

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
ESCOLA POLITÉCNICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

***SENSORES DE MOVIMENTO E  
PRESENÇA***

MARCELO MAZZAROPPI



Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Novembro de 2007

# ***SENSORES DE MOVIMENTO E PRESENÇA***

**MARCELO MAZZAROPPI**

*PROJETO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO ELETRICISTA.*

Aprovado por:

---

MARCOS VICENTE DE BRITO MOREIRA, D. Sc.  
(Orientador)

---

OUMAR DIENE, M.Sc.

---

SERGIO SAMI HAZAN, Ph.D.

Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Novembro de 2007

# AGRADECIMENTO

Gostaria de agradecer a Deus por tudo que consegui conquistar em minha vida, porque nele está a minha força.

Aos meus pais pela dedicação, amizade e amor que sempre demonstraram ter por mim, sendo fonte de inspiração e referência na minha vida. À minha mãe, Lucia, por ter estado sempre ao meu lado, e me formado o homem que hoje sou. Ao meu pai, Ricardo, agradeço pelos conselhos sempre dados em boas horas e por ter servido de referência para minha vida profissional. Aos meus avós, Ruy e Henrique, homens de honra e profissionais de destaque em suas áreas, pela motivação e responsabilidade de dar continuidade a uma história que se iniciou há tanto tempo. Gostaria também de agradecer ao meu irmão, Marcos, pela amizade e dedicação, sempre me apoiando, sem medir esforços para me ajudar no que precisasse.

Agradeço também a todos os meus amigos pelos debates e estudos em grupo que certamente foram de grande importância para minha formação profissional.

Por fim, gostaria de agradecer a todos os professores da UFRJ que contribuíram para a minha formação profissional de forma inestimável. Em especial agradeço ao professor, orientador e amigo Marcos Vicente de Brito Moreira pelos ensinamentos passados a mim.

# RESUMO

Marcelo Mazzaroppi  
UFRJ - DEE

Projeto de Graduação  
Novembro 2007

## Sensores de Movimento e Presença

Os sensores tornaram-se parte fundamental dos processos e as indústrias estão mostrando uma tendência para a utilização de equipamentos integrados e controlados por computadores. Atualmente, a utilização dos computadores industriais está amplamente difundida para o controle de equipamentos e processos, por atuarem de forma mais precisa e mais rápida do que os operadores são capazes. As informações sobre os processos são transmitidas aos computadores por sensores a estes conectados. Dentre diversos tipos de sensores, existem os sensores de presença e movimento, sendo estes utilizados nas indústrias para verificar a presença de peças em uma linha de montagem, para medir o tamanho destas peças e para verificar o estado dos produtos. A utilização de sensores na monitoração de processos é vital para o sucesso dos mesmos e para garantir a segurança dos operadores e equipamentos. Os sensores são capazes de executar tarefas simples de detecção de forma mais precisa e eficiente do que as pessoas, sendo mais rápidos e cometendo menos erros. Neste trabalho, são apresentados os tipos de sensores de presença e movimento mais utilizados e uma comparação entre os mesmos é feita visando diferentes aplicações.

# Sumário

<b>AGRADECIMENTO</b>	<b>ii</b>
<b>RESUMO</b>	<b>iii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b>	<b>viii</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
<b>2 Princípio de funcionamento dos sensores de presença e movimento</b>	<b>4</b>
2.1 Chaves Fim-de-Curso . . . . .	5
2.2 Sensores indutivos . . . . .	5
2.3 Sensores capacitivos . . . . .	7
2.4 Sensores ultra-sônicos . . . . .	9
2.5 Sensores fotoelétricos . . . . .	12
2.5.1 Modo oposto de detecção . . . . .	14
2.5.2 Modo retrorreflexivo de detecção . . . . .	16
2.5.3 Modo difuso de detecção . . . . .	18
2.5.4 Modo divergente de detecção . . . . .	19
2.5.5 Modo de detecção difuso com supressão de fundo . . . . .	20
2.6 Sensores óticos . . . . .	21
2.7 Detectores de movimento por infra-vermelho . . . . .	22
2.8 Sensores de pressão . . . . .	23
2.9 Conclusão . . . . .	24

<b>3</b>	<b>Características importantes para a escolha dos sensores de movimento e presença</b>	<b>25</b>
3.1	Tipo de material a ser detectado . . . . .	25
3.2	Função de saída . . . . .	25
3.3	Distância sensora . . . . .	26
3.4	Histerese . . . . .	27
3.5	Frequência de Comutação . . . . .	28
3.6	Impedância de saída . . . . .	28
3.7	Excitação . . . . .	28
3.8	Características dinâmicas . . . . .	29
3.9	Fatores ambientais e condições de instalação . . . . .	29
3.10	Confiabilidade . . . . .	31
3.11	Objetivo da detecção . . . . .	31
3.12	Conclusão . . . . .	31
<b>4</b>	<b>Comparação entre os tipos de sensores e aplicações</b>	<b>33</b>
4.1	Ambiente de instalação . . . . .	33
4.1.1	Aspectos gerais comuns a todos os sensores . . . . .	33
4.1.2	Sensores Fotoelétricos . . . . .	36
4.1.3	Sensores indutivos . . . . .	36
4.2	Características do objeto a ser detectado . . . . .	39
4.3	Distância de detecção . . . . .	43
4.3.1	Cálculo da distância de detecção para sensores fotoelétricos . . . . .	43
4.3.2	Cálculo da distância de detecção para sensores indutivos e capacitivos . . . . .	46
4.4	Integração ao sistema . . . . .	50
4.5	Objetos de fundo . . . . .	50
4.6	Velocidade dos objetos . . . . .	51
4.7	Objetivo da detecção . . . . .	51
4.8	Conclusão . . . . .	51

<b>5 Conclusão</b>	<b>53</b>
<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>54</b>

# Lista de Figuras

2.1	Chave Fim-de-Curso. Fonte: Steck Indústria Elétrica [2]	5
2.2	Diagrama esquemático de um sensor indutivo mostrando seus componentes principais.	6
2.3	Sensor indutivo não-blindado.	7
2.4	Sensor indutivo blindado.	7
2.5	Diagrama esquemático de um sensor capacitivo mostrando seus componentes principais.	8
2.6	Transmissão e reflexão da onda ultra-sônica.	10
2.7	Barreira ultra-sônica de modo oposto.	11
2.8	Barreira ultra-sônica de modo reflexivo.	12
2.9	Diagrama esquemático de um sensor fotoelétrico mostrando seus componentes principais.	13
2.10	Modo oposto de detecção.	15
2.11	Modo de detecção retrorreflexivo.	17
2.12	Modo de detecção difuso.	18
2.13	Modo de detecção divergente.	20
3.1	Configuração PNP da saída dos sensores.	26
3.2	Configuração NPN da saída dos sensores.	26
3.3	Histerese.	27
4.1	Instalação de sensores indutivos blindados ou embutidos. Fonte: Rockwell Automation. [9]	38
4.2	Instalação de sensores indutivos não-blindados. Fonte: Rockwell Automation. [9]	39



4.3	Detecção de garrafas transparentes com sensores fotoelétricos de modo difuso. Fonte: Ztech Sensores Ltda. [10]	40
4.4	Detecção de garrafas transparentes com sensores ultrasônicos de modo oposto. Fonte: Banner Engineering Corp. [8]	40
4.5	Detecção de garrafas transparentes com sensores óticos. Fonte: Banner Engineering Corp. [8]	41
4.6	Exemplo de utilização de sensores para detecção a médias distâncias. Fonte: Banner Engineering Corp. [8]	44
4.7	Exemplo de utilização de sensor indutivo para detecção a pequenas distâncias. Fonte: Telemecanique / Schneider Electric SA. [11]	45
4.8	Curva de ganho em excesso para sensores fotoelétricos de modo oposto. Fonte: Banner Engineering Corp. [8]	46
4.9	Curva de ganho em excesso para sensores fotoelétricos de modo retrorreflexivo. Fonte: Banner Engineering Corp. [8]	47
4.10	Curva de ganho em excesso para sensores fotoelétricos de modos difuso e divergente. Fonte: Banner Engineering Corp. [8]	48
4.11	Fator de correção da distância sensora assegurada para sensores capacitivos	48

# Lista de Tabelas

2.1	Principais características dos sensores apresentados neste capítulo. . .	24
4.1	Graus de proteção contra objetos sólidos indicados pelo primeiro algarismo do código IP. Fonte: IEC 60529 [7] . . . . .	34
4.2	Graus de proteção contra água indicada pelo segundo algarismo do código IP. Fonte: IEC 60529 [7] . . . . .	35
4.3	Ganho em excesso necessário. Fonte: Banner Engineering Corp. [8] .	37
4.4	Refletividade relativa e ganho em excesso necessário para sensores fotoelétricos de modo difuso. Fonte: Banner Engineering Corp. [8] . .	42
4.5	Fatores de redução da distância de detecção de sensores indutivos. Fonte: Rockwell Automation. [9] . . . . .	47
4.6	Contantes dielétricas de materiais industriais conhecidos. . . . .	49
4.7	Resumo comparativo entre os sensores apresentados. . . . .	52

# Capítulo 1

## Introdução

Em Engenharia de Controle, o emprego de sistemas com realimentação é amplamente utilizado. A principal vantagem que a realimentação proporciona é fazer com que a resposta do sistema seja relativamente insensível a distúrbios e variações internas nos parâmetros do sistema [1]. Seu princípio é a utilização de qualquer informação disponível a respeito do sistema, de forma a ajustar continuamente seu controle. Esta realimentação de informações a respeito do sistema é feita com a utilização de sensores, tornando estas peças fundamentais dos sistemas de controle.

No campo da automação industrial os sensores tornaram-se parte fundamental dos processos, devido a utilização de equipamentos integrados e controlados por computadores. Antigamente os operadores eram indispensáveis por exercerem a função de cérebro dos processos, controlando os equipamentos e alimentando o processo com as informações por ele percebidas. O operador verificava a disponibilidade das peças, o acabamento das mesmas e se estavam íntegras ou não. Para tanto, o operador detectava esses problemas utilizando somente os seus sentidos.

Atualmente, a utilização de computadores industriais está amplamente difundida para o controle de equipamentos e processos. Os computadores industriais atuam de forma mais precisa e mais rápida do que os operadores são capazes. Um computador em si não é capaz de ver, sentir a vibração ou escutar os processos por exemplo. Para tanto, os mesmos utilizam sensores para substituir essas capacidades.

O computador pode utilizar um simples sensor para verificar a presença das peças em uma linha de montagem, para medir o tamanho das peças ou para ve-

rificar se determinado recipiente está cheio ou vazio. A utilização de sensores na monitoração de processos é vital para o sucesso dos mesmos e para garantir a segurança dos operadores e equipamentos. Os sensores são capazes de executar tarefas simples de detecção de forma mais precisa e eficiente do que as pessoas, sendo mais rápidos e cometendo menos erros.

A finalidade de um sensor é responder a um estímulo e convertê-lo em um sinal elétrico compatível com os circuitos a ele acoplados. Podemos pensar no sensor como transdutor de energia que converte uma forma de energia em energia elétrica. O sinal de saída do sensor pode ser sob a forma de tensão, corrente ou carga, e pode ser descrito em termos da amplitude, frequência, fase, ou código digital. A este conjunto de características chamamos de formato do sinal de saída. Conseqüentemente, um sensor possui propriedades de entrada e propriedades elétricas de saída.

Entre os sensores mais utilizados na indústria estão os sensores de presença e de movimento. Sensores de *presença* detectam a presença de pessoas ou objetos em uma área monitorada. *Detectores de movimento* respondem somente ao movimento de objetos ou pessoas. A diferença entre os dois é que o sensor de presença produz um sinal se um objeto estiver em sua zona de detecção, sendo este objeto estacionário ou não, enquanto que os detectores de movimento são sensíveis apenas a objetos em movimento, podendo ser aplicados em segurança, vigilância, gerenciamento de energia (controle de lâmpadas), brinquedos interativos, e etc. Dependendo da aplicação, a presença de pessoas pode ser detectada por meio de ações ou propriedades do corpo humano. Por exemplo, um detector pode ser sensível ao peso, calor, sons ou constante dielétrica do corpo ou objeto.

Atualmente é possível encontrar diversas fontes de literatura técnica sobre sensores, entretanto encontramos muito pouco enfoque para as aplicações dos mesmos. O objetivo deste trabalho é apresentar o princípio de funcionamento dos principais sensores de presença e movimento, bem como suas características. Além disso, são apresentadas as características mais relevantes para a escolha adequada do sensor, o que depende em grande parte da aplicação em que deve ser utilizado. Desta forma, serão apresentados neste trabalho diversos exemplos de aplicações de sensores de

presença e movimento.

Este trabalho está estruturado da seguinte forma: no capítulo 2 são apresentados os princípios de funcionamento dos sensores de presença e movimento mais utilizados na indústria. No capítulo 3 são apresentadas as características mais importantes para a escolha entre os diversos tipos de sensores de movimento e presença, dependendo da aplicação e das condições de instalação dos mesmos. No capítulo 4 é apresentada uma comparação entre os diversos tipos de sensores, visando a escolha do sensor apropriado para atender às necessidades de diferentes tarefas. Finalmente, no capítulo 5 é apresentada a conclusão.

## Capítulo 2

# Princípio de funcionamento dos sensores de presença e movimento

Neste capítulo serão discutidos os princípios de funcionamento dos seguintes sensores de movimento e presença, por serem os mais utilizados na indústria:

- *Chaves Fim-de-Curso.*
- *Indutivos.*
- *Capacitivos.*
- *Detectores por ultrasom.*
- *Fotoelétricos.*
- *Óticos.*
- *Detectores de movimento por infra-vermelho.*
- *Sensores de pressão.*

Todo sensor pode ser classificado como **ativo** ou **passivo**. Um sensor passivo não precisa de fonte de energia adicional, gerando diretamente um sinal elétrico em resposta a um estímulo externo; isto é, a energia de estímulo da entrada é convertida pelo sensor em um sinal de saída. Os sensores ativos exigem uma fonte externa para sua operação, que é chamada de um sinal de excitação. Esse sinal é utilizado pelo sensor para produzir o sinal de saída. No decorrer desta seção, os sensores serão classificados segundo esta definição.

## 2.1 Chaves Fim-de-Curso

Os sensores Fim-de-Curso são sensores ativos de presença que necessitam de um contato físico para que ocorra o seu acionamento. A operação destas chaves é alcançada pela ação de deslizamento da proteção ou de qualquer outro objeto que se mova, desviando o eixo ou alavanca. A figura 2.1 mostra o modelo mais comumente encontrado das chaves Fim-de-Curso.



Figura 2.1: Chave Fim-de-Curso. Fonte: Steck Indústria Elétrica [2]

Para seu correto funcionamento é importante que quando não exista detecção, a proteção ou outros objetos que se movem não impeçam o eixo ou alavanca de retornar a sua posição original. Caso o eixo seja impedido de retornar a esta posição, a chave acusará permanentemente a presença do objeto de detecção, estando o mesmo presente ou não.

Uma vez deslocado seu eixo ou alavanca, a saída deste sensor muda de estado chaveando assim um sinal elétrico externo.

## 2.2 Sensores indutivos

Os sensores de proximidade indutivos são sensores ativos de presença e consistem de um núcleo de ferrite envolvido por uma bobina, um oscilador, um circuito de disparo de sinais de comando e um circuito de saída, como mostrado na figura 2.2. O oscilador alimenta a bobina a uma determinada frequência, e uma corrente de natureza alternada circula pela mesma. Esta corrente alternada que circula pela bobina, gera um campo eletromagnético [3]. Uma vez que um objeto metálico entra

neste campo, a natureza alternada deste campo induzirá correntes neste objeto, chamadas de correntes de fuga ou correntes parasitas. As correntes de fuga geram um fluxo magnético no sentido de enfraquecer o campo existente, e desta forma o circuito de disparo detecta a variação do campo e ocorre o chaveamento do circuito de saída.

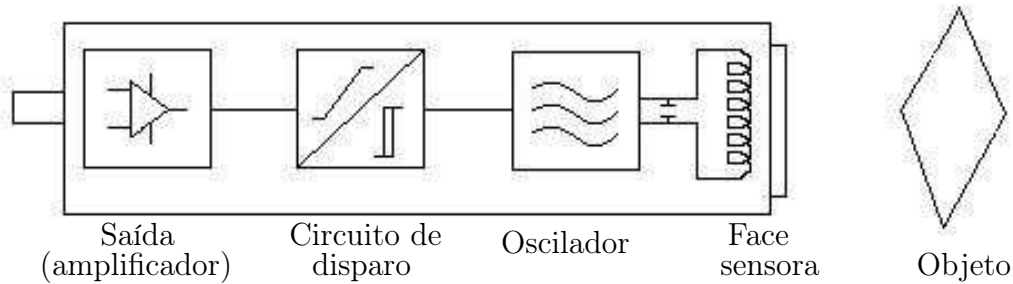


Figura 2.2: Diagrama esquemático de um sensor indutivo mostrando seus componentes principais.

Os sensores indutivos encontram-se nas configurações blindada e não-blindada. Estas configurações são influenciadas pelo local de instalação do sensor. Conforme pode ser verificado na figura 2.3, o campo eletromagnético de um sensor não-blindado não está concentrado apenas à frente da sua face sensora, mas estende-se até a lateral do sensor. Desta forma, sensores não-blindados quando instalados em superfícies metálicas, induzirão nestas superfícies correntes de fuga, gerando um fluxo magnético que enfraquecerá o campo gerado pelo sensor, que será detectado pelo circuito de disparo, causando por fim a comutação da saída do sensor. Por este motivo, sensores indutivos não-blindados não devem ser instalados em superfícies metálicas. Para instalação em tais superfícies, são utilizados os sensores indutivos blindados. Conforme apresentado na figura 2.4, os sensores blindados geram um campo eletromagnético direcionado para a frente da sua face sensora, desta forma eliminando o problema da indução de correntes de fuga na superfície de instalação. Maiores distâncias de detecção podem ser obtidas com a utilização de sensores não blindados, devido ao seu campo eletromagnético ser menos concentrado.



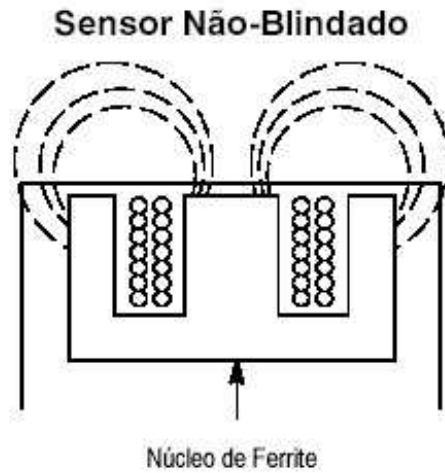


Figura 2.3: Sensor indutivo não-blindado.

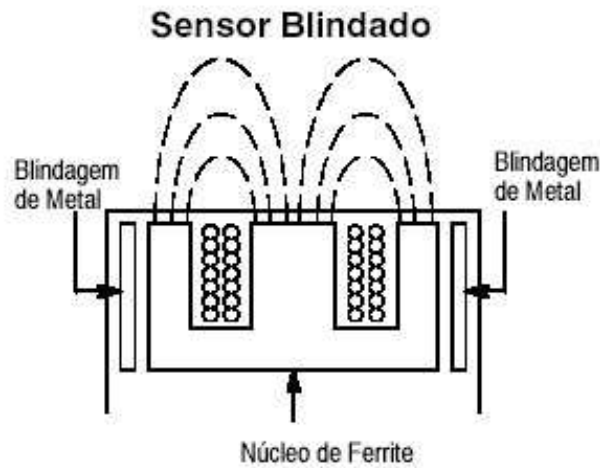


Figura 2.4: Sensor indutivo blindado.

## 2.3 Sensores capacitivos

Os sensores de proximidade capacitivos são sensores ativos de presença projetados para operar gerando um campo eletrostático e detectando mudanças neste campo causadas quando um objeto se aproxima do sensor. Estes sensores são compostos de uma ponta capacitiva (também chamada de ponta de compensação), um oscilador, um retificador de sinal, um circuito de filtragem e um circuito de saída, como mostrado na figura 2.5.

Na ausência de um objeto, o oscilador está inativo. Quando um objeto se

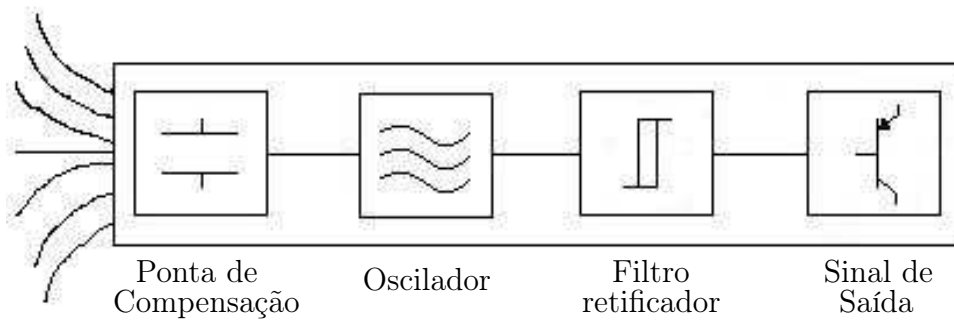


Figura 2.5: Diagrama esquemático de um sensor capacitivo mostrando seus componentes principais.

aproxima, ele aumenta a capacitância do circuito da ponta capacitiva. Uma vez que a capacitância atinge um determinado valor, o oscilador é ativado, ativando assim o circuito de saída e fazendo com que seu estado seja comutado.

A capacitância do circuito da ponta de compensação é determinada pelo tamanho do objeto, sua constante dielétrica e a distância até a ponta. Quanto maior for o tamanho do objeto a ser detectado e sua constante dielétrica, mais este irá contribuir para o aumento da capacitância. Uma redução da distância entre o objeto e a ponta de compensação também irá contribuir para o aumento da capacitância.

Para melhorar a sensibilidade e reduzir o efeito das bordas, o sensor capacitivo pode ser fornecido com uma blindagem. Tal blindagem é posicionada em torno dos lados inoperantes da ponta capacitiva e alimentada com a tensão igual àquela da ponta. Como a blindagem e as tensões da ponta estão em fase e têm a mesma amplitude, nenhum campo elétrico existe entre os dois e todos os componentes posicionados atrás da blindagem não influenciam na operação.

Os sensores de proximidade capacitivos blindados são mais indicados para a detecção de materiais de constantes dielétricas baixas e, portanto, de mais difícil detecção. O campo eletrostático concentrado permite detectar objetos que os sensores não blindados ignoram. Por outro lado, isto os torna mais suscetíveis à falsa comutação, devido ao acúmulo de sujeira ou umidade na face ativa do sensor.

O campo eletrostático de um sensor não blindado é menos concentrado, o que os torna mais indicados para detectar materiais de constantes dielétricas altas,

ou para diferenciar entre materiais de constantes altas e baixas. Para os objetos de constante dielétrica elevada, os sensores não blindados apresentam um maior alcance de detecção do que os blindados.

Os sensores não blindados são equipados com uma ponta de compensação que permite que o sensor ignore névoa úmida, poeira, pequenas quantidades de sujeira e pequenos respingos de óleo ou água que se acumulem no sensor. A ponta de compensação também torna o sensor resistente a variações da umidade ambiente.

## 2.4 Sensores ultra-sônicos

As ondas ultra-sônicas são ondas acústicas com frequências além da capacidade da audição humana (isto é, acima de 20 kHz).

Os sensores ultra-sônicas geram ondas ultra-sônicas a partir do movimento de uma superfície. Este movimento cria a compressão e a expansão de um meio, que pode ser um gás, líquido ou sólido. O tipo mais comum de dispositivo de excitação que pode gerar o movimento de uma superfície na escala ultra-sônica é um transdutor piezoelétrico [4]. Isto implica que o dispositivo piezoelétrico converte diretamente a energia elétrica em energia mecânica.

O transdutor piezoelétrico utiliza-se do efeito piezoelétrico, sendo este o efeito no qual a energia é convertida entre as formas mecânica e elétrica. A palavra *piezo* deriva do grego *piezen*, e significa pressão. Desta forma, quando uma pressão é aplicada a um cristal polarizado, a deformação mecânica resulta em uma carga elétrica. O efeito piezoelétrico consiste na variação das dimensões físicas de certos materiais quando sujeitos a campos elétricos e vice-versa, portanto, um material piezoelétrico produz carga elétrica quando uma pressão mecânica é aplicada neste. Da mesma forma, uma deformação mecânica é produzida quando um campo elétrico é aplicado no material piezoelétrico.

As ondas sonoras geradas pelos sensores ultra-sônicos são transmitidas na forma de um cone como mostra a figura 2.6. Ao interceptar um objeto esta onda é refletida de volta ao sensor passando informações a respeito da distância do objeto

ao sensor e velocidade de deslocamento do mesmo. Estas informações são extraídas respectivamente do intervalo de tempo entre a emissão e o retorno da onda sonora e da diferença entre as frequências das ondas emitida e retornada<sup>1</sup>. Existem algumas variáveis que podem afetar a propagação e reflexão das ondas sonoras causando distúrbios a detecção, sendo estas: ângulo de superfície do alvo, a aspereza da superfície reflexiva ou mudanças na temperatura ou na umidade. O formato do objeto afeta a quantidade de energia sonora refletida, entretanto mesmo objetos de formatos irregulares ou objetos arredondados refletirão uma parcela da onda ultra-sônica de volta ao sensor.

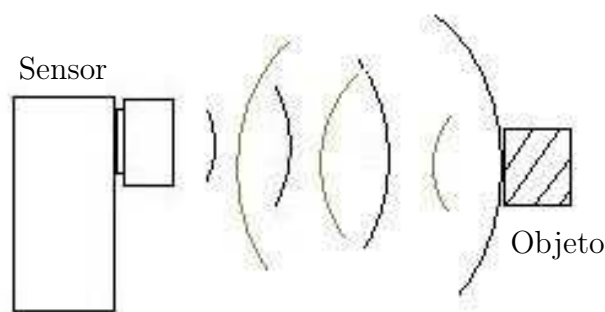


Figura 2.6: Transmissão e reflexão da onda ultra-sônica.

Desta forma, conclui-se do acima exposto que os sensores ultra-sônicos são sensores ativos de presença e de movimento e apresentam a vantagem de não apenas detectar a presença dos objetos, mas possibilitam o cálculo da distância dos mesmos e da velocidade com a qual se deslocam. Outras vantagens destes sensores é a possibilidade de detecção de objetos pequenos sobre distâncias longas e a resistência aos distúrbios externos tais como vibração, radiação infravermelha, ruídos ambientais, e radiação eletromagnética.

A configuração mais encontrada dos sensores ultra-sônicos é a montagem do emissor e do receptor no mesmo encapsulamento. Entretanto, os sinais ultra-sônicos podem ser utilizados para a criação de uma barreira ultra-sônica. Nesta configuração o emissor e o receptor estão posicionados de forma oposta e não mais no mesmo

---

<sup>1</sup>A diferença entre as frequências das ondas emitida e recebida é devida ao efeito Doppler, que aplica-se à propagação de qualquer energia na forma de uma onda. [5]

encapsulamento. A detecção do objeto ou pessoa se dará uma vez que o sinal ultra-sônico, que agora acopla o emissor ao receptor, for interrompido [6]. Esta configuração está representada na figura 2.7.

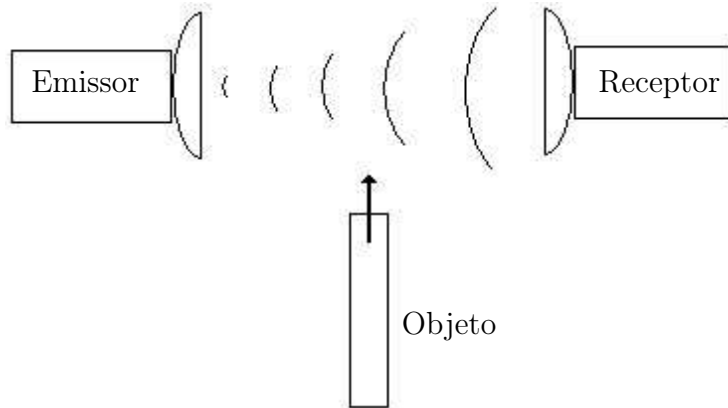


Figura 2.7: Barreira ultra-sônica de modo oposto.

Os sensores ultra-sônicos que possuem ambos emissor e receptor no mesmo encapsulamento possuem os seguintes métodos de detecção:

**Difuso** - Detecta um objeto na faixa da distância de detecção. A onda sonora se choca com o alvo (objeto ou pessoa) e é refletida de volta ao sensor. Esta onda é então percebida e o sensor comuta sua saída. Esta configuração é utilizada normalmente para detectar presença ou contagem de peças. Esta configuração está representada na figura 2.6.

**Reflexivo** - Utilizando os objetos de fundo como refletores para as ondas sonoras, estes sensores emitem e recebem constantemente estas ondas. Quando um alvo (objeto ou pessoa) entra na área de detecção deste sensor, entre o sensor e os refletores de fundo, o feixe sonoro é então interrompido e ocorre a detecção. Esta configuração é utilizada normalmente para a detecção de objetos com superfícies irregulares ou que absorvem o som. Esta configuração está representada na figura 2.8.

**Difuso com supressão de fundo** - Este modo é semelhante ao difuso diferenciando-se pela possibilidade de delimitar a distância de detecção a uma determinada zona de interesse.

**Difuso com supressão de frente** - Modo semelhante ao difuso com supressão

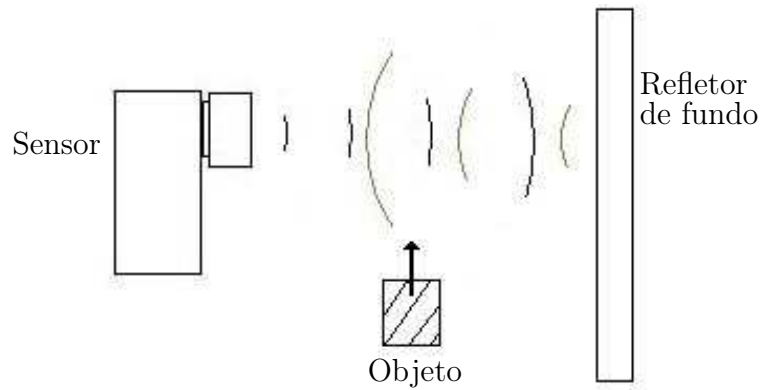


Figura 2.8: Barreira ultra-sônica de modo reflexivo.

de fundo porém determinando-se a distância mínima na qual o alvo deverá estar posicionado para que a saída do sensor seja comutada.

**Difuso com supressão de frente e de fundo** - Este modo reúne as características de operação dos últimos dois modos. O alvo deverá estar posicionado em um determinado intervalo, entre uma distância mínima e uma máxima, para que ocorra a detecção do mesmo e a comutação da saída do sensor.

## 2.5 Sensores fotoelétricos

Um sensor fotoelétrico é um sensor ativo de presença que detecta um feixe de luz visível ou invisível, e responde a uma variação na intensidade de luz recebida. O diagrama esquemático de um sensor fotoelétrico é apresentado na figura 2.9.

Um sensor fotoelétrico possuiu dois componentes principais: emissor e receptor. O emissor contém a fonte de energia luminosa, que pode ser um diodo emissor de luz (LED - *Light emitting diode*) ou um laser, e esta fonte luminosa é modulada por um oscilador. O receptor contém um elemento optoeletrônico, tal como um fotodiodo ou um fototransistor, que detecta a luz vinda do emissor e converte a intensidade de luz recebida em uma tensão elétrica. O fotodiodo é um diodo semicondutor de junção PN construído de modo a possibilitar a utilização da luz como fator determinante no controle da corrente elétrica. O mesmo opera com polarização reversa e caracteriza-se por ser sensível à luz e por possuir uma rápida resposta. A

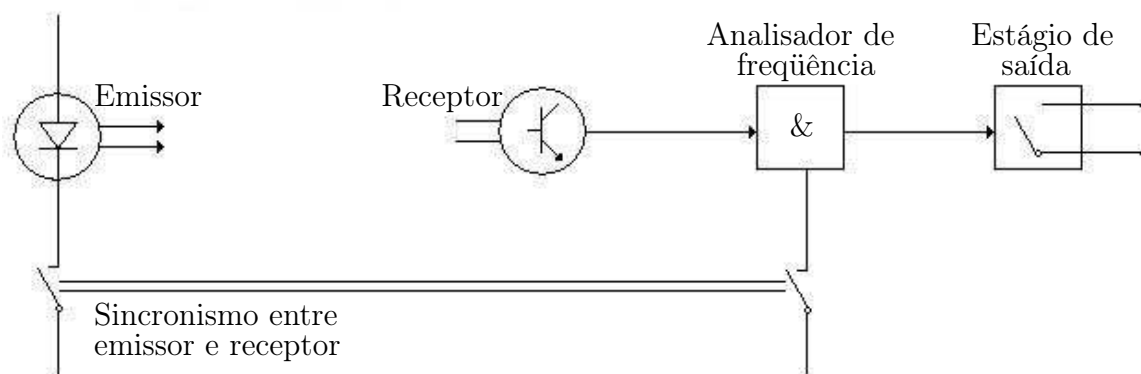


Figura 2.9: Diagrama esquemático de um sensor fotoelétrico mostrando seus componentes principais.

aplicação de luz à junção resulta em uma transferência de energia das ondas luminosas incidentes (na forma de fótons) para a estrutura atômica, resultando em um aumento do número de portadores minoritários e um aumento do nível da corrente reversa. Em resumo, pode-se dizer que um fotodiodo é um dispositivo que converte luz recebida em corrente elétrica. Um fototransistor tem funcionamento semelhante ao de um fotodiodo, mas com uma resposta muito maior à luminosidade, uma vez que os elétrons liberados pelos fótons na junção base-coletor são injetados na base, e esta corrente é assim amplificada pela operação do transistor. Os fototransistores possuem um tempo de resposta mais lento do que os fotodiodos.

A intensidade luminosa convertida em tensão pelo elemento optoeletrônico é amplificada e demodulada. O receptor é ajustado para a frequência do seu emissor, ignorando assim as demais luzes do ambiente, e irá produzir um sinal de saída quando a luz recebida estiver acima ou abaixo de um valor previamente especificado.

O modo de detecção, que é o método com o qual um sensor envia e recebe a luz, é um dos critérios mais importantes na seleção de um sensor fotoelétrico. Sua escolha adequada agregará confiabilidade à detecção dos objetos desejados, rejeitando perturbações decorrentes de fatores ambientais, relacionados às condições nas quais o sensor encontra-se comissionado.

Os modos de detecção são:

- Modo oposto
- Modo retrorreflexivo
- Modo difuso
- Modo divergente
- Modo difuso com supressão de fundo

Uma característica importante para todos os modos de detecção listados acima é o *ganho em excesso*. O Ganho em excesso é a quantidade de energia luminosa medida acima ou abaixo da quantidade mínima para comutar a saída do sensor. O sinal luminoso que é emitido pelo sensor é projetado para um determinado nível de desempenho. Entretanto, impurezas presentes no ambiente de instalação dos sensores, como poeira, névoa ou umidade, podem causar a atenuação deste sinal. O ganho em excesso pode ser considerado como a energia extra disponível para superar esta atenuação, e pode ser definido como:

$$\text{Ganho em excesso} = \frac{\text{Quantidade de luz incidindo no receptor}}{\text{Quantidade mínima de luz para comutacao}}$$

A curva do ganho em excesso é parte importante de toda especificação de sensores fotoelétricos. Esta curva mostra o ganho em excesso disponível para um sensor em particular como uma função da distância, e são desenhadas para a condição ideal de um ambiente livre de impurezas.

### 2.5.1 Modo oposto de detecção

Este modo é também conhecido como sensor de barreira. Por ser o método mais confiável, este é também o mais utilizado.



No modo oposto de detecção, o emissor e o receptor estão em carcaças separadas, conforme mostra a figura 2.10. O emissor é posicionado de forma oposta ao receptor, de forma que o feixe de luz liga ambos diretamente e um objeto é detectado quando interrompe o feixe efetivo de luz, que é definido como a parte do feixe que realmente acopla o emissor ao receptor. Esta característica confere o alto grau de confiabilidade do modo.

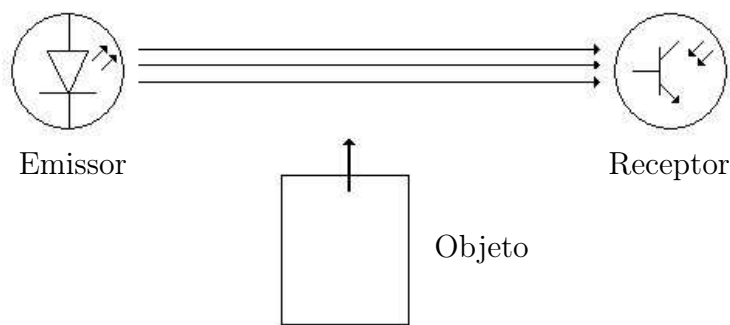


Figura 2.10: Modo oposto de detecção.

Devido ao posicionamento do emissor e do receptor o modo oposto de detecção possui um alto ganho em excesso, bem acima de todos os outros modos de detecção, o que o faz altamente desejável para instalação em áreas em que a atenuação ótica é alta. Este é o caso de aplicações em que a distância de detecção é longa ou a detecção é desejada através de um filme, óleo ou ambiente com muita poeira, fumaça ou condensação. Da mesma forma que um alto ganho em excesso é desejável na detecção de muitos objetos, o mesmo poderá resultar na não detecção de materiais como papel, tecidos ou plásticos, uma vez que o feixe de luz poderá atravessá-los com uma intensidade ainda capaz de sensibilizar o receptor. Este problema pode ser contornado controlando-se a sensibilidade do sensor, ajustando o seu amplificador de forma a definir as faixas esperadas de intensidade do feixe de luz, ou pode-se ainda enfraquecer o feixe pela adição de fendas ou causando um desalinhamento proposital entre o emissor e o receptor.

Para que um objeto seja detectado neste modo, é necessário que o mesmo atravesse o caminho ótico do feixe de luz, passando fisicamente entre o emissor

e o receptor. Uma vez interrompido o feixe efetivo de luz, o objeto é detectado. Variáveis como a refletividade da superfície do objeto, cor e acabamento não afetam este modo de detecção. Objetos transparentes como, por exemplo, garrafas de vidro, possivelmente não serão detectados por este tipo de sensor, não sendo recomendado sua aplicação para estes casos.

Por apresentar um feixe efetivo bem definido, este modo de detecção pode ser utilizado, por exemplo, para contagem de peças, desde que o feixe efetivo não seja mais espesso do que as peças. Se isto ocorrer, o feixe pode ser moldado pela utilização de lentes ou fibra ótica de forma a detectar os objetos desejados.

### 2.5.2 Modo retrorreflexivo de detecção

Depois do modo oposto, o retrorreflexivo é o modo que oferece o nível mais elevado de confiabilidade e oferecem distâncias de detecção relativamente longas. Ao contrário de um sensor oposto, o retrorreflexivo contém os elementos do emissor e do receptor no mesmo encapsulamento. Seu feixe efetivo é estabelecido entre o emissor, o retrorrefletor, e o receptor, conforme mostra a figura 2.11. A detecção ocorre quando o objeto interrompe tal feixe, desta forma, estes tipos de sensores não são dependentes da refletividade dos objetos a serem detectados. Objetos transparentes possivelmente não serão detectados por este método, sendo a utilização deste tipo de sensor não recomendada para tal fim.

A maioria dos retrorrefletores são compostos de pequenos prismas de vértice cúbico, que possuem três faces mutuamente perpendiculares. Estes refletores assemelham-se a refletores de bicicleta, e são moldados utilizando plástico acrílico, manufaturado em vários tamanhos, formas, e cores. A ótica de retrorrefletores de boa qualidade é projetada para minimizar o efeito de *proximity*, que acontece quando uma reflexão não desejada do feixe de luz ocorre diretamente de volta do objeto de detecção que supostamente deveria interromper o feixe. A eficiência do retrorrefletor é fortemente dependente do material do qual o mesmo é composto.

Pela dificuldade de criar um feixe efetivo pequeno com este tipo de sensor, não é aconselhável a sua utilização para detectar objetos pequenos ou para controle

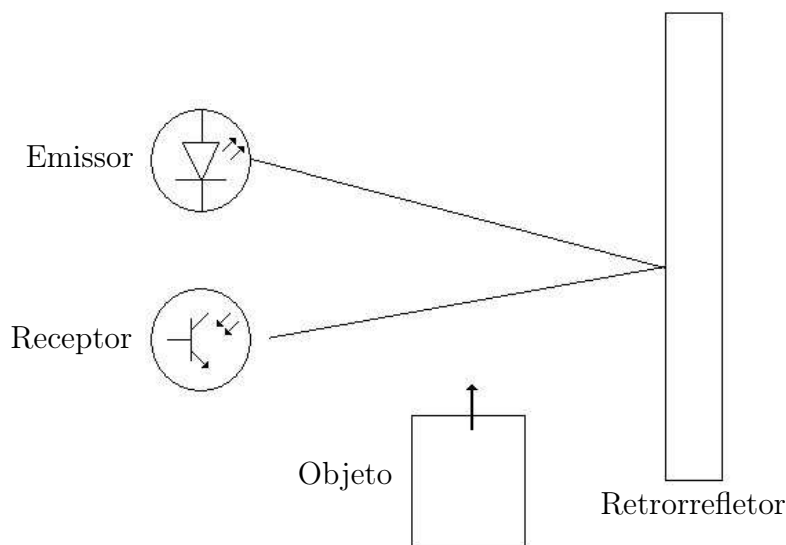


Figura 2.11: Modo de detecção retrorreflexivo.

preciso de posição.

Dependendo das distâncias envolvidas, o tamanho do retrorrefletor torna-se importante. A largura do padrão do feixe para cada sensor serve com uma estimativa do quanto de área refletiva deverá ser utilizada para retornar a máxima quantidade de luz. O tamanho do retrorrefletor afeta a distância de detecção. Quanto menor o objeto a ser detectado, menor deverá ser o feixe efetivo e menor será a distância de detecção.

Comparados com os sensores opostos, os retrorreflexivos perdem o ganho em excesso duas vezes mais rápido, devido a sujeira acumulada nas lentes do sensor e do retrorrefletor. Isto ocorre pelo fato do feixe de luz atravessar quatro lentes - do emissor para o retrorrefletor e de volta do retrorrefletor ao receptor. Outra razão para estes sensores apresentarem um ganho em excesso menor, se deve ao fato da luz viajar uma distância duas vezes maior para atingir o receptor do que nos sensores de modo oposto.

A maioria dos sensores retrorreflexivos são projetados para uma detecção em longas distâncias, não sendo possível sua utilização para a detecção em pequenas distâncias. Isto ocorre uma vez que na área próxima das lentes do sensor, a energia luminosa é retornada ao emissor e não ao receptor. Esta área é chamada de *ponto*

*cego*. A curva de *ganho em excesso* do sensor poderá ser verificada para que a localização do *ponto cego* seja conhecida.

### 2.5.3 Modo difuso de detecção

No modo de detecção difuso, a luz emitida pelo sensor incide na superfície do objeto a ser detectado e é difundida de volta, enviando uma fração desta ao receptor, que normalmente é encapsulado junto ao emissor, como mostrado na figura 2.12. A detecção ocorre não mais quando o objeto interrompe o feixe de luz, mas sim quando estabelece o mesmo.

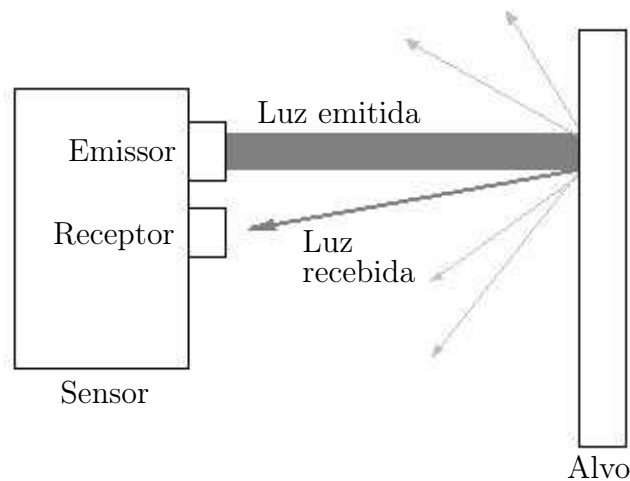


Figura 2.12: Modo de detecção difuso.

A maioria dos sensores difusos utiliza lentes para converter os feixes de luz, que são emitidos, em feixes paralelos para assim captar mais luz. Estas lentes aumentam também o alcance destes sensores e são chamadas de *lentes colimadoras*.

Os sensores difusos são extremamente simples com relação a sua instalação, uma vez que somente é necessária a instalação do sensor em si, que possuiu o emissor e o receptor em uma mesma carcaça. Isto é ideal para situações em que o sensor pode apenas ser posicionado de um lado, diferente dos sensores de modo oposto.

A resposta neste modo de detecção é influenciada pela refletividade da superfície do objeto a ser detectado. Esta refletividade afeta diretamente a distância na qual o mesmo pode ser detectado. Estes sensores não são confiáveis para contar

objetos de vidro, pequenos, de superfícies irregulares, ou partes que se encontram a distâncias variadas do sensor.

A forma do objeto a ser detectado é tão importante quanto sua refletividade. Objetos arredondados apresentam-se ao sensor com uma menor superfície para a reflexão, e desta forma possuem um sinal de retorno também menor.

A utilização de lentes colimadoras maximiza o alcance dos sensores difusos, entretanto, quando detectando objetos brilhosos, estas lentes irão afetar o ângulo de detecção. O sensor deverá estar perfeitamente paralelo ao objeto que é detectado de forma a garantir um sinal de retorno de luz adequado.

A distância dos sensores de modo difuso aos objetos de fundo deverá ser também considerada na utilização destes sensores. Alguns fabricantes recomendam que esta distância seja pelo menos quatro vezes maior do que a distância do sensor ao objeto a ser detectado. Entretanto, se os objetos de fundo forem mais reflexivos do que os objetos a serem detectados, uma maior distância será necessária. Caso o fundo não possa ser controlado, deverão ser utilizados sensores com supressão de fundo. Tais sensores serão abordados na seção 2.5.5.

Devido ao acúmulo de sujeira em suas lentes, os sensores difusos tendem a perder o seu ganho muito rapidamente. Em alguns casos, a sujeira acumulada nas lentes pode direcionar o feixe de luz do emissor diretamente ao receptor, de forma que o sensor irá informar que um objeto está constantemente à sua frente.

#### **2.5.4 Modo divergente de detecção**

Os sensores de modo divergente produzem um feixe amplo de luz. Este feixe emitido pelo sensor incide na superfície do objeto e é difundida de volta, enviando uma pequena quantidade de luz ao receptor, que normalmente está encapsulado junto ao emissor, conforme mostrado na figura 2.13.

Estes sensores são diferentes dos sensores difusos por não utilizarem lentes colimadoras. Ao invés de um feixe concentrado, o sensor divergente emite um feixe amplo de luz. Desta forma, alguma parte do objeto estará sempre perpendicular ao feixe, o que auxiliará no retorno do feixe de luz ao receptor.

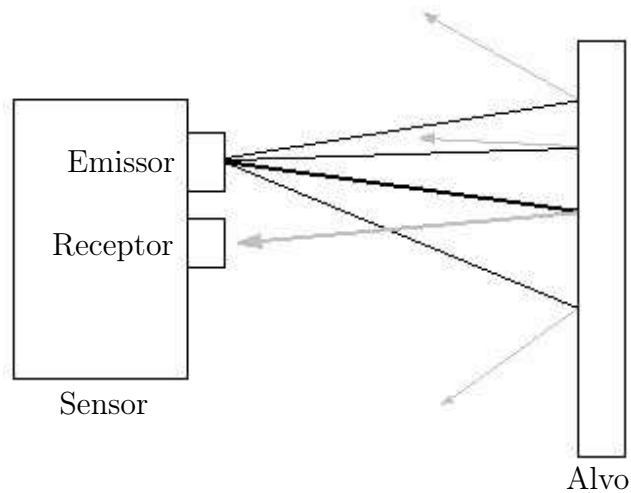


Figura 2.13: Modo de detecção divergente.

Devido a característica do seu feixe de luz, os sensores divergentes perdem o ganho em excesso rapidamente com o aumento da distância. Por este motivo, devem ser usados apenas para detectar objetos a uma pequena distância e em ambientes limpos, sem a presença de poeira, névoa ou outros fatores ambientais que atrapalhem a propagação do feixe luminoso.

### 2.5.5 Modo de detecção difuso com supressão de fundo

Sensores com supressão de fundo são sensores difusos que possuem um limite definido para o seu alcance de detecção, desta forma ignorando objetos que estejam fora deste alcance. Existem dois tipos de supressão de fundo: campo fixo e campo ajustável.

Sensores de campo fixo comparam a quantidade de luz refletida que é percebida por receptores direcionados para pontos distintos. O primeiro receptor servirá neste caso como uma referência de distância de detecção, sendo direcionado a um ponto que esteja no limite da distância de detecção desejada, enquanto que o segundo receptor estará direcionado de forma a receber a luz refletida nos objetos a serem de fato detectados. Se a intensidade da luz que alcança o segundo receptor for igual ou maior que a intensidade da luz alcançando o primeiro, o objeto então será detectado.

Enquanto que nos sensores de campo fixo, feixes luminosos distintos são convertidos em correntes elétricas pelo elemento optoeletrônico (fotodiodo ou fototran-

sistor), nos sensores de campo ajustável apenas uma corrente é produzida pelo elemento optoeletrônico e será relativa ao feixe luminoso refletido pelo objeto a frente do sensor. Para determinar se o objeto encontra-se dentro da zona de interesse para a detecção, esta corrente é comparada a uma corrente de referência interna do sensor, podendo esta corrente de referência ser ajustada por meio de um potenciômetro para corresponder a distância de detecção desejada.

O ganho em excesso dentro do campo de detecção é normalmente alto, permitindo que mesmo objetos de superfície não reflexiva sejam detectados.

## 2.6 Sensores óticos

Os sensores óticos são outro tipo muito popular de sensores ativos de presença utilizados para medir posição e deslocamento. Suas vantagens principais são a simplicidade, possibilidade de utilização em distâncias relativamente longas e não são sensíveis a campos magnéticos e interferências eletrostáticas. Um sensor de posição ótico é composto de pelo menos três componentes essenciais: uma fonte luminosa, um fotodetector, e um dispositivo para a orientação da luz (lentes, espelhos, fibra óptica, etc.).

Um método de detecção utilizado por sensores de proximidade faz uso da luz polarizada. Cada fóton de luz tem os sentidos dos campos magnético e elétrico perpendiculares entre si e à direção de propagação. A direção do campo elétrico é a direção de polarização da luz. A maioria das fontes luminosas produzem a luz com os fótons polarizados de forma aleatória. Para polarizar a luz, a mesma deve atravessar um polarizador, (isto é, um material que transmite a luz polarizada somente em um sentido e absorve e reflete os fótons com polarizações erradas).

Quando a luz polarizada incide em um objeto, a luz refletida pode reter sua polarização ou o ângulo de polarização pode mudar. O último é típico para muitos objetos não metálicos. Sensores óticos que utilizam a luz polarizada para detectar objetos são eficazes em aplicações aonde o feixe luminoso não é interrompido, mas apenas levemente atenuado, como no caso da detecção de materiais transpa-

rentes. Para tornar possível esta detecção, uma das técnicas é a utilização de dois polarizadores com o mesmo sentido de polarização, localizados respectivamente no emissor e no receptor do feixe de luz. Ao atravessar materiais transparentes, a luz polarizada perde parte da sua polarização, e apenas uma pequena parcela do feixe luminoso emitido atravessará o segundo polarizador para alcançar o receptor, desta forma possibilitando a detecção do material.

## 2.7 Detectores de movimento por infra-vermelho

Os sensores infra-vermelhos são sensores passivos de movimento que operam na faixa ótica da radiação térmica e respondem ao calor irradiado entre o elemento sensor e o objeto em movimento [4]. O princípio da detecção de movimento por calor é baseado na teoria da emissão de radiação eletromagnética de qualquer objeto cuja temperatura seja superior ao zero absoluto.

Todos os objetos emitem radiação térmica e a intensidade desta radiação é governada pela lei de Stefan-Boltzmann <sup>2</sup>. Para a detecção de movimento é necessário que a temperatura da superfície do objeto ou corpo a ser detectado seja diferente da temperatura dos objetos ao redor, de forma que um contraste térmico possa existir. A tensão de saída de um sensor infra-vermelho é dada pela equação 2.1,

$$V = G(T_b^4 - T_s^4) \quad (2.1)$$

aonde  $T_b$  é a temperatura absoluta do objeto de detecção e  $T_s$  é a temperatura absoluta da face do sensor e  $G$  é uma constante.

Existem três tipos de elementos sensores que podem ser utilizados neste tipo de detector: termistores, termopilhas e piroelétricos. Entretanto, devido a sua simplicidade, baixo custo e alta resposta, os piroelétricos são os mais utilizados. Todo material piroelétrico é também piezoelétrico e gera uma carga elétrica em resposta

---

<sup>2</sup>A lei de Stefan-Boltzmann é a parábola de quarta ordem

$$\Phi_{b0} = A\varepsilon\sigma T^4$$

Aonde  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann e vale  $5,67 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$ ,  $A$  é um fator referente a geometria e  $\varepsilon$  é a emissividade da superfície [4].



a um fluxo de energia térmica pelo seu corpo uma vez que o calor absorvido causará a expansão do elemento sensor. A pressão térmica induzida leva a geração de carga piezoelétrica nos seus eletrodos, resultando assim em uma tensão elétrica.

## 2.8 Sensores de pressão

Um extensômetro (*Strain gauge*) é um elemento sensor com base num condutor ou semicondutor cuja resistência varia em função da deformação a que está sujeito. Devido ao elevado número de parâmetros mecânicos que se podem traduzir, direta ou indiretamente, a partir da deformação dos corpos, este tipo de dispositivo possui uma variedade de aplicações, desde medição de deslocamentos e vibrações até medição de pressões ou detecção de presença.

O funcionamento deste tipo de sensor se baseia no fato de que as variações das dimensões de um corpo se traduzem na variação de sua resistência. A esta variação da resistividade face a uma deformação mecânica é dado o nome de efeito piezoresistivo. O efeito piezoresistivo permite calcular o valor da força a que o extensômetro está sujeito, uma vez que existe uma relação entre a deformação sofrida pelo material e a força que a originou.

Outra forma de medir a pressão é com a utilização de cristais piezoelétricos. Conforme apresentado na seção 2.4, estes cristais quando submetidos a deformação mecânica, geram uma tensão elétrica. Esta tensão elétrica é então utilizada para calcular a força necessária para causar tal deformação.

Estes sensores são comumente utilizados no piso, sob tapetes para detectar a presença de objetos ou pessoas em uma determinada superfície. Os mesmos não são utilizados para contagem de peças.

Uma grande diferença entre os extensômetros e os sensores piezoelétricos é que os primeiros não são capazes de gerar por si só o sinal elétrico de saída e necessitam de uma fonte externa para monitorar o valor de sua resistência. Desta forma, extensômetros são sensores ativos e os sensores piezoelétricos são passivos.

## 2.9 Conclusão

Foi apresentado neste capítulo o princípio de funcionamento dos sensores mais utilizados para detectar presença e movimento, assim como suas principais características e um resumo pode ser encontrado na tabela 2.1. Para escolher entre estas diferentes tecnologias de sensores é necessário avaliar aspectos da aplicação desejada. No próximo capítulo, serão apresentadas características importantes para a escolha entre os diferentes modelos de sensores de presença e movimento, tendo em perspectiva a aplicação dos mesmos.

Tabela 2.1: Principais características dos sensores apresentados neste capítulo.

Sensor	Ativo / passivo	Movimento / presença
Chaves Fim-de-Curso	Ativo	Presença
Indutivos	Ativo	Presença
Capacitivos	Ativo	Presença
Ultra-sônicos	Ativo	Presença e movimento
Fotoelétricos	Ativo	Presença
Óticos	Ativo	Presença
Infra-vermelho	Passivo	Movimento
Pressão - Extensômetro	Ativo	Presença
Pressão - piezoelétrico	Passivo	Presença

## Capítulo 3

# Características importantes para a escolha dos sensores de movimento e presença

Neste capítulo serão apresentadas características da aplicação e dos sensores de movimento e presença que influenciam na escolha dos sensores.

### 3.1 Tipo de material a ser detectado

Para a escolha do tipo de sensor a ser utilizado, é fundamental que conheçamos o material a ser detectado. Conforme apresentado no capítulo 2, alguns sensores detectam exclusivamente materiais metálicos, uns apresentam problemas para detectar materiais transparentes, outros não apresentam bons resultados para a detecção de materiais com superfície reflexiva e assim por diante. Dependendo do tipo de material, fatores tais como o ganho em excesso para os sensores fotoelétricos, e a distância sensora operacional para sensores indutivos, devem ser escolhidos adequadamente.

### 3.2 Função de saída

O chaveamento da saída dos sensores é realizado por um transistor. Quando não ocorre a detecção, o sensor não se encontra acionado. Nesta situação, o transistor localizado na saída do sensor poderá encontrar-se em corte ou ter sua saída saturada, neste caso, a saída do sensor é dita normalmente aberta (NA) ou normalmente fechada (NF), respectivamente. Muitos sensores possuem estas duas saídas, possibi-

litando a escolha de uma para o uso segundo a lógica de funcionamento do sistema ao qual o sensor será integrado.

As saídas dos sensores podem ser classificadas como PNP ou NPN, dependendo do tipo de transistor presente. Na prática, a saída PNP é aquela em que a carga acoplada ao sensor está conectada entre o terminal negativo e o a saída do sensor, e está ilustrada na figura 3.1. A saída NPN é aquela em que a carga acoplada ao sensor está conectada entre o terminal positivo e a saída do sensor, conforme ilustrado na figura 3.2. A carga em ambos casos é o computador industrial ou PLC (*Programmable Logic Controller*) no qual o sensor será conectado.

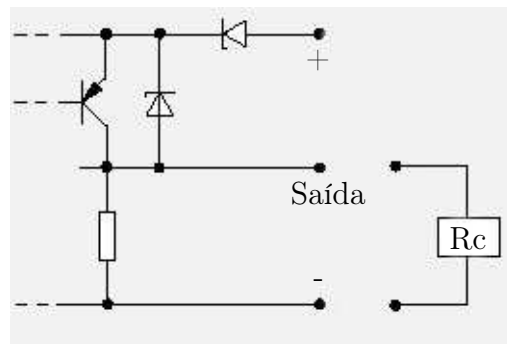


Figura 3.1: Configuração PNP da saída dos sensores.

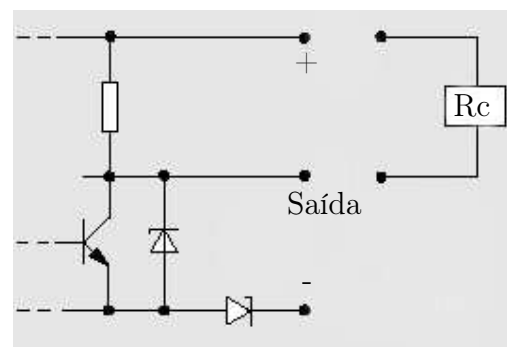


Figura 3.2: Configuração NPN da saída dos sensores.

### 3.3 Distância sensora

A distância sensora nominal é a distância máxima teórica na qual um objeto pode ser detectado.

Para sensores indutivos e capacitivos, a distância sensora é determinada através da detecção de um alvo padrão, e não considera as variações causadas por desvios de fabricação, temperatura e tensão de operação. Esta é a distância na qual os sensores de proximidade são especificados.

Ainda para sensores indutivos e capacitivos, a distância sensora assegurada é a distância em que seguramente pode-se operar, considerando-se todas as variações ignoradas pela distância sensora nominal. Esta distância é sempre menor do que a distância sensora nominal, e o seu valor é especificado na folha de dados dos sensores.

Para sensores capacitivos, uma redução da distância sensora assegurada ocorrerá em função do dielétrico do material a ser detectado. Para sensores indutivos, a distância sensora é especificada para um alvo de aço carbono, devendo ser aplicado um fator de redução para esta distância caso o objeto a ser detectado seja de outro metal.

### 3.4 Histerese

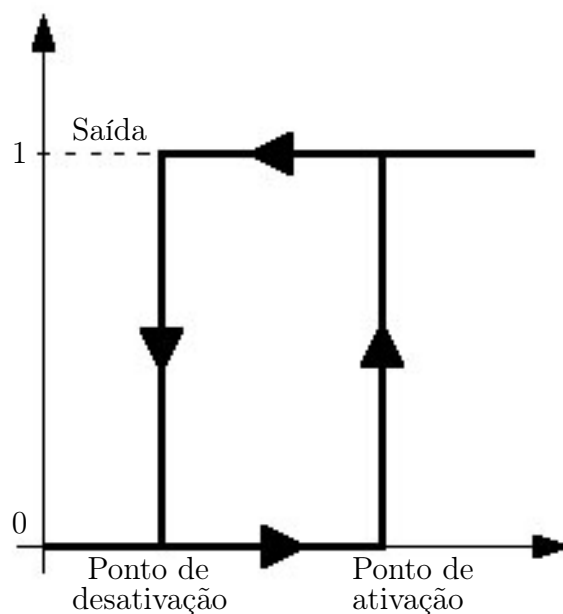


Figura 3.3: Histerese.

Para sensores de proximidade, a histerese é uma característica desejável, que

auxilia no bom funcionamento do mesmo (Fig. 3.3). A histerese, também chamada de curso diferencial, é a distância linear entre os pontos de ativação e de desativação de um sensor de proximidade. A mesma é necessária para ajudar a evitar a oscilação da saída em seqüência muito rápida, quando o sensor estiver sujeito a choques e vibração ou mesmo quando o objeto a ser detectado estiver posicionado exatamente no ponto de alcance nominal. A amplitude de vibração deve ser menor que a faixa de histerese para evitar oscilação.

### 3.5 Freqüência de Comutação

A freqüência de comutação é a máxima velocidade com a qual um sensor pode entregar pulsos individuais discretos quando o objeto a ser detectado entra e sai do campo de detecção. Existem normas internacionais que regulamentam como determinar esta freqüência de comutação, como por exemplo a norma IEC 60947-5-2.

### 3.6 Impedância de saída

É importante conhecer a **impedância de saída**  $Z_{out}$  para melhorar a relação do sensor com o circuito eletrônico. Esta impedância é conectada em paralelo ou em série com a impedância de entrada  $Z_{in}$  do circuito.

### 3.7 Excitação

A **excitação** é o sinal elétrico necessário para a operação do sensor ativo. A excitação é especificada como um intervalo de tensão e/ou de corrente. Para alguns sensores, a freqüência do sinal de excitação e sua estabilidade devem ser especificadas. As variações na excitação podem alterar a função de transferência do sensor e causar erros de saída.

### 3.8 Características dinâmicas

Quando um estímulo de entrada varia, a resposta do sensor geralmente não segue com perfeita fidelidade. A razão é que o sensor e seu acoplamento com a fonte de estímulo podem nem sempre responder imediatamente. Ou seja, um sensor pode ser descrito por uma característica dependente do **tempo**, que é chamada uma **característica dinâmica**. Se um sensor não responde imediatamente, pode indicar valores dos estímulos que são diferentes do real; isto é, o sensor responde com um **erro dinâmico**.

O **tempo de aquecimento** é o tempo entre a aplicação do sinal de excitação e o momento em que o sensor pode operar dentro de sua exatidão especificada. Muitos sensores têm um tempo de aquecimento desprezível. Entretanto, alguns detectores, especialmente aqueles que operam em um ambiente termicamente controlado, podem exigir segundos ou minutos de tempo de aquecimento antes que estejam inteiramente operacionais dentro dos limites especificados de exatidão, como por exemplo, os sensores infra-vermelho.

### 3.9 Fatores ambientais e condições de instalação

As condições do ambiente no qual o sensor será instalado são de extrema importância para sua correta escolha. Caso o ambiente seja um ambiente sujo, empoeirado, sensores fotoelétricos com ganho em excesso baixo não serão eficazes. Dependendo do grau de poluição, o ganho em excesso necessário pode se tornar impraticável, e a utilização de sensores ultrasônicos deverá ser considerada em detrimento dos fotoelétricos.

De acordo com o local de instalação do sensor, deverá ser verificada a característica do envólucro deste, para compatibilizar o grau de proteção (IP - *Ingress Protection*) com o ambiente. O grau IP é determinado através de ensaios definidos em normas internacionalmente aceitas (IEC 60529) e estabelece a proteção do equipamento contra a penetração de partículas sólidas, poeira e água.

Caso a atmosfera no local de instalação do sensor contenha gases inflamáveis,

será necessário que o mesmo seja apropriado para a instalação em tal ambiente. Os sensores próprios para esta utilização são chamados de sensores de **tipo seguro**.<sup>1</sup>

Fatores como disponibilidade de pontos de força para a energização dos sensores devem ser da mesma forma considerada. Este pode ser um fator que decidirá entre a utilização de um sensor de barreira ou um retrorreflexivo, por exemplo. Ainda com relação a instalação, dependendo do tipo de sensor escolhido considerações especiais deverão ser tomadas com relação a superfície de instalação do mesmo.

Por outro lado, as **condições de armazenamento** deverão ser controladas para que durante este período não ocorram danos que possam alterar o desempenho dos sensores. Geralmente, as especificações das condições de armazenamento incluem as mais altas e mais baixas temperaturas de armazenamento e as umidades relativas máximas nestas temperaturas. Dependendo da natureza do sensor, uma limitação específica para o armazenamento pode precisar ser considerada.

A estabilidade é outro aspecto importante para os sensores, e pode ser dividida em estabilidade a curto e longo prazo. A estabilidade a curto prazo é manifestada como mudanças no desempenho do sensor dentro dos minutos, horas, ou mesmo dias. A estabilidade a longo prazo pode relacionar-se ao envelhecimento dos materiais do sensor, que é uma mudança irreversível nas propriedades elétricas, mecânicas, químicas, ou térmicas do material. Acontece sobre um intervalo de tempo relativamente longo, tal como meses e anos. A estabilidade a longo prazo é de suma importância para os sensores usados em medidas de precisão. O envelhecimento depende principalmente das condições ambientais do armazenamento e de funcionamento, de como os componentes do sensor são isolados do ambiente, e de que materiais são usados para sua fabricação. O fenômeno do envelhecimento é típico para os sensores que têm componentes orgânicos e, geralmente, não é um problema para um sensor feito somente de materiais inorgânicos. Uma maneira de melhorar a estabilidade a longo prazo é envelhecer o componente em circunstâncias extremas. Por exemplo,

---

<sup>1</sup>Áreas com atmosferas potencialmente explosivas são conhecidas como áreas ou zonas perigosas/classificadas. As normas IEC 60079-10, IEC 61892-7 e API Recommended practice 505 estabelecem os critérios para a classificação dessas áreas e as proteções que os equipamentos elétricos instalados nestas deverão apresentar.



um sensor pode periodicamente ser levado do congelamento às altas temperaturas. Tal envelhecimento acelerado realça não somente a estabilidade das características do sensor mas igualmente melhora a confiabilidade, porque o processo de envelhecimento revela muitos defeitos escondidos.

Os fatores de **temperatura** são muito importantes para o desempenho do sensor; devem ser sabidos e levados em consideração. A faixa de temperatura de funcionamento é o intervalo de temperaturas ambientais dadas por seus extremos superior e inferior dentro da qual o sensor mantém sua exatidão especificada. Considerações especiais deverão ser feitas para a operação de sensores em temperaturas acima de  $70^{\circ}C$ .

### 3.10 Confiabilidade

A **confiabilidade** é a habilidade de um sensor de executar uma mesma função sob determinadas condições por um determinado período e é expressa em termos estatísticos como uma probabilidade de que o dispositivo funcionará sem falha sobre um determinado período ou ciclos de utilização. Especifica uma falha, provisória ou permanente, excedendo os limites de desempenho de um sensor sob circunstâncias de funcionamento normais.

### 3.11 Objetivo da detecção

Em algumas aplicações os sensores podem ser utilizados com a finalidade de detecção e contagem de peças, objetos e pessoas. Podem em outras aplicações apenas detectar a presença de pessoas ou objetos com a finalidade de garantir a segurança de pessoas e equipamentos. Dependendo do objetivo da detecção pode-se escolher entre as diversas tecnologias de sensores de presença e movimento.

### 3.12 Conclusão

Neste capítulo foram apresentadas características importantes para a escolha entre os diferentes modelos de sensores de presença e movimento, tendo em vista a apli-

cação dos mesmos. No próximo capítulo será apresentada uma comparação entre os diferentes tipos de sensores e as aplicações possíveis para estes.

# Capítulo 4

## Comparação entre os tipos de sensores e aplicações

Conforme apresentado no capítulo 2, existem diversas tecnologias disponíveis de sensores. Neste capítulo será discutido como escolher o sensor apropriado para uma aplicação específica, baseado nas características importantes para a escolha dos sensores apresentadas no capítulo 3.

A escolha do sensor apropriado começa com a análise de alguns pontos fundamentais.

### 4.1 Ambiente de instalação

#### 4.1.1 Aspectos gerais comuns a todos os sensores

Independente do tipo de sensor escolhido, atenção deve ser dada ao grau de proteção do sensor, conforme apresentado na seção 3.9. Caso o grau IP do sensor não esteja de acordo com o local de instalação, o mesmo apresentará falhas devido a penetração de água e/ou poeira no seu invólucro. As tabelas 4.1 e 4.2 foram extraídas da norma IEC 60529 - *Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)*, e apresentam as proteções definidas para diferentes graus de proteção.

Por exemplo, sensores com grau de proteção IP-66 possuem vedação contra poeira e são protegidos contra jatos d'água fortes, sendo indicados para instalação em ambientes agressivos. Entretanto, não podem ser instalados em ambientes aonde exista o risco de imersão em água.

Quando for necessária uma análise do grau de proteção frente a um ambiente de

Tabela 4.1: Graus de proteção contra objetos sólidos indicados pelo primeiro algarismo do código IP. Fonte: IEC 60529 [7]

Primeiro Algarismo	Grau de proteção Breve descrição	Definição
0	Não protegido	-
1	Protegido contra objetos sólidos de 50mm Ø ou maiores	Objeto de teste, esférico de 50mm Ø, não deverá penetrar
2	Protegido contra objetos sólidos de 12,5mm Ø ou maiores	Objeto de teste, esférico de 12,5mm Ø, não deverá penetrar
3	Protegido contra objetos sólidos de 2,5mm Ø ou maiores	Objeto de teste, esférico de 2,5mm Ø, não deverá penetrar
4	Protegido contra objetos sólidos de 1,0mm Ø ou maiores	Objeto de teste, esférico de 1,0mm Ø, não deverá penetrar
5	Proteção contra poeira	A entrada de poeira não é totalmente prevenida, mas a poeira não deverá penetrar em uma quantidade que interfira com a operação satisfatória do sensor ou prejudique a segurança.
6	Vedação contra poeira	Não existe entrada de poeira

Tabela 4.2: Graus de proteção contra água indicada pelo segundo algarismo do código IP. Fonte: IEC 60529 [7]

Segundo Algarismo	Grau de proteção Breve descrição	Definição
0	Não protegido	-
1	Protegido contra gotejamento vertical	Gotas caindo na vertical não deverão causar danos ao sensor
2	Protegido contra gotejamento vertical com o invólucro inclinado até 15°	Gotas caindo na vertical não deverão causar danos ao sensor quando o invólucro está inclinado até 15°
3	Protegido contra névoa de água	Água pulverizada em um ângulo de até 60° não deverá causar danos ao sensor
4	Protegido contra borrifamento de água	Água borrifada de qualquer direção contra o invólucro não deverá causar danos ao sensor
5	Protegido contra jatos d'água	Jatos d'água projetados de qualquer direção contra o invólucro não deverá danificar o sensor
6	Protegido contra jatos d'água poderosos	Jatos d'água poderosos projetados de qualquer direção contra o invólucro não deverão causar danos ao sensor
7	Protegido contra os efeitos de uma imersão temporária em água	Entrada de água em quantidades capazes de causar danos ao sensor não deverá ser possível quando o invólucro é temporariamente imerso em água sob condições padronizadas de pressão e tempo na IEC-60529
8	Protegido contra os efeitos de uma imersão contínua em água	Entrada de água em quantidades capazes de causar danos ao sensor não deverá ser possível quando o invólucro é continuamente imerso em água sob condições que deverão ser acordadas entre o fabricante e o usuário mas que sejam necessariamente mais severas do que as condições para o numeral 7 acima

instalação, os dois algoritmos deverão ser avaliados de forma separada. Por exemplo, de acordo com um arranjo de localização de instrumentos, certa localidade necessita de um sensor com grau IP-56, mas o sensor disponível possuiu IP-65. Deseja-se, então, verificar se tal sensor poderá ser instalado nesta localidade. Ao analisar a proteção contra partículas sólidas pode-se verificar que o invólucro (proteção 6) deste sensor é mais rigoroso do que o especificado (proteção 5) e portanto não impede sua instalação. Entretanto, a proteção contra água (dígito 5) é inferior à proteção especificada (proteção 6). Desta forma, como ambas as proteções devem atender ao local de instalação, este sensor não poderá ser instalado nesta localidade.

### **4.1.2 Sensores Fotoelétricos**

Conforme visto na seção 3.9, sensores fotoelétricos instalados em ambientes empoeirados, com muita umidade ou névoa requerem um ganho em excesso alto. Valores de ganho em excesso mínimo dependendo do ambiente de instalação dos sensores fotoelétricos são apresentados na tabela 4.3. Sensores ultrasônicos, bem como indutivos e capacitivos não apresentam restrições para a instalação em ambientes com grande contaminação, e são uma boa opção quando a poluição impede o correto funcionamento dos sensores fotoelétricos.

Além da poluição do ambiente, que pode tanto afetar a detecção dos objetos quando sensores fotoelétricos estão envolvidos, outro fator importante é a temperatura. Quando a temperatura do ambiente de instalação encontra-se acima dos  $70^{\circ}C$ , a utilização de sensores fotoelétricos com fibra ótica é recomendada. A utilização da fibra ótica permite a instalação destes sensores em ambientes aonde a temperatura não é tão elevada, enquanto que a fibra ótica guia o feixe luminoso para a zona de calor excessivo e de volta ao sensor.

### **4.1.3 Sensores indutivos**

Sensores indutivos a serem instalados em superfícies metálicas deverão ser blindados ou embutidos, para que seu campo não emerja da sua face lateral, conforme apresentado na seção 2.2. Caso a superfície de instalação seja não-metálica, os sen-

Tabela 4.3: Ganho em excesso necessário. Fonte: Banner Engineering Corp. [8]

Ganho em excesso mínimo requerido	Ambiente de instalação	Exemplos de ambientes
1,5x	<b>Ar limpo.</b> Sem acúmulo de sujeira nas lentes ou refletores	Indústria de semicondutores e farmacéuticas.
5x	<b>Moderadamente sujo.</b> Acúmulo moderado de poeira, sujeira, óleo, umidade, etc. em lentes ou refletores. As lentes são limpas regularmente.	Escritório ou fábricas limpas.
10x	<b>Sujo.</b> Contaminação visível das lentes e refletores, sem a obstrução dos mesmos. As lentes são limpas ocasionalmente ou quando necessário.	Indústrias pesadas, processamento de alimentos e indústria automotiva.
50x	<b>Muito sujo.</b> Grande contaminação das lentes. Névoa, poeira e fumaça intensas ou filme de óleo. Limpeza mínima das lentes.	Fundições, operações de mineração, olarias e instalações a céu aberto.

sores podem ser não-embutidos e ter a possibilidade de detectar objetos metálicos ao seu redor e não somente à sua frente. Os demais tipos de sensores não apresentam restrições quanto a instalação em tais superfícies, e nenhum cuidado adicional é necessário.

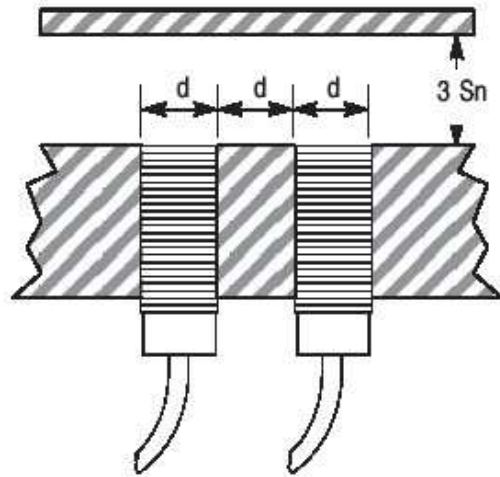


Figura 4.1: Instalação de sensores indutivos blindados ou embutidos. Fonte: Rockwell Automation. [9]

Sensores indutivos blindados permitem que o campo eletromagnético fique concentrado na frente da sua face sensora. Esta construção permite que os sensores sejam montados embutidos em superfícies metálicas, sem causar uma falsa detecção. A instalação destes sensores blindados está representada na figura 4.1. Para evitar a interferência do campo gerado por um sensor indutivo no sensor adjacente, é recomendado o espaçamento entre os sensores de pelo menos uma vez o diâmetro dos mesmos. Objetos metálicos localizados ao fundo não deverão ser instalados a distâncias menores do que três vezes a distância de detecção especificada para o sensor.

A instalação de sensores indutivos não-blindados está representada na figura 4.2. Para evitar a interferência entre sensores adjacentes, espaçamentos maiores do que os requeridos para os sensores blindados são necessários. É recomendado um espaçamento de pelo menos três vezes o diâmetro dos sensores, e os objetos metálicos localizados ao fundo deverão distar mais de três vezes a distância de detecção



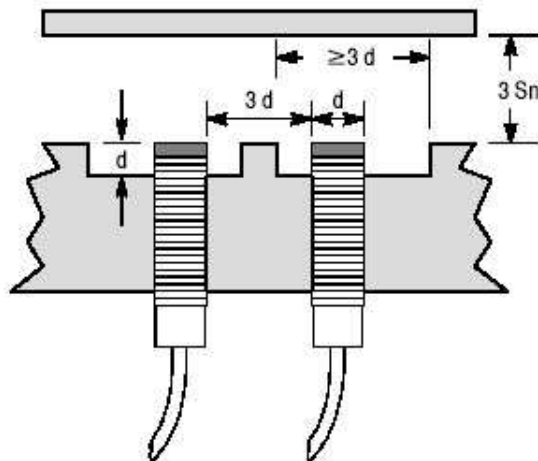


Figura 4.2: Instalação de sensores indutivos não-blindados. Fonte: Rockwell Automation. [9]

especificada, a exemplo dos sensores blindados.

Ainda com relação do ambiente de instalação, sensores indutivos convencionais, por possuírem um amplificador de silício e circuito de detecção dentro do encapsulamento do sensor, não deverão ser utilizados em ambientes com altas temperaturas uma vez que os circuitos baseados em silício não suportam tais temperaturas. Para tal aplicação, existem sensores indutivos que utilizam amplificadores separados, desta forma o circuito de detecção e o amplificador podem ser instalados em uma área com ambiente controlado.

## 4.2 Características do objeto a ser detectado

As características dos objetos como formato e material podem ser determinantes na escolha do sensor a ser utilizado. Conforme apresentado na seção 2.2, objetos metálicos são eficazmente detectados a pequenas distâncias por sensores indutivos. Da mesma forma, foi exposto na seção 2.5.1 que materiais transparentes não são bons alvos para sensores fotoelétricos que necessitem da interrupção do feixe luminoso, como é o caso dos sensores de modos oposto e retrorreflexivo. Por exemplo, suponha que deseje-se detectar garrafas transparentes. Para tal aplicação, a instalação de sensores fotoelétricos de modo difuso na altura do gargalo destas garrafas é

uma solução para o problema anterior, como mostra a figura 4.3. A instalação dos sensores a esta altura é desejável uma vez que esta região do gargalo é mais reflexiva do que as demais regiões da garrafa. Outras soluções para a detecção de objetos transparentes é a utilização de sensores ultra-sônicos, como mostra a figura 4.4, ou a utilização de sensores óticos com polarizadores, como mostra a figura 4.5.

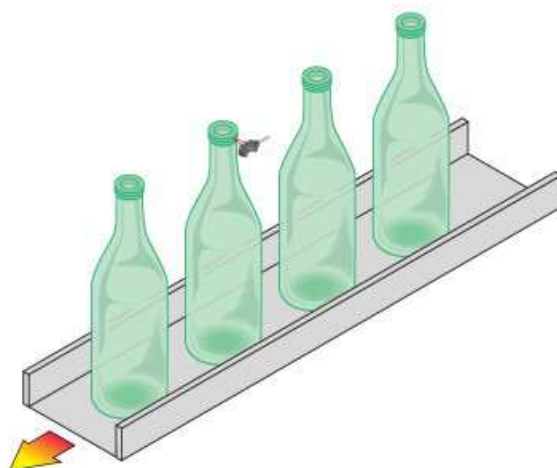


Figura 4.3: Detecção de garrafas transparentes com sensores fotoelétricos de modo difuso. Fonte: Ztech Sensores Ltda. [10]

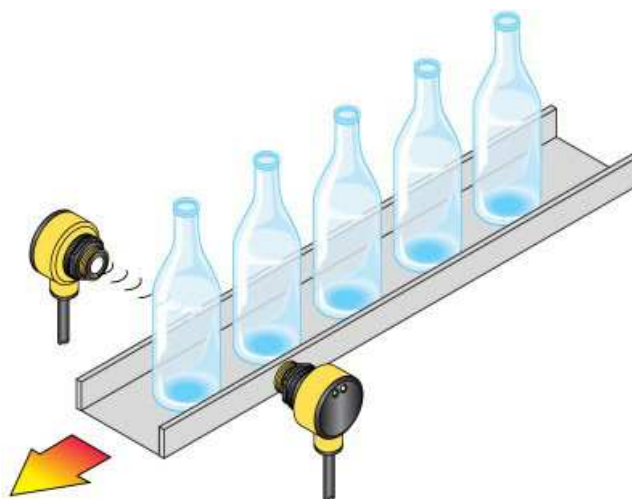


Figura 4.4: Detecção de garrafas transparentes com sensores ultrasônicos de modo oposto. Fonte: Banner Engineering Corp. [8]

Cuidado deve ser tomado quanto a capacidade do objeto de detecção de absorver o som ao se utilizar sensores ultra-sônicos. Materiais que absorvem ondas

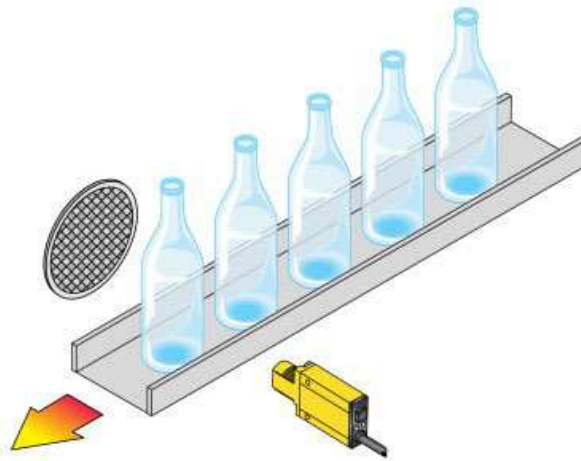


Figura 4.5: Detecção de garrafas transparentes com sensores óticos. Fonte: Banner Engineering Corp. [8]

sonoras não constituem bons alvos para sensores ultra-sônicos do tipo difuso, devendo ser utilizados neste caso os tipos ultra-sônico reflexivo ou ultra-sônico de modo oposto.

Sensores fotoelétricos do tipo difuso possuem sua distância de detecção afetada diretamente pela refletividade do objeto a ser detectado. A tabela 4.4 apresenta a refletividade relativa de diferentes materiais, e na terceira coluna desta, é apresentado o ganho em excesso necessário para a detecção dos materiais listados, por sensores fotoelétricos do tipo difuso. Note que o ganho em excesso indicado nesta tabela é relativo somente ao tipo de material a ser detectado, devendo ser multiplicado ainda pelo ganho em excesso requerido dependendo do ambiente de instalação, conforme apresentado na seção 4.1. Na seção 4.3.1 será detalhado como calcular o ganho em excesso para estes casos.

O formato do objeto a ser detectado é tão importante quanto a sua refletividade, quando detectados com sensores fotoelétricos de modo difuso. Por exemplo, objetos arredondados apresentam ao sensor uma superfície menor e conseqüentemente um menor retorno do sinal luminoso. Desta forma, o ganho em excesso calculado através da multiplicação dos ganhos em excesso necessários devido ao ambiente de instalação e ao material do objeto, é o ganho em excesso mínimo para detecção

Tabela 4.4: Refletividade relativa e ganho em excesso necessário para sensores fotoelétricos de modo difuso. Fonte: Banner Engineering Corp. [8]

Material	Refletividade relativa	Ganho em excesso requerido
Aço inoxidável, <i>microfinish</i>	400%	0,2
Alumínio natural, inacabado	140%	0,6
Aço inoxidável, escovado	120%	0,8
Alumínio preto anodizado, inacabado	115%	0,8
Alumínio natural, <i>straightlined</i>	105%	0,9
Cartão de teste branco Kodak	90%	1
Plástico branco opaco	87%	1,0
Papel branco	80%	1,1
Madeira (pinho, seco, limpo)	75%	1,2
<i>Masking tape</i>	75%	1,2
Espuma de cerveja	70%	1,3
Papel de embalagem, cartão	70%	1,3
Garrafa de plástico marrom translúcido	60%	1,5
Jornal (impresso)	55%	1,6
Alumínio preto anodizado, <i>straightlined</i>	50%	1,8
Papel de tecido (2 dobras)	47%	1,9
Garrafa de plástico claro	40%	2,3
Papel de tecido (1 dobra)	35%	2,6
<i>Rough wood pallet (clean)</i>	20%	4,5
Plástico preto opaco (limpo)	20%	6,4
Neoprene preto	4%	22,5
Espuma preta de revestimento de carpete	2%	45
Parede preta de pneu de borracha	1,5%	60

destes objetos no ambiente em questão. Para uma segura detecção destes objetos, é importante a escolha de um valor mais elevado de ganho em excesso considerando-se a possível atenuação do feixe luminoso refletido pelo objeto, devido ao formato do mesmo.

### 4.3 Distância de detecção

Dependendo de quão próximo o sensor pode ser instalado do objeto de detecção, podemos optar entre diferentes tecnologias de sensores. Por exemplo, para distâncias de detecção limitadas a poucos milímetros, sensores indutivos e capacitivos apresentam um bom desempenho. Para distâncias um pouco maiores, da ordem de alguns centímetros até 1,5 metros, os sensores fotoelétricos de modos divergente e difuso são uma boa alternativa. Para detecção em distâncias maiores que as anteriores, a utilização de sensores fotoelétricos de modos oposto e retroreflexivo, bem como de sensores ultra-sônicos é aconselhável.

Na figura 4.6, está representada a utilização de sensores fotoelétricos de modo oposto e sensores ultra-sônicos de modo difuso. Esta é uma solução para inspeção de engradados oferecida por fabricantes de sensores, aonde as distâncias envolvidas tornam a utilização de sensores indutivos ou capacitivos inviável.

Um exemplo em que é possível utilizar-se sensores indutivos para detecção de objetos é apresentado na figura 4.7, em que o sensor é utilizado para a detecção das partes movendo-se em uma esteira. Note que a distância de detecção neste caso é menor.

#### 4.3.1 Cálculo da distância de detecção para sensores fotoelétricos

Para calcular a distância de detecção dos sensores fotoelétricos é necessário a utilização da curva de ganho em excesso. A relação entre ganho em excesso e distância de detecção varia para cada modo de detecção dos sensores fotoelétricos. Desta forma serão apresentadas diferentes curvas de ganho em excesso nesta seção. É importante o bom entendimento desta curva para que a correta distância de detecção dos

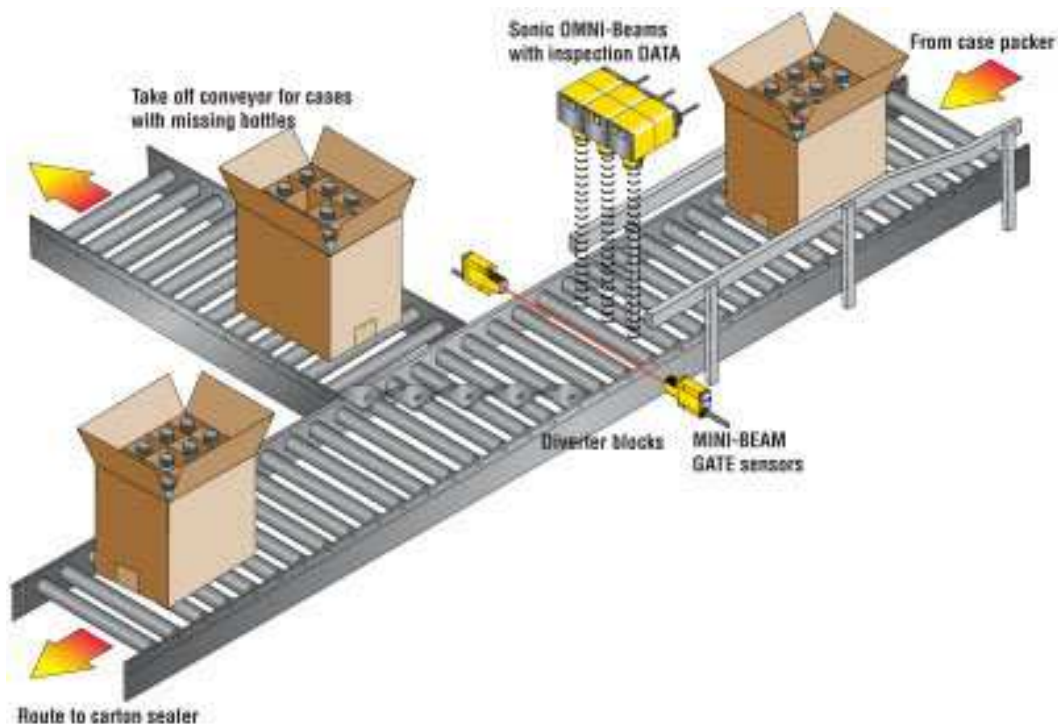


Figura 4.6: Exemplo de utilização de sensores para detecção a médias distâncias. Fonte: Banner Engineering Corp. [8]

sensores fotoelétricos possa ser calculada.

A seguir serão apresentados exemplos para o cálculo da distância sensora.

### **Exemplos de utilização da curva de ganho em excesso de sensores fotoelétricos de modos oposto e retrorreflexivo.**

Na figura 4.8 é apresentado a curva de ganho em excesso típica para sensores fotoelétricos de modo oposto. Para a instalação de um sensor fotoelétrico em uma fábrica de automóveis, que possui de acordo com a tabela 4.3 um ambiente sujo, temos que o ganho em excesso necessário é de 10x. Buscando diretamente na figura 4.8, verifica-se que o emissor e o receptor podem ser montados a uma distância de aproximadamente 20 metros de distância.

Para sensores fotoelétricos de modo retrorreflexivo, a curva de ganho em excesso típica é apresentada na figura 4.9. Para a mesma aplicação em uma fábrica de automóveis do exemplo acima, pode-se verificar diretamente da curva que a distância entre o sensor e o retrorrefletor pode variar de 20cm a 1,2m.

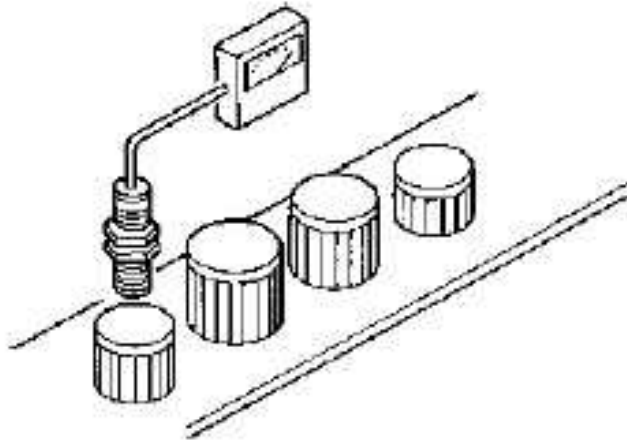


Figura 4.7: Exemplo de utilização de sensor indutivo para detecção a pequenas distâncias. Fonte: Telemecanique / Schneider Electric SA. [11]

#### **Exemplo de utilização da curva de ganho em excesso de sensores fotoelétricos de modos difuso e divergente.**

O ganho em excesso para os sensores fotoelétricos de modos difuso e divergente é usualmente menor do que nos modos oposto e retrorreflexivo. Uma vez que estes modos dependem da luz refletida pela superfície do objeto a ser detectado, o ganho em excesso é influenciado pela refletividade da superfície de tais objetos. As curvas de ganho em excesso são traçadas utilizando um cartão branco de 90% de refletividade como referência. Na tabela 4.4 encontramos a refletividade de diversos materiais comparadas a refletividade do cartão.

Consideremos um sensor de modo difuso. Por exemplo, para a detecção de um plástico preto opaco, temos pela tabela 4.4 que o ganho em excesso requerido é de 6.4x. Para encontrar o ganho em excesso real requerido, devemos multiplicar o ganho em excesso encontrado na tabela 4.4, pelo ganho em excesso requerido para o ambiente de instalação, encontrado na tabela 4.3. Para este exemplo, será considerado a instalação em um ambiente moderadamente sujo, desta forma o mínimo ganho em excesso será:

$$6.4(\text{plástico preto opaco}) \times 5(\text{moderadamente sujo}) = 32x$$

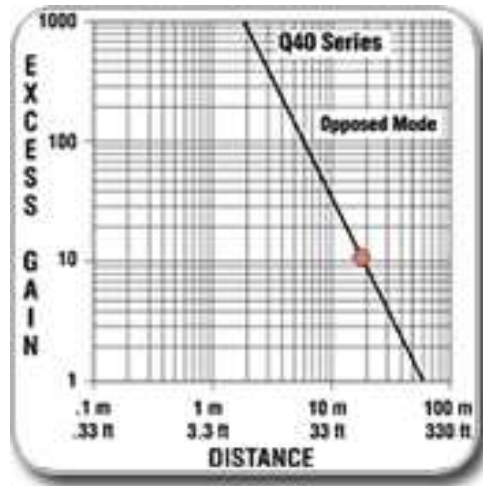


Figura 4.8: Curva de ganho em excesso para sensores fotoelétricos de modo oposto. Fonte: Banner Engineering Corp. [8]

Pode-se verificar na curva de ganho em excesso apresentada na figura 4.10, que um sensor de modo difuso irá detectar confiavelmente o objeto de plástico preto a uma distância de 1,2 a 10cm.

### 4.3.2 Cálculo da distância de detecção para sensores indutivos e capacitivos

Para sensores indutivos e capacitivos é necessário calcular a distância de detecção para o material desejado. Conforme apresentado na seção 3.3, a distância sensora informada nas folhas de dados dos sensores indutivos é calculada considerando-se um alvo de aço carbono, sendo necessário aplicar um fator de redução quando o material dos objetos a serem detectados diferir deste. O mesmo acontece para sensores capacitivos, os quais apresentarão uma redução das distâncias sensoras segundo as constantes dielétricas dos materiais a serem detectados.

Por exemplo um sensor indutivo é utilizado para detectar um objeto de cobre. Na folha de dados do sensor está indicada uma distância de detecção de 15 milímetros. A distância de detecção para o alvo de cobre, considerando os fatores de redução apresentados na tabela 4.5, será:



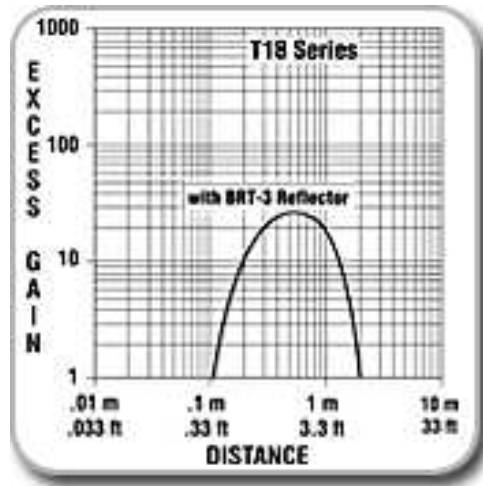


Figura 4.9: Curva de ganho em excesso para sensores fotoelétricos de modo retror-reflexivo. Fonte: Banner Engineering Corp. [8]

Tabela 4.5: Fatores de redução da distância de detecção de sensores indutivos. Fonte: Rockwell Automation. [9]

Material	Fator de redução aproximado
Aço carbono	1,0
Aço inabitável	0,85
Latão	0,50
Alumínio	0,45
Cobre	0,40

$$15\text{mm}(\text{folha de dados}) \times 0,40(\text{Fator de redução para objeto de cobre}) = 6,0\text{mm}$$

Desta forma a distância de detecção para o sensor deste exemplo é de 6,0 milímetros.

O cálculo da distância de detecção de um sensor capacitivo é feito de modo semelhante, entretanto o fator de redução será retirado da curva apresentada na figura 4.11, que relaciona a constante dielétrica  $\epsilon_r$  de cada material a um fator de redução  $S_r$ . Por exemplo, um sensor capacitivo com uma distância de detecção, informada em sua folha de dados, de 20 milímetros é utilizado para detectar peças de madeira úmida. Pela tabela 4.6, é possível verificar que a constante dielétrica da

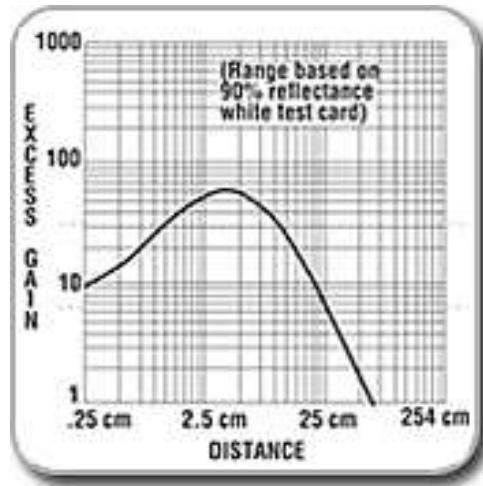


Figura 4.10: Curva de ganho em excesso para sensores fotoelétricos de modos difuso e divergente. Fonte: Banner Engineering Corp. [8]

madeira úmida varia entre 10 e 30, desta forma, têm-se diretamente da figura 4.11 que o fator de redução estará entre 0,60 e 0,90.

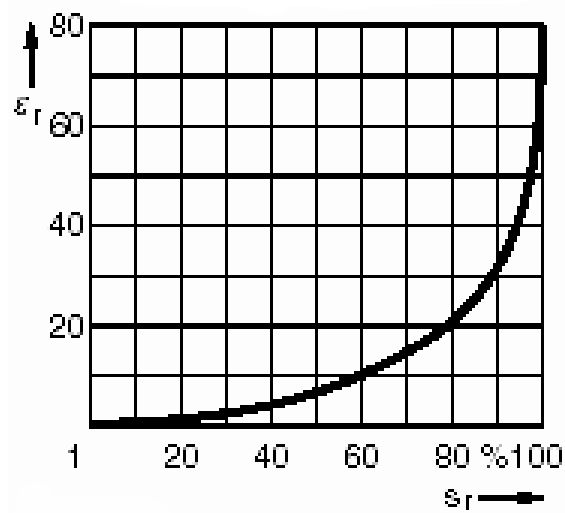


Figura 4.11: Fator de correção da distância sensora assegurada para sensores capacitivos

$$20\text{mm}(\text{folha de dados}) \times 0,60 = 12,0\text{mm}$$

$$20\text{mm}(\text{folha de dados}) \times 0,90 = 18,0\text{mm}$$

Tabela 4.6: Contantes dielétricas de materiais industriais conhecidos.

Material	Constante	Material	Constante
Acetona	19,5	Placa Prensada	2 - 5
Açucar	3,0	Poliacetal	3,6 - 3,7
Água	80	Poliamida	5,0
Álcool	25,8	Polietileno	2,3
Amônia	15 - 25	Polipropileno	2,0 - 2,3
Anilina	6,9	Poliestireno	3,0
Ar	1,000264	Porcelana	4,4 - 7
Areia	3 - 5	Resina Acrílica	2,7 - 4,5
Baquelite	3,6	Resina de Clorido Polivinil	2,8 - 3,1
Benzeno	2,3	Resina de Estireno	2,3 - 3,4
Borracha	2,5 - 35	Resina de Fenol	4 - 12
Calcário de Concha	1,2	Resina de Melanina	4,7 - 10,2
Celulóide	3,0	Resina de Poliéster	2,8 - 8,1
Cereal	3 - 5	Resina de Uréia	5 - 8
Cimento em Pó	4,0	Resina Epóxi	2,5 - 6
Cinza Queimada	1,5 - 1,7	Sal	6,0
Cloro Líquido	2,0	Shellac	2,5 - 4,7
Dióxido de Carbono	1,000985	Soluções Aquosas	50 - 80
Ebonita	2,7 - 2,9	Sulfa	3,4
Etanol	24	Teflon	2,0
Etilenoglicol	38,7	Tetraclorido de Carbono	2,2
Farinha	1,5 - 1,7	Tolueno	2,3
Freon R22 e 502 (líquido)	6,11	Vaselina	2,2 - 2,9
Gasolina	2,2	Verniz de Silicone	2,8 - 3,3
Glicerina	47	Vidro	3,7 - 10
Leite em Pó	3,5 - 4	Vidro de Quartzo	3,7
Madeira Seca	2 - 7		
Madeira Úmida	10 - 30		
Mármore	8,0 - 8,5		
Mica	5,7 - 6,7		
Nitrobenzina	36		
Nylon	4 - 5		
Óleo de Soja	2,9 - 3,5		
Óleo de Transformador	2,2		
Óleo de Turpentina	2,2		
Papel	1,6 - 2,6		
Papel Saturado de Óleo	4,0		
Parafina	1,9 - 2,5		
Perspex	3,2 - 3,5		
Petróleo	2,0 - 2,2		

Desta forma, para este sensor capacitivo detectar as peças de madeira úmida, uma distância variando de 12 a 18 milímetros deverá ser respeitada.

## 4.4 Integração ao sistema

Conforme apresentado na seção 3.2, os sensores podem ser do tipo NPN ou PNP. É importante a escolha do sensor adequado para fazer o casamento com o dispositivo que irá receber as informações do sensor, geralmente um PLC. Sensores do tipo NPN são conectados a entradas de PLCs que são saídas de corrente. Já os sensores do tipo PNP conectam-se a entradas de PLCs que são entradas de corrente.

## 4.5 Objetos de fundo

Os objetos de fundo poderão atrapalhar o correto funcionamento do sistema de detecção. Dependendo do sensor escolhido, a detecção de objetos fora da zona de detecção desejada pode ocorrer, prejudicando a monitoração do processo em questão.

Sensores capacitivos e indutivos possuem uma distância de detecção limitada, sendo mais indicados para a detecção de objetos próximos ao sensor, com as distâncias limitadas em média a 60 milímetros. Em razão destas pequenas distâncias de detecção, objetos de fundo localizados a mais de 20 centímetros não afetarão a detecção (ver figuras 4.1 e 4.2).

Em contrapartida os sensores fotoelétricos possuem distâncias de detecção maiores. Existem sensores de modo difuso com distâncias de detecção de até 5 metros por exemplo. Para estes sensores muitas vezes é interessante a utilização da supressão de fundo, evitando assim a detecção de objetos fora da zona de detecção desejada.

O conhecimento dos objetos de fundo se faz necessário caso seja desejada a instalação de sensores ultra-sônicos. Os objetos de fundo podem servir como superfícies refletoras para as ondas ultra-sônicas possibilitando a utilização de um sensor de barreira reflexiva deste tipo. Para os sensores ultra-sônicos de modo difuso, a supressão de fundo é tão importante quanto para os sensores fotoelétricos por limi-

tar a área de interesse aonde irá ocorrer a detecção dos objetos, ignorando possíveis objetos presentes ou em movimento fora desta área determinada.

## 4.6 Velocidade dos objetos

A velocidade com a qual os objetos atravessam a zona de detecção, bem como a frequência com a qual o mesmo ocorre são questões importantes a serem consideradas na escolha do sensor. Conforme apresentado na seção 3.5, a frequência de comutação é a máxima velocidade com a qual um sensor pode comutar sua saída. Para sensores indutivos, esta frequência depende do tamanho do objeto a ser detectado, da distância entre o objeto e o sensor, da velocidade do objeto e do tipo de sensor. Todos estes fatores influenciam no número de operações de comutação por segundo. Dos sensores abordados neste trabalho, os sensores indutivos e fotoelétricos são capazes de comutar suas saídas às mais elevadas frequências (acima de 2.000 Hz). Os sensores ultra-sônicos e capacitivos não são indicados para detecções que requerem elevada frequência de comutação da saída, sendo esta frequência limitada a 100Hz ou menos.

## 4.7 Objetivo da detecção

Conforme visto no capítulo 2, sensores indutivos, capacitivos, ultrasônicos, óticos e fotoelétricos são soluções eficientes para a detecção e contagem de peças, objetos e pessoas. Entretanto uma solução de menor custo pode ser alcançada com a utilização dos sensores de detecção por infra-vermelho e de sensores de pressão, quando, como apresentado na seção 3.11, o objetivo da detecção não envolver contagem. Exemplos de aplicações destes sensores são, para operação segura de equipamentos ou acionamentos de portas automáticas, escadas rolantes, luzes e etc.

## 4.8 Conclusão

Neste capítulo foi apresentada uma comparação entre os tipos de sensores de presença e movimento mais utilizados. Frente aos detalhes relativos as aplicações dos

sensores, foi discutido qual ou quais os melhores tipos para diversas situações. Um resumo desta comparação pode ser encontrado na tabela 4.7.

Tabela 4.7: Resumo comparativo entre os sensores apresentados.

Sensor	Tipo de material	Distância sensora	Frequência de comutação	Objetivo mais usual da detecção
Chave Fim-de-Curso	Qualquer	N.A.	N.A.	Verificar presença, segurança
Indutivos	Metálicos	$\approx 60$ mm	até 2.000Hz	Contagem de peças em alta velocidade
Capacitivos	Qualquer	$\approx 60$ mm	até 100Hz	Contagem de peças
Ultra-sônicos	Qualquer	até 20m	até 100Hz	Contagem de peças
Fotoelétricos	Restrições a materiais transparentes	até 200m	até 2.000Hz	Contagem de peças em alta velocidade
Óticos	Qualquer	até 3m	até 2.000Hz	Contagem de peças em alta velocidade
Infra-vermelho	Qualquer	até 15m	N.A.	Verificar presença, segurança
Pressão	Qualquer	N.A.	N.A.	Verificar presença, segurança

# Capítulo 5

## Conclusão

Neste trabalho foram apresentados os tipos de sensores de presença e movimento mais utilizados, as características importantes para a escolha entre estes tipos de sensores e uma comparação entre estes, assim como exemplos de aplicações dos diversos sensores abordados.

A apresentação dos tipos de sensores de presença e movimento mais utilizados foi baseada nos seus princípios de funcionamento e características construtivas gerais. Foram apresentadas as principais configurações nas quais estes sensores são encontrados e uma comparação entre estas foi realizada.

Visando as aplicações dos sensores de presença e movimento, as características mais importantes para a escolha dos mesmos foram discutidas, e finalmente foi realizada uma comparação entre os diversos tipos de sensores. Partindo das características importantes apresentadas, foi discutido qual ou quais sensores são adequados para diferentes necessidades relacionadas a aplicações diversas. Foram ainda apresentados exemplos de aplicações de sensores de movimento e presença.

# Referências Bibliográficas

- [1] Katsuhiko Ogata, *Engenharia de controle moderno*, Prentice-Hall, 2003.
- [2] Steck Indústria Elétrica, <http://www.steck.com.br> .
- [3] Willian H. Hayt Jr., *Eletromagnetismo*, LTC, 1994.
- [4] Jacob Fraden, *Handbook of modern sensors : physics, designs, and applications*, Springer-Verlag New York, Inc., 2004.
- [5] D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Fundamentos da Física 2*, LTC, 1996.
- [6] Daniel Thomazini e Pedro U. B. de Albuquerque, *Sensores Industriais: fundamentos e aplicações*, Érica, 2007.
- [7] IEC 60529, *Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)*.
- [8] Banner Engineering Corp., <http://www.bannerengineering.com> .
- [9] Rockwell Automation, <http://literature.rockwellautomation.com> .
- [10] Ztech Sensores Ltda., <http://www.ztechsensores.com.br> .
- [11] Schneider Electric SA, <http://www.telemecanique.com> .