

Lógica Programável Aplicada em Circuito Acionador de Ordens Pirotécnicas

**Francisco Carlos
Parquet Bizarria**^{1,2}

fcpb@iae.cta.br

**João Mauricio
Rosário**³

rosario@fem.unicamp.br

**José Walter Parquet
Bizarria**¹

jwpb@inf.unitau.br

**Francisco Antonio
Visconti Junior**²

visconti@iae.cta.br

1 Universidade de Taubaté (UNITAU), Departamento de Engenharia Mecânica – Taubaté - SP/Brasil

2 Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), Divisão de Eletrônica (AEL) - São José dos Campos - SP/Brasil

3 Universidade de Campinas - Cidade Universitária “Zeferino Vaz”, Barão Geraldo - Campinas – SP/Brasil

RESUMO

Os módulos dedicados à ativação de ordens pirotécnicas que são integrados nas redes elétricas embarcadas dos foguetes de sondagem, atualmente desenvolvidos no Brasil pelo Instituto de Aeronáutica e Espaço, utilizam nos seus circuitos eletrônicos componentes lógicos com limitada flexibilidade de configuração. Essa limitação, durante a fase de desenvolvimento desses módulos, pode comprometer principalmente o tempo, o custo e os ensaios envolvidos, especialmente quando há necessidade de efetuar modificações funcionais nesses circuitos eletrônicos. Uma outra consequência dessa limitação pode ser observada na fase de operação, na qual as características impostas pela missão de lançamento do foguete exigem modificações que podem envolver os tempos de ativação das ordens pirotécnicas. Nesse contexto, este trabalho apresenta uma proposta para a utilização de componente eletrônico baseado em lógica programável estruturada no desenvolvimento de módulo gerador de ordens para foguetes de sondagem, com a meta de minimizar as mencionadas limitações. Os resultados obtidos nos ensaios realizados, com o protótipo desenvolvido para esse módulo, foram satisfatórios. Esses resultados mostraram que a proposta de utilização de lógica programável estruturada no circuito eletrônico desse módulo pode ser levada a efeito para a finalidade a qual se destina.

Palavras-Chave: Foguetes de Sondagem. Redes Elétricas Embarcadas. Lógica Programável.

1. INTRODUÇÃO

Os foguetes de sondagem são sistemas que podem proporcionar ambiente de microgravidade para realização de experimentos autônomos, com custo acessível de contração pelo usuário (AEB, 2006). Para obter sucesso na missão de lançamento desses foguetes é necessário que as atividades e os eventos respectivamente previstos nas fases de pré-lançamento e vôo sejam corretamente e completamente executados (PALMÉRIO, 2005). Durante a fase de vôo, a ativação de ordens pirotécnicas é realizada por módulos dedicados a esse fim. Nas redes elétricas dos foguetes de sondagem, atualmente desenvolvidos pelo Instituto de Aeronáutica e Espaço, os módulos destinados à geração de ordens pirotécnicas utilizam circuitos eletrônicos com componentes lógicos de limitada capacidade de reconfiguração de função. Essa limitação pode comprometer principalmente o tempo, o custo e os ensaios envolvidos durante a fase de desenvolvimento desses módulos, especialmente quando há necessidade de efetuar modificações funcionais nesses circuitos eletrônicos. Uma outra consequência dessa limitação pode ser observada na fase de operação, quando as características impostas pela missão de lançamento do foguete exigem modificações que envolvem os tempos de ativação das ordens pirotécnicas (PINHERIRO, 2005). Nesse contexto, este trabalho apresenta uma proposta que prevê a utilização de componente eletrônico baseado em lógica programável estruturada na arquitetura sistêmica que atende

esses módulos, com a meta de minimizar as mencionadas limitações e causar pouco impacto de implementação no atual sistema gerador de ordens pirotécnicas.

2. OBJETIVOS DO TRABALHO

As principais metas deste trabalho estão concentradas em apresentar: i) estudo sobre a utilização de dispositivos baseados em lógica programável estruturada na arquitetura de módulos geradores de ordens pirotécnicas, presentes nas redes elétricas dos mencionados foguetes de sondagem, e ii) resultados mais expressivos obtidos em ensaios efetuados com a primeira versão de protótipo, para módulo gerador de ordens pirotécnicas, que utiliza no seu circuito componente eletrônico baseado em lógica programável.

3. ARQUITETURA PROPOSTA

Os principais componentes representativos da arquitetura proposta para o sistema gerador de ordens pirotécnicas, baseado em lógica programável, são mostrados na Figura 1.

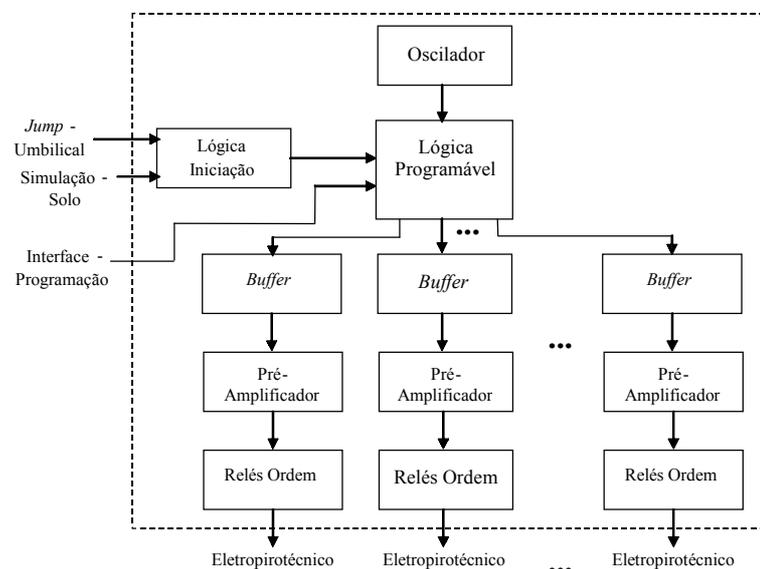


Figura 1. Proposta de arquitetura para gerador de ordens.

Na arquitetura apresentada nessa figura está previsto um bloco intitulado por Lógica Programável, o qual tem como principal função gerar os sinais, em baixa corrente, relacionados com as ordens pirotécnicas. A função principal desse bloco está concentrada em transformar o sinal gerado pelo bloco Oscilador, a partir de condição definida pelo bloco Lógica Iniciação, em sinais relacionados com os eventos programados e adequados para sensibilizar as linhas de entrada do bloco *Buffer*.

A liberação para o pleno funcionamento do circuito gerador de ordens é efetuada pelo bloco intitulado por Lógica Iniciação. Essa liberação pode ser realizada por comando oriundo de banco de controle ou por soltura de cabo umbilical. A finalidade de realizar a liberação por meio de sinal proveniente de banco de controle está relacionada com a necessidade de efetuar testes no circuito gerador de ordens, nos momentos que precedem o lançamento do foguete. Na soltura do cabo umbilical, ação que se dá pelo movimento relativo do foguete em relação ao trilho de lançamento, a meta está concentrada em realizar efetivamente as atividades pirotécnicas relacionadas com o vôo do foguete, conforme estabelecido pela missão.

O bloco *Buffer* efetua o primeiro nível de adequação dos níveis de correntes dos sinais presentes nas saídas do bloco Lógica Programável com aqueles necessários para atender as entradas do bloco Relés de Ordem. O bloco Pré-Amplificador, por sua vez, efetua o segundo nível de adequação de correntes dos sinais que serão diretamente aplicados nas bobinas dos relés de ordem, ou seja, esse bloco efetivamente fornece a potência necessária para atuar, quando necessário, as bobinas dos relés de ativação de ordem.

Os blocos intitulados por Relés de Ordem representam os dispositivos eletromecânicos instalados diretamente nas linhas elétricas de potência que atendem os dispositivos eletropirotécnicos, ou seja, linhas de fogo. Esses relés, quando acionados, têm por principal função permitir a correta circulação de corrente entre as baterias de pirotécnicos e os circuitos que atendem os dispositivos eletropirotécnicos. Os relés de ordem são do tipo monoestável e dotados de separação galvânica entre os seus contatos principais e a suas bobinas, minimizando assim interações entre o circuito de comando e o de potência (JUNIOR, 2005).

Um exemplo típico de sinais que interagem com circuito gerador de ordens é mostrado no gráfico de tempos, para quatro ordens, apresentado na Figura 2.

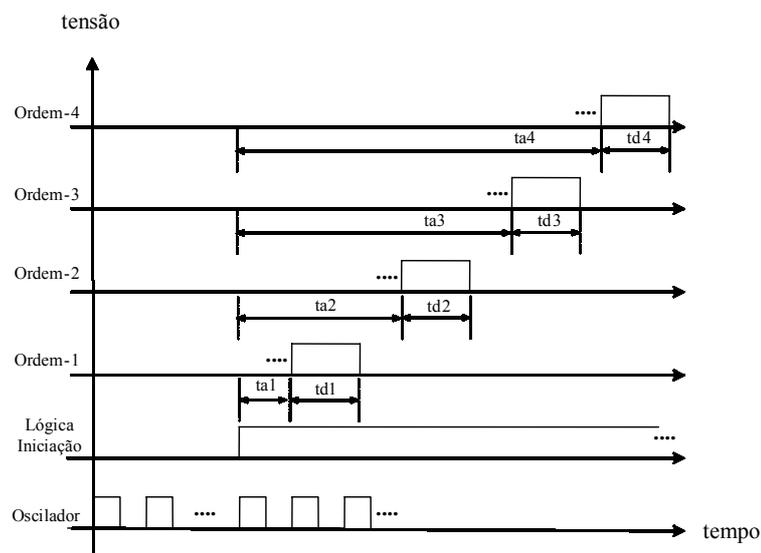


Figura 2. Sinais relacionados com o gerador de ordens.

Nessa figura pode ser observado que o bloco Lógica Iniciação é responsável por iniciar o processo de geração de sinais relacionados com as ordens do circuito. A atuação dessas ordens deve atender tempos pré-definidos que estão relacionados com o tipo de missão do foguete. Nesse contexto, o circuito deverá ser capaz de aceitar a programação dos tempos de ativação ($ta_1, 2, 3$ e 4) e duração ($td_1, 2, 3$ e 4) os quais estão relacionados com os eventos pirotécnicos que deverão ser realizados pela rede elétrica do foguete.

3.1. BLOCO LÓGICA PROGRAMÁVEL

A estrutura prevista para o bloco Lógica Programável, representado na Figura 2, utiliza principalmente circuitos com capacidade de efetuar funções relacionadas com: i) divisão de frequência, ii) contagem, iii) movimentação, iv) comparação, e v) lógica, conforme mostrado no diagrama de blocos da Figura 3.

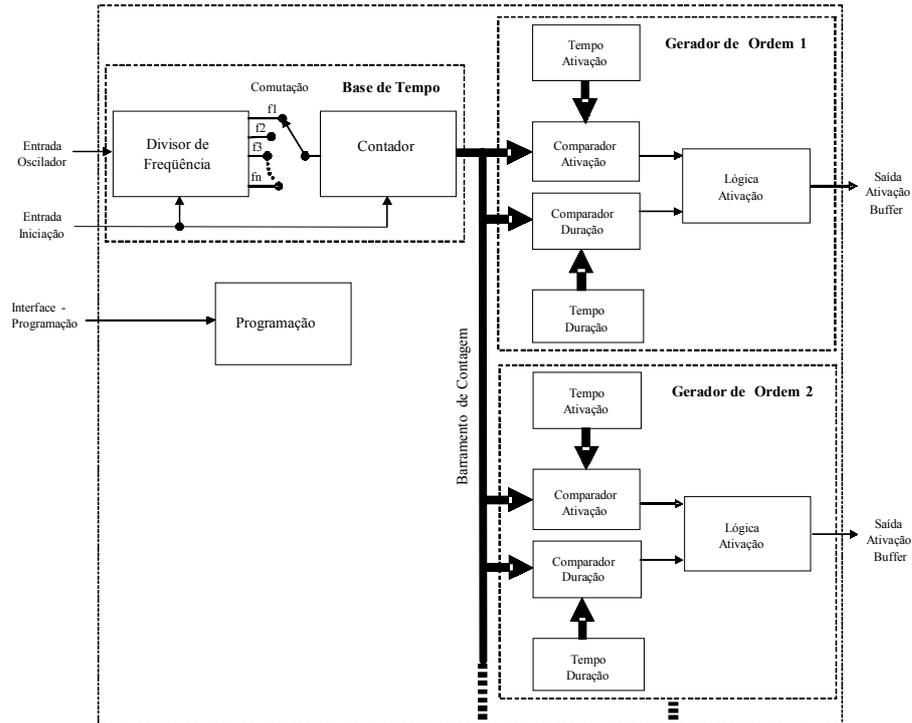


Figura 3. Estrutura do bloco Lógica Programável.

Nessa figura o bloco denominado Base de Tempo tem duas principais finalidades no bloco Lógica Programável.

A primeira é efetuada pelo Divisor de Frequências e está relacionada com a adequação de frequências que podem ser estabelecidas pela Entrada Oscilador no sentido de proporcionar uma base de tempo que possibilite a programação de todos os blocos Gerador de Ordem (1, 2, ...n). Esse recurso é necessário para permitir que o circuito opere com osciladores de frequências distintas e assegure características mínimas de precisão de tempo para ativar os eventos.

A segunda finalidade é executada pelo Contador e está relacionada com a precisão que poderá ser obtida pelos Comparadores (Ativação e Duração) contidos nos blocos Geradores de Ordens. Essa precisão é alcançada pela correta determinação das linhas que serão definidas para o Barramento de Contagem. Na determinação do número dessas linhas é considerada a frequência da Entrada Oscilador e precisão imposta pela ativação de cada evento programado (COSTA, 2005).

Os blocos denominados por Gerador de Ordem 1 e 2 têm por principais finalidades gerar os sinais de comandos relacionados com os eventos programados, nos tempos de ativação e nas durações previstas para a missão do foguete. Nesse contexto o Gerador de Ordem é composto pelos seguintes blocos: i) Tempo Ativação, ii) Comparador Ativação, iii) Tempo Duração, iv) Comparador Duração, e v) Lógica Ativação.

O bloco Tempo Ativação tem por função permitir que o operador efetue a programação do tempo inicial para a ativação do evento pirotécnico. De modo análogo o bloco Tempo Duração permite ao operador efetuar a programação do tempo final de ativação do evento.

O bloco Comparador Ativação utiliza o valor armazenado no bloco Tempo Ativação para efetuar sucessivas comparações com os valores alcançados pelo Barramento de Contagem, até identificar a condição de ativação especificada, para em seguida enviar o sinal

relacionado com essa condição para o bloco Lógica Ativação. De maneira análoga ocorre com o bloco Comparador Duração para identificar a condição de finalização de ativação.

O bloco Lógica Ativação utiliza os sinais enviados pelo Comparador Ativação e Duração para compor operação lógica capaz de gerar o sinal adequado de comando para o evento pirotécnico.

3.2. PROTÓTIPO

Na escolha do dispositivo capaz de realizar a função do bloco Lógica Programável foram considerados aspectos sistêmicos relacionados principalmente com: i) a viabilidade de implementação do *hardware*, ii) as funções disponíveis nas bibliotecas de componentes, iii) a possibilidade de programação em ambiente integrado de desenvolvimento, iv) a disponibilidade de componentes para aquisição no mercado nacional. Nesse contexto, optou-se pela utilização do sistema MAX 7000 e do ambiente de programação MAX+plus®II, da empresa Altera (ALTERA, 1999). A Figura 4 apresenta vista da primeira versão das partes que formam o protótipo desenvolvido para o circuito gerador de ordens, com arquitetura baseada em lógica programável.

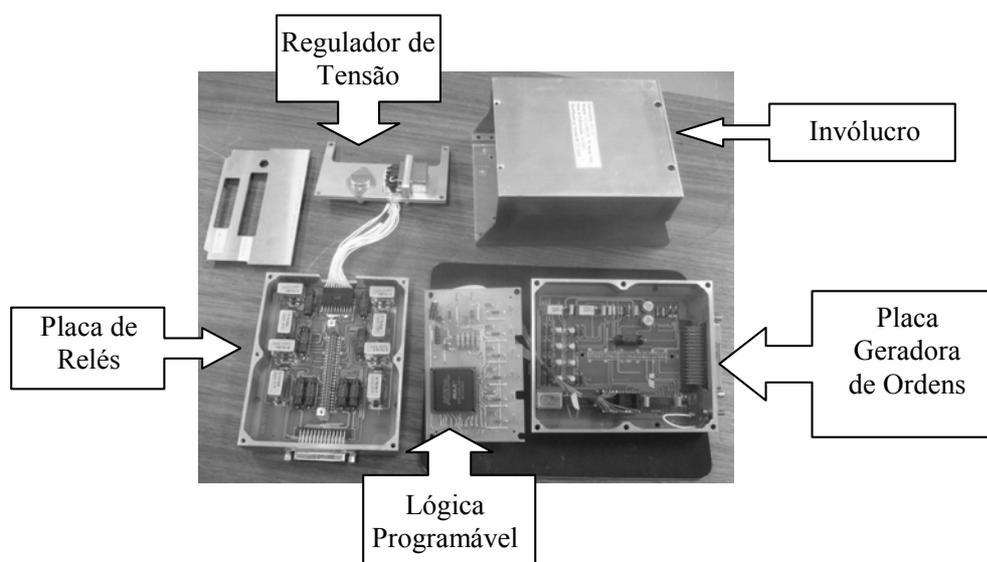


Figura 4. Vista do protótipo desenvolvido.

4. ENSAIOS PRÁTICOS E RESULTADOS

Os ensaios práticos efetuados com circuito baseado na arquitetura proposta neste trabalho foram realizados em três principais etapas.

Na primeira etapa foram idealizados dois diagramas de tempo relacionados respectivamente com os ensaios efetuados no desenvolvimento de circuitos Geradores de Ordens Pirotécnicos e com os tempos efetivos de acionamento de ordens pirotécnicos praticados durante um vôo típico de foguetes de sondagem.

A segunda etapa foi concentrada na determinação do conjunto de equipamentos capaz de atender os requisitos necessários ao ensaio, na programação de parâmetros relacionados com os eventos do Gerador de Ordens Pirotécnicos e na realização dos ensaios.

A terceira etapa apresenta os resultados obtidos nesses ensaios.

A Figura 5 apresenta o diagrama de tempo que o Gerador de Ordens Pirotécnicas deverá apresentar em suas saídas, durante a realização do primeiro tipo de ensaio prático, no sentido de refletir as condições semelhantes àquelas aplicadas no desenvolvimento de um circuito que não utiliza a arquitetura que é proposta neste trabalho.

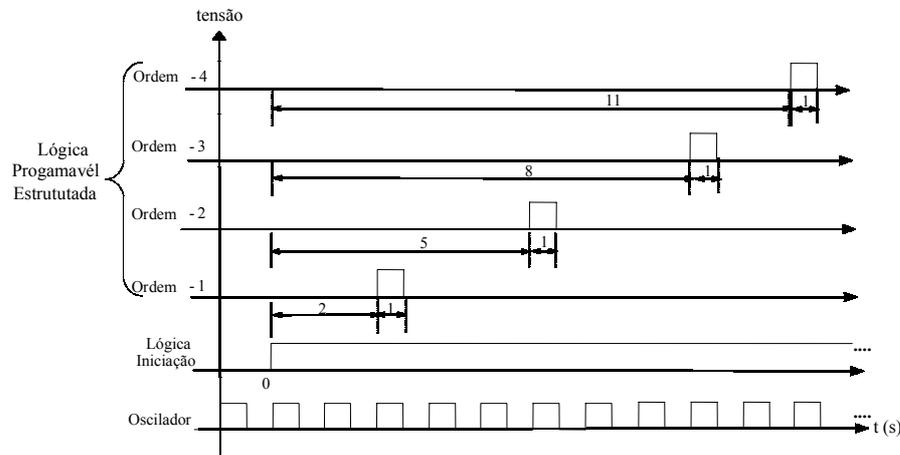


Figura 5. Sinais previstos na primeira fase dos ensaios.

A forma de onda prevista nessa figura deverá ser repetida pelo gerador de ordens, submetido ao ensaio, para verificar a capacidade desse gerador em ativar ordens pirotécnicas de forma cíclica e por longo período de tempo.

No segundo tipo de ensaio prático o objetivo está concentrado em avaliar a capacidade do gerador de ordens, proposto neste trabalho, em aplicar as ordens pirotécnicas durante um vôo típico de foguetes de sondagem. Nesse contexto, esse gerador deverá apresentar em suas saídas sinais em conformidade com os mostrados na Figura 6.

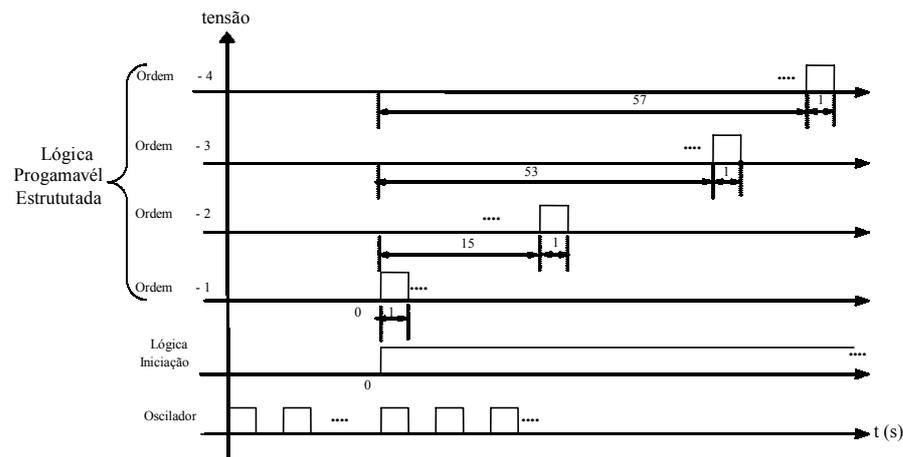


Figura 6. Sinais previstos na segunda fase dos ensaios.

O esquema de ligações, apresentado na Figura 7, representa o conjunto de equipamentos idealizados para realizar os ensaios práticos com o circuito gerador de ordens pirotécnicas proposto neste trabalho.

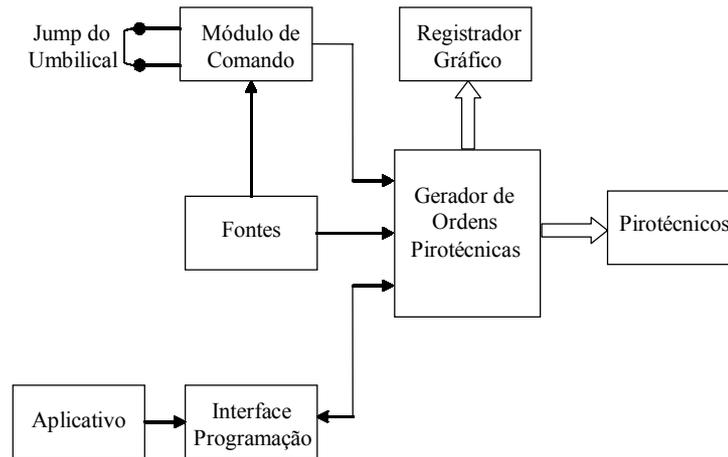


Figura 7. Esquema de ligações para ensaios práticos.

No esquema de ligações, mostrado nessa figura, o bloco intitulado por Módulo de Comando é responsável por efetuar o acionamento do Relé de Segurança contido no Gerador de Ordens Pirotécnicos e simular a soltura do cabo umbilical (*Jump* do Umbilical). Na realização dos ensaios práticos o Relé de Segurança, contido nesse circuito, foi posicionado para o estado Armado. Esse estado reflete a condição utilizada para o voo do foguete. O estado denominado por Segurança pressupõe a condição relacionada com as fases de preparação para o lançamento do foguete.

O bloco denominado por Fontes, representa os quatro tipos de suprimentos de energia elétrica, em corrente contínua, necessários para atenderem o funcionamento do equipamento Gerador de Ordens. Esse bloco dispõe de linha com tensão em: i) +28,0 Vdc para alimentação funcional, ii) +28,0 Vdc e -28,0Vdc para simular alimentação proveniente do Banco de Controle, e iii) +15Vdc relacionada com as baterias de pirotécnicos.

O bloco intitulado Aplicativo representa o ambiente utilizado para: i) configuração de função e sinais do Gerador de Ordens, ii) programação dos tempos de ativação e duração dos eventos pirotécnicos.

A partir do esquema de ligações, representado na Figura 7, foi efetuada a montagem do conjunto de equipamentos e meios físicos necessários para realizar e registrar os resultados dos ensaios. Uma vista dessa montagem é apresentada na Figura 8.

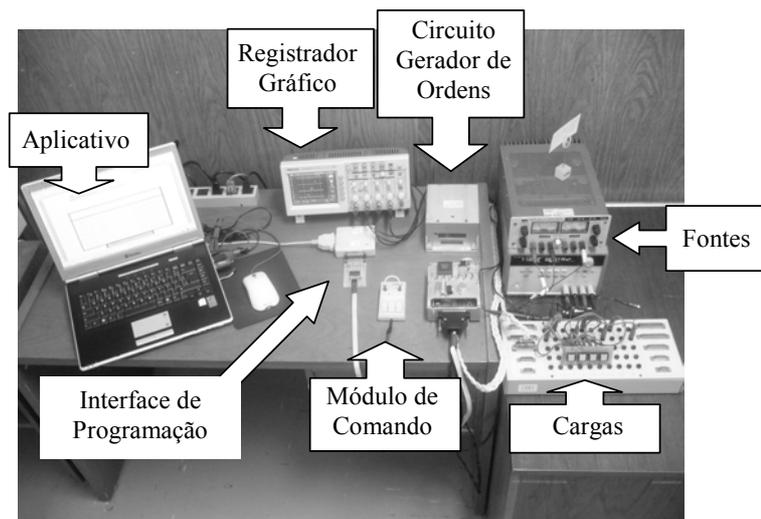


Figura 8. Vista do conjunto utilizado nos ensaios.

Nesse conjunto foram realizados dois tipos de ensaios práticos.

O primeiro foi concentrado na verificação da capacidade do sistema em gerar ordens pirotécnicas de modo seqüencial e repetitiva com o objetivo de avaliar a sua robustez e repetibilidade durante um longo período de tempo.

No segundo, verificou-se a flexibilidade do sistema quanto à capacidade de suportar modificações dos tempos de programação. Nesse contexto, utilizou-se como exemplo os tempos de ativação de ordens pirotécnicas previstos para o vôo de foguete com dois estágios.

O resultado obtido no primeiro ensaio prático realizado com o Gerador de Ordens Pirotécnicas, baseado em Lógica Programável Estruturada, é apresentado na Figura 9.

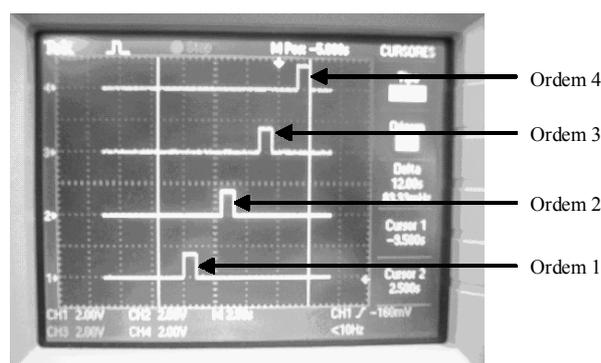


Figura 9. Resultados obtidos no primeiro ensaio prático.

Essa figura mostra que o gerador proposto neste trabalho é capaz de gerar ordens pirotécnicas de modo seqüencial, de forma repetitiva e atendendo os padrões preestabelecidos.

A Figura 10 apresenta o resultado obtido no segundo tipo de ensaio prático. Esse resultado está em conformidade com os tempos de ativação de ordens pirotécnicas utilizados em vôo de um foguete de sondagem.

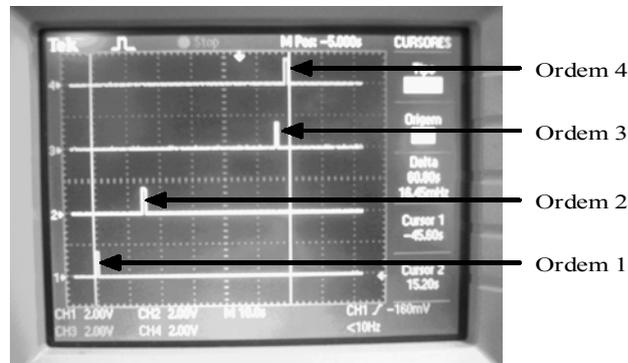


Figura 10. Resultados obtidos no segundo ensaio prático.

5. CONCLUSÕES

Os resultados positivos obtidos na realização dos ensaios práticos mostram que a adoção de dispositivo baseado em Lógica Programável Estruturada na arquitetura de sistêmica dos módulos Geradores de Ordens Pirotécnicas, presentes atualmente nos foguetes de sondagem, permite a programação remota de eventos pirotécnicos, possibilita a modificação de sua função, admite a inclusão de sinais oriundos de novos sensores na lógica de operação e causa pouco impacto de implementação na atual configuração utilizada para esses módulos.

A flexibilidade observada na configuração de funções e sinais com a utilização de dispositivo desse tipo dispositivo permitirá a inclusão de novos sensores que possibilitem o aumento da segurança em solo e melhoria de desempenho do foguete em vôo.

6. REFERÊNCIAS

AEB (Agência Espacial Brasileira). Foguetes de Sondagem. Disponível em <<http://www.aeb.gov.br>>. Acesso em Jul. 2006.

ALTERA Corp., CPLDs vs FPGAs – Comparing High Capacity Programmable Logic. Product Information Bulletin 18, ver 1, 1999.

COSTA, C. Controlador Baseado em Lógica Programável Estruturada. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Taubaté, S.Paulo, Brasil, 2005.

JUNIOR, F. A. V. Definição da Rede Elétrica do VSB-30 V02 e V03. Relatório Técnico, Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), S.Paulo, Brasil, 2005.

PALMÉRIO, A.F. Introdução à Engenharia de Foguetes. Apostila de curso realizado no Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), S.Paulo, Brasil, 2005.

PINHEIRO, A.P. Sistemas Eletropirotécnicos. Apostila de curso realizado no Instituto de Tecnológico de Aeronáutica (ITA), S.Paulo, Brasil, 2005.