

INTERFACE DE SENSOR PIROELÉTRICO PARA LEGO NXT

Alexandre Stürmer Wolf¹, Eduardo Augusto Lieberknecht², Eric Augusto Ruebenich de Quadros

Resumo: Este trabalho descreve o desenvolvimento de um sistema detector piroelétrico que se comunica via protocolo de comunicação I²C com blocos programáveis Lego NXT® ou EV3®, ou quaisquer outros dispositivos que utilizem essa tecnologia de comunicação. A motivação surgiu devido à escassez de soluções comerciais disponíveis no mercado. Ele pode ser visto como a integração de três partes distintas que, juntas, transformam o sinal analógico do sensor em sinal condicionado I²C que os blocos programáveis são capazes de interpretar.

Palavras-chave: Interface. Lego NXT. Piroelétrico.

1 INTRODUÇÃO

O objetivo deste projeto é criar e disponibilizar um novo sensor piroelétrico para o bloco programável do *Mindstorms* Lego NXT® ou EV3®, empregado por hobistas e em aplicações didáticas que abrangem as áreas de automação, controle, robótica, física, matemática, programação e projetos.

É possível separar este projeto em três blocos, como apresenta a Figura 1. O primeiro bloco faz o condicionamento de sinal do sensor piroelétrico, o segundo faz a conversão da resposta do sensor para o protocolo I²C e o último é o programa que roda no NXT, que interpreta o sinal convertido.

Figura 1 - Diagrama de funcionamento do dispositivo proposto



Fonte: dos autores.

1 Mestrado em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil (2004). Professor do Centro Universitário UNIVATES, Brasil.

2 Auxiliar de Informática nos Laboratórios de Automação do Centro Universitário UNIVATES, Brasil.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

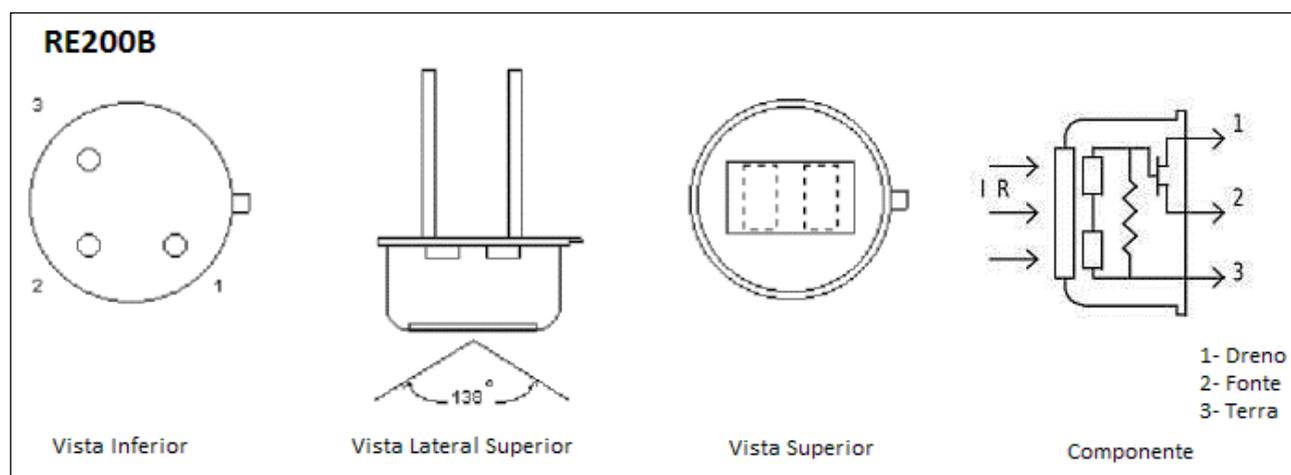
Todo e qualquer corpo que esteja a uma temperatura superior a zero graus Kelvin, irradia luz infravermelha, luz esta que está fora do espectro visível ao ser humano, devido ao fato de sua frequência ser inferior à da luz vermelha.

Os seres humanos têm a temperatura da pele em torno de 34°C e irradiam energia infravermelha com comprimento de onda entre 9 e 10 micrômetros. Portanto, os sensores piroelétricos usados em alarmes são normalmente sensíveis na faixa dos 8 a 12 micrômetros (NEWTON, 2009).

Outros autores apresentam o sensor piroelétrico como sendo um elemento que possui carga natural em suas faces, caracterizando-o como um elemento basicamente capacitivo, que, quando submetido à variação de radiação infravermelha, tem variação em sua temperatura interna, alterando sua polarização e produzindo alteração nas cargas superficiais que aparecem no capacitor formado pelo elemento piroelétrico, variando sensivelmente as cargas em suas faces. Essa variação pode ser utilizada por circuitos que tratam esse sinal lido e o amplificam para ser utilizado como detector (APRIL, 2014).

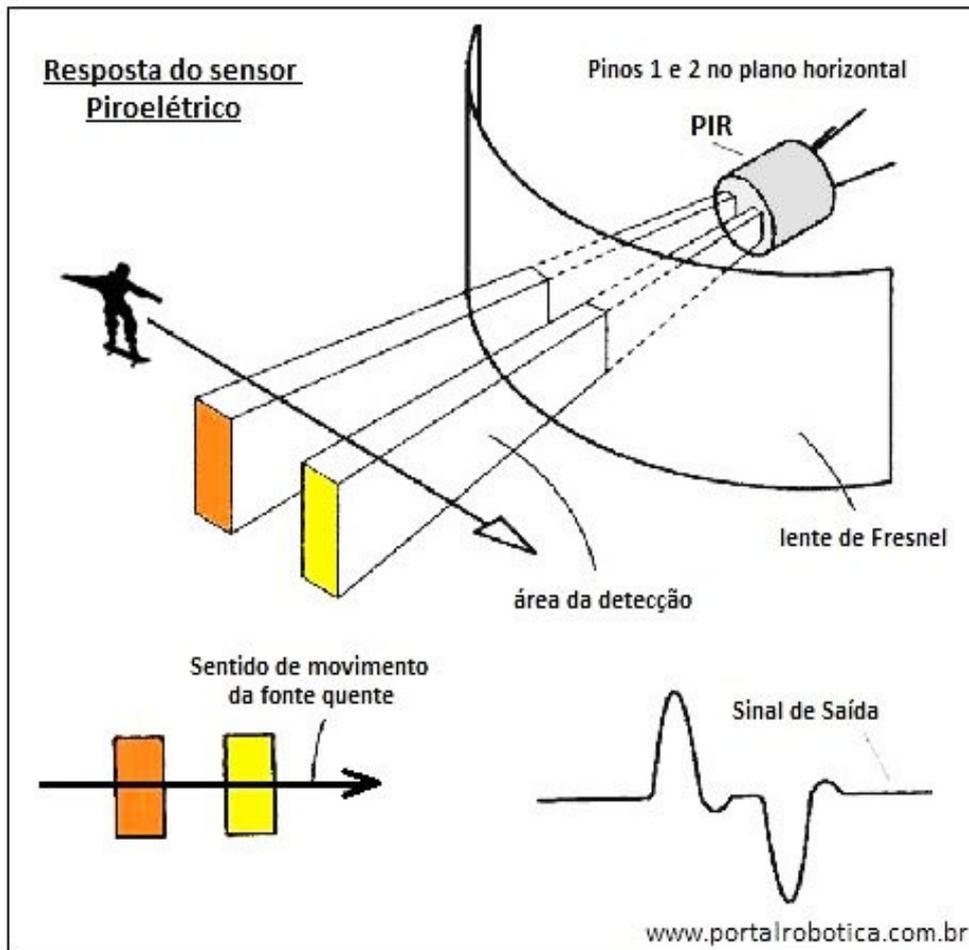
O sensor RE200B utilizado no projeto possui internamente um transistor de efeito de campo (FET), que amplifica o sinal gerado pelas pastilhas piroelétricas de modo que seus terminais correspondem justamente aos elementos desse componente: dreno, fonte e terra. As características físicas do componente podem ser vistas na Figura 2. Já na Figura 3 é possível visualizar a curva característica de resposta do sinal de resposta do sensor.

Figura 2 - Sensor RE200B



Fonte: Dos Autores.

Figura 3 - Resposta do sensor ao detectar um corpo



Fonte: Adaptado de April (2014).

2.1 Amplificador operacional LM324

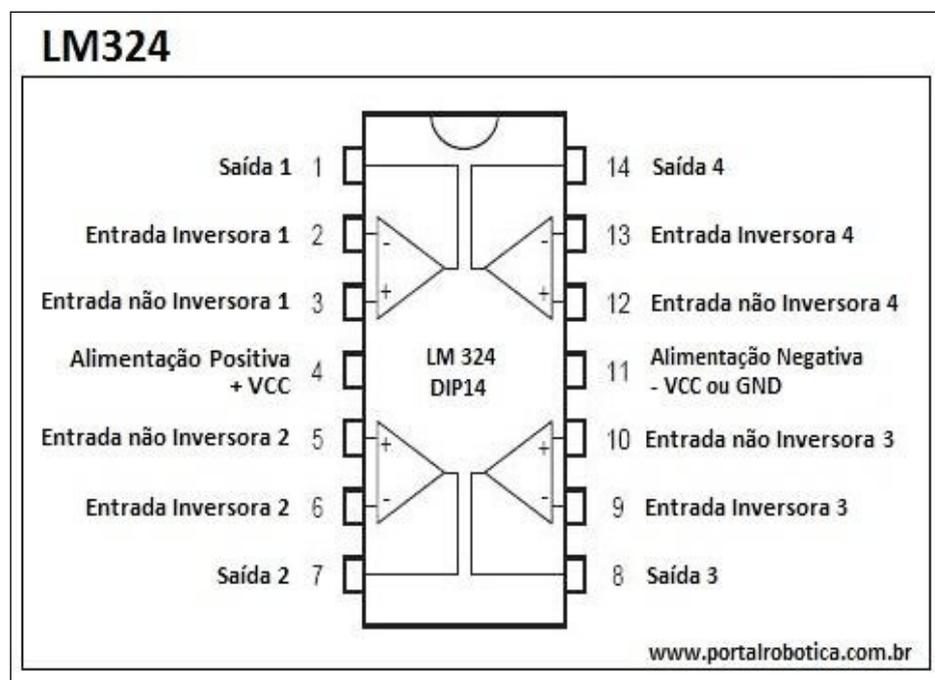
Os amplificadores operacionais são amplamente utilizados na eletrônica, pois são dispositivos extremamente versáteis com imensa gama de aplicações na área. São amplificadores de acoplamento direto, de alto ganho, que usam realimentação para controle de suas características. O amplificador operacional é um circuito integrado, no interior do qual existe quantidade significativa de componentes, envolvendo transistores, diodos, resistores e capacitores.

Um amplificador operacional tem ganho muito elevado e tem dois terminais de entrada, um terminal designado por terminal inversor (-) e o outro identificado por terminal não inversor (+). A tensão de saída é a diferença entre as entradas + e -, multiplicada pelo ganho em malha aberta, tendendo ao infinito. Os circuitos que utilizam esses circuitos frequentemente utilizam a realimentação negativa pois, devido ao seu ganho elevado, o comportamento desses amplificadores é quase totalmente determinado pelos elementos de realimentação.

O LM324 (FIGURA 4) possui quatro amplificadores operacionais encapsulados em um mesmo invólucro e conta com 14 pinos, dos quais dois são utilizados para alimentação e os demais

estão dispostos em duas linhas de dois amplificadores. Pode ser alimentado por fonte única, não simétrica, de uso comum, portanto, um componente de fácil obtenção.

Figura 4 - Pinagem do LM324



Fonte: *Datasheet* do componente.

2.2 Protocolo de comunicação I²C

Para facilitar a tarefa de comunicação entre dispositivos, engenheiros e projetistas desenvolveram o protocolo de comunicação I²C. Ele foi originalmente desenvolvido pela Philips em meados de 1996. Atualmente está amplamente difundido e interconecta uma ampla gama de dispositivos eletrônicos, entre eles microcontroladores, *drivers* LCD, portas I/O, memórias RAM e EEPROM entre outros.

Entre outras vantagens, as que mais se destacam é a comunicação serial (somente depende de duas vias, ambas bidirecionais), a taxa de transferência de 100 kbit/s no modo padrão, ou 400 kbit/s no modo rápido, e que todo e qualquer dispositivo ligado na rede possui um único endereço no barramento.

A primeira via é a *Serial Data* (SDA), em que trafegam os dados da comunicação, e a segunda é o *Serial Clock* (SCL), que é gerado para solicitar a próxima leitura/ endereçoamento ou escrita no barramento. Todo o processo de comunicação é iniciado com condições de *start* e *stop*. O barramento, enquanto não há dados trafegando, é mantido em nível alto. Todo o processo de comunicação é extremamente simples e segue a ordem:

1. o dispositivo *master* ajusta a condição inicial (*start*);
2. o dispositivo *master* envia 7 *bits* de endereçoamento;
3. o dispositivo *master* envia o 8º *bit* de leitura ou escrita (R/W);
4. o dispositivo *slave* envia o sinal de confirmação (ACK ou *Acknowledge*);

5. o dispositivo *master* ou *slave* envia pacotes de 8 *bits* de dados, sempre seguidos de um sinal de ACK enviado pelo dispositivo oposto confirmando a recepção;
6. o dispositivo *master* encerra a comunicação.

O endereçamento por padrão é de sete *bits*, porém, existe o modo estendido, que possibilita o uso de 10 *bits*, endereçando até 1024 dispositivos únicos. A quantidade de *bits* transmitidos é controlada pelo dispositivo *master* e não possui valor máximo definido.

A comunicação pode ser suspensa a qualquer momento simplesmente travando o sinal de *clock*, o que torna útil em tratamentos de interrupções de microcontroladores, sem corromper e/ou perder os dados transmitidos.

2.3 Circuito integrado PCF8574A

Este circuito integrado expander para o barramento I²C foi desenvolvido pela Philips, é de fácil utilização, baixo custo, possui o total de oito portas digitais bidirecionais, necessita de tensão de alimentação de 2,5 a 6 V e cada pino de saída pode drenar até 25 mA, suficientes para acionar diretamente *leds*, mas elas podem ser conectadas em paralelo caso seja necessária corrente elétrica maior.

Ao ligar o circuito integrado, todas as saídas de P0 a P7 são colocadas em nível alto por padrão, necessitando, então via comunicação, definir as portas de entrada para nível baixo antes de fazer a leitura.

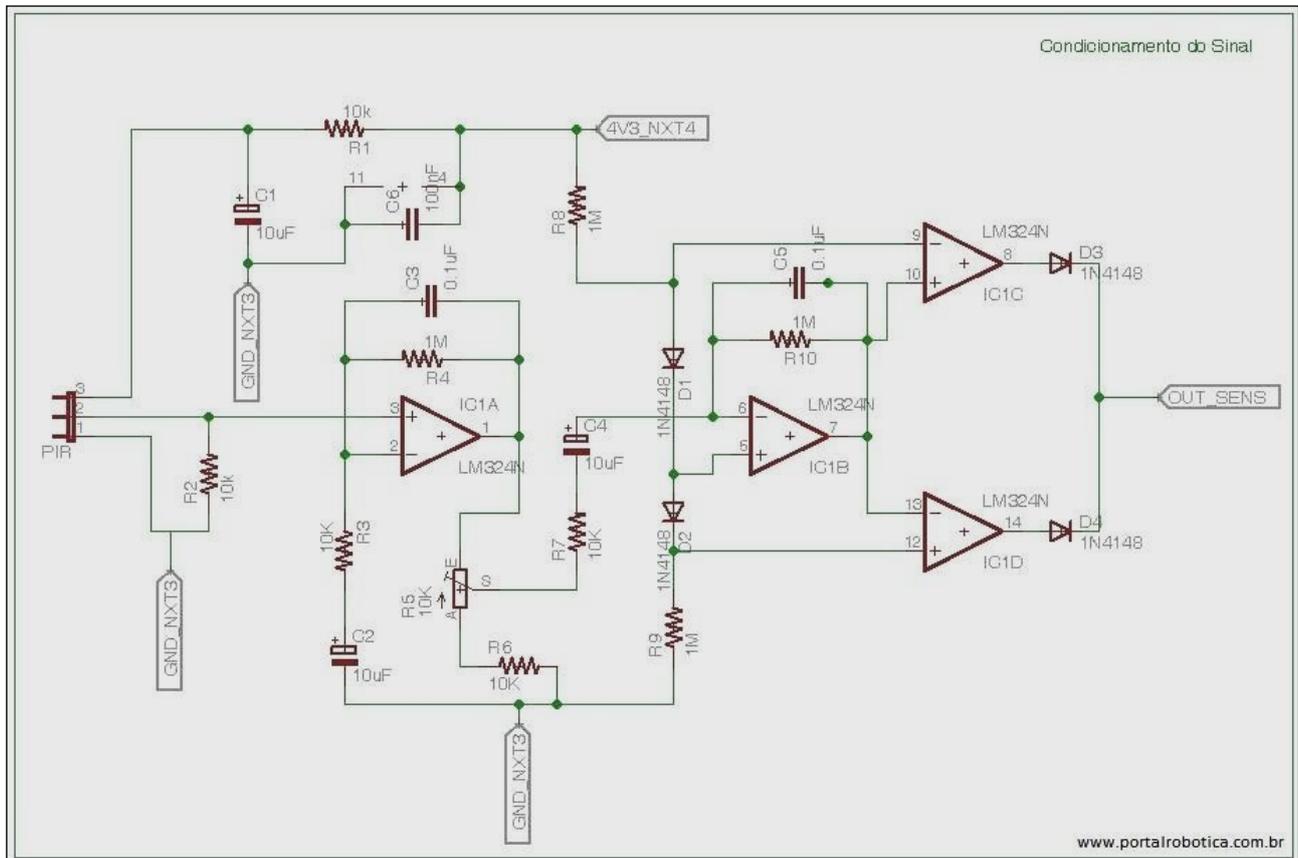
A comunicação via I²C endereça o circuito integrado em questão por meio de um cabeçalho, que no caso deste circuito integrado é 0111XXX Y , em que "X" é definido ligando os pinos A2 a A0 ao terra ou ao VCC e "Y" se o comando é de escrita ou leitura (R/W), em que nível baixo é para escrita e nível alto para leitura. Existe ainda uma família anterior desta mesma série de circuito integrado sem a finalização "A" no seu nome, em que o endereçamento começa por 0100XXX Y .

3 DESENVOLVIMENTO

O circuito condicionador de sinais foi separado em dois blocos para melhor visualização.

Na Figura 5 podemos ver o circuito que trata o sinal proveniente do sensor piroelétrico, saturando a saída até 4,3 V quando há algum movimento ou deixando em 0 V quando nenhuma alteração é detectada.

Figura 5 - Esquemático do condicionador de sinal



Fonte: Portal da robótica.

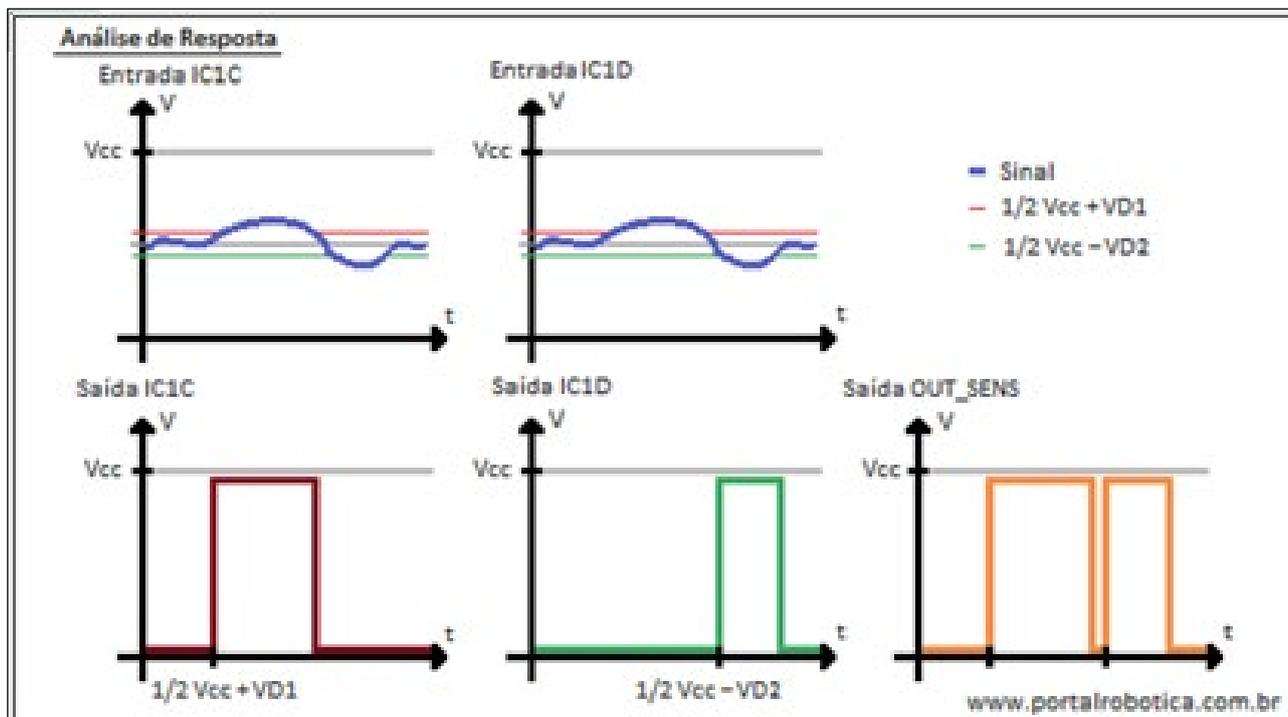
No primeiro estágio de amplificação, o sinal proveniente do sensor é amplificado pelo amplificador operacional IC1A, com ganho dado pelos resistores R3 e R4 e pelos capacitores C2 e C3. O IC1A está configurado como entrada não inversora e com banda de frequência limitada por C3. O capacitor C2 cumpre o papel de amplificar somente o sinal alternado, desacoplando a tensão contínua. Na saída do primeiro estágio, há um *trimpot* (R5) que disponibiliza regulação no nível de sinal que entra no segundo estágio, seguido de capacitor de desacoplamento (C4), que filtra parte da tensão contínua presente na saída do IC1A, já que o operacional é alimentado por tensão não simétrica.

O sinal no segundo estágio passa por nova amplificação semelhante ao primeiro, com a diferença de que o IC1B está configurado como inversor, e na entrada não inversora está recebendo a metade da tensão de alimentação (divisor em R8, D1, D2 e R9), colocando o sinal de saída em cima dessa tensão contínua. Um novo ganho é dado pelos resistores R7 e R10.

A terceira etapa é composta pelos amplificadores operacionais IC1C e IC1D, que estão configurados como comparadores de tensão. O ganho é muito elevado, saturam em níveis muito próximos ao da alimentação e do terra quando o nível de sinal proveniente da etapa anterior ultrapassa a janela de aproximadamente 0,7 V, definidas pelos diodos D1 e D2. Os diodos D3 e D4 funcionam como uma porta lógica OU, somando os sinais dos dois amplificadores, somente deixando o sinal sair e não ser drenado pelo amplificador operacional oposto. A saída para o próximo módulo de comunicação I²C está ligada no nó OUT_SENS.

Na Figura 6, é possível analisar as entradas e saídas no último estágio de amplificação.

Figura 6 - Resposta do condicionador ao sinal do sensor



Fonte: dos autores.

Pela necessidade de o projeto usar vários amplificadores operacionais, optou-se pela utilização do componente LM324, no qual estão encapsulados quatro amplificadores operacionais. Outro fator que ajudou na escolha desse componente é a alimentação, que não necessita ser simétrica, podendo, assim, operar com a alimentação de 4,3 V presente no barramento dos sensores do NXT.

3.1 Circuito de comunicação I²C

O circuito de comunicação é baseado totalmente no circuito integrado PCF8574A. A pinagem dos cabos dos sensores do NXT está disponível na Figura 7.

Figura 7 - Pinagem do cabo do NXT

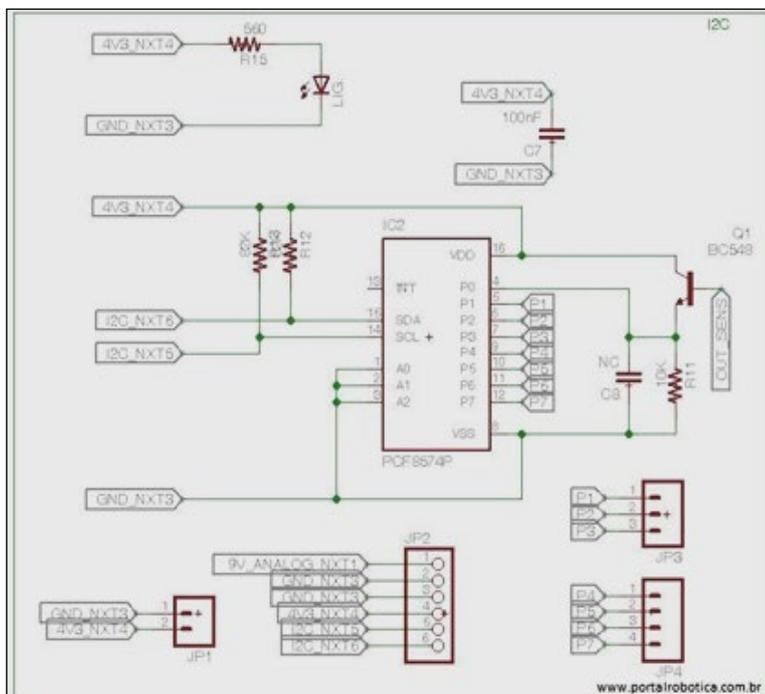
| Pinagem dos cabos dos sensores do NXT | | | | |
|---------------------------------------|---------|--------------------------|--|---|
| Pino | Nome | Função | Cor | Conector |
| 1 | ANA | Interface analógica e 9V |  Branco |  |
| 2 | GND | Terra |  Preto | |
| 3 | GND | Terra |  Vermelho | |
| 4 | IPOWERA | 4,3V para sensores |  Verde | |
| 5 | DIGIAI0 | I2C Clock (SCL), RS485 A |  Amarelo | |
| 6 | DIGIAI1 | I2C Data (SDA), RS485 B |  Azul | |

www.portalrobotica.com.br

Fonte: dos autores.

Algumas peculiaridades na montagem devem ser levadas em conta. O barramento de comunicação I²C com o NXT deve ser terminado com dois resistores de *pull-up* de 82 K Ω , ligados respectivamente entre o VCC e ao SCL e do VCC ao SDA, de acordo com a documentação disponível no *site* da Lego, sob o nome de *NXT Hardware Developer Kit*. Na Figura 8, apresenta-se o esquemático da segunda parte do circuito, responsável pela comunicação I²C com o NXT.

Figura 8 - Esquemático do circuito de conexão I²C ao NXT



Fonte: dos autores.

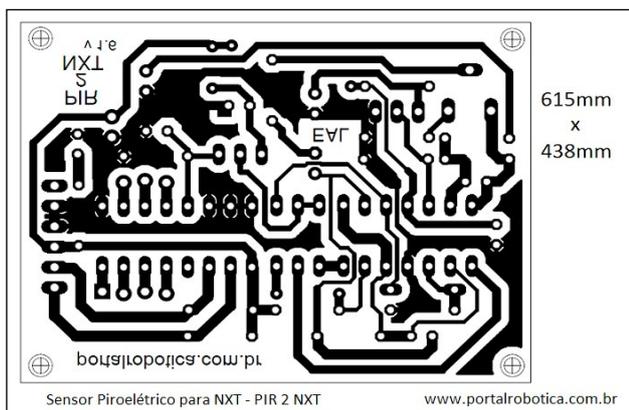
O pino de entrada do sinal foi definido como o P0, o transistor Q1 foi adicionado ao circuito para servir como *buffer* e elevar ao nível alto quando a entrada OUT_SENS for levada também ao nível alto. R1 é um resistor de *Pull-Down* utilizado para referenciar o terra quando o transistor Q1 não estiver em condição.

O endereçamento desse CI ficou definido como 0111000Y (R/W), 56 decimal ou 38 em hexadecimal, pois os pinos de endereçamento foram levados ao terra (A0, A1 e A2). Outros endereços são possíveis referenciando os respectivos pinos ao VCC ou ao terra. No esquemático temos ainda os conectores JP1, JP2, JP3 e JP4 que são barramentos utilizados posteriormente no roteamento da placa de circuito impresso para conectar respectivamente a alimentação para expansões, cabo do sensor do NXT, pinos P1 a P3 e pinos P4 a P7 para possíveis expansões que o usuário desejar, tanto de entrada de dados quanto de saída.

3.2 Placa de circuito impresso

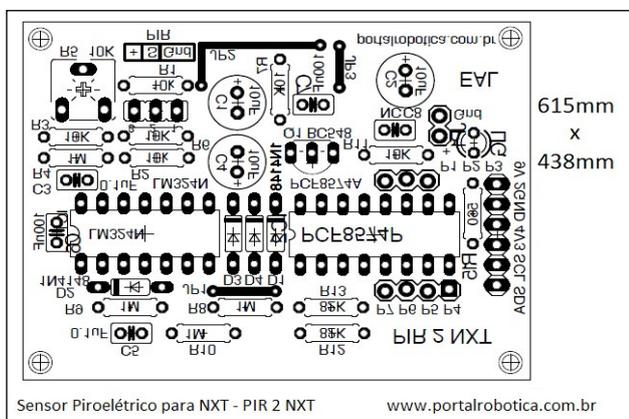
Como o intuito deste trabalho é disponibilizar o projeto para estudantes e interessados, foram elaboradas placas de circuito impresso com o sensor completo. A Figura 9 mostra a camada inferior da placa, não sendo necessário espelhar para impressão em uma PCI, e a Figura 10, a posição dos componentes.

Figura 9 - Layout da placa de circuito



Fonte: dos autores.

Figura 10 - Máscara de componentes



Fonte: dos autores.

3.3 Programação

A programação foi realizada utilizando a linguagem de programação NXC (Not eXactly C), no ambiente de programação Bricx Command Center versão 3.3. O arquivo “pcf8574llb.nxc” é uma biblioteca, disponível para *download* na internet, para comunicação com o CI PCF8574A usado na comunicação I²C.

Foram ainda testadas outras interfaces de programação. Todas responderam corretamente ao sensor, após configurar os blocos de comunicação I²C dos respectivos programas. O ambiente de programação mais intuitivo testado foi o NXT-G, seguido do LabVIEW 2009 LEGO MINDSTORMS NXT MODULE e, após, o NXC, que, apesar de ser mais complexo, oferece flexibilidade maior na programação.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal deste projeto foi a construção do sensor e colocá-lo em prática. O sensor piroelétrico interfaceado com o NXT mostrou ser um sensor relativamente fácil de construir, com custo acessível e que expande a capacidade de o bloco programável da Lego interagir com o mundo. Uma melhoria proposta é a confecção da placa de circuito impresso para utilização de componentes em SMD, para diminuir suas dimensões físicas e aloca-lo em um bloco de Lego.

REFERÊNCIAS

- BRAGA, Newton C. **Como funcionam os materiais piroelétricos e piezoelétricos** (ART632) (2009). Disponível em: <<http://www.newtonbraga.com.br/index.php/como-funciona/4571-art632>>. Acesso em: 22 abr. 2014.
- BRAGA, Newton C. **Sensor piroelétrico de presença** (ART001) (2009). Disponível em: <<http://www.newtonbraga.com.br/index.php/artigos/54-dicas/363-sensor-piroeletrico-de-presenca-art001.html>>. Acesso em: 9 mai. 2014.
- LEGO Group. **LEGO MINDSTORMS NXT - Hardware developer Kit 2006**. Disponível em <<http://blog.tkjelectronics.dk/wp-content/uploads/LEGO-MINDSTORMS-NXT-Hardware-Developer-Kit.pdf>>. Acesso em: 21 abr. 2014.
- mindsensors.com. **Sensor building kit for NXT with PCF8574 IC**. Disponível em <http://www.mindsensors.com/index.php?module=pagemaster&PAGE_user_op=view_page&PAGE_id=71>. Acesso em: 21 abr. 2014.
- National Instruments Corporation 2009**. I²C Communication. Disponível em <http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/372962A-01/lvnxt/I2C_sensors>. Acesso em: 22 abr. 2014.
- SANDERS, April. **How Does a Motion Sensor Work?** (2014). Disponível em: http://www.ehow.com/how-does_4596955_motion-sensor-work.html. Acesso em: 09 mai. 2014.
- TOLEDO, Sivan. **I²C Interfacing Part 1: Adding Digital I/O Ports**. 2006. Disponível em <<http://www.tau.ac.il/~stoledo/lego/I2C-8574/>>. Acesso em: 26 abr. 2014.