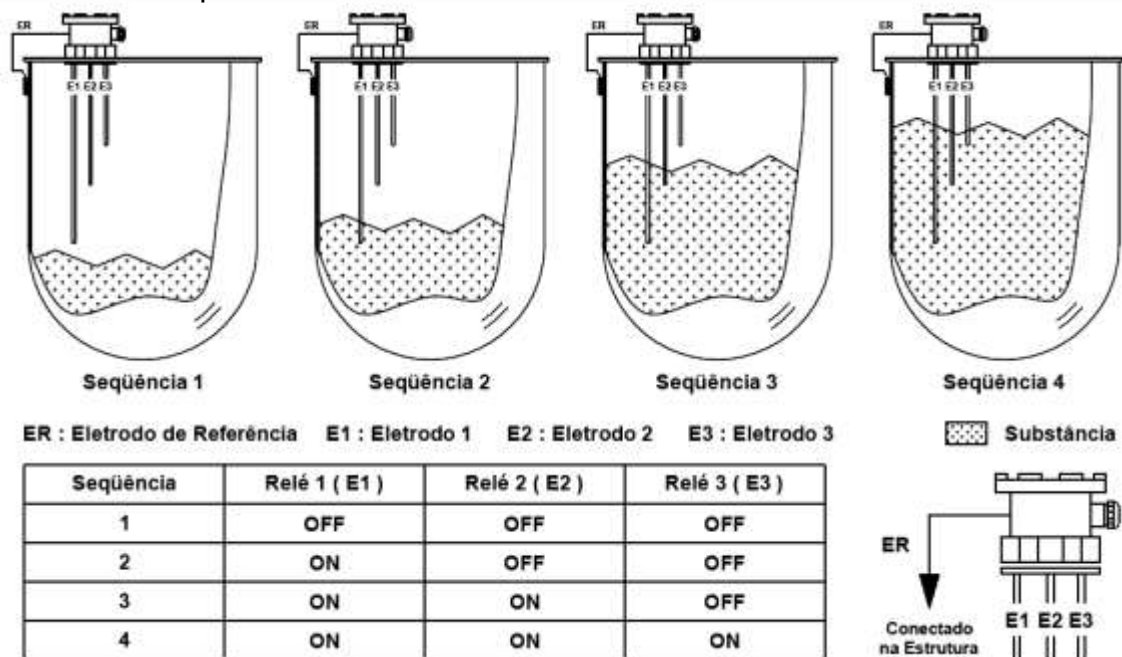
Seqüência 4: O nível da substância diminui e deixa de manter contato com o eletrodo superior (ES), mas ainda mantém contato com o eletrodo intermediário (EI) e o eletrodo de referência (ER), relé de saída permanece em “ON”.

Seqüência 5: O nível da substância diminui e deixa de manter contato com o eletrodo intermediário (EI), relé de saída sofre transição para o estado “OFF”.

• Controle Multiponto

A lógica de funcionamento do controle multiponto é idêntica ao controle monoponto, porém com a adição de mais de um ponto de monitoramento de nível. É comum encontrarmos no mercado sensores com essa configuração dotados com dois, três ou até quatro pontos de monitoramento. A seqüência de funcionamento é a mesma descrita anteriormente, porém os eletrodos são dimensionados em alturas diferentes (geralmente definidos in loco pelo usuário), desse modo o usuário obtém a monitoração do nível no interior do tanque em alturas distintas. Dessa forma é possível a emulação de um controle com retenção ou a inserção de pontos de alarmes. A observação sobre o efeito da agitação da substância dentro do tanque também é válida para esse modelo de sensor, portanto a filtragem nos sinais de saída dos relés poderá ser necessária, dependendo da aplicação.

A figura 12.18 ilustra a configuração típica desse tipo de sensor. Para ilustração de nosso exemplo será descrito um modelo multiponto com três pontos de monitoração de nível, com o eletrodo de referência conectado ao chassi do tanque metálico.



Seqüência 1: A substância não mantém contato com nenhum dos eletrodos de controle, somente com o eletrodo de referência (ER) pois o tanque é metálico, todos os relés de saída permanecem em estado “OFF”.

Seqüência 2: O nível da substância se eleva e mantém contato com o primeiro eletrodo de controle E1. Como a referência está conectada na estrutura metálica do tanque, o relé de saída correspondente ao ponto 1 é acionado, relé 1 “ON”, e assim permanece enquanto a substância mantiver contato com a estrutura do tanque e o eletrodo E1.

Seqüência3 : O nível da substância se eleva ainda mais e mantém contato com o primeiro eletrodo de controle E1 e o segundo eletrodo de controle E2. Como a referência está conectada na estrutura metálica do tanque, o relé de saída correspondente ao ponto 1 continua em estado “ON”, e o relé correspondente ao ponto 2 é acionado, relé 2 “ON”. Esse estado é mantido enquanto a substância mantiver contato com a estrutura do tanque e os eletrodos E1 e E2.

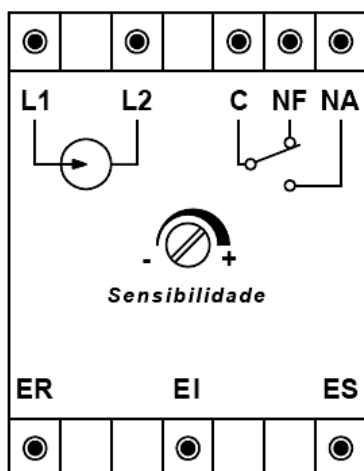
Seqüência 4: O nível da substância se eleva até o ponto máximo do tanque, os eletrodos E1 e E2 que já se encontravam submersos e com os relés de saída em estado “ON” continuam sem alterações. O relé da saída 3 passa do estado “OFF” para “ON” , esse estado é mantido enquanto a substância mantiver contato com a estrutura do tanque e os eletrodos E1, E2 e E3.

Os relés de nível do tipo condutividade baseiam-se no princípio da baixa resistividade elétrica das substâncias líquidas para estabelecer a condutividade entre o eletrodo de referência e os demais eletrodos do sistema. Para que isso ocorra, um circuito eletrônico simples gera uma pequena diferença de potencial entre os eletrodos; porém, em certas substâncias, a resistividade elétrica pode ser maior do que a especificada pelo sensor. Por essa razão, a maioria dos sensores são dotados de circuitos eletrônicos capazes de se ajustar a uma ampla faixa de resistividade. Em alguns modelos esse ajuste é realizado através de um trimpot (potenciômetro) na parte frontal do equipamento. Esse ajuste atende à maioria das aplicações convencionais, como na monitoração de substâncias que contenham alguma quantidade de água, por exemplo, porém antes de dimensionar esse tipo de sensor para um projeto de controle ou automação, é conveniente verificar com a documentação técnica do dispositivo se o produto atende às características para a substância a qual será utilizada.

A interface elétrica desse dispositivo é bastante simples. O circuito eletrônico possui praticamente cinco pontos de conexão (na maioria dos modelos), sendo dois pontos para alimentação que pode variar de 24 Vcc/Vca a 220 Vca, e três pontos para os contatos do relé de saída, C (comum), NA (normal aberto) e NF (normal fechado). A figura abaixo ilustra o diagrama típico de ligação desse dispositivo.



Diagrama de Conexões Típico Relé de Nível Condutividade *



L1 : Alimentação (24 Vcc/Vca - 220 Vca)
L2 : Alimentação (24 Vcc/Vca - 220 Vca)
C : Comum Relé de Saída
NF : Contato Normal Fechado Relé de Saída
NA : Contato Normal Aberto Relé de Saída
ER : Conexão ao Eletrodo de Referência
EI : Conexão ao Eletrodo Intermediário
ES : Conexão ao Eletrodo Superior

* Relé Monoponto com Retenção

Figura 12.19

12.1.10 Sensor Capacitivo

As sondas de nível do tipo capacitivo são indicadas para utilização em substâncias líquidas ou sólidas, como água, líquidos combustíveis e inflamáveis, produtos químicos, pós, granulados etc. Possuem a característica de serem instrumentos seguros e são aplicáveis em instalações em que é necessária a utilização de dispositivos à prova de explosão.

O princípio de funcionamento do sensor de nível do tipo capacitivo baseia-se na monitoração da variação da capacitância provocada pela presença da substância ao redor de uma haste sensora inserida dentro do reservatório. Em outras palavras, transformamos o reservatório em um grande capacitor.

Capacitores são elementos capazes de armazenar energia, e são largamente empregados nos campos da eletrônica da eletricidade, e podem ser encontrados na grande maioria dos dispositivos eletrônicos e instalações industriais. São construídos basicamente a partir de dois elementos, placas condutoras paralelas e um material isolante posicionado estrategicamente entre essas placas.



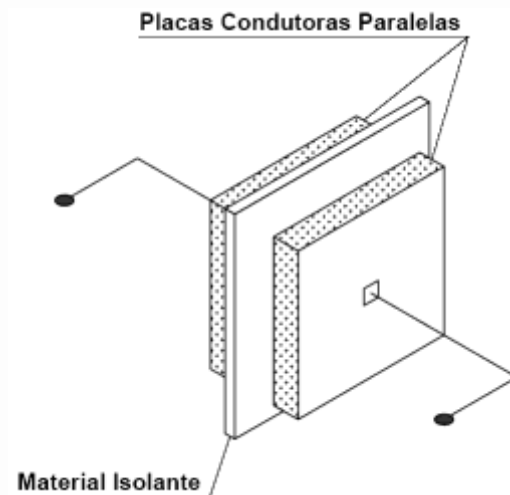


Figura 12.20

Essa configuração dá ao dispositivo a capacidade de armazenar energia por um certo intervalo de tempo. A relação entre a quantidade de energia armazenada e o tempo necessário para carregar ou descarregar o capacitor, estão relacionados em grande parte com a área efetiva das placas e a constante dielétrica do material isolante que as separa. Essa característica é identificada pelo termo capacitância, expressa pelo termo “farad”, o farad é definido matematicamente pela expressão:

$$C = \frac{Q}{E}$$

Onde : C = capacitância [farad]
 Q = carga elétrica [amperes x seg]
 E = tensão [volts]

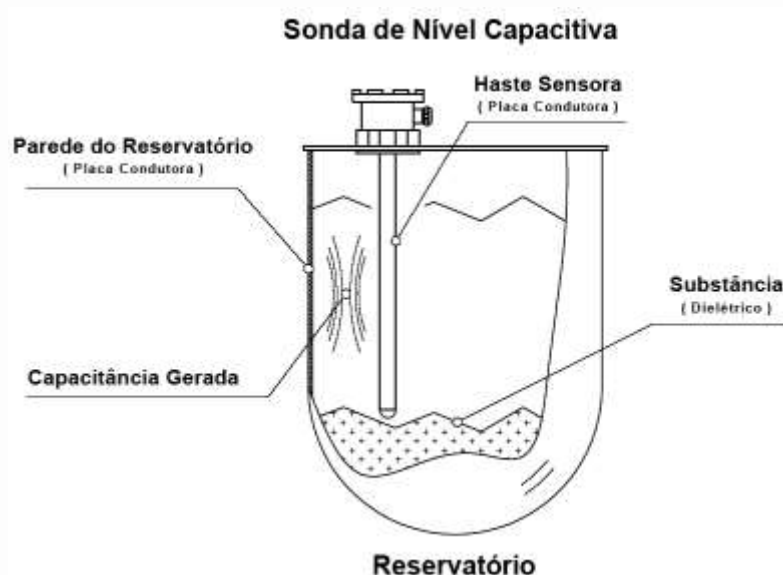


Figura 12.21



O material isolante utilizado na fabricação dos capacitores possui uma característica chamada de “Constante Dielétrica”. Essa característica é intrínseca a todos os elementos conhecidos, o ar, por exemplo, possui “ $K = 1$ ”. O valor dessa constante dielétrica influencia diretamente na determinação do valor de capacitância. Com base nesse princípio, podemos dizer que a haste sensora inserida no reservatório e a parede metálica funcionam como as placas de um capacitor, a substância preenchendo a área entre essas “placas” emula o elemento isolante ou dielétrico. Como para cada substância o valor dessa “Constante Dielétrica” é diferente, obtemos então um grande capacitor dentro do reservatório, com valores proporcionais à quantidade de substância (dielétrico) entre as placas. A variação dessa capacitância pode ser identificada por um circuito eletrônico e utilizada para monitorar a quantidade de substância no interior do reservatório.

A interface dos sinais elétricos de saída dos sensores de nível capacitivos pode ser analógica ou digital, dependendo do modelo. No caso dos sensores com saída analógica (4 a 20 ma), ela é proporcional ao comprimento da haste de inserção, ou seja, se o instrumento possuir uma haste de inserção com 500 mm de comprimento, podemos assumir que na ausência da substância entre a haste e a parede do tanque o sinal na saída será de 4 ma (ou 20 ma dependendo da configuração) e com a substância inserida entre o ponto máximo da haste (500 mm) e a parede do tanque a saída assumirá um valor de 20 ma (ou 4 ma dependendo da configuração), e assim proporcionalmente para valores intermediários. Vale lembrar que instrumentos com saída analógica apresentam limitações quanto ao comprimento da haste (é inviável, por exemplo, produzir um sensor com haste superior a 2000 mm). Já os modelos digitais não possuem essa limitação, pois sua interface de saída se assemelha aos sensores de condutividade multiponto, ou seja, relés auxiliares fazem a indicação dos pontos de controle de nível, porém com uma vantagem em relação aos sensores de condutividade, os pontos de monitoramento podem ser ajustados de forma dinâmica sem a necessidade de cortar o eletrodo inserido no reservatório.

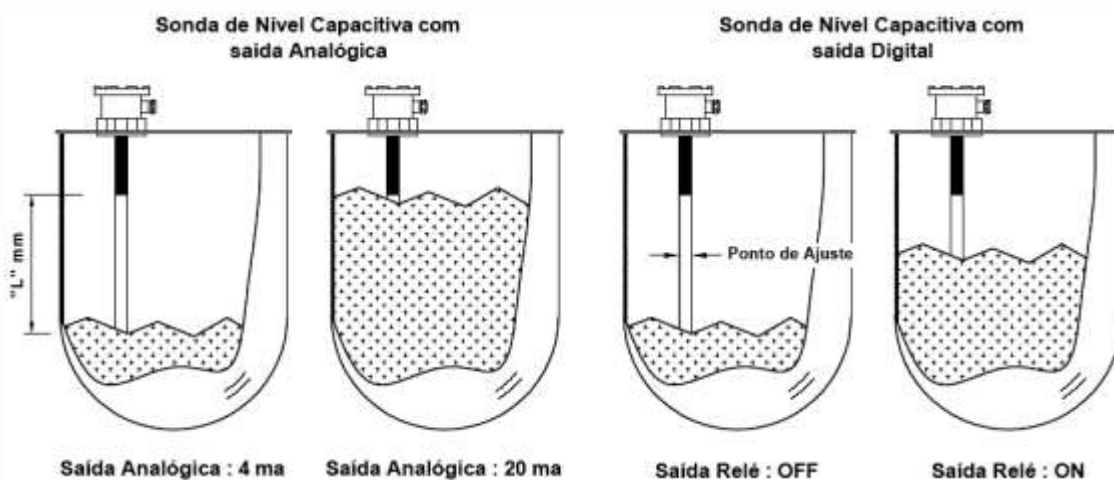


Figura 12.22

Alguns cuidados deverão ser tomados na instalação desses dispositivos, por possuírem um circuito eletrônico mais apurado. Qualquer variação no ambiente pode interferir na capacitância do sistema, essas sondas de nível são muito susceptíveis a interferências externas e, portanto, a instalação deve ser adequada para a garantia do perfeito funcionamento do instrumento. Abaixo alguns cuidados necessários que deverão ser observados:

- Toda a instalação deve obrigatoriamente estar aterrada, inclusive a caixa de conexões das saídas de controle;
- Quando a substância monitorada apresentar uma viscosidade elevada, a haste deverá ser instalada na vertical, para o completo escoamento do produto;
- Quando a substância for à base de pó, é conveniente instalar a haste em uma posição inclinada dentro do tanque, essa medida previne a permanência de produto sob a haste;
- A haste sensora deverá ser instalada em uma distância não muito próxima à parede do reservatório (acima de 30 cm), pois, como a substância deverá preencher a área entre a haste e a parede do reservatório emulando o dielétrico de um capacitor, quanto maior for a quantidade de produto entre a haste e a parede do tanque melhor o efeito obtido;
- Para conexão elétrica de sensores analógicos, utilize condutores blindados com uma das extremidades da malha aterrada, para evitar a interferência de correntes parasitas no sinal.

12.1.11 Sensor ultra-sônico

Os equipamentos para monitoramento e controle de nível que utilizam a tecnologia do ultra-som eram considerados equipamentos caros e complexos. Porém, com o avanço da tecnologia e da microeletrônica, o fator complexidade e os custos elevados deixaram de ser problemas. A partir da década de 90 esses dispositivos podiam ser encontrados com mais facilidade no mercado especializado. O advento de tecnologias externas, muitas vezes integradas em máquinas e equipamentos produzidos na Europa e na Ásia, auxiliou na popularização desses dispositivos. Hoje podem ser considerados comuns em sistemas automatizados de média a grande complexidade na maioria das indústrias nacionais.

Os sensores de nível ultra-sônicos são indicados para aplicações em sistemas de monitoramento de substâncias líquidas ou sólidas em que o contato físico do instrumento de medição com a substância não é permitido, por exemplo, em aplicações em que a composição química da substância possa danificar o instrumento (ácidos), ou por qualquer razão de modo que a substância possa aderir ou incrustar no dispositivo de leitura. Contudo podem ser utilizados sem problemas para a maioria das substâncias e aplicações em que os sensores convencionais são empregados.

O sensor ultra-sônico identifica a condição de nível baseando-se no tempo de propagação que uma onda sonora leva para percorrer a distância entre o sensor e a superfície da substância monitorada. Em outras palavras,



um circuito eletrônico gera uma série de pulsos sonoros (na faixa do ultra-som) que se propaga pelo ambiente, choca-se com a superfície da substância e retorna (reflexão) novamente para o sensor. A medição do tempo do “eco” do sinal sonoro (ida e volta) permite ao sistema eletrônico calcular a distância entre o sensor e a substância. Esse mesmo princípio pode ser notado em aplicações como submarinos (sonar), radares de velocidade, radares de automóveis e observados como ferramentas indispensáveis para alguns animais, como morcegos, por exemplo.

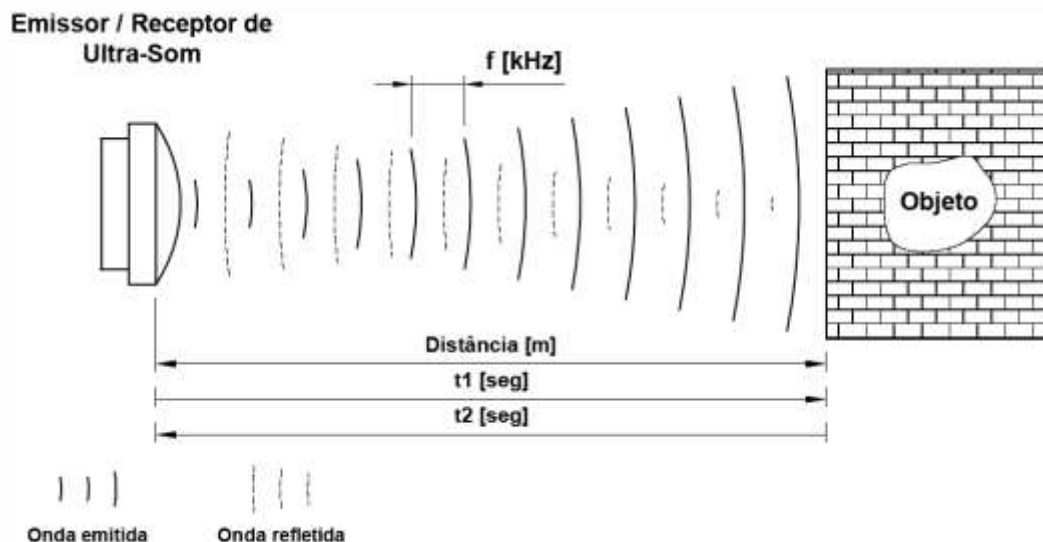
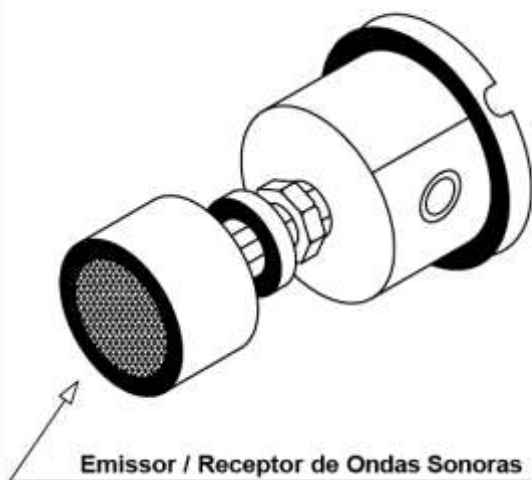


Figura 12.23

A faixa de frequência dos pulsos sonoros pode variar de modelo para modelo, é dimensionada a partir dos dados da substância monitorada e da distância desejada para o controle. Essas frequências estão definidas nas faixas de 20kHz a 80kHz para substâncias líquidas e de 15kHz a 30kHz para substâncias sólidas. Outro fator importante sobre a ordem das frequências utilizadas é que podemos considerar que, quanto maior a distância requerida para medição, mais baixas as frequências utilizadas e quanto menor a distância necessária para a medição, mais altas as frequências. De modo geral, esses sensores são capazes de realizar medições com extrema precisão em distâncias que variam de 3 a 25 metros, sendo que para distâncias menores a resolução pode atingir a ordem de 1 a 3 milímetros, e para distâncias maiores não ultrapassam a casa dos 10 milímetros, ou seja, são extremamente precisos.



Sensor de Nível Ultra-Som



Modelo de Aplicação

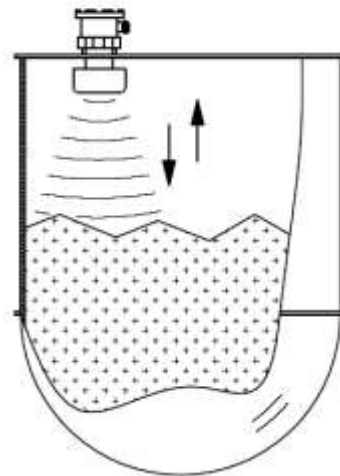


Figura 12.24

Na figura 12.24 visualizamos a configuração típica desse instrumento. A face sensora é posicionada no interior do reservatório onde emite pulsos sonoros que se propagam pelo ambiente. Ao atingir a substância um eco é gerado, as ondas sonoras refletidas retornam à face sensora do dispositivo, que as identifica e, com base no tempo de emissão e recepção (ida e volta) calcula a distância percorrida e, conseqüentemente, o nível da substância. O elemento “emissor/receptor” do sensor opera basicamente como sendo um “alto falante” e um “microfone”, gerando e medindo as ondas sonoras emitidas e refletidas no ambiente.

A interface elétrica do sensor ultra-som é na maioria das vezes do tipo analógica, apresentando sinais padrões de corrente ou tensão proporcionais à distância de medição, porém não são raros os dispositivos que disponibilizam sinais digitais, do tipo PNP ou NPN, estabelecidos em pontos discretos no ambiente definidos pelo usuário. Existem ainda sensores que podem disponibilizar para o controle as duas interfaces analógica/digital, nesse caso apresentam um custo mais elevado.

A figura 12.25 demonstra o diagrama de conexões típicas desse instrumento:

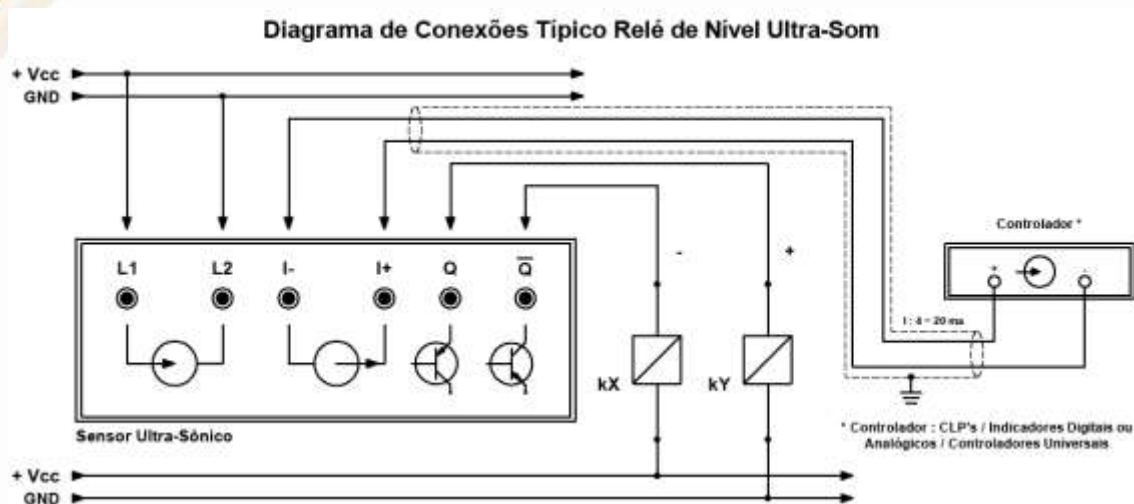


Figura 12.25

Nota: as conexões devem seguir os padrões básicos para instrumentos de medição e controle, ou seja, instalações aterradas, fiação de sinal e controle blindada, passagem dos cabos em tubulações ou canaletas próprias para instrumentação etc.

12.1.12 Sensor do Tipo Radar

Os sensores de nível do tipo radar (radio detecting and ranging) se assemelham em muito ao sensor do tipo ultra-som. A diferença é notada no tipo de onda gerada pelo equipamento, o sensor do tipo ultra-som gera uma onda sonora (mecânica) que se propaga pelo ambiente, reflete na substância e retorna para o sensor, no caso do sensor do tipo radar, o princípio é o mesmo, porém a onda gerada é do tipo eletromagnética que possui um comportamento idêntico à onda sonora, ou seja, se propaga pelo ambiente, choca-se com a superfície da substância e retorna para o sensor que calcula o tempo de eco do sinal, obtendo assim a situação do nível no reservatório.

As diferenças entre os dois modelos (sonar x radar) são observadas nas propriedades físicas da onda gerada. A onda sonora, por se tratar de uma onda mecânica, necessita de um meio para propagação, ou seja, necessita de um ambiente capaz de transportar os sinais emitidos, como na água ou ar por exemplo (em um tanque a vácuo não pode ser utilizado, pois o som não se propaga no vácuo), além de não serem recomendados para medições em sistemas com distâncias longas (acima de 30 m). Já os sensores do tipo radar emitem ondas eletromagnéticas (ondas de rádio) que independem do meio para propagação, desse modo podem ser utilizados em qualquer ambiente (inclusive no vácuo), e são mais confiáveis para medições em distâncias mais longas (na ordem dos 50 m ou mais).

As frequências utilizadas para esse tipo de sensor são extremamente altas. No espectro das microondas, podem variar de 5GHZ a 30GHZ (30.000.000.000 Hz), dependendo do modelo. Por essa razão são mais eficientes em distâncias mais longas. Os sinais em microondas possuem propriedades semelhantes ao espectro de luz visível e podem se propagar sem



problemas em todos os ambientes. Um fator que acentua a eficiência e a precisão dos sensores do tipo Radar é a constante dielétrica da substância aliada à condutividade; substâncias que apresentam coeficientes dielétricos maiores do que o coeficiente dielétrico do ar ($\xi = 1$) são melhores para reflexão das ondas eletromagnéticas emitidas pelo dispositivo.

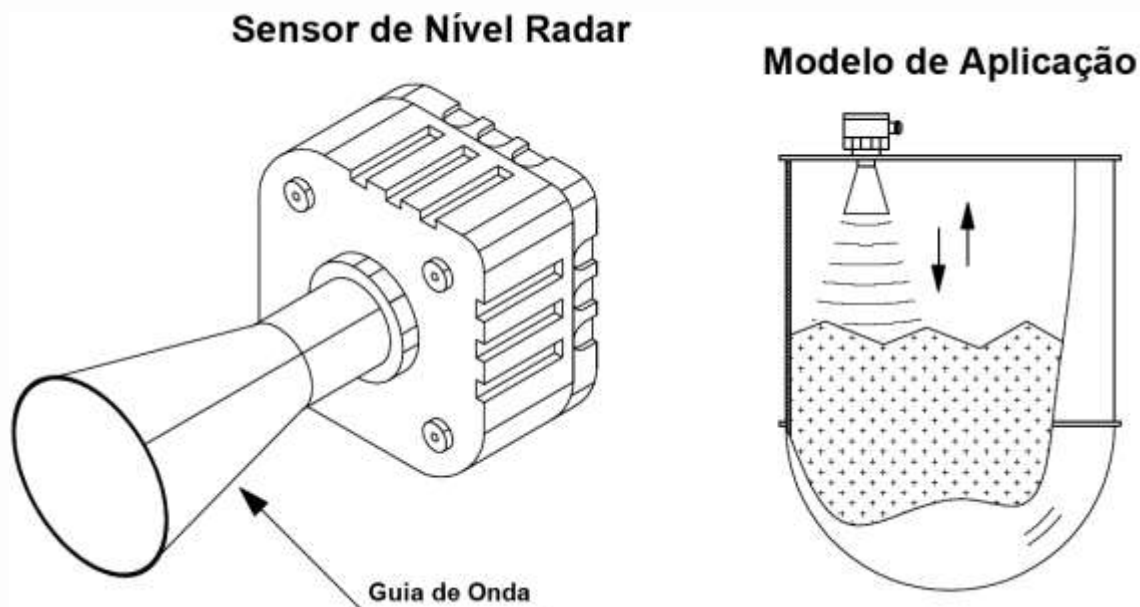


Figura 12.26

A figura 12.26 traz uma ilustração de um sensor do tipo radar típico. Note que o dispositivo é dotado de um cone metálico que tem a função de direcionar a onda eletromagnética para um ponto perpendicular à base do sensor. Isso torna o dispositivo altamente diretivo, esse acessório é chamado de “Guia de Onda”, e é muito comum em antenas ou dispositivos que operam com altas frequências. Como o sensor do tipo radar emite ondas eletromagnéticas e não ondas sonoras como as de ultra-som, o elemento emissor/receptor dos sinais não se assemelha a um “alto-falante” ou um “microfone”, mas sim a uma pequena antena monopolo. Em outras palavras, o sensor pode ser considerado literalmente um rádio emissor/receptor operando no domínio das microondas.

A interface elétrica do sensor de nível do tipo radar é idêntica à do sensor de ultra-som. Podem ser encontrados com interfaces analógicas, digitais, ou ambas, existe ainda a possibilidade de interfaces em padrões industriais, como ProfiBus, DeviceNet, ModBus, dentre outras. A medição de nível pode ser afetada caso exista uma variação de temperatura no ambiente monitorado. Por essa razão é comum os sensores procederem à compensação automática de temperatura, assim pequenas possíveis variações são compensadas automaticamente.

É importante salientar que, como os dispositivos do tipo radar operam na faixa dos Giga Hertz, os tempos envolvidos entre a emissão e a recepção dos sinais são extremamente pequenos. O período de emissão do sinal está na ordem dos “ns” (nano segundos) e a frequência entre os sinais na faixa dos



Mhz. Abaixo podemos visualizar um gráfico de emissão das ondas eletromagnéticas de um sensor comercial, onde podemos observar a ordem de grandeza dos sinais e intervalos envolvidos.

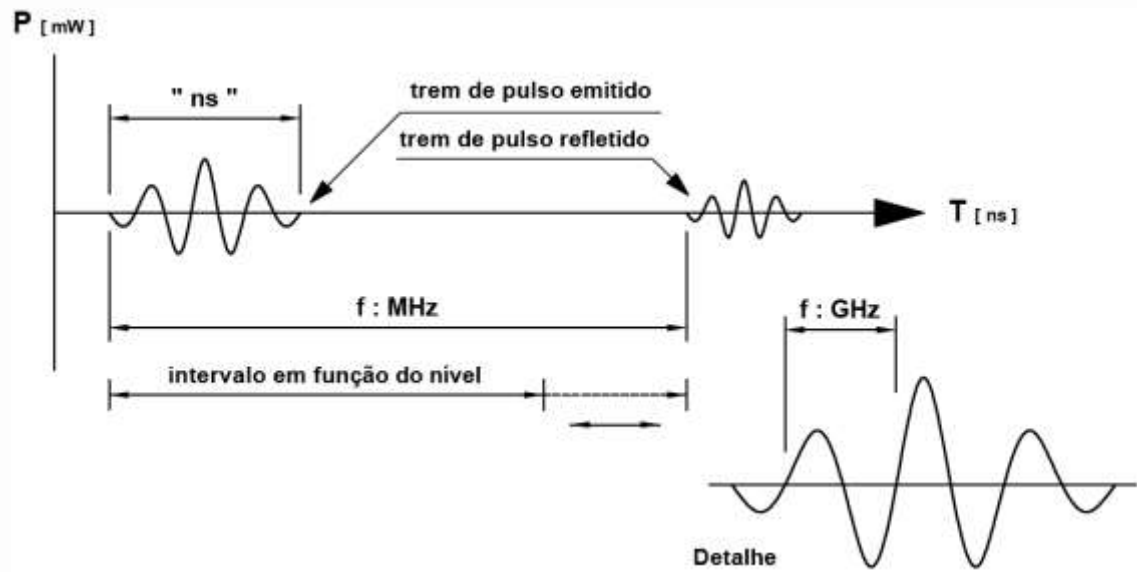


Figura 12.27