

Desenvolvendo Ferramentas para o Ensino Prático de Guerra Eletrônica: Instrumentação Virtual no Laboratório de Radar

Alexandre Camacho Coelho¹, Neusa Maria Franco Oliveira²

Instituto Tecnológico de Aeronáutica – Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 – Vila das Acácias. CEP 12228-900 – São José dos Campos – SP.

Resumo – O processo de consolidação do Sistema de Guerra Eletrônica da Aeronáutica (SISGEA) levou a aquisição de Sistemas de Treinamento 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, tanto em cursos presenciais, quanto à distância. O trabalho apresentado neste artigo teve como objetivo o estudo da aplicação de conceitos e técnicas relacionados com os Instrumentos Virtuais (*Virtual Instrument – VI*) no contexto da instrução prática de Guerra Eletrônica na área de radar. A primeira fase do estudo consistiu do desenvolvimento de uma interface (*hardware*) para o controle do *Radar Jamming Pod* (Interferidor Radar) e o estudo da formatação de dados usado pelo mesmo. Este estudo foi necessário para que fosse possível a comunicação entre o VI e o Interferidor Radar. A Linguagem de Programação Gráfica LabVIEWTM foi escolhida para o desenvolvimento dos VIs. Outras ferramentas de Instrumentação Virtual para o controle do Sistema de Treinamento de Guerra Eletrônica foram desenvolvidas na fase seguinte e serão aqui discutidas.

Palavras-Chaves – Guerra Eletrônica, Laboratório de Radar, Instrumentação Virtual, Ensino Prático.

I. INTRODUÇÃO

A Força Aérea Brasileira adquiriu o Lab-Volt[®] Radar Training System (LV-RTS) para suas escolas de formação técnico-operacional [1]. O Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) é uma destas instituições. No ITA, o emprego deste equipamento vai além do treinamento, dando também suporte aos cursos de Pós-Graduação na pesquisa aplicada a Guerra Eletrônica na área de radar (Fig. 1).

O Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB) gerencia de forma integrada uma extensa rede de radares e estações de telecomunicações que permitem o controle e coordenação tanto dos movimentos aéreos da aviação civil quanto das operações aéreas militares [2]. Desta forma, os modelos, métodos, procedimentos e tecnologias desenvolvidos para a Guerra Eletrônica na área de radar também ajudam a aumentar a segurança do tráfego aéreo civil.



Fig. 1. Ensino de Guerra Eletrônica no ITA.

O LV-RTS é um sistema de radar de curto alcance e alta resolução [3]. O sistema opera na banda X e transmite pulsos muito curtos a uma alta taxa de repetição de pulsos (FRP). Um pré-processador de sinais amostra o sinal de radar recebido em banda base e gera um sinal que é uma réplica expandida no tempo do sinal de radar recebido real, porém com uma taxa nominal de repetição de pulsos muito inferior.

As características de curto alcance e alta resolução, acrescidas da garantia de segurança pela operação em níveis de potência adequados permitem o uso do equipamento em aulas práticas em laboratório. Sua composição em módulos empilháveis prove grande flexibilidade na reconfiguração do sistema, o que permite não apenas o estudo de um subsistema em particular, mas também do sistema como um todo. Ao permitir a realização de estudo prático em um sistema real (não simulado), o LV-RTS colabora para aumentar a motivação dos estudantes.

A integração do LV-RTS em um ambiente de Instrumentação Virtual estende as possibilidades de emprego do equipamento como ferramenta de ensino e pesquisa. O sistema informatizado permite o uso de ferramentas tecnológicas como tutoriais, simulação, processamento de sinais, controle de processos, etc., com alto grau de flexibilidade [4]. O emprego distribuído destes recursos através de redes de computadores permite aplicar conceitos como compartilhamento de equipamentos únicos e caros para pesquisa e educação [5], compartilhamento de ambientes de aprendizado colaborativo [6], etc. Em experimentos informatizados, a ênfase da atividade

¹ Alexandre Camacho Coelho, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, acamacho@ita.br

² Neusa Maria Franco Oliveira, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, neusa@ita.br

educacional muda de um procedimento rotineiro e normalmente tedioso de coleta de dados para um processo que valoriza as habilidades de interpretação, o avanço do pensamento científico, a criatividade e a solução de problemas.

Integrar o LV-RTS no sistema de Instrumentação Virtual demanda o desenvolvimento de dispositivos de interfaceamento (hardware) e programas (Instrumentos Virtuais - VI) que permitam a aquisição e geração dos sinais necessários ao controle dos parâmetros de funcionamento do sistema, bem como a análise e apresentação das informações de interesse. Dois fatores favoráveis ao desenvolvimento do projeto são a disponibilidade no laboratório do ITA de placas controladoras e instrumentos programáveis para o barramento GPIB; e a licença do software do ambiente de programação em Linguagem Gráfica LabVIEW™.

II. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Este trabalho teve por objetivo o desenvolvimento de Instrumentação Virtual que possibilitasse a aplicação do conceito de ensino assistido por computador na disciplina de Laboratório de Radar do Curso de Especialização em Análise de Ambiente Eletromagnético.

A análise de um sistema de radar pulsado básico é o primeiro tópico abordado. Nele, o modelo empregado trabalha com a interação entre um sensor ativo empregando sinais eletromagnéticos de microondas e um alvo que se movimenta em sua área de cobertura. Este alvo, que em uma situação real pode ser uma aeronave movendo-se no espaço aéreo sob vigilância, é modelado no sistema por alvos metálicos e não-metálicos de geometrias diversas (empregados de acordo com as propriedades de retro-espalhamento desejadas) fixados em um mastro móvel cuja posição e velocidade em um sistema de coordenadas cartesianas bidimensional podem ser controlados (Fig. 2).



Fig. 2. Alvos Fixos e Móveis no LV-RTS.

O sensor empregado consiste no LV-RTS configurado como um radar pulsado com visualização tipo "A".

Os demais tópicos abordados no curso prático modelam o embate eletrônico entre um radar na configuração de rastreio (como os empregados para o guiamento nos sistemas de armas) e um sistema de ataque eletrônico embarcado em uma plataforma aérea [7].

O alvo ativo empregado neste modelo é representado pelo Lab-Volt® Radar Jamming Pod (LV-RJP). Este sistema é capaz de receber, processar e retransmitir os sinais de radar recebidos, bem como gerar sinais de interferência com o objetivo de degradar a eficiência do sistema sensor vítima [8]. A Fig. 3 apresenta o modelo proposto.

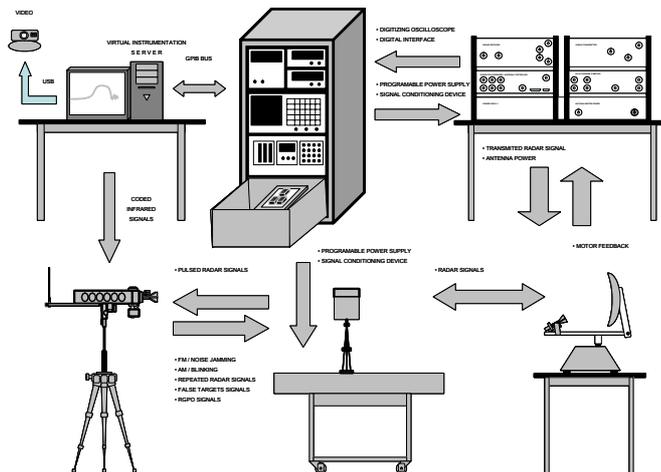


Fig. 3. Modelo de Ambiente de Guerra Eletrônica.

DESENVOLVENDO A SOLUÇÃO DO PROBLEMA

No tópico envolvendo o sistema de radar pulsado básico, duas funções se destacam em importância: o controle das variáveis cinemáticas do alvo e a medida dos parâmetros elétricos dos sinais disponibilizados pelo sistema radar. Para atender a esta demanda, dois Instrumentos Virtuais foram desenvolvidos: um para controle do alvo e outro para realizar a aquisição e apresentação dos sinais do radar.

Para controlar a posição do alvo, uma fonte programável dupla recebendo comandos através de um barramento GPIB foi empregada (Fig. 4). Os sinais gerados pela fonte programável são enviados para circuitos de condicionamento de sinais (*offset*) cujas saídas são aplicadas às entradas de controle externo do sistema de posicionamento de alvos do LV-RTS.

Além da posição, a velocidade é outra variável cinemática do alvo cujo controle é necessário durante os experimentos. Para a implementação deste controle foram empregados dois geradores de função (um para cada eixo) que garantem a manutenção de uma velocidade constante durante o trajeto de um extremo ao outro da mesa de alvos através da aplicação de um sinal triangular cuja amplitude e *offset* são selecionados de forma a permitir a completa excursão do alvo sobre a mesa (de 0 a 90 cm). A partir da velocidade fornecida pelo usuário no painel frontal do VI, o programa calcula a frequência para a qual deve ser configurado o gerador de sinais para fazer com que o alvo se movimente na velocidade desejada.



Fig. 4. Hardware do Controle de Alvos.

A seleção do modo de controle do sistema de posicionamento de alvos é proporcionada pelo uso de um scanner programável através do qual é possível determinar qual a fonte dos sinais de controle. Na Fig. 5 podemos observar parte do código fonte do VI de Controle de Alvos, com destaque para a lógica de controle da máquina de estados empregada.

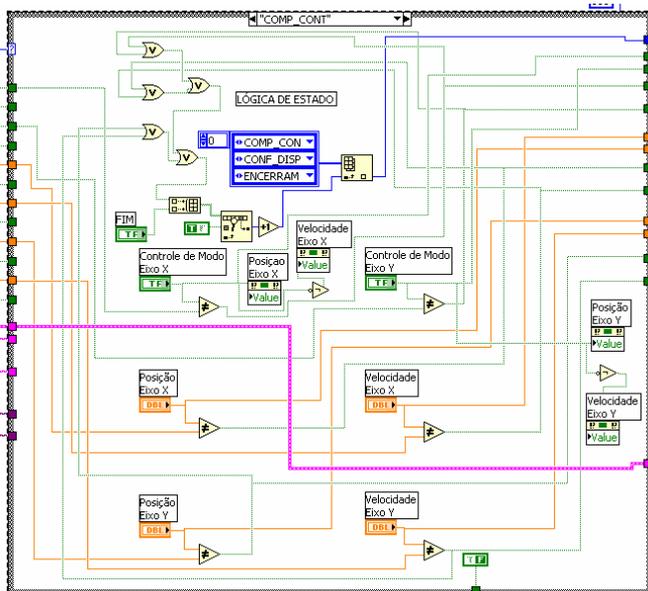


Fig. 5. Lógica de Seleção de Estados do VI de Controle de Alvos.

O VI de Visualização de Sinais se comunica com um osciloscópio digital através do barramento GPIB (enviando comandos e recebendo dados). Os comandos enviados permitem ajustar os parâmetros de operação do osciloscópio tais como sensibilidade, base de tempo e sincronismo de disparo necessários à calibração do sistema de radar e aquisição apropriada de dados.

Nos procedimentos de calibração realizados antes de qualquer experimento, o alvo é colocado em movimento e o padrão tipo “borboleta” gerado pelos alvos móveis na visualização tipo “A” (Fig. 6) permite realizar a sua distinção necessária ao apropriado posicionamento da janela de amostragem do pré-processador.

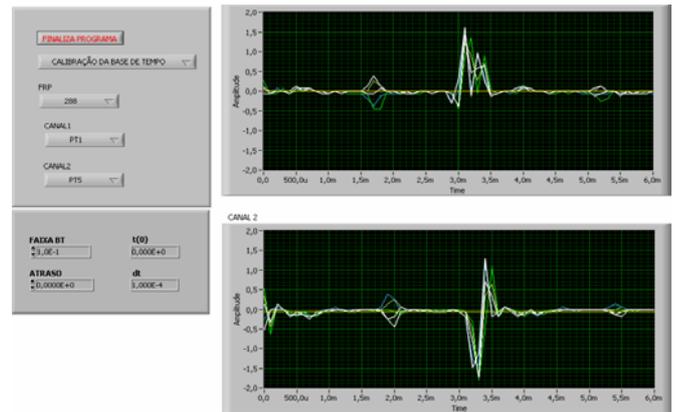


Fig. 6. Alvo Móvel e Fixo no Visor tipo “A”.

Durante a aplicação do VI de visualização nas aulas do CEAAE foi observado que uma apresentação convencional do sinal de radar adquirido do osciloscópio digital não era capaz de apresentar este padrão, pois a velocidade de aquisição e transferência de dados do aparelho disponível (HP54200A) não era suficiente para proporcionar o efeito desejado.

A solução encontrada foi sacrificar a resolução através da ampliação da base de tempo. Isto permitiu que em uma única aquisição, vários intervalos de repetição de pulso consecutivos do radar (IRP) fossem cobertos. Sobrepondo os sinais correspondentes a IRP's igualmente espaçados no tempo, foi possível obter o padrão “borboleta” desejado e desta forma viabilizar a realização dos procedimentos no formato assistido por computador. Na Fig. 7 podemos observar parte do código fonte do VI de Visualização de sinais com destaque para a construção da apresentação especial para os alvos móveis.

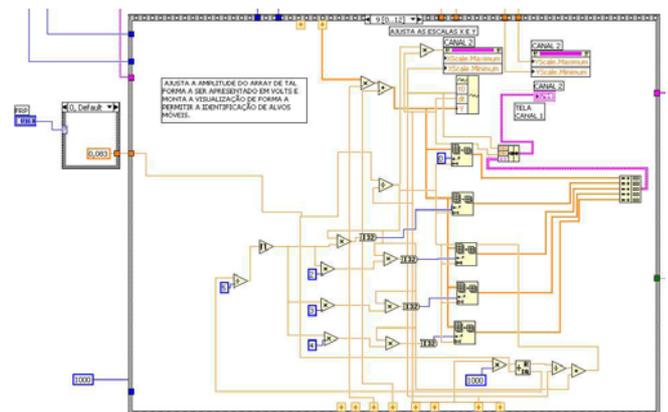


Fig. 7. VI de Visualização de Sinais.

Como vários pontos do sistema radar são medidos durante uma prática de laboratório, parte dos recursos do scanner programável foram empregados para selecionar a fonte dos sinais aplicados nas entradas dos canais 1 e 2 do osciloscópio empregado nas medidas.

A informação de posicionamento angular da antena é essencial em vários procedimentos executados nos experimentos com o radar. Posicionar a antena em um azimute específico para a realização de uma medida é um procedimento recorrente e ao mesmo tempo tedioso e desconfortável. Usar o computador para controlar a posição da antena radar é um dos recursos mais úteis para a dinâmica dos experimentos e ao mesmo tempo um dos mais difíceis de implementar de maneira precisa e confiável. Variações da resistência ao movimento dependentes do ângulo de apontamento são algumas das dificuldades encontradas no controle da posição angular de um motor CC como os empregados em sistemas de radar.

A solução encontrada para atender a esta demanda foi empregar uma interface digital programável ligada ao barramento GPIB que realiza a transferência da informação de azimute para o computador. A partir desta informação e com o auxílio de uma fonte programável, é possível movimentar a antena radar tanto no sentido horário, quanto anti-horário. Para tanto, é empregado um circuito de condicionamento de sinais igual ao empregado para o controle de alvos. O mesmo realiza o offset do sinal, convertendo a faixa de variação de saída da fonte de 0 a 10 Volts para -5 a +5 Volts.

Os experimentos envolvendo a resolução em azimute do radar demandam o posicionamento da antena com precisão de ± 1 grau, o que é extremamente difícil de executar para qualquer ângulo, pois a tensão a ser aplicada deve ser suficientemente alta para retirar a antena do repouso e ao mesmo tempo, suficientemente baixa para não fazer com que a antena passe do ângulo desejado. Tendo em vista que ângulos diferentes demonstraram apresentar diferentes níveis de resistência ao avanço, foi necessário criar uma forma de calibrar o sistema para que o mesmo calculasse a tensão ideal para conseguir o deslocamento angular desejado para quaisquer ângulos inicial e final. A Fig. 8 apresenta um exemplo das curvas de calibração obtidas após o processo de ajustamento polinomial. Para o entendimento do gráfico deve-se levar em conta o fato de que os 360° de variação angular correspondem a 1024 passos do codificador do eixo da antena radar.

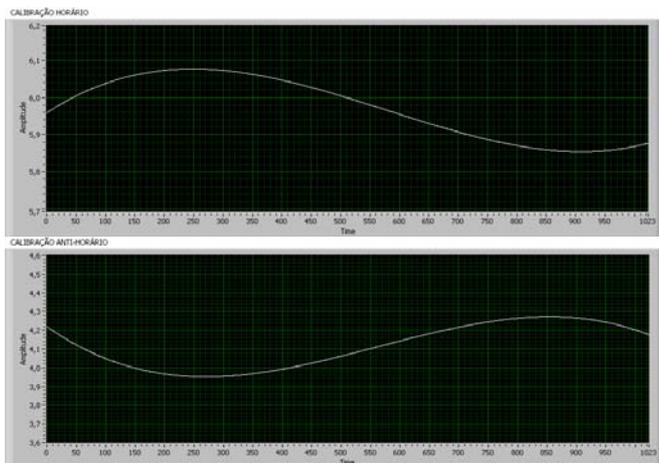


Fig. 8. Curvas de Calibração.

Pequenas variações da tensão de controle podem levar a antena a saltar o ângulo desejado ou a não conseguir sair do estado de repouso. Para garantir um movimento suave e com boa precisão no posicionamento final, Aaron et al. [9] sugerem o emprego de uma função cúbica para representar a posição angular do motor CC como apresentado na equação (1).

$$\theta(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3 \quad (1)$$

Para estimar a velocidade angular desejada no ponto futuro é necessário calcular os coeficientes da equação (2). Isto é possível fazendo-se o tempo final de busca do azimute desejado uma função da diferença entre o azimute solicitado e o azimute inicial.

$$\dot{\theta}(t) = a_1 + 2a_2t + 3a_3t^2 \quad (2)$$

As condições de contorno são dadas por,

$$\theta(0) = \theta_0, \theta(t_f) = \theta_f, \dot{\theta}(0) = 0, \text{ e } \dot{\theta}(t_f) = 0 \quad (3)$$

E os coeficientes calculados a partir destas relações são:

$$a_0 = \theta_0, a_1 = 0, a_2 = \frac{3}{t_f^2}(\theta_f - \theta_0), \text{ e} \quad (4)$$

$$a_3 = \frac{2}{t_f^3}(\theta_f - \theta_0)$$

A velocidade obtida a partir deste equacionamento é usada para calcular a tensão de controle da antena. Esta correção aplicada em intervalos regulares de tempo permite que a antena tenha sua velocidade aumentada a partir de um estado de repouso atingindo a velocidade máxima na metade do percurso angular e em seguida a velocidade é diminuída até retornar a condição de repouso em posição angular próxima do azimute desejado. Este processo se repete com diferenças angulares e intervalos de tempo cada vez menores até que o azimute desejado seja atingido com a precisão exigida. Na Fig. 9 podemos observar parte do código fonte do VI da Antena Radar, onde podemos observar o cálculo dos coeficientes da equação de velocidade angular.

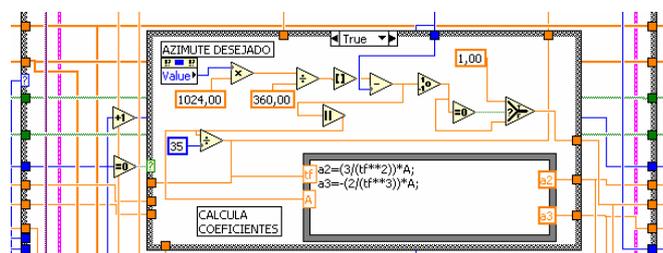


Fig. 9. Cálculo de Coeficientes.

A superioridade aérea necessária ao sucesso de uma operação de Guerra envolve a supressão das defesas

antiaéreas na área de conflito. Este embate demanda o emprego de recursos de Guerra Eletrônica tanto do sistema de Defesa Aérea em Solo, quanto das plataformas aéreas de ataque. A missão de ataque eletrônico pode se configurar nos formatos *Self-Scream Jamming*, *Scort Jamming* ou *Stand-Off Jamming*; conforme o sistema de interferência esteja na própria aeronave que realiza a incursão no raio de alcance dos sistemas de armas das unidades de Defesa Aérea, em uma aeronave que a acompanhe ou em uma plataforma aérea de grande porte e potência de interferência agindo fora do referido raio de ação.

O LV-RJP permite que estas várias missões possam ser modeladas no ambiente de laboratório e os vários conceitos técnicos e operacionais envolvidos possam ser estudados e pesquisados. Para permitir seu emprego no modelo de ensino assistido por computador foi necessário desenvolver um VI que permitisse o envio dos seus comandos de configuração.

Para esta transmissão entre o computador e o LV-RJP foi empregada a porta serial (COM1) conectada a um dispositivo para transmissão de sinais de infravermelho codificados. O projeto deste dispositivo demandou uma pesquisa envolvendo a compreensão da formatação de dados empregada pelo controle manual fornecido pelo fabricante. No desenvolvimento da pesquisa foram necessários o desenvolvimento de outros dispositivos e VI para a aquisição e análise dos sinais do controle remoto original. Na Fig. 10 podemos observar a realização da aquisição dos sinais de controle remoto do LV-RJP para posterior análise.

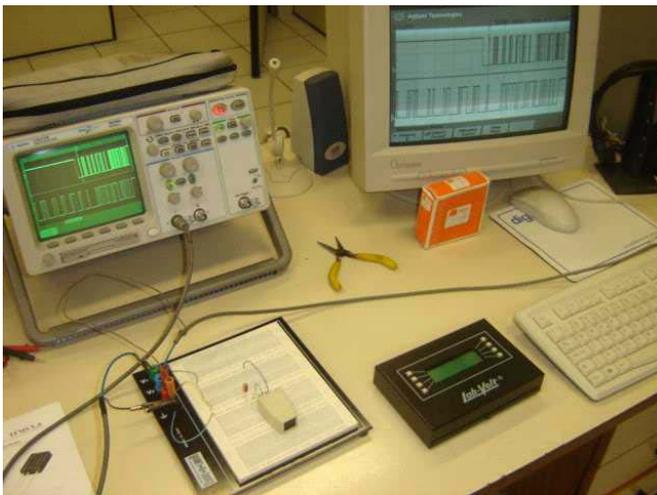


Fig. 10. Aquisição e Análise de Sinais de Infravermelho.

O VI do Interferidor radar permite a configuração dos parâmetros pelo usuário através de controles no painel frontal. A partir da referência fornecida por estes controles o VI monta um *array* contendo as informações codificadas. A análise realizada nos sinais do controle remoto do LV-RJP permitiu obter os dados sobre a formatação empregada na transmissão de dados. A Fig. 11 apresenta parte do código fonte do VI do Interferidor Radar, onde podemos notar a montagem da *string* de comando e o detalhe da inserção da informação de *check-sum*.

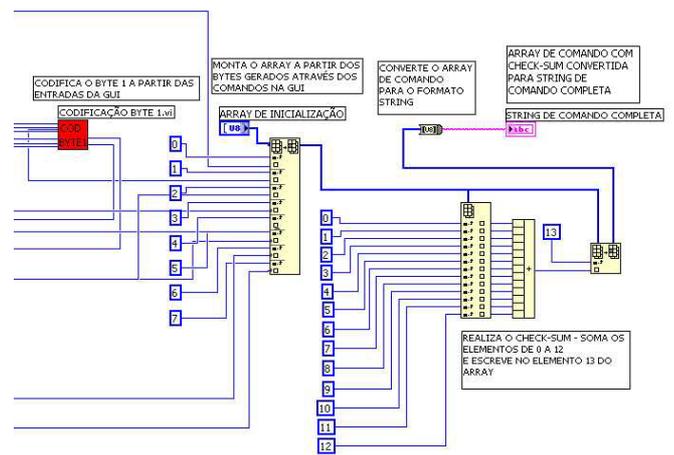


Fig. 11. Montagem da *String* de Comando do Interferidor Radar.

Visando futuras aplicações no ensino a distância e para garantir um retorno para os comandos de posicionamento aplicados no sistema de posicionamento de alvos, foi adaptado um VI para aquisição e apresentação de imagens produzidas por uma Web Cam USB. Este dispositivo permite a visualização dos movimentos do alvo sobre a mesa e desta forma permite a confirmação da correta execução dos controles implementados através do VI conforme podemos observar através da Fig. 12.



Fig. 12. Integrando Imagens aos Experimentos..

A avaliação e validação das facilidades implementadas têm sido realizadas gradativamente durante a instrução prática de radar realizada na turma de 2006 do CEAAE (Fig. 13). O uso da Instrumentação Virtual tem apresentado resultados positivos para a melhoria da dinâmica dos experimentos.

O desenvolvimento de novas facilidades que permitam uma integração mais profunda do LV-RTS com o Ambiente de Instrumentação Virtual estão sendo planejadas para as etapas futuras do projeto. Isto irá permitir que assuntos mais complexos possam ser abordados nas aulas, como processamento digital de sinais, reconhecimento e rastreamento automático de alvos.



Fig. 13. Instrução Prática de Radar no CEAAE.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho tem sido desenvolvido com o apoio do Centro de Guerra Eletrônica do Comando Geral de Operações Aéreas (CGEGAR) da Força Aérea Brasileira.

REFERÊNCIAS

- [1] Coelho, A. C., "Laboratório de Processamento de Sinais Radar Assistido por Computador: Uma Nova Perspectiva para o Ensino de Guerra Eletrônica na FAB", Spectrum: Revista do Comando Geral de Operações Aéreas, No 09, Dez. 2005, pp. 38-41. (www.fab.mil.br/revistas/Spectrum09.pdf)
- [2] Site do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro na URL <http://www.decea.gov.br/html/sisceab.htm>.
- [3] Lab-Volt®Ltd., "Telecommunications Radar: Principles of Radar Systems", 1989.
- [4] Johnson, G. W., "LabVIEW® Graphical Programming: Practical Applications in Instrumentation and Control", McGraw-Hill, 1994.
- [5] Salzmann, C. et. al., "Sharing of Unique or Expensive Equipment for Research and Education", Informatik / Informatique, Magazine of the Swiss Informatics Societies, No. 4, 1999, pp. 32-33.
- [6] Callaghan M., "A Collaborative Environment for Remote Experimentation", Proceedings of Microelectronic Systems Education 2003 International Conference, June 2003, pp. 59-60
- [7] Wiegand, R. J., "Radar Electronic Countermeasures System Design", Artech House, 1991.
- [8] Lab-Volt®Ltd., "Telecommunications Radar: Radar in an Active Target Environment", 2001

- [9] Aaron, K. R. et al., "Closed-loop Position Control System Using LabVIEW", Proceedings IEEE SoutheastCon 2002, pp. 283-286. (<http://ieeexplore.ieee.org/iel5/7814/21481/00995606.pdf>)