

SAFE - SISTEMA ANTI-FURTO PARA EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS UTILIZANDO SENSOR DE VIBRAÇÃO E SENSOR DE PROXIMIDADE

Sandra Régia Chaves Carvalho⁽¹⁾

Graduanda em Telemática pelo Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará.

Ronyel Chaves Cavalcante⁽²⁾

Graduando em Mecatrônica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará.

Pedro Klécio Farias Cardoso⁽³⁾

Engenheiro Elétrico pela Universidade Federal do Ceará. Mestre em Conception Et Planification Dês Réseaux Mobiles – Institut National Des Télécommunications. Doutor em Informatique, Telecommunications et Electronique - Université de Paris VI (Pierre et Marie Curie) (2005).

Endereço^(1,2,3): Rua Padre Francisco Pinto, 114 – Benfica – Fortaleza – CE – CEP: 60020-290 – Brasil – Tel: (85) 3281 0981; sandregiacca@gmail.com⁽¹⁾ ronyelch@hotmail.com⁽²⁾ pedro.klecius@terra.com.br⁽³⁾

RESUMO

Com o crescente avanço da tecnologia, os equipamentos eletrônicos vem exercendo as mais variadas funções no cotidiano das pessoas. Ao mesmo tempo, cresce o vandalismo contra esses equipamentos eletrônicos, que se tornaram forte alvo de cobiça, em consequência, eleva-se o número de roubos. Em muitos casos, a violação de um equipamento eletrônico causa um grande prejuízo. Uma solução para essa problemática seria dotar os equipamentos de um sistema para detectar e indicar a ocorrência de qualquer uma dessas ações de violação.

Este trabalho propõe um Sistema Anti-furto para Equipamentos Eletrônicos utilizando um microcontrolador, sensores de vibração ou inclinação e sensores capacitivos de proximidade.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema Anti-furto, Acelerômetro, CDC, Sensor Capacitivo, M16C, Sensor de Proximidade, Sensor de Inclinação e Vibração.

INTRODUÇÃO

Com o avanço da tecnologia e a diminuição de custos de fabricação, os equipamentos eletrônicos estão substituindo os equipamentos eletromecânicos em todos os setores tais como nas telecomunicações, na indústria, na medicina.

Nos dias de hoje, até as pequenas empresas, como, por exemplo, pequenos comércios, farmácias, padarias, etc., possuem um sistema informatizado de controle de estoque, contabilidade, pagamentos, etc. Em muitas das aplicações os equipamentos eletrônicos estão instalados em locais onde não existe uma vigilância que monitore a integridade deles. É o caso de uma grande quantidade de equipamentos eletrônicos de retransmissão de TV, radio, telefonia, instalados e funcionando em locais desertos sem assistência humana. Como outro exemplo, vemos inúmeros equipamentos eletrônicos controlando estações meteorológicas que se comunicam à distância com o centro de controle.

Neste cenário, observa-se a necessidade de um sistema que detecte a ocorrência de violações ou furtos dos equipamentos eletrônicos. Por exemplo, seria interessante para uma empresa detectar quando alguém não autorizado acesse ou deslocasse seu servidor de rede.

Este trabalho propõe a utilização de sensores de vibração e sensores capacitivos de proximidade em um sistema de detecção de violação de equipamentos eletrônicos cujo objetivo é o minimizar os prejuízos, causados pela inadequada utilização ou por furtos, tanto para os fabricantes dos equipamentos, como para os usuários finais. Instalado dentro do equipamento o sistema gerará um alarme que poderá ser enviado a distância indicando a violação do equipamento.

O elemento principal do sistema é um microcontrolador da Renesas Technology Corporation, que controla todas as operações de detecção de violação do equipamento. Essa violação é constatada a partir da detecção da vibração, da inclinação e da aproximação de alguém do equipamento.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: depois dessa introdução, os materiais e métodos utilizados no desenvolvimento do sistema são descritos; em seguida descreve-se o hardware, o firmware e o protocolo necessário ao sistema e a implementação do sistema; em seguida os resultados da implementação são observados e uma conclusão finaliza o artigo.

MATERIAIS E MÉTODOS

O SAFE foi desenvolvido nas instalações do laboratório SISCOME (Sistema de Controle e Medição de Energia Elétrica). Foram utilizadas para o seu desenvolvimento referências bibliográficas, equipamentos diversos, plataforma de desenvolvimento HEW (High-Performance Embedded Workshop da Renesas Technology Corporation) e computadores.

A primeira fase do desenvolvimento se constituiu na pesquisa bibliográfica sobre sistemas anti-furto e componentes utilizados nos mesmos. Em seguida foi feita a especificação do sistema, com todos os requisitos para o funcionamento.

Baseado nas especificações foi necessário selecionar os componentes que constituiriam o hardware do sistema. De posse dos manuais dos componentes, foi feito o estudo para se conhecer as características e o modo de operação de cada um deles.

Iniciou-se então o processo de implementação. A placa de circuito impresso do protótipo foi fabricada no próprio laboratório utilizando-se uma prensa HT3020 para sensibilização da placa para corrosão. Os componentes foram soldados e o hardware testado.

O firmware do protótipo foi desenvolvido em linguagem C, utilizando-se para isso o software High-Performance Embedded Workshop da Renesas Technology Corporation. Foram implementadas rotinas para fazer a leitura do sensor de vibração e do sensor de proximidade capacitivo necessárias à detecção de violação dos equipamentos onde o SAFE será instalado.

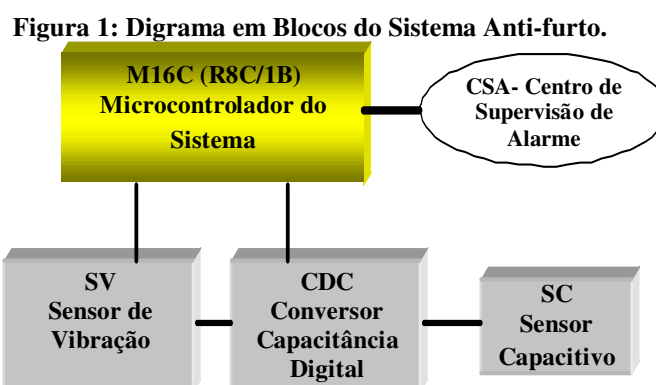
Após a implementação de todas as rotinas, iniciou-se os testes do sistema.

DESCRIÇÃO DO SISTEMA

A descrição do sistema está composta por sessões que abordam as características do hardware, do firmware e do protocolo do sistema proposto.

HARDWARE

O hardware do SAFE é representado na figura 1 abaixo. Os elementos principais são o microcontrolador, o sensor de vibração, o conversor de capacitância para digital e o sensor de proximidade.



A finalidade do sensor de vibração é informar ocorrência de uma inclinação ou vibração do equipamento, através de um sinal de tensão analógica que será enviado ao R8C/1B – microcontrolador do sistema - e devidamente interpretado. O conversor de capacitância para digital converte o sinal recebido do sensor capacitivo em nível elétrico que será enviado ao uC para a devida interpretação.

O controle do sistema anti-furto é feito pelo uC do sistema, que está ligado aos demais componentes através de portas que funcionam como interfaces de comunicação. Baseado nas informações recebidas dos sensores do sistema, o uC decide se o equipamento está sendo violado ou não. O uC se comunica a um CSA (Centro de Supervisão de Alarmes) distante com o objetivo de informar qualquer intrusão ocorrida no equipamento.

Microcontrolador

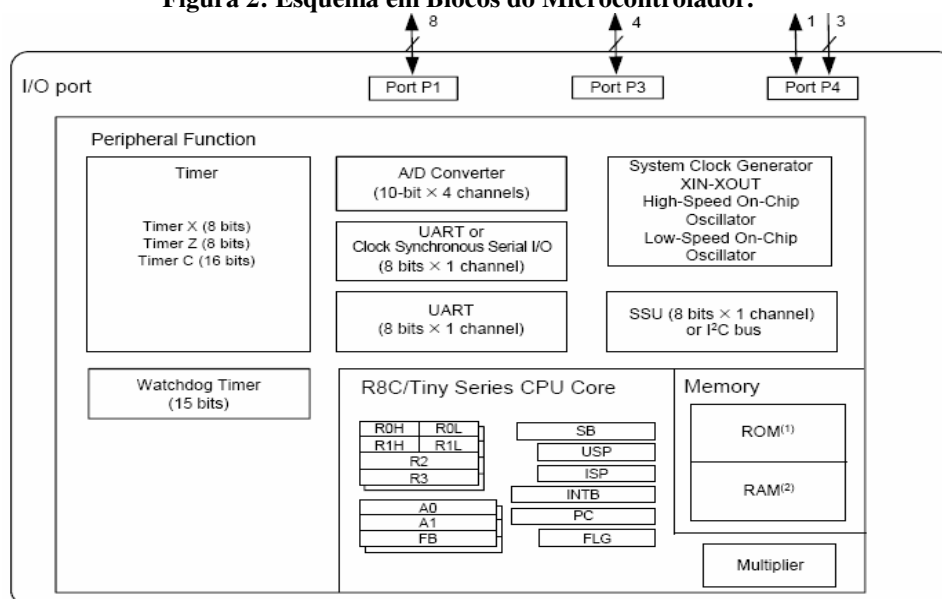
Em quase todo projeto de pesquisa e desenvolvimento de um produto na área da engenharia eletrônica ou teleinformática, a escolha de um microcontrolador que satisfaça as necessidades do projeto é de fundamental importância para o sucesso do desenvolvimento.

O microcontrolador escolhido como elemento principal do hardware do SAFE pertence ao grupo R8C/1B da família M16C da Renesas Technology Corporation. Ele utiliza a tecnologia CMOS 16-BIT sendo capaz de executar instruções em alta velocidade em seu 1MByte de espaço de endereçamento. Este microcontrolador é caracterizado por operar em baixa voltagem e apresentar baixo consumo de energia. O R8C/1B é dotado de 89 instruções básicas e suas funções periféricas são as seguintes:

- 13 portas I/O, 3 portas de entrada;
- Temporizadores (Timer X, Timer Z e Timer C);
- Interfaces seriais (UART, I²C bus e SSU);
- Conversor A/D;
- Watchdog Timer;
- Interrupções (11 internas, 4 externas e 4 por software);
- Circuito para detecção de voltagem;
- Power-on Reset (POR);

A tensão especificada para o microcontrolador, tanto para alimentação quanto para execução das operações na memória flash, é de 2,7 à 5,5Volts. Outra grande vantagem da utilização do uC R8C/1B é sua memória flash, que encontra-se dividida em quatro blocos, dos quais dois blocos (1 e 0) são destinados à memória de programa e os outros dois (A e B) são destinados à memória flash de dados..A memória flash de programa permite que se faça a atualização do firmware à distância sem que seja necessário desligar ou retirar o Sistema Anti-furto. Na figura 2 observa-se o esquema interno do microcontrolador.

Figura 2: Esquema em Blocos do Microcontrolador.



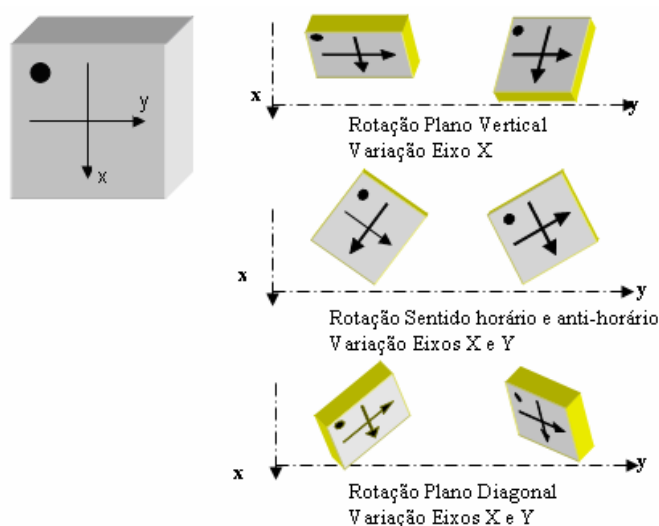
Sensor de vibração

Um dos sensores inerciais mais comuns é o acelerômetro, um sensor dinâmico com uma vasta escala de sensibilidade a vibração e a inclinação. Os sensores da família de acelerômetros ADXL são muito pequenos e bastante precisos.

O ADXL322 é um chip capaz de fazer a medição de aceleração, em qualquer sistema. O ADXL322 tem uma escala de medida de vibração de $\pm 2g$ (aceleração da gravidade). Os sinais na saída são tensões analógicas proporcionais a sua aceleração. O sensor é uma estrutura de superfície-micromecânica de polysilicon construída no alto de uma partilha. A aceleração ocasionada pela inclinação ou vibração do componente fornece uma onda quadrada cuja amplitude é proporcional a aceleração. As técnicas de demodulação pela sensibilidade da fase são usadas para retificar o sinal e determinar o sentido da aceleração. O sinal do demodulador é então amplificado e enviado para uma saída do chip.

O ADXL322 possui dois eixos ortogonais X e Y que funcionam como eixos de referência para se saber a inclinação por ele sofrida. As tensões de saída, Xout e Yout, variam de acordo com o posicionamento do componente. Na figura 3 se observa os tipos de inclinação do acelerômetro.

Figura 3: Inclinação dos eixos do Acelerômetro.



Uma das características do acelerômetro é sua sensibilidade (Sensitivity) que varia conforme a tensão de alimentação. Para 3V a sensibilidade é de 420mV/g e para 5V é de 750mV/g. O valor da tensão de saída (Xout ou Yout) está relacionado com o ângulo θ de inclinação pela seguinte equação:

$$\sin(\theta) = [(V_{out} - V_{cc}/2) / \text{Sensitivity}]$$

$$\theta = \text{Arcsin} [(V_{out} - V_{cc}/2) / \text{Sensitivity}]$$

A tabela 1 mostra as tensões de saída para ângulos formados entre os eixos, X e Y, e a Terra quando o $V_{cc} = 5V$:

Tabela 1: Ângulo – Tensão.

Ângulo em Relação ao Solo		Tensão de Saída	
Eixo X	Eixo Y	Xout	Yout
-90	0	1,75	2,50
0	90	2,50	3,25
90	0	3,25	2,50
0	-90	2,50	1,75
0	0	2,50	2,50

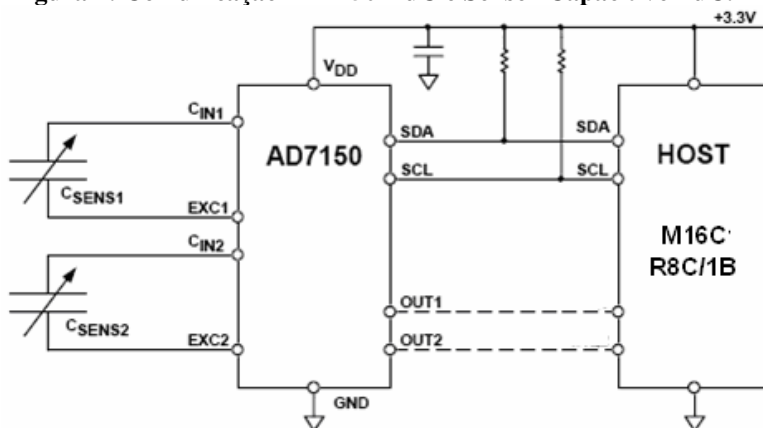
A vibração é detectada quando em um dado intervalo de tempo ocorre uma série de inclinações com formato oscilatório do equipamento. Este intervalo de tempo é garantido através de um Timer, e a cada estouro desse Timer é gerada uma interrupção interna que é desviada para uma rotina onde será verificado o registro de quantas inclinações ocorreram naquele intervalo de tempo.

Sensor de Proximidade e CDC

Sensores de proximidade capacitivos são projetados para operar gerando um campo eletrostático e detectando mudanças neste campo causadas quando um objeto que ative o sensor se aproxima da face ativa. Sensores capacitivos normalmente são usados para detectar materiais não metálicos, que é o objetivo deste projeto.

Para serem utilizados em sistemas microprocessados os sensores capacitivos necessitam de um conversor de capacitância para digital (CDC). No presente projeto foi utilizado o CDC AD7150. Esse chip possui dois canais independentes de entrada de capacitância, onde devem ser colocados sensores capacitivos. Estas entradas são tratadas por um conversor, um filtro digital e comparadores que geram nas saídas os sinais lógicos que serão tratados e interpretados pelo microcontrolador. A figura 4 faz a ligação entre o CDC AD7150, o microcontrolador do sistema R8C/1B e o sensor capacitivo.

Figura 4: Comunicação AD7150 – uC e Sensor Capacitivo - uC.



O sensor capacitivo utilizado no projeto possui as características compatíveis com o CDC AD7150, ou seja, 0 a 14pF de capacitância, sensibilidade de 0,8fF e escala de capacitância de 0,5; 1; 2; ou 4pF.

FIRMWARE

O Firmware se constitui das funções que comandam o hardware do sistema. As rotinas básicas que controlam o sistema englobam as etapas de inicialização, operações a serem realizadas, obtenção e envio de status ao CSA.

Inicialização

Esta é a etapa de configuração do sistema e é executada cada vez que ele é inicializado. O uC controlará via software os dispositivos de detecção de vibração e de aproximação fornecendo as configurações necessárias ao seu funcionamento, a interface serial, bem como inicializará as variáveis do sistema.

Operações

As operações a serem realizadas corresponderão, basicamente, as etapas de leitura do sensor de vibração, leitura do CDC, envio de informação e recepção de comandos do Centro de Supervisão. As leituras do SV e do CDC possibilitarão a verificação do estado em que o equipamento se encontra.

Leitura do SV

O uC lê as portas onde estão conectadas as saídas do SV para comparar se houve alteração da valor dessas saídas com relação ao valor inicialmente configurada como repouso do equipamento. Se o resultado da comparação for diferente de zero, houve inclinação. Deve-se levar em consideração uma margem de erro ao comparar as saídas inicial e atual do SV, para que inclinações irrelevantes sejam descartadas do processamento.

A vibração é detectada quando em um dado intervalo de tempo ocorre uma série de inclinações com formato oscilatório no equipamento. Este intervalo de tempo é garantido através de um Timer, e a cada estouro desse Timer é gerada uma interrupção interna que é desviada para uma rotina onde será verificado o registro de quantas inclinações ocorreram naquele intervalo de tempo.

Leitura do CDC

O uC deverá observar a porta onde está conectado o CDC, para constatar se há ou não aproximação de alguém do equipamento. Quando a porta apresentar um pulso de nível alto, o uC deverá interpretar como uma aproximação.

Status do Sistema

O Status do Sistema é a etapa de registro e a verificação dos resultados obtidos nas leituras dos Sensores. Possui as informações sobre o estado do equipamento, como por exemplo, se ocorreu inclinação, em que posição o Equipamento se encontra, se ocorreu vibração, se houve aproximação de alguém ao equipamento. A violação só será constatada quando as leituras dos sensores indicarem a detecção de vibração ou inclinação e aproximação intrusa ao mesmo tempo. O Status do Equipamento pode ser:

Normal → quando não for detectada violação.

Violado → quando for detectada violação.

PROTOCOLO

O protocolo estabelece o tipo de comunicação entre os dispositivos que compõem o Sistema Anti-furto, bem como a comunicação com o CSA. Os dispositivos do sistema são interligados através de interfaces descritas a seguir.

Interface SV– uC

A comunicação entre o SV e uC é feita através de portas de dados. As saídas do Sensor de Vibração são dois eixos de sensibilidade Z e Y e serão ligadas a duas portas conversoras do A/D do uC do Sistema.

Quando há alguma mudança na posição do equipamento, ocorre mudança nas portas e o microcontrolador detecta através da *Operação de Leitura do Sensor de Vibração* estabelecida na rotina principal do programa. Os valores de tensão nas saídas do Sensor determinam o seu posicionamento angular em relação a terra, por isso devem ser guardados e convertidos em ângulos para depois serem comparados aos valores de tensão nas saídas do Sensor no estado de repouso. O resultado da comparação é guardado no flag de registro *Detecção Inclinação*. Quando o flag for zero, indica que não houve inclinação; quando o flag for um, indica a ocorrência de inclinação.

Interface CDC – uC

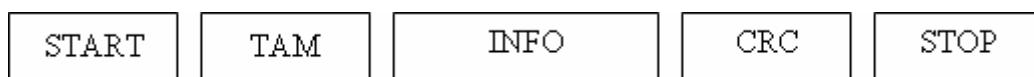
As funções do Conversor CDC são programadas pelo do Microcontrolador do Sistema. A comunicação entre o CDC e o Microcontrolador do Sistema utiliza uma Interface Serial do tipo I2C, através dos pinos SCL(Clock) e SDA(linha de dados bidirecional) dos dois dispositivos.

Interface uC – CSA

A comunicação entre o Sistema Anti-furto e o CSA é feita através uma portas serial (Tx e Rx). Essa porta é responsável pela troca de informações tais como indicação de alarme, solicitação de dados da vibração, inclinação, movimento, ou aproximação.

Cada vez que o CSA precisa saber em que estado se encontra o sistema ele envia um pacote ao uC R8C/1B solicitando as informações sobre o Status do Equipamento. O uC responde enviando um pacote contendo as informações solicitadas. O pacote utilizado para essa troca de informações é o pacote de status representado na figura 5:

Figura 5: Pacote de Status.



START = Byte indicando início do pacote.

TAM = Indica a quantidade de bytes do campo INFO.

INFO = Campo indicando as informações de status que estão sendo solicitadas ou informadas..

CRC = Verificação de erro no pacote.

STOP = Byte demarcando o fim do pacote.

Na ocorrência de uma violação o Controle do Sistema envia, imediatamente, o pacote com as informações sobre o Status do Sistema. Neste caso o campo INFO do pacote carrega a informação VIOLAÇÃO.

IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA

Um protótipo do sistema foi implementado e montado no laboratório SISCOME e colocado dentro de um equipamento eletrônico de informática. As placas de circuito impressas foram desenhadas e fabricadas também no laboratório.

O firmware foi feito no REW (High-performance Embedded Workshop) versão 4.00.03.001, que é uma plataforma de desenvolvimento da Renesas Technology Corporation. O firmware está composto de todas as rotinas para detecção de inclinação e vibração do equipamento bem como proximidade de alguém. Para exemplificar, descreve-se a seguir a implementação da detecção de inclinação do equipamento.

As saídas do Sensor de Vibração, eixos X e Y, estão conectadas as entradas conversoras A/D do microcontrolador R8C/1B da Renesas Technology Corporation. Foram definidas variáveis X e Y para armazenar os valores medidos pelas entradas conversoras, e, VoutX e VoutY para armazenar o correspondentes valores de tensão. Para calcular de quantos graus o equipamento foi deslocado usamos dos seguintes procedimentos:

As variáveis VoutX e VoutY são calculadas da mesma maneira, portanto, para ser obtido o posicionamento do equipamento em relação ao eixo Y, faz-se os seguintes cálculos:

$$VoutY = Y * 5.0 / 1023.0$$

Onde: Y é a variável que armazena o número de 10 bits obtido no conversor; 1023 equivale a 2^{10} (10 bits do AD); 5.0 é a tensão referencia.

O seno do angulo θ y, formado entre o eixo Y e a terra é dado por:

$$\text{Sin}(\theta) = [(Vout - Vcc/2) / \text{Sensitivity}]$$

Logo, definimos a variável seno para armazenar o valor do seno do ângulo como abaixo:

$$seno = (VoutY - 2.5) / 0.75$$

Utilizando então a serie de Taylor para achar o valor do ângulo em radianos:

$$ang = seno + ((seno^3) / 6.0) + ((3.0 * seno^4) / 40.0) + ((15.0 * seno^7) / 336.0) + ((105.0 * seno^9) / 3456.0)$$

Para transformar de radianos para graus fazemos:

$$ang = ang * 57.296$$

Desta forma, sabe-se de quantos graus o equipamento está sendo inclinado de sua posição de repouso. Em conjunto com as outras rotinas, o firmware decide quando o equipamento esta sendo violado ou não.

RESULTADOS

O Sistema protótipo se encontra em fase de teste em laboratório. Os resultados obtidos com os testes se mostram plenamente satisfatórios. Por exemplo, para o detector de inclinação, a tabela abaixo relaciona inclinações reais (em graus) do equipamento em teste e os ângulos medidos pelo firmware. Percebe-se que não há diferença e que o sistema é capaz de sentir até mesmo pequenas inclinações do equipamento com relação ao repouso.

Tabela 2: Resultados da aplicação do Sensor de Vibração.

Eixo Y em relação a Terra (Real)	Tensão no Eixo Y	Eixo Y em relação a Terra (Calculado)
0°	2,50 V	0°
5°	2,56 V	4°
10°	2,62 V	9°
15°	2,68 V	14°
20°	2,76 V	19°
25°	2,81 V	24°
30°	2,87 V	29°

CONCLUSÕES

Os equipamentos eletrônicos exercem hoje em dia importantes funções em todos os tipos de ambientes tais como domésticos, comerciais, industriais. Em muitos casos uma monitoração constante de um equipamento é fundamental para impedir violações de vândalos.

Mostrou-se neste artigo que a implementação de um Sistema Anti-furto para equipamentos eletrônicos é bastante viável. A utilização de um bom microcontrolador, sensores de vibração e inclinação e sensores de proximidade podem detectar de maneira eficiente ações de vândalos que prejudiquem o funcionamento e mantenham a integridade dos equipamentos eletrônicos.

A continuação desse trabalho consistirá do estudo e implementação de diversas interfaces de comunicação entre o sistema Anti-furto e o CSA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] RENESAS (2005). R8C/1A, R8C/1B Group; Hardware Manual Renesas Technology.
- [2] ANALOG DEVICES (2005). ADXL322; Small and Thin ± 2 g Accelerometer Analog Devices.
- [3] ANALOG DEVICES (2006). AD7150; Ultra Low Power, 2 Channel, Capacitance Converter for Proximity Sensing Analog Devices.
- [4] RENESAS TECHNOLOGY CORP. R8C/Tiny, M16C/60, 30, Tiny, 20, 10 Series C Compiler Package V.5.30 C Compiler User's Manual. Fevereiro, 2005.
- [5] STAUFFER, JEAN-MICHEL. Acelerômetros MEMS para aplicações de produção. Revista Digital MINAPIM NEWS 2005. Disponível em: <<http://www.suframa.gov.br/minapim/news/visArtigo.cfm?Ident=66&Lang=BR>>. Acesso em: 15 Jun. 2007.
- [6] JONATHAN, BOB. How does an Accelerometer Work?. EzineArticles 2006. Disponível em: <<http://ezinearticles.com/?How-does-an-Accelerometer-Work?&id=285604>>. Acesso em: 15 Jun. 2007.