

SISTEMA DE DETECÇÃO DE VIOLAÇÃO DE EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS BASEADO NA ANÁLISE DA VIBRAÇÃO E MOVIMENTO: UMA ABORDAGEM ENVOLVENDO ANÁLISE DE FOURIER

Sandra Régia Chaves CARVALHO (1); Pedro Klécio Farias CARDOSO (2)

(1) CEFET-CE, Endereço: Maria Clara, 457, Jardim Iracema, Fortaleza-Ce, fone: 32842379, e-mail:

sandregiac@gmail.com

(2) CEFET-CE, Endereço: Francisco Pinto, 114, Benfica, Fortaleza-Ce, fone: 32810981 – Ramal 215, e-mail:

klecius@cefetce.br

RESUMO

Atualmente, a indústria e o comércio vêm utilizando equipamentos eletrônicos que desempenham funções cada vez mais importantes. Observa-se, então, a necessidade de dotar certos equipamentos com sistemas capazes de detectar movimentos que caracterizem ações violadoras. Esses sistemas podem ser baseados na detecção da vibração através de acelerômetros, sensores de vibração sensíveis a rápidas mudanças de posição do equipamento. A análise de vibração é feita com base na coleta de dados e amostragem dos sinais no domínio do tempo. Entretanto, para adequadas avaliações, se faz necessário analisar os sinais à luz da análise de Fourier no domínio da frequência. Este trabalho apresenta um sistema para detecção de vibração por violação em equipamentos eletrônicos através da Análise de Fourier, utilizando um acelerômetro e um microcontrolador. A pesquisa foi desenvolvida por meio da abordagem de métodos já existentes sobre análise vibratória, utilizando fontes documentais e pesquisas bibliográficas. Os testes feitos em laboratório mostraram que o sistema pode trazer uma série de benefícios ao monitoramento de equipamentos eletrônicos, principalmente, quanto à segurança. Fazendo o processamento dessas informações é possível prevenir problemas causados por má utilização e violação.

Palavras-chave: vibração, amostragem do sinal, domínio da frequência.

1. INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje, até as pequenas empresas, tais como pequenos comércios, farmácias e padarias, 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, rádio e telefonia instalados e funcionando em locais desertos e sem assistência humana.

Este trabalho propõe um sistema de detecção de violações para certos tipos de máquinas, aparelhos ou equipamentos eletrônicos que necessitem de monitoramento constante ou periódico, dada as suas funções e valor econômico. Para tanto, aborda-se aqui a análise de vibração que é um dos fatores decisivos para a detecção de violação ou anomalias. O acelerômetro, sensor de vibração, é elemento que gera a entrada do sistema. Utilizando a Análise de Fourier transforma-se o sinal vibratório para o domínio da frequência e pode-se analisar suas componentes. O elemento que gerencia o monitoramento do sistema é um microcontrolador e através de um firmware de lógica e inteligência artificial consegue indicar anomalias ou violações nos equipamentos supervisionados.

O objetivo geral do sistema é minimizar os prejuízos causados por má instalação, desgaste, furto, tentando alertar os proprietários quando os equipamentos estiverem sofrendo anomalias. Em particular, este sistema implementa a detecção através da análise da vibração com métodos e algoritmos específicos da área de Processamento Digital de Sinais.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: depois da introdução são descritos os materiais e métodos utilizados no desenvolvimento do sistema; em seguida explana-se o conteúdo de fundamentação do sistema; depois da explicação, descreve-se o sistema proposto: hardware e firmware; em seguida descreve-se a implementação de um protótipo; depois os resultados da implementação são mostrados; e uma conclusão finaliza o trabalho.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido nas instalações do laboratório SISCOME (Sistema de Controle e Medição de Energia Elétrica). Foram utilizados 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 de monitoramento de equipamentos eletrônicos, processamento digital de sinais, técnicas e componentes utilizados para essa finalidade.

Em seguida foi feito a especificação do sistema, com todos os requisitos para o devido 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 equipamentos próprios para sensibilização e corrosão da placa. 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 sensores utilizados no sistema.

Após a implementação de todas as rotinas foram realizados testes com o firmware do sistema.

3. ANÁLISE DE VIBRAÇÃO

Um corpo apresenta-se em vibração quando ele faz um movimento oscilatório em torno de um ponto central. Tomemos como exemplo uma situação onde a vibração pode acarretar em sérios acidentes: o movimento de um edifício perto de uma linha de estrada de ferro quando um trem passa.

Cada objeto possui algumas características específicas que dependem do material de sua composição, como exemplo a frequência natural. A frequência natural de um objeto é a frequência que ele tende a oscilar com

mais energia ou maior amplitude. Quando submetido a uma força externa o objeto vibra naquelas frequências naturais ou em seus harmônicos.

É sabido que vibrações são provocadas por ondas mecânicas, até mesmo as vibrações sonoras. Muito comum em máquinas industriais, as vibrações podem ser provocadas por deficiências mecânicas. Uma das principais aplicações da análise de vibração é na manutenção industrial. De acordo com a premissa fundamental da análise vibracional “cada componente ou cada tipo de deficiência mecânica de uma máquina em operação produz uma vibração de frequência específica que em condições normais de funcionamento, alcança uma amplitude máxima determinada” (YA’CUBSOHN, 1983). Assim qualquer que seja a força de impacto aplicada a um sistema ele reagirá com uma amplitude de vibração significativa em determinadas frequências.

Então, a análise da vibração tem a função de identificar as componentes de frequência do sinal vibratório. A visualização do sinal de vibração no domínio do tempo não traduz informação útil. A Transformada de Fourier obtém as frequências em que a energia vibratória se concentra. O espectro de resposta apresenta as componentes de frequência que predominam em relação às outras, baseado nisso pode-se estabelecer um limites de amplitudes aceitáveis para considerar o sistema normal e, então, quando forças externas interferirem no equipamento elevando as amplitudes em frequências naturais ou diferentes, pode-se caracterizar um estado de anomalia.

4. PROCESSAMENTO DIGITAL DE SINAIS

O Processamento Digital de Sinais é uma ferramenta bastante comum na análise de sinais, graças ao aperfeiçoamento dos CI (Circuitos integrados). Antes desse tipo de processamento os sinais elétricos eram processados analogicamente. O processamento digital acarretou em grande avanço no desenvolvimento de *vocoders* (codificadores de voz) e na execução de algoritmos complexos.

Para se fazer o processamento digital dos sinais é necessário um circuito de aquisição de dados. No caso do processamento de sinais de entrada analógica é necessário um circuito de aquisição provido de conversores A/D. Os conversores A/D dos microcontroladores, por exemplo, relacionam a tensão elétrica recebida (sinal analógico) a um valor numérico binário proporcional a sua tensão de alimentação.

Para fazer a aquisição dos sinais de vibração é necessário se conhecer as maiores frequências percebidas pelo circuito que fornece as entradas, no caso o acelerômetro.

Para que o sinal adquirido seja a representação correta da onda analógica da entrada, a amostragem do sinal deve ser feita a uma frequência de amostragem (f_s) igual ou superior ao dobro da máxima frequência (f_{max}) capitada pelo acelerômetro como demonstra a equação 1 (Teorema de Nyquist). Isso pode ser facilmente observado com o auxílio de osciloscópios. Quando esses critérios não são obedecidos, erros conhecidos como erros de *aliasing* (falseamento) aparecem freqüentemente. Erro de *aliasing* deve ser evitado para que a identidade do sinal não seja comprometida desenvolvendo erros mais graves.

$$f_s \geq 2f_{max} \quad [\text{Eq. 01}]$$

5. ANÁLISE DE FOURIER

O processamento digital dos sinais requer a transformação do sinal em equação matemática. A Análise de Fourier ou Transformada de Fourier tem como princípio a decomposição dos sinais em componentes complexas, através da soma de senos e cossenos de diferentes frequências. Para a análise de um sinal, é de fundamental importância se conhecer o conteúdo do sinal e não somente a sua forma no tempo. O resultado da Análise de Fourier é o chamado espectro do sinal. Existem três tipos de ferramentas de Análise de Fourier: Série de Fourier, Transformada Contínua de Fourier, Transformada Discreta de Fourier.

Neste trabalho utiliza-se a análise por DFT, onde as componentes de frequência são múltiplas da frequência natural e determinadas pela quantidade de pontos na janela. A equação 2 mostra o cálculo da DFT. Este cálculo, para alguns computadores, é muito desvantajoso devido ao tempo e a complexidade da fórmula.

$$F(n) \equiv \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} (f(k)e^{-j2\pi nk/N}) \quad [\text{Eq. 02}]$$

Na equação $F(n)$ é a função complexa que representa o sinal no domínio da frequência, n é índice da função no domínio da frequência, N é número de pontos e o tamanho da janela do sinal em análise e $f(K)$ é a função que representa o sinal no domínio do tempo. Na equação 3, tem-se a representação do sinal em número complexo utilizada no cálculo da DFT.

$$e^{\frac{-j2\pi nk}{N}} = \cos\left(\frac{-2\pi nk}{N}\right) + j \sin\left(\frac{-2\pi nk}{N}\right) \quad [\text{Eq. 03}]$$

A DFT, como dito anteriormente, é um cálculo lento e dispendioso. Em 1965, J.W. Cooley e J.W. Tukey conseguiram desenvolver um algoritmo para calcular a DFT rapidamente. FFT (Fast Fourier Transformer) é um algoritmo inteligente e eficiente, pois reduz o número de cálculos da DFT tornando útil todos os recursos do processamento (JONES, 2008). A FFT deve ser usada em janelas que o número de pontos seja potência de 2 (64, 128, 256, 1024...). A FFT é utilizada para determinar espectros de sinais e é muito utilizada em sistemas de codificação de voz para realizar integrais de convolução.

6. SISTEMA DE DETECÇÃO DE VIOLAÇÃO – ANÁLISE DE VIBRAÇÃO

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

6.1 HARDWARE

O hardware do sistema, composto de microcontrolador e acelerômetros, é representado na figura 1.

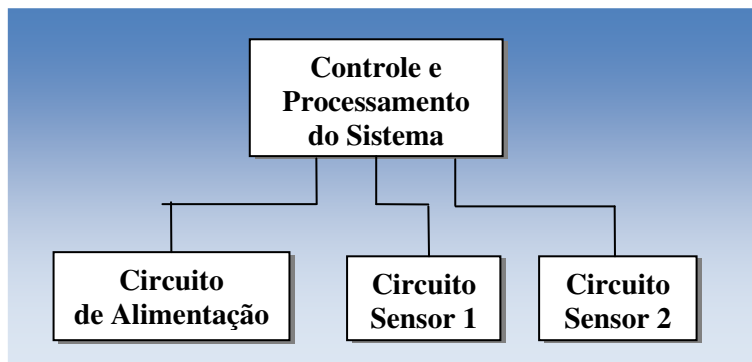


Figura 1 – Digrama em Blocos do Sistema

O controle do sistema é feito pelo microcontrolador R8C/1B da Renesas Technology Corporation. Baseado nas informações recebidas dos circuitos de sensoriamento (acelerômetros) o microcontrolador, executando o firmware do sistema de detecção, decide se o equipamento está sendo violado ou não.

6.1.1 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. Possui funções periféricas como: 13 portas I/O, 3 temporizadores, interfaces seriais (UART, I²C bus e SSU), conversores A/D, interrupções, watchdog timer, circuito para detecção de voltagem, power-on-reset, entre outras funções (RENESAS, 2006):

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 R8C/1B é sua memória flash, que se encontra 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 equipamento. A figura 2 mostra o esquema interno do microcontrolador.

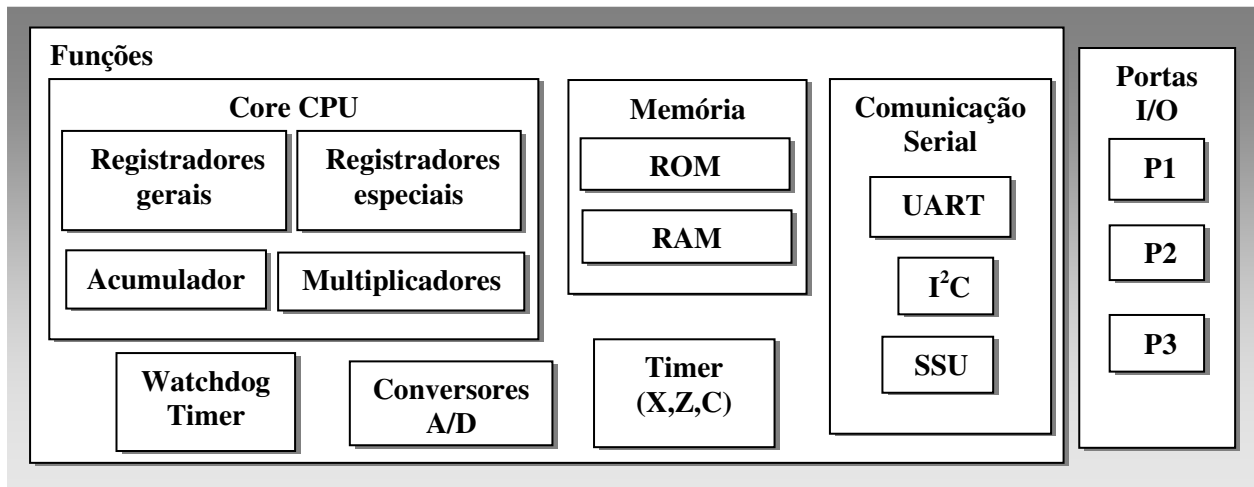


Figura 2 – Esquema em Blocos do Microcontrolador

6.1.2 SV - 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. 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. Uma inclinação ou vibração no componente gera uma onda de amplitude proporcional a aceleração. O sinal do demodulador é então amplificado e enviado para uma saída do chip. O ADXL322 possui duas saídas X e Y correspondente aos 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 (ANALOG, 2005). Na figura 3 se observa os tipos de inclinação que os eixos do acelerômetro conseguem identificar.

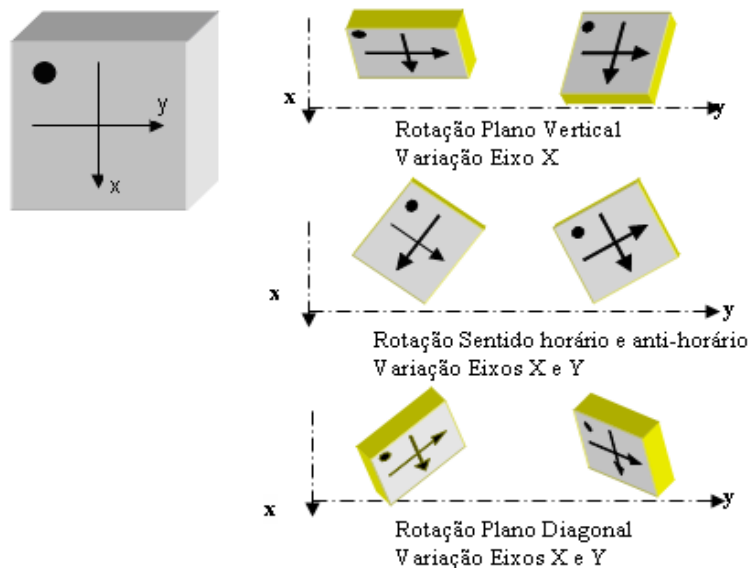


Figura 3 – Inclinação dos eixos do Acelerômetro

Uma das características do acelerômetro é sua sensibilidade (Sensitivity) que varia conforme a tensão de alimentação (V_{cc}). Para 3V a sensibilidade é de 420mV/g e para 5V é de 750mV/g. O valor da tensão de saída (V_{out}) está relacionado com o ângulo θ de inclinação do acelerômetro pela equação 4:

$$\theta = \text{Arcsin} [(V_{out} - V_{cc}/2) / \text{Sensitivity}] \quad [\text{Eq. 04}]$$

Ao vibrar o acelerômetro produz nas saídas sinais de diferentes frequências. As diferentes amplitudes de saída do acelerômetro associadas as frequências produzidas variam de acordo com o nível de vibração, assim é possível identificar anomalias provocadas por violações.

6.2 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, leitura dos sensores e processamento das informações, obtenção e envio de status. O fluxograma pode ser visualizado na figura 4.

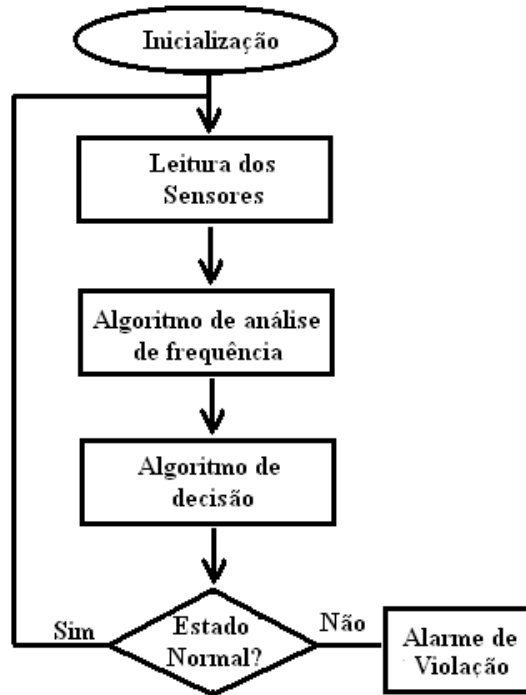


Figura 4 – Fluxograma geral do sistema

6.2.1 Inicialização

Esta é a etapa de configuração do sistema e é executada cada vez que ele é inicializado. O microcontrolador fornecerá as configurações dos dispositivos de sensoriamento e bem como inicializará as variáveis do sistema.

6.2.2 Leitura dos sensores

Leitura do SV se dá através das portas A/D do microcontrolador, pois as saídas do sensor estão conectadas as essas portas. Um vetor do tipo inteiro deverá armazenar essas entradas para que as próximas etapas possam realizar a análise e o processamento lógico do sistema.

6.2.3 Algoritmo de análise de frequência

O algoritmo utilizado para fazer a análise das informações é o algoritmo da FFT. Quanto maior o vetor de entrada, maior a precisão da resposta. Aplica-se a FFT sobre o vetor de entrada digital de tamanho N que necessariamente deve ser uma potência de base 2. A resposta é dada em um vetor de magnitudes. Cada ponto do vetor representa uma frequência.

6.2.4 Algoritmo de decisão

Primeiro encontra-se a assinatura do sistema, um vetor com as componentes de frequência e respectivas magnitudes do sistema em repouso. Em seguida uma lógica de Inteligência se aplica a assinatura atual do sistema. Baseada na comparação entre a assinatura do sistema em repouso e a assinatura atual o controle consegue identificar anomalias no equipamento supervisionado.

6.2.5 Status do Sistema

O Status do Sistema é a etapa de registro e 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.

- Status Normal → quando não for detectada violação.
- Status Violado → quando for detectada violação.

7. IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA

Um protótipo do sistema foi implementado, montado no laboratório SISCOME (Sistema de Controle e Medição de Energia Elétrica) e depois instalado dentro de um equipamento eletrônico de informática. As placas de circuito impressas foram desenhadas e fabricadas também no laboratório. O firmware foi feito no software HEW (High-performance Embedded Workshop) versão 4.00.03.001, uma plataforma de desenvolvimento da Renesas Technology Corporation. Descreve-se a seguir a etapa de teste de impacto e conclusões e, por fim, a implementação da rotina de detecção de vibração.

7.1 Testes de impacto e conclusões

Para a implementação do firmware foram feitos testes de impactos e vibrações com o acelerômetro instalado em um equipamento eletrônico. O objetivo destes testes foi observar a faixa de frequência de operação do sistema com o auxílio do osciloscópio e assim determinar a frequência de amostragem a ser adotada.

A taxa máxima de amostragem das entradas A/D do microcontrolador corresponde a uma frequência de 300KHz. Ajustou-se a f_s (frequência de amostragem) do osciloscópio para 200KHz. Então, submeteu-se o equipamento a impactos em níveis leves e fortes e observou-se que a faixa de frequência de operação se estendeu de 0 a +/- 1KHz.

Sendo f_{max} (máxima frequência) em torno de 1KHz, configurou-se a f_s do osciloscópio para 2KHz (ver equação 1). Colocando essa configuração na prática é possível identificar as magnitudes das frequências do espectro e percebe-se a variação das componentes de frequência entre os diferentes níveis de impactos. Sendo assim, admitiu-se para o desenvolvimento do sistema: $f_s = 2\text{KHz}$ e N (número de pontos da FFT) = 64.

A tabela 1 abaixo mostra os resultados dos ensaios feitos com acelerômetros, onde se pode constatar as várias frequências e os picos de amplitudes para os diferentes níveis de vibrações.

Tabela 1 – Vibrações em níveis graduais: relação frequência-magnitude

Nível 10	Nível 20	Nível 30	Nível 40	Nível 50	Nível 60	Nível 70	Nível 80	Nível 90	Nível 100	Magnitudes (mVrms)	Faixa de frequência (Hz)
1 a 175	1 a 280	1 a 325	1 a 525	75 a 625	75 a 625	1 a 850	1 a 800	65 a 1125	65 a 1125	50	1 a 1125
	100 a 180	85 a 175	150 a 312	150 a 335	150 a 335	120 a 320	65 a 540	75 a 700	70 a 485	100	65 a 500
				200 a 275	200 a 275	200 a 325	75 a 325	85 a 325	75 a 400	150	75 a 500
						200 a 325	75 a 325	100 a 320	80 a 330	200	80 a 370
						285 a 320	150 a 320	300 a 325	125 a 325	250	285 a 345
						290 a 315	155 a 360	290 a 315	220 a 325	300	220 a 360
							330	290 a 310	285 a 315	350	285 a 330
								295 a 305	300 a 310	400	295 a 310

Para compor os dados da tabela 1, fixou-se os níveis de magnitude da resposta em frequência que se apresentaram nos ensaios e as componentes de frequências que conseguiram atingir aqueles picos, isso para cada nível de vibração (10 a 100) estabelecido nos ensaios. Observa-se que algumas frequências se fazem presentes em todos os níveis de vibração, determinando as frequências naturais do sistema, mas só algumas conseguem chegar aos picos mais altos de magnitude. Embora certos os níveis de vibração apresentem uma faixa de frequência de operação extensa, só os níveis mais altos conseguem atingir frequências altas e magnitudes elevadas.

7.2 Implementação do Firmware

A primeira fase do firmware utilizado na implementação é o processo de inicialização. Na inicialização é feito um levantamento de dados para descrever o comportamento do equipamento submetido as condições do ambiente de instalação. Esses dados são armazenados em um vetor chamado *entrada*. Em seguida, o vetor é submetido a Análise de Fourier através da função $FFT()$, como na equação 4, e assim as várias componentes de frequência que caracterizam o sistema em repouso são armazenadas no vetor $FFT_{saída}$. A esse processo dá-se o nome de aquisição da assinatura do sistema.

$$FFT_{saída} = FFT(entrada) \quad [Eq. 04]$$

Após isso, é feito um cálculo de média sobre $FFT_{saída}$ e o resultado é armazenado em uma variável chamada $media_{inicial}$, como mostra a equação 5.

$$media_{inicial} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} FFT_{saída}(n) \quad [Eq. 05]$$

Durante a fase de teste observou-se as médias mais altas possíveis submetendo o equipamento à impactos muito fortes, e estabeleceu-se uma variável de limite máximo para as médias, $media_{máx}$. Como a lógica do sistema de detecção utiliza a configuração do equipamento por níveis de sensibilidade à vibração, ou seja, escolhe-se que tipos de impactos o equipamento será capaz de sentir, criou-se uma variável chamada NS (nível de sensibilidade). Através da NS é possível configurar a variável $media_{relativa}$, possibilitando níveis de detecção ao sistema. Admitindo a equação 5 e utilizando uma regra de três, relacionou-se essas variáveis obtendo a equação 6 que calcula a $media_{relativa}$ para cada configuração:

$$media_{relativa} = media_{máx} - \frac{NS(media_{máx} - media_{inicial})}{100} \quad [Eq. 06]$$

Outra variável que deve ser calculada nesse primeiro momento é a variável $dif_{inicial}$. É uma variável que armazena a máxima diferença entre as médias, um limite de detecção que o sistema admite como normal.

$$dif_{inicial} = media_{relativa} - media_{inicial} \quad [Eq. 07]$$

Com posse de todas essas variáveis ($media_{inicial}$, $media_{Max}$, $media_{relativa}$, $dif_{inicial}$), inicia-se o laço de monitoração do sistema: processo de leitura e aquisição das entradas atuais, análise de frequência (FFT), cálculo de média sobre os novos dados e tomada de decisão.

Quando ocorrerem vibrações no equipamento, o sistema detectará alterações significativas nas novas componentes de frequência fazendo com a variável dif_{atual} da equação 8 seja maior que a $dif_{inicial}$:

$$dif_{atual} = media_{atual} - media_{inicial} \quad [Eq. 08]$$

No caso do sistema se encontrar alterado ($dif_{atual} > dif_{inicial}$), uma informação de alarme será gerada. Através da análise das componentes de saída da FFT pode-se determinar o tipo e o grau da alteração sofrida pelo equipamento.

8. RESULTADOS

O protótipo do sistema se encontra em fase de testes e ajustes. Os resultados obtidos até então se mostram satisfatórios. Os testes de impactos proporcionaram ao desenvolvimento do protótipo uma análise muito prática e eficiente da solução. Deve-se atentar que a fase inicial de aquisição de dados através da assinatura do sistema é fundamental para o correto processamento da inteligência e perfeito relacionamento com a realidade. O sistema se mostra apto a identificar os diferentes níveis de vibração que porventura denunciem uma violação. Isso pode ser visto na tabela 2, que mostra a comparação entre os resultados da rotina de cálculo da FFT do firmware do protótipo e o resultado real.

Tabela 2 – Resultados da FFT

Índice	A/D	FFT - Firmware	FFT - Real	Índice	A/D	FFT - Firmware	FFT - Real
0	271	934	934,25	32	483	25	25,5
1	368	55	55,82	33	257	20	20,57
2	257	21	21,74	34	630	20	20,21
3	602	28	28,18	35	284	43	43,94
4	269	40	40,54	36	663	21	21,05
5	596	47	47,22	37	457	66	66,95
6	671	36	36,44	38	263	6	6
7	596	50	50,63	39	311	27	27,95
8	512	17	16,98	40	404	22	22,05
9	261	31	31,14	41	672	32	32,84
10	375	43	43,55	42	521	44	44,31
11	380	29	29,39	43	601	30	30,16
12	314	17	16,96	44	626	19	19,53
13	298	70	70,93	45	469	14	14,44
14	375	28	28,6	46	586	28	28,43
15	346	11	10,4	47	643	51	51,48
16	468	17	16,75	48	502	17	16,75
17	613	51	51,48	49	365	11	10,4
18	347	28	28,43	50	481	28	28,6
19	272	14	14,44	51	529	70	70,93
20	332	19	19,53	52	568	17	16,96
21	340	30	30,16	53	419	29	29,39
22	637	44	44,31	54	342	43	43,55
23	520	32	32,84	55	627	31	31,14
24	259	22	22,05	56	676	17	16,98
25	592	27	27,95	57	574	50	50,63
26	624	6	6	58	609	36	36,44
27	333	66	66,95	59	285	47	47,22
28	527	21	21,05	60	663	40	40,54
29	661	43	43,94	61	556	28	28,18
30	435	20	20,21	62	666	21	21,74
31	322	20	20,57	63	391	55	55,82

9. CONCLUSÕES

Os equipamentos eletrônicos exercem importantes funções em diferentes ramos de atividade nos dias atuais. Uma monitoração constante pode prevenir falhas devido a violação desses equipamentos e evitar maiores prejuízos aos seus proprietários.

Mostrou-se neste trabalho que a implementação de um sistema de detecção contra violações de equipamentos eletrônicos utilizando análise de vibração é possível e viável. Nota-se que a Análise de Fourier proporciona informações detalhadas sobre as vibrações e que são relevantes ao funcionamento do sistema e que em uma análise comum, no domínio do tempo, não seria possível observar. Essa contribuição é fundamental ao processo de inteligência do sistema.

A utilização de um bom microcontrolador, sensores de vibração e inclinação podem detectar de maneira eficiente ações de vândalos que prejudiquem o funcionamento e comprometam a integridade dos equipamentos eletrônicos.

A continuação desse trabalho consistirá no desenvolvimento e na implementação de um sistema ainda mais completo de inteligência artificial e de uma comunicação entre vários sistemas de detecção como o descrito neste trabalho, formando assim uma rede de equipamentos monitorados a distância.

REFERÊNCIAS

ANALOG. **ADXL322 – Small and Thin ± 2 g Accelerometer**. Analog Devices, 2005.

CARVALHO, S. R. C.; CAVALCANTE, R. C.; CARDOSO, P. K. F. **SAFE – SISTEMA ANTI-FURTO PARA EQUIPAMENTO ELETRÔNICOS UTILIZANDO SENSOR DE VIBRAÇÃO E SENSOR DE PROXIMIDADE**. Conexões: Ciência e Tecnologia, v.1, n.01, p. 79-84, Fortaleza-Ce, 2007.

Escola Superior de Tecnologia Setubal. **Vibrações e Ruído**. Disponível em:
<http://ltodi.est.ips.pt/nnunes/Ensino/Vib_Ruid/Trab_Pratt/TP6.pdf> Acessado em: 22 jul 2008.

JONES, D. L; SELESNICK, I. **The DFT, FFT, and Practical Spectral Analysis**. Rice University, Houston, Texas, 2008.

MARÇAL, R.F.M.; SUSIN, A.A. **DETECTANDO FALHAS INCIPIENTES EM MÁQUINAS ROTATIVAS**. Revista Gestão Industrial. v. 01, n. 021 : pp. 087-096, 2005.

RENESAS. **R8C/1A, R8C/1B Group; Hardware Manual**. Renesas Technology, 2006.

Teknikao Ind. e Com. Ltda. **Medida de Vibração – Uma ferramenta para manutenção**. Disponível em:
< <http://www.teknikao.com/ApostilaVibracoes.pdf>> Acesso em: 22 jul 2008.

YA' CUBSOHN, R. V. **El Diagnostico de fallas por análisis vibratorio**. São Paulo: Die Techik Ltda., 1983.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Deus, nossos familiares e amigos pelo apoio, compreensão e estímulo ao desenvolvimento científico à começar nas corriqueiras discussões. E, finalmente, aos membros do laboratório SISCOME, pela colaboração no desenvolvimento deste trabalho e, especialmente, pela paciência durante a fase de testes.