

Instrumentação Virtual e Ensino de Guerra Eletrônica: A Experiência do CEAAE

Alexandre Camacho Coelho – Cap.-Esp.-Com
Instituto Tecnológico de Aeronáutica (Divisão de Engenharia Eletrônica)
Praça. Mal. Eduardo Gomes, 50. Vila das Acácias
S. José dos Campos – SP. CEP 12228-900

Resumo — O processo de consolidação do SISGEA (Sistema de Guerra Eletrônica da Aeronáutica) levou à aquisição do Lab-Volt® Radar Training System para suas instituições de ensino técnico-operacional. A experiência adquirida com o seu uso permitiu vislumbrar o potencial didático de sua operação integrada com ferramentas de Instrumentação Virtual. Neste artigo será abordada a evolução do ensino de Guerra Eletrônica na Força Aérea Brasileira, em especial, o Ensino Prático de Radar no Curso de Especialização em Análise de Ambiente Eletromagnético – CEAAE, e a experiência adquirida com o uso da Instrumentação Virtual como Ferramenta de Ensino.

Palavras-chaves — Ensino, Guerra Eletrônica, Radar, Instrumentação Virtual.

I. INTRODUÇÃO

Há mais de quinze anos o Comando-Geral de Operações Aéreas (COMGAR) ministra cursos específicos sobre Guerra Eletrônica [1]. Entretanto, percebeu-se que para atingir a excelência, era necessário buscar o ensino acadêmico em nível de pós-graduação [2].

Uma das primeiras ações do COMGAR no sentido de suprir esta necessidade foi enviar alguns oficiais para a realização de cursos nos Estados Unidos e Inglaterra. Entretanto, notou-se que esta solução não era suficiente para atender a demanda da Força. Para atender a esta necessidade, o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) criou em 1998, em parceria com o Centro de Guerra Eletrônica do COMGAR (CGEGAR), o Curso de Especialização em Análise de Ambiente Eletromagnético (CEAAE).

O sucesso alcançado pelo CEAAE estimulou o investimento em infra-estrutura para suportar as atividades de ensino e pesquisa desenvolvidas. Este investimento se materializou na criação do Laboratório de Pesquisa em Guerra Eletrônica e Vigilância Eletromagnética da Amazônia, inaugurado no ITA no dia 05 de março de 2001.

Para atender a demanda de instrução prática no Curso Operacional de Guerra Eletrônica (COGE) e CEAAE, o COMGAR adquiriu, em 2002, sistemas de treinamento radar (Lab-Volt®) para o Grupo de Instrução Tática e Especializada (GITE) e para o ITA.

Em 2003 foi realizado um trabalho um Trabalho Individual do CEAAE visando analisar estes sistemas e determinar suas qualidades e restrições. Em caráter complementar, também foi desenvolvida uma proposta pedagógica para uso do equipamento na instrução de GE no CEAAE. De 2004 a 2006, outros trabalhos foram realizados visando sistematizar o emprego destes recursos no CEAAE, e

desta forma, potencializar seu emprego como ferramenta de ensino e pesquisa.

No COGE, que corresponde ao Módulo Operacional do CEAAE, o sistema de treinamento radar da Lab-Volt foi recebido em 2003 e passou a ser empregado na instrução regular a partir de 2004. Já no ITA, o equipamento foi empregado em atividades de pesquisa realizadas pelos alunos do CEAAE e em cursos de pequena duração ministrados a pedido de Unidades Operacionais interessadas (CINDACTA IV e 1º/11º GAv.).

A experiência acumulada sobre o emprego do equipamento em atividades de ensino e pesquisa estimulou o debate sobre a possibilidade de torná-lo uma ferramenta mais eficiente através da aplicação da Instrumentação Virtual no controle de parâmetros de funcionamento, bem como na aquisição, processamento e apresentação de sinais.

Neste artigo apresentaremos os trabalhos realizados para aplicar os conceitos e técnicas relacionadas com os Instrumentos Virtuais (*Virtual Instrument – VI*) no contexto do ensino prático de Guerra Eletrônica na área de radar realizado com o Lab-Volt® Radar Training System e recursos de instrumentação disponíveis no Laboratório de Guerra Eletrônica do ITA.

II. INSTRUMENTAÇÃO VIRTUAL

Um sistema de instrumentação pode ser definido [3] como um conjunto de componentes e sistemas interligados com o objetivo de efetuar uma medida para a qual estes componentes e sistemas, individualmente, não seriam capazes de realizar.

Um modelo conceptual básico para um sistema de instrumentação controlado por computador é apresentado na Fig. 1. Ele é formado de um usuário e o programa que controla vários dispositivos conectados ao barramento de instrumentação [4].

Os componentes básicos dos instrumentos virtuais [5] incluem um computador e seu visor, o software de instrumentação, uma estrutura de barramento e o hardware do instrumento.

III. ENSINO DE GUERRA ELETRÔNICA

O homem é o componente mais importante num cenário operacional. Ele é o responsável por detectar necessidades, definir ameaças, desenvolver e aprimorar estratégias, táticas e técnicas, e planejar o emprego dos meios [6]. Por esta razão a

capacitação de recursos humanos em Guerra Eletrônica reveste-se de capital importância.

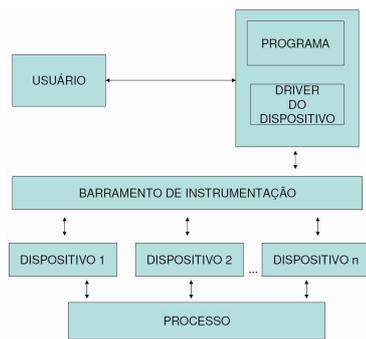


Fig. 1. Modelo Conceptual Básico [4].

Uma das áreas de maior interesse dentro da Guerra Eletrônica é a de radar. O radar é um sistema eletrônico para detecção e localização de objetos. Um dos tipos mais comuns de radar, o radar pulsado, opera transmitindo pulsos de energia eletromagnética e então detectando os ecos causados pela reflexão a partir de um objeto localizado remotamente e que é genericamente denominado de alvo.

O ensino prático é uma parte crucial da preparação de recursos humanos para o gerenciamento de sistemas de radar [7]. O ideal seria prover tal ensino em uma base individualizada, no campo, com o equipamento de radar real e com alvos reais. Entretanto, treinamento de campo com equipamento de radar real e com alvos reais normalmente não é viável e o ensino em sala de aula é a alternativa.

O emprego de simulação por computador é uma ferramenta muito útil como complementação ao ensino teórico. Em geral, entretanto, estas simulações não oferecem o realismo desejado.

Uma alternativa desejável pode ser o uso de um sistema de radar real que tenha um alcance e resolução compatível com a escala de um laboratório de ensino. Com tal sistema, o estudante pode observar modelos de alvos em escala que são colocados dentro do laboratório e se movem sobre o mesmo.

A detecção de curto alcance na escala de alguns metros com uma resolução de alguns centímetros requer pulsos com duração inferior a nanosegundo com largura de banda correspondente na faixa de gigahertz. Radares adequados para processar pulsos de duração inferior a nanosegundos demandam circuitos de alta complexidade e custo.

O Lab-Volt® Radar Training System se propõe a prover uma experiência real (não simulada) no uso de radar para detecção e rastreamento de alvos passivos, permitindo a operação de um sistema de radar ativo em tempo real dentro de um laboratório de forma segura pelo uso de baixos níveis de potência. Seu conceito modular permite que sejam estudados vários tipos de radar e suas técnicas de processamento de sinais, sejam elas analógicas ou digitais.

O sistema transmite pulsos estreitos de radiofrequência (RF) em uma alta taxa de repetição de pulsos (FRP). Um pré-processador de sinais amostra o sinal recebido em banda base e gera um sinal expandido no tempo que é uma réplica do sinal de radar realmente recebido (amostragem repetitiva sequencial), porém com uma frequência de repetição de pulso muito menor.

IV. LABORATÓRIO DE RADAR NO CEAAE

O recebimento e utilização dos sistemas da Lab-Volt® adquiridos para o Laboratório de Guerra Eletrônica do ITA foram efetuados de maneira gradativa, de tal forma que a efetivação do ensino prático com o Lab-Volt® Radar Training System no Módulo Técnico do CEAAE só tornou-se realidade no segundo semestre de 2006.

O planejamento e preparação foram realizados no primeiro semestre de 2006, sendo que o primeiro passo deste processo foi à escolha dos experimentos. Esta escolha foi decisivamente influenciada pelos trabalhos realizados anteriormente sobre o equipamento. Ao seu final, as tarefas realizadas em cada experimento foram identificadas, agrupadas e avaliadas.

V. DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVOS E SISTEMAS

O ensino das Medidas de Ataque Eletrônico (MAE) implica no controle de vários parâmetros de funcionamento do Lab-Volt® Radar Jamming Pod, que é um módulo do sistema de treinamento que funciona de forma similar aos sistemas de contramedidas eletrônicas embarcados em aeronaves utilizadas em missões de Supressão de Defesa Aérea Inimiga (SDAI).

Para que o controle possa ser realizado com o auxílio do computador foi necessário desenvolver um transmissor de sinais IR. Para o projeto deste dispositivo e do software associado foi necessário realizar a decodificação dos comandos empregados pelo fabricante (Fig. 2), o que consistiu na aquisição e análise de sinais IR.

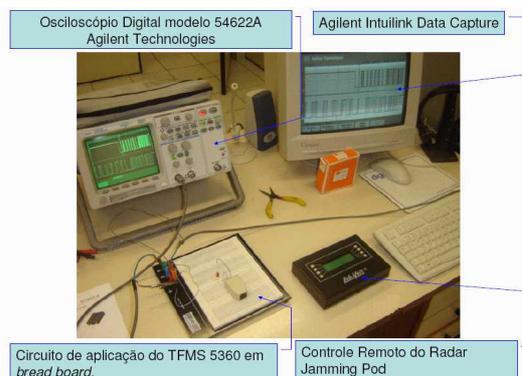


Fig. 2. Decodificação do Controle Remoto IR.

O ensino prático dos conceitos básicos de radar, bem como de Medidas de Proteção Eletrônica (MPE) implicam no controle de parâmetros de transmissão. No modelo empregado neste trabalho, o gerador de RF original do sistema de treinamento foi substituído por um Oscilador de Varredura, modelo HP8350B, associado a um amplificador de RF, modelo HP8349B e um acoplador direcional para o fornecimento da amostra necessária a demodulação do sinal recebido pelo radar.

A posição e velocidade são duas das principais informações úteis que se deseja extrair dos alvos de interesse através do radar. Consequentemente, o controle destes parâmetros é fundamental para todo o processo de ensino prático nesta área. No trabalho realizado, o controle de posição é realizado através de sinais CC gerados por uma Fonte Programável Dupla (Tektronix), modelo PS5010. O sinal gerado pela fonte é aplicado a um circuito de

condicionamento para compatibilizar a faixa de excursão do sinal com a empregada pelo módulo controlador de alvos do sistema de treinamento (*Target Controller*).

O controle de velocidade é realizado através do ajuste da frequência dos sinais triangulares gerados pelos Geradores de Função, modelo HP6118A. Para a escolha do modo de operação (posição ou velocidade) é empregado um *Scanner* Programável Tektronix, modelo SI5010.

Durante a instrução de radar, o aluno é continuamente solicitado a direcionar a antena em diferentes azimutes para que medidas possam ser realizadas e seus resultados analisados levando-se em conta os respectivos ângulos de apontamento.

Para permitir o controle de posicionamento angular do motor CC empregado no sistema de treinamento, foi utilizada uma Interface Digital Programável (Tektronix), modelo 50M30, que recebe a informação de azimute com resolução de 10 bits fornecida pelo *Antenna Controller*. A partir desta informação e do azimute de destino, o computador determina a aplicação de uma tensão de controle através de uma Fonte Programável, modelo HP6036A. Esta tensão é aplicada a um circuito de condicionamento que adequa a faixa de variação para um valor compatível com a entrada de rastreamento do *Antenna Controller*.

O radar deve ser capaz de comunicar ao usuário as informações de interesse extraídas dos alvos, para que este possa realizar a análise e interpretação, visando a tomada de decisões. Esta função é realizada pelo sistema de visualização. Entretanto, para as atividades de ensino, a visualização deve ser capaz, ainda, de apresentar informações de interesse sobre o funcionamento dos subsistemas do radar.

No modelo proposto neste trabalho, são empregados dois osciloscópios, o primeiro é utilizado para a análise dos sinais provenientes dos diversos subsistemas do radar e permite ao aluno avaliar o funcionamento dos processos realizados pelos mesmos, enquanto um *Scanner* Programável (Tektronix), modelo SI5010, permite que a fonte dos canais de visualização sejam selecionadas. O segundo é utilizado para visualização do vídeo radar permitindo implementar uma visualização tipo "A" ou tipo "O", conforme o sistema seja configurado como radar de busca ou rastreamento, respectivamente.

A montagem de tabelas e gráficos com os dados obtidos nas aulas práticas permite extrair informações úteis destes dados brutos. Na Fig. 3 pode ser observado o Painel Frontal de um VI empregado para auxiliar na tarefa de determinação do padrão de irradiação da antena do radar.

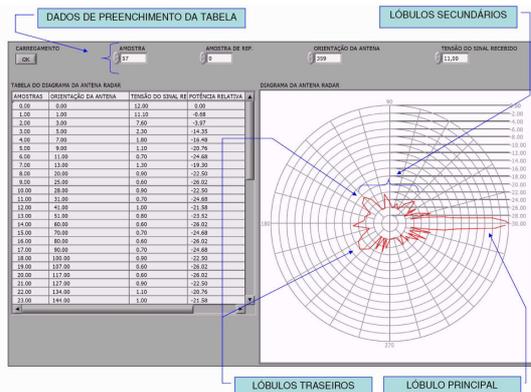


Fig. 3. Geração de Tabelas e Gráficos.

Feito para funcionar como Sub-VI, ele recebe os valores de tensão e azimute fornecidos pelos VI's de Visualização e Controle da Antena e monta uma tabela com os valores de potência relativa. O diagrama de irradiação é desenhado à medida que a tabela é montada.

Na Fig. 4 é possível observar o modelo completo empregado para obtenção de um Cenário de Guerra Eletrônica em laboratório para fins de Ensino e Pesquisa Auxiliado por Computador.

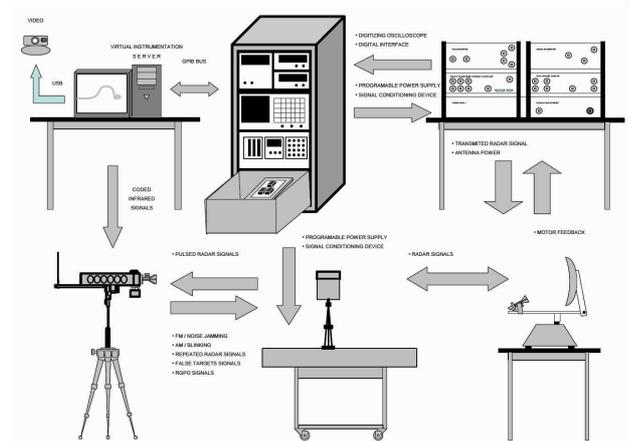


Fig. 4. Modelo de Cenário de GE em Laboratório para Ensino e Pesquisa Auxiliado por Computador.

VI. APLICAÇÃO DA INSTRUMENTAÇÃO VIRTUAL

Os recursos de Instrumentação Virtual desenvolvidos foram aplicados na disciplina EE-11 – Laboratório de Radar, do Módulo Técnico do CEAEE realizado no 2º semestre de 2006. A partir desta experiência, foram observadas algumas melhoras na dinâmica de execução dos experimentos e no processo de aprendizado, bem como constatadas limitações e potencialidades a serem exploradas.

A capacidade de posicionar o alvo a uma distância conhecida (da antena radar) e a capacidade de determinar esta distância através da medida do tempo (decorrido entre a transmissão do pulso e a recepção do eco) são os principais atributos do sistema de treinamento que permitem que o aluno vivencie os conceitos básicos de um sistema de radar pulsado. Neste caso, a aplicação da instrumentação virtual se apresentou vantajosa, pois permitiu que a interface com o usuário fosse configurada de forma flexível. Foi possível ao aluno entrar diretamente com o valor numérico correspondente a posição de destino, tornando o procedimento mais rápido e eficiente.

Em uma aplicação de radar, à distância do alvo em relação à antena radar é a incógnita que se deseja estimar empregando a visualização tipo "A". Este tipo de visor emprega um osciloscópio para apresentar a amplitude dos ecos dos alvos contra a distância para uma direção fixa. O uso dos recursos de apresentação gráfica disponíveis no ambiente de instrumentação virtual permitiram que este procedimento fosse otimizado. O emprego do cursor permitiu disponibilizar a informação de tempo de forma mais direta. Esta informação, quando relacionada com outras variáveis de interesse, tais como a Frequência de Repetição de Pulso (FRP) e a largura da janela de visualização, permitiu que o valor correspondente à posição do alvo fosse calculado e

apresentado na tela do computador, tornando o processo associativo muito mais eficiente.

Além destes fatores mais evidentes, a integração, no mesmo ambiente gráfico (interface com o usuário), das entradas e saídas do sistema torna a relação de causa e efeito mais direta para o aluno, ao mesmo tempo em que torna a prática mais ágil e atraente.

A principal característica da antena empregada em um sistema de radar pulsado é a diretividade. A diretividade está relacionada à capacidade da antena de concentrar o sinal transmitido em um feixe estreito apontado para uma direção de interesse. O padrão de irradiação é uma ferramenta útil para a descrição das características de uma antena e muitos conceitos importantes para a compreensão do funcionamento do radar em geral e da Guerra Eletrônica, em específico, podem ser extraídos da análise do padrão de irradiação.

O emprego da instrumentação virtual tornou muito mais produtiva a atividade de determinação do padrão de irradiação. O controle por computador do apontamento da antena permitiu reduzir consideravelmente o tempo gasto com as medidas e tornou o procedimento mais interessante, menos cansativo e permitiu que o aluno se concentrasse na análise do diagrama obtido. A capacidade de manipulação de dados para a geração automática de tabelas e gráficos permitiu que o aluno fosse capaz de analisar os resultados à medida que os mesmos eram obtidos, tornando o processo de aprendizado mais efetivo e facilitando a detecção de discrepâncias nas medidas em tempo hábil para a tomada de ações corretivas, o que também faz parte do processo educativo.

Um dos mais importantes parâmetros de um sistema radar é o alcance máximo de detecção. As contribuições dos principais fatores para a determinação do alcance máximo de detecção são representados analiticamente através da “Equação Radar”. Um destes fatores é a potência transmitida. Originalmente, este tópico era abordado com o sistema de treinamento radar empregando atenuadores fixos e cabos com conectores SMA que aumentam o comprimento da linha de transmissão causando um atraso na recepção do sinal de eco de RF que muda a calibração da origem, forçando a realização de procedimentos de re-calibragem. Com a aplicação da instrumentação virtual, foi possível realizar o controle da atenuação do sinal transmitido sem alterar o comprimento da linha de transmissão. O resultado foi uma prática mais ágil e eficiente.

O sistema de treinamento da Lab-Volt® permite abordar as técnicas de rastreamento em distância pela divisão da *gate* e pela borda de subida, bem como a técnica de rastreamento em azimute através do chaveamento de lóbulos. O estudo destas técnicas é realizado basicamente através da análise comparativa dos sinais extraídos de vários pontos de teste existentes no módulo *Radar Target Tracker*. A instrumentação virtual se mostra útil ao permitir a realização mais rápida dos experimentos através do chaveamento da fonte do sinal em análise, bem como pela capacidade de registrar as formas de onda. A otimização da dinâmica do experimento permite que o aluno se concentre na análise dos sinais, tornando o experimento mais ágil e interessante para o aluno.

Com o emprego do sistema de treinamento, um ambiente eletromagnético de combate eletrônico é criado. De um lado temos o radar vítima, consistindo do *Radar Training System* configurado como radar de rastreamento, do outro lado temos o sistema interferidor consistindo do *Radar Jamming Pod*

empregando os seus recursos eletrônicos para bloquear e/ou despistar o radar vítima. De forma geral, os experimentos consistem na configuração da técnica de ataque eletrônico que se desejam implementar com o *Radar Jamming Pod*, enquanto o efeito sobre o radar de rastreamento é analisado.

O controle por computador do *Radar Jamming Pod* introduz uma significativa melhora na dinâmica do experimento, principalmente quando o mesmo é realizado por um grupo de alunos. Empregando recursos audiovisuais (projektor de vídeo) é possível disponibilizar um ambiente visual (Fig. 5) contendo as informações de controle do interferidor, os gráficos de forma-de-onda dos sinais digitalizados, realizar medidas sobre estes sinais, implementar cálculos, etc.

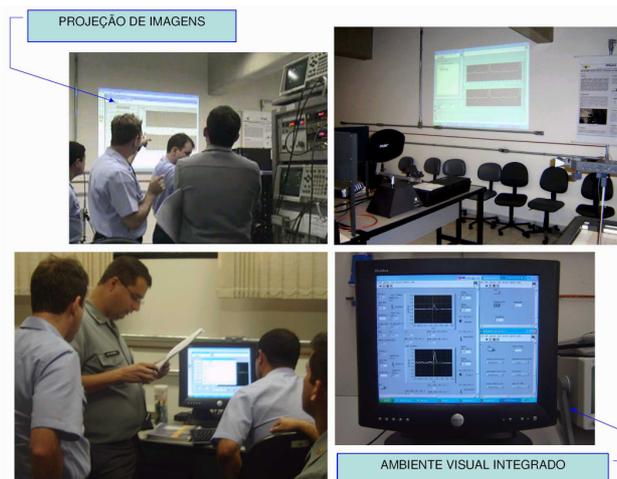


Fig. 5. Ambiente Visual Integrado.

No que se refere às Medidas de Proteção Eletrônica estudadas nos experimentos, destacamos o emprego da Agilidade de Frequência contra o Ataque Eletrônico empregando Bloqueio de Ponto. No formato convencional o aluno atua sobre um *dial* alterando a frequência de operação do sistema de treinamento radar. A instrumentação virtual, neste caso, proporciona o controle da frequência de operação de forma integrada e direta.

Outra vantagem significativa é a possibilidade de implementar algoritmos para que o sistema radar vítima, uma vez identificada uma ação de interferência, implemente a MPE de Agilidade de Frequência automaticamente. Nesta mesma linha de aplicações, o controle por computador do *Radar Jamming Pod* permite o desenvolvimento de outros experimentos não previstos pelo fabricante do equipamento. O emprego combinado do interferidor com um analisador de espectro (usado como receptor super-heteródino), por exemplo, permite que técnicas como *Look-through* sejam estudadas.

VII. LIMITAÇÕES E POTENCIALIDADES

O *Radar Training System* foi projetado originalmente para emprego em instrução de radar onde os alunos (Fig. 6) controlam os parâmetros de funcionamento e ativam funções diretamente no painel dos módulos (com exceção do *Radar Jamming Pod*). A implementação da maioria destas funções de forma programável só será possível realizando modificações internas no hardware dos módulos. Este tipo de

intervenção vai além do escopo do trabalho realizado, entretanto, o possível emprego deste sistema de treinamento em aplicações de ensino à distância deverá abordar este problema.



Fig. 6. Instrução de radar convencional.

Neste trabalho, a implementação dos recursos de instrumentação virtual, com exceção do controle do *Radar Jamming Pod*, foi implementado empregando instrumentos programáveis de uso comercial. Nesta abordagem, a comunicação com o sistema informatizado foi realizada através do barramento GPIB. Esta opção foi feita em função da disponibilidade destes equipamentos e pela facilidade para o desenvolvimento de funções de controle e aquisição de dados. Entretanto, foi constatado durante a aplicação dos recursos de instrumentação virtual que outras abordagens devem ser empregadas para tornar a atividade de ensino mais eficiente, tais como o emprego de placas de aquisição de sinais com memória, taxa de transferência de dados e número de canais analógicos e digitais adequados às aplicações empregadas, bem como o emprego de dispositivos de processamento digital de sinais (DSP), para que técnicas modernas de processamento digital de sinais possam ser implementadas em tempo real.

VIII. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Na realização das aulas práticas de radar no formato convencional, causas e efeitos estão fracionados nos painéis frontais dos módulos e instrumentos, muitas vezes visualmente dispersos no meio de vários outros controles. Com o emprego de uma interface gráfica unificada foi possível coordenar com maior eficiência a realização de experimentos com um grupo maior de alunos empregando recursos audiovisuais tais como o vídeo projetor.

O emprego de instrumentos programáveis sobre o barramento GPIB demonstrou ser útil ao permitir a avaliação de funcionalidades de forma rápida com um investimento mínimo no desenvolvimento de hardware, diminuindo o tempo de projeto. Entretanto, a aquisição simultânea e eficiente do sinal de radar com a informação de azimute e sincronismo, bem como o processamento em tempo real do sinal do radar demandam meios mais rápidos e com maior poder computacional.

IX. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao COMGAR e Estado Maior da Aeronáutica (EMAER), patrocinadores do CEAAE e do Programa de Pós-Graduação em Aplicações Operacionais (PPGAO), do ITA.

REFERÊNCIAS

- [1] TOMAZINI, A. R. *Recursos Humanos de Guerra Eletrônica*. **Spectrum – Revista do Comando Geral do Ar**. n. 01, p. 17-18, Jan. 2000.
- [2] ALVES, F. D. P. *Pós-graduação Stricto Sensu em Guerra Eletrônica no ITA: Proposta de Implantação*. **Spectrum – Revista do Comando Geral do Ar**. n. 01, p. 19-23, Jan. 2000.
- [3] MCGILLIVARRY, J. M. *Introduction to Instrument System*. In: COOMBS, J. C. F. (Ed.), **Electronic Instrument Handbook**. New York: McGraw-Hill, 1995. P. 1-10.
- [4] SMIESKO, V.; KOVAC, K. *Virtual Instrumentation and Distributed Measurement Systems*. **Journal of Electrical Engineering**, v. 55, n. 1-2, p. 50-56, 2004.
- [5] DESJARDIN, L. *Virtual instruments and the role of software*. In: COOMBS, J. C. F. (Ed.), **Electronic instrument handbook**. New York: McGraw-Hill, 1995. p. 44.1 – 44.14.
- [6] SOUZA, H. M. *Editorial*. **Spectrum Revista do Comando Geral do Ar**, n. 01, p. 5, Jan. 2000.
- [7] DELISLE et al. **High resolution short range radar**. 4,975,703, 1990. Disponível em: <<http://www.freepatentsonline.com/4975703.pdf>>. Acesso em: 01 fev. 2006.