



PROJETO DE UM ANALISADOR DE FREQUÊNCIAS PARA VERIFICAÇÃO DE ESTABILIDADE TRANSVERSAL DE EMBARCAÇÕES AMAZÔNICAS

Carlos R. P. dos Santos Junior¹, Flávio José Aguiar Soares²

¹Graduando em Tecnologia em Mecatrônica Industrial – IFAM. email: carlos_rpdj@hotmail.com.

²Professor Dr. na área de Engenharia de Controle e Automação – IFAM. email: acadaf@gmail.com.

Resumo: Esse artigo apresenta o projeto de um sistema embarcado que foi desenvolvido para funcionar como um analisador da frequência de oscilação transversal de uma embarcação. O dispositivo é composto por um controlador digital de sinais (DSC), o dsPIC30F4013 e um display LCD. O dsPIC é o responsável pela aquisição e processamento dos sinais, convertendo os sinais no domínio do tempo para o domínio da frequência através da Transformada Discreta de Fourier (DFT) e o display pela exibição do valor da frequência. O sistema proposto deve medir a frequência de oscilação transversal de uma embarcação e verificar se tal frequência encontra-se em ressonância com a sua frequência natural. Caso a oscilação aproxime-se da condição de ressonância, o dispositivo emite um alarme sonoro ao condutor para que o mesmo reconduza a embarcação de volta à estabilidade. No trabalho é apresentado uma simulação do sistema utilizando o MATLAB, o esquema elétrico e o leiaute do dispositivo que foram desenvolvidos com auxílio do software PROTEUS, a confecção da placa de circuito impresso que foi realizada utilizando a prototipadora PROTOMAT S100 e um teste de validação utilizando um gerador de sinais e um osciloscópio que comprovaram a funcionalidade do sistema.

Palavras-chave: analisador de frequências, dspic, dft, estabilidade de embarcações, sistemas embarcados

1. INTRODUÇÃO

Na região amazônica as embarcações desempenham um trabalho de suma importância no transporte de cargas e passageiros. A região possui uma malha rodoviária de baixo porte devido ao custo de construção e manutenção de rodovias. São mais de 25.000 km de rios navegáveis contra apenas 12.000 km de estradas e rodovias.

Na região, ocorrem anualmente diversos acidentes com essas embarcações como abaloamentos, tombamentos, incêndios etc.. Esses acidentes são comumente causados por superlotação, tripulação sem habilitação, desrespeito as condições climáticas, má distribuição de cargas e passageiros e embarcações fora das especificações da Capitania dos Portos. Essa situação motiva pesquisas que visam à melhora das condições de segurança desse importante meio de transporte da região.

Dentre as causas dos acidentes com as embarcações da região, está também a perda da estabilidade transversal causada pelo fenômeno da ressonância que ocorre quando a frequência de oscilação transversal da embarcação iguala-se a sua frequência natural. Nessa situação a embarcação tende a oscilar em maiores amplitudes facilitando o seu tombamento.

A maioria dos acidentes relacionados à ressonância ocorre pelo fato de o condutor não saber que a embarcação encontra-se próxima a essa condição. Baseando-se nessa situação, surge o questionamento: como identificar que uma embarcação encontra-se na condição de ressonância?

Visando o aumento da segurança das embarcações amazônicas, e como solução para a indagação proposta no parágrafo anterior, esse artigo apresenta o projeto de um analisador de frequências para verificação da condição de ressonância em uma embarcação.

Para o desenvolvimento do sistema, pretende-se utilizar um Controlador Digital de Sinais (DSC), mais precisamente o dsPIC30F4013, produzido pela Microchip, visto que para a realização dos cálculos envolvidos com a verificação da frequência, é necessária uma alta capacidade de processamento, o que está presente nos DSC. Além disso o dsPIC30F4013, por ser um DSC também possui periféricos que estão presentes em microcontroladores como o conversor analógico digital



(ADC) que será utilizado para converter os sinais analógicos da oscilação em sinais digitais. Os sinais da oscilação podem ser medidos utilizando-se sensores de inclinação (inclinômetros ou acelerômetros).

Devido ao fato de que a oscilação transversal de uma embarcação não gera um sinal periódico, será necessário converter o sinal adquirido no domínio do tempo em um espectro de frequência, de modo a se identificar qual componente de frequência possui maior amplitude e representa a frequência fundamental de oscilação transversal. A conversão do sinal no domínio do tempo para o da frequência deve ser realizada através da Transformada Discreta de Fourier (DFT).

Após a realização da aquisição e tratamento dos sinais, o sistema proposto deve ainda apresentar continuamente o valor da frequência fundamental de oscilação transversal.

Na literatura podem ser encontrar diversos trabalhos relacionados, como a monografia de Silva Junior (2004), onde ele apresenta o desenvolvimento de um analisador de espectros para sinais de baixa amplitude e frequência voltado para a área da Engenharia Biomédica e na monografia de Oliveira (2010) onde o autor mostra o projeto de um analisador de espectros via PC com aquisição microcontrolada.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Equilíbrio em Embarcações

Os conceitos físicos relacionados a equilíbrio são fundamentais para um melhor aproveitamento do estudo da estabilidade transversal de embarcações. Um corpo é considerado em equilíbrio quando a resultante de todas as forças e momentos que atuam sobre ele é zero (RAWSON; TUPPER, 2001). Uma Embarcação pode estar em três situações de equilíbrio: equilíbrio estável, equilíbrio instável e equilíbrio neutro.

Considera-se uma embarcação em equilíbrio estável se, quando inclinada, ela tende a retornar a sua posição inicial. Para que isso ocorra, o centro de gravidade (G) deve estar abaixo do metacentro (M), Figura 1a, isto é, a embarcação deve ter a altura inicial do metacentro positiva (DERRET, 1999).

Uma embarcação é considerada em equilíbrio instável quando inclinada a um pequeno ângulo, tende a inclinar ainda mais. Isso ocorre quando o centro de gravidade está acima do metacentro, Figura 1b (DERRET, 1999).

Quando ocorre de o centro de gravidade da embarcação coincidir com seu metacentro, ela é dita em equilíbrio neutro. Neste caso se inclinada a um pequeno ângulo ela tenderá a permanecer neste ângulo até que outra força externa lhe seja aplicada, Figura 1c (BIRAN, 2003).

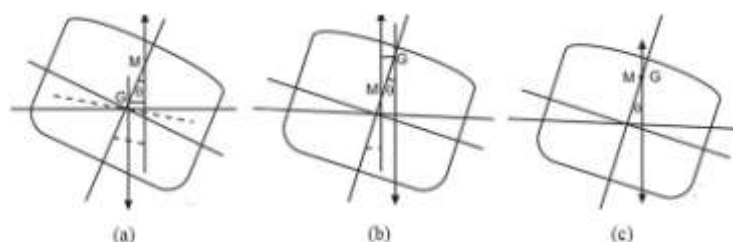


Figura 1 – Condições de Equilíbrio de uma Embarcação

Fonte: Adaptado de Derret, 1999

2.2. Estabilidade e Instabilidade em Embarcações

De modo geral, a estabilidade é definida como a propriedade de um corpo em equilíbrio de retornar a sua posição inicial quando perturbado dessa posição. Nas embarcações ela é a capacidade da embarcação de se manter em equilíbrio, ou seja, com baixas oscilações (BIRAN, 2003). Já a instabilidade pode ser definida como a característica de um corpo que após sofrer uma perturbação, não retorna a sua posição inicial (RAWSON; TUPPER, 2001). Nas embarcações, é a característica que representa a embarcação fora do equilíbrio ou em equilíbrio instável, ou seja, oscilando de forma



descontrolada. Essa instabilidade é causada por forças externas como correntes marítimas, ventos, ondas, etc. (CLAYTON; BISHOP, 1982).

2.3. Ressonância

Em sistemas mecânicos, a ressonância é um fenômeno que ocorre quando a frequência natural do sistema for igual à frequência externa que lhe é aplicada. Quando isso ocorre o sistema passa a oscilar em sua máxima frequência. Quando o corpo está em sua frequência ressonante, ele acumula energia dessa oscilação, o que aumenta drasticamente sua amplitude de oscilação (LAARHOVEN, 2009).

A ressonância é um fenômeno que ocorre a partir de qualquer tipo de onda, seja ela onda material (que precisa de meio material para se propagar, como o som) ou onda eletromagnética (como a luz, que se propaga no vácuo) (LAARHOVEN, 2009).

Um caso bastante conhecido sobre os efeitos da ressonância é o da ponte de Tacoma. A ponte caiu no dia 7 de novembro de 1940, meses depois de sua inauguração. Na madrugada do dia 7, os ventos chegaram a atingir cerca de 70 km/h o que ocasionou a ressonância com a ponte. As oscilações foram de tão grande amplitude que causaram sua destruição.

2.4. Ressonância em Embarcações

Os conceitos de ressonância são fundamentais para o estudo da estabilidade de embarcações, pois uma das situações que provocam a instabilidade das mesmas é a condição em que a frequência de oscilação transversal da embarcação entra em ressonância com a sua frequência natural (SAIMOLESU; RADU, 2002).

Quando uma embarcação entra em ressonância pela oscilação transversal, não significa necessariamente que ela irá sofrer um tombamento, portanto não existe um tempo definido para que isso ocorra. Essa condição é definida como de menor estabilidade, pois é a condição em que a embarcação passa a oscilar em máximas inclinações transversais (SANTOS JUNIOR; SOARES, 2011).

Nas embarcações, a condição de ressonância pode ser alcançada em função de forças periódicas, externas ou internas que excitam a embarcação, como a ação das ondas que se chocam periodicamente com o casco ou ainda o vento sobre a sua estrutura (SANTOS JUNIOR; SOARES, 2011).

Para se afastar da condição de ressonância, o condutor pode alterar a resposta dinâmica da embarcação variando a direção ou a velocidade de deslocamento do barco, o que corresponde à alteração da frequência de excitação do sistema (SANTOS JUNIOR; SOARES, 2011).

2.5. A Transformada de Fourier

A Transformada de Fourier é um artifício matemático bastante utilizado em estudos relacionados à análise e processamento de sinais. Possui esse nome em homenagem ao seu criador, o físico francês Jean Baptiste Joseph Fourier (HAYKIN; VEEN, 2001).

A sua função principal é a de representar um sinal não periódico como uma superposição de senóides complexas, ou seja, mostrar que um sinal não periódico qualquer pode também ser representado como uma soma de senóides. Além disso, pode-se dizer também que é utilizada para converter uma função no domínio do tempo para o domínio da frequência. Dentre as suas principais aplicações encontram-se a filtragem de sinais, segmentação, reconhecimento de padrões e compressão (HAYKIN; VEEN, 2001).

2.6. A Transformada Discreta de Fourier

A Transformada Discreta de Fourier é uma das derivações da Transformada de Fourier que também realiza a conversão de sinais no domínio do tempo para o domínio da frequência, porém, essa não necessita de uma expressão analítica para a função a ser analisada, necessita apenas de uma série de amostras dessa função. Ela é largamente aplicada no estudo espectral de sinais e é determinada numericamente com o auxílio de computadores (SILVA JUNIOR, 2004).



2.7. Controlador Digital de Sinais (DSC)

Os controladores digitais de sinais são dispositivos que absorvem as principais características do mundo dos microcontroladores, unindo-se ao poder de processamento dos Processadores de Sinais Digitais (DSP). Possuem encapsulamentos pequenos, como o formato PDIP, utilizando matrizes de contato, de dezoito pinos, o que não é comumente visto em DSP (OLIVEIRA, 2006). Eles são designados principalmente para aplicações de áudio e controle de movimentos em motores, encoders etc. De forma geral pode-se dizer que são destinados para aplicações que os microcontroladores não são capazes de atender. Os DSC possuem as melhores características dos microcontroladores como tamanho, custo e periféricos internos, e as melhores características dos DSP como a velocidade de processamento. Dentre os DSC mais comuns estão os fabricados pela Microchip, mais conhecidos por dsPIC (BAILEY, 2005).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Revisão Bibliográfica

No desenvolvimento do trabalho foi realizada uma revisão bibliográfica com foco nos assuntos envolvidos com o tema a ser desenvolvido. Inicialmente foi realizado um estudo para uma compreensão básica dos conceitos da engenharia naval onde foram consultadas obras literárias consagradas, artigos científicos e trabalhos acadêmicos. Após esse estudo inicial foi possível entender os conceitos básicos de estabilidade de uma embarcação e as influências da ressonância atuando sobre ela. Num segundo instante foram realizados estudos na área de eletrônica tendo como finalidade a busca de conhecimentos relacionados a técnicas e dispositivos que auxiliam na medição de frequências e para finalizar a revisão bibliográfica buscou-se conhecimentos na área de processamento digital de sinais onde foi conhecida a Transformada Discreta de Fourier (DFT).

3.2. Simulação do Sistema Utilizando o MATLAB

Após a revisão bibliográfica viu-se necessário uma visualização do funcionamento da Transformada Discreta de Fourier (DFT). Para isso desenvolveu-se um algoritmo de simulação no MATLAB. O algoritmo gera um sinal composto de várias frequências e nesse sinal é aplicada a DFT que em seguida fornece uma visualização espectral desse sinal. A Figura 2a mostra o sinal gerado na simulação. Ele é composto pela somatória de três senóides de amplitude e frequências diferentes. A primeira possui uma frequência de 1 Hz e amplitude 1, a segunda uma frequência de 2 Hz e amplitude 2, e a terceira uma frequência de 3 Hz e amplitude 3. Na Figura 2b é apresentado o espectro de frequências desse sinal. Os parâmetros da DFT para utilizados para essa representação são: frequência de amostragem de 50 Hz e 128 amostras. Vale ressaltar que o a função de cálculo da DFT foi totalmente desenvolvida baseando-se apenas nas equações matemáticas que lhe definem.

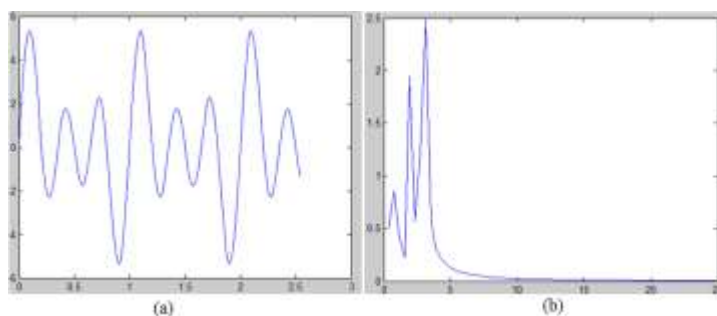


Figura 2 – Simulação da DFT no Matlab

Fonte: próprio autor

3.3. Escolha do Núcleo de Processamento do Sistema

Após a realização da revisão bibliográfica e das simulações no MATLAB, deu-se continuidade ao trabalho com a escolha do núcleo de processamento a ser utilizado para a implementação do



sistema. O núcleo de processamento escolhido foi o DSC da Microchip, o dsPIC30F4013. Ele possui uma capacidade de processamento de até 30 MIPS, 2kB de memória RAM, 40 kB de memória de programa e ADC de 12 bits. Essas são características suficientes para o desenvolvimento do sistema.

3.4. Projeto do Esquema Elétrico e Leiaute da Placa do Sistema

Depois da escolha dos principais dispositivos do sistema o próximo passo é o desenvolvimento do esquema do circuito eletrônico. O circuito é composto basicamente pelo regulador de tensão (neste caso o LM7805, regulador de 5 V), o dsPIC30F4013 (núcleo de processamento), o LCD Alfanumérico 4x20 e pelos capacitores de bypass. O esquema elétrico do sistema é apresentado na Figura 3. Ele foi desenvolvido com auxílio do software ISIS, presente no PROTEUS. O PROTEUS é um CAD voltado para a área de eletrônica. Com ele é possível além de montar esquemas elétricos, fazer simulações de circuitos e construir leiautes de placas de circuito impresso.

Com o esquema elétrico em mãos parte-se para o desenvolvimento da placa de circuito impresso. Para isso é necessário organizar a disposição dos componentes na placa levando em consideração a estética e o funcionamento do dispositivo. Para o desenvolvimento do leiaute do circuito do sistema, foi utilizado o ARES também presente no PROTEUS. O leiaute do sistema é mostrado na Figura 4.

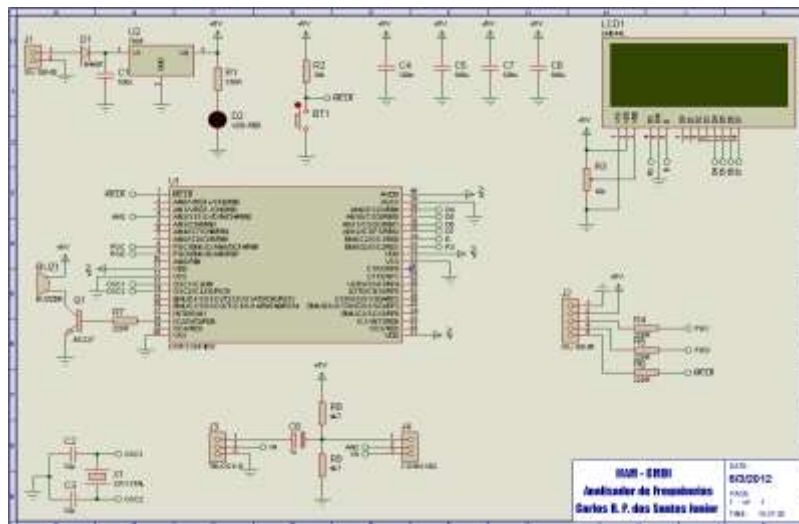


Figura 3 – Esquema Elétrico do Sistema Proposto
Fonte: próprio autor

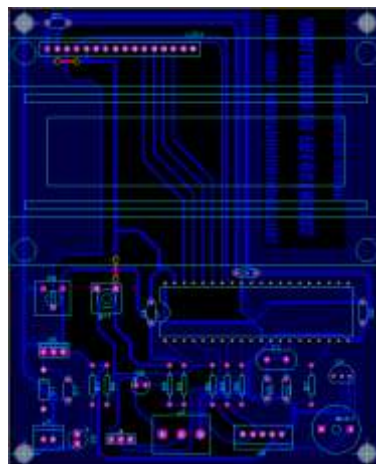


Figura 4 – Leiaute da placa do Sistema Proposto
Fonte: Próprio Autor



3.5. Confeção da Placa de Circuito Impresso (PCI)

A confecção da PCI é a parte mais delicada da construção do circuito. Nesta etapa, qualquer erro pode danificar a placa tornando-a inutilizável. Existem diversas maneiras de se realizar a confecção de PCIs, dentre essas maneiras estão: transferência térmica, prensagem, laser, usinagem etc.. Nesse projeto a confecção foi realizada através de uma máquina CNC própria para a confecção de PCI. Essa máquina é a PROTOMAT S100 da LPKF, Figura 4. Ela realiza os processos de furação, fresagem e corte da placa.

Para iniciar o processo de confecção deve-se extrair do PROTEUS um arquivo que contém as coordenadas do desenho da PCI chamado GERBER. Em seguida esse arquivo é decodificado para o formato em que a máquina entende, essa conversão é realizada através dos softwares dela, o CircuitCAM e o BoardMaster. Após isso, insere-se a placa cobreada virgem na bandeja da PROTOMAT e através do BoardMaster controla-se os processos de confecção da PCI. A PCI após a confecção é mostrada na Figura 5.

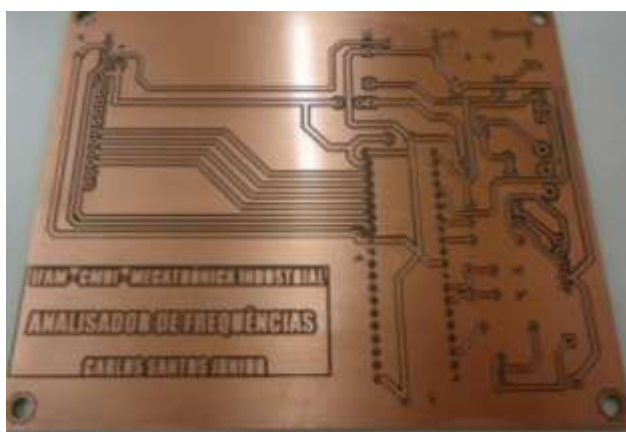


Figura 5 – PCI após Confeção
Fonte: próprio autor

3.6. Montagem da Placa de Circuito Impresso

Após o processo de confecção da PCI foi realizada a montagem dos componentes na placa. A Figura 6 mostra a placa após a montagem dos componentes.



Figura 6 – Analisador de Frequências Montado
Fonte: próprio autor



3.7. Programação do Sistema

O programa de controle do DSC foi desenvolvido no MPLAB v8.85 utilizando o compilador C30. Todos esses softwares são gratuitos e disponibilizados no site do fabricante, a Microchip. No início do desenvolvimento do software pretendia-se utilizar as bibliotecas para cálculo da Transformada Rápida de Fourier presentes no software. Porém após o estudo dessas bibliotecas percebeu-se que elas só serviam para análise de sinais de alta frequência, sendo que uma embarcação comum oscila a uma frequência próxima a 1 Hz. Sendo assim, houve a necessidade do desenvolvimento de um novo algoritmo para a conversão do sinal do domínio do tempo para o da frequência. Após pesquisas chegou-se a conclusão que seria utilizada a DFT pela simplicidade de implementação do algoritmo. De maneira geral o software desenvolvido é composto pelos seguintes módulos: Configuração das Portas do DSC, Interface e Inicialização do LCD, Aquisição de dados pelo ADC, Configuração do Temporizador para Ajuste da Frequência de Amostragem e Cálculo da DFT.

3.8. Teste de Validação do Sistema

Para realizar a validação do sistema desenvolvido, foi realizada uma simulação utilizando o um gerador de funções e um osciloscópio. Na simulação foram geradas várias formas de onda com amplitudes e frequências diferentes e aplicadas à entrada do analisador de frequências e ao osciloscópio. Primeiro verificava-se a frequência na tela do gerador de funções e em seguida comprovava a frequência do sinal no osciloscópio e por fim visualizava-se a frequência fundamental do sinal gerado no LCD do analisador de frequências.

A Figura 7 apresenta o esquema real utilizado para a realização do teste de validação analisador de frequências.

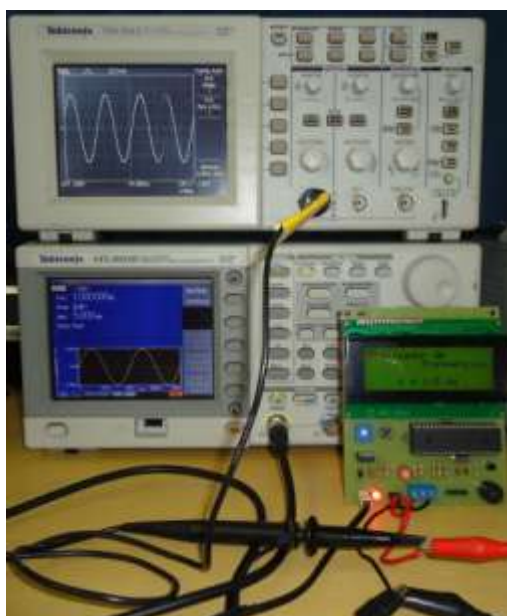


Figura 7 – Teste de Validação do Sistema
Fonte: próprio autor

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos com o teste de validação mostram que o sistema é funcional. O dispositivo consegue detectar e mostrar o valor da maior frequência de um sinal amostrado com um erro de até 10%, o que é suficiente para a detecção da frequência de oscilação transversal de uma embarcação, visto que na embarcação ao invés de um valor, será utilizada uma faixa de frequência próxima a sua frequência de ressonância. Apesar da funcionalidade o analisador ainda possui um tempo relativamente alto de atualização (neste caso cinco segundos), causado devido à grande quantidade de cálculos necessários na DFT.



6. CONCLUSÕES

Esse artigo apresentou o projeto de um analisador de frequências para a verificação da estabilidade transversal de embarcações amazônicas. Até o momento o sistema ainda não foi testado em uma embarcação real, mas, pode-se concluir, baseando-se nos resultados obtidos com o teste de validação, que o sistema é completamente funcional.

Para estudos futuros pretende-se desenvolver o sistema de aquisição dos sinais da oscilação transversal da embarcação utilizando acelerômetros. Para isso será necessário o desenvolvimento de um circuito de condicionamento do sinal composto por filtros e amplificadores. Além disso, também se pretende desenvolver o algoritmo da Transformada Rápida de Fourier (FFT) para solucionar o problema do atraso na atualização do valor da frequência, visto que a FFT faz o trabalho da DFT até cem vezes mais rápido.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM pela concessão da bolsa que viabilizou o desenvolvimento desse projeto. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo financiamento dos equipamentos e à diretoria do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM pelo apoio institucional.

REFERÊNCIAS

BIRAN, A. B. **Ship Hydrostatics and Stability**. Oxford: Elsevier Ltd., 2003.

CLAYTON, B. R.; BISHOP, R. E. D. **Mechanics of Marine Vehicles**. Bristol: J. W. Arrowsmith Ltd., 1982.

DERRET, D. R. **Ship Stability For Masters And Mates**. 5. Ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1999.

HAYKIN, S.; VEEN, B. V. **Sinais e Sistemas**. Porto Alegre: Bookman, 2001.

LAARHOVEN, B. J. H. **Stability Analysis of Parametric Roll Resonance**. Eindhoven University Technology, Department Mechanical Engineering. Eindhoven, 2009.

OLIVEIRA, N. C. **Analisador de Espectros Via PC com Aquisição Microcontrolada**. 2010. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Luterana do Brasil, Canoas.

RAWSON, K. J.; TUPPER, E. C. **Basic Ship Theory: Hydrostatics and Strength**. 5. Ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001.

SAIMOLESU, G.; RADU, S. **Stabilisers and Stabilizing Systems on Ships**. In: Constantin Brâncuși University, Engineering Faculty, International Conference, 8th, Târgu Jiu, 2002.

SANTOS JUNIOR, C. R. P.; SOARES, F. J. A. **Analisador De Frequências Para Análise De Estabilidade Transversal De Embarcações Amazônicas**. In: CONNEPI, VI, Natal, 2011.

SILVA JUNIOR, P. G. **Analisador de Espectro Para Sinais Elétricos de Baixa Amplitude e Frequência**. 2004. Monografia (Graduação em Engenharia da Computação) – Centro Universitário Positivo, Curitiba.