



# ARQUITETURA PARA SUPERVISÃO E ACIONAMENTO DE MÓDULOS ELÉTRICOS DE FOGUETES DE SONDAGEM EM PRÉ-LANÇAMENTO<sup>1</sup>

FRANCISCO CARLOS PARQUET BIZARRIA | [francisco.cpbizarria@unitau.br](mailto:francisco.cpbizarria@unitau.br)

JOSÉ WALTER PARQUET BIZARRIA | [jwpbiz@gmail.com](mailto:jwpbiz@gmail.com)

WILSON STANISCE CORRÊA | [stanisce@yahoo.com.br](mailto:stanisce@yahoo.com.br)

## RESUMO

Robustez, confiabilidade, padronização e custo acessível são características almejadas para os equipamentos em solo que realizam tarefas dedicadas de supervisão funcional e acionamento de módulos elétricos presentes nas redes elétricas embarcadas de foguetes de sondagem, os quais são atualmente desenvolvidos no Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE). Essas tarefas são efetuadas, especialmente, durante a execução de testes operacionais relacionados com as redes elétricas embarcadas, os quais são realizados na fase de integração de módulos e pré-lançamento de foguete. Nesse sentido, este trabalho apresenta uma proposta de arquitetura sistêmica, para os aludidos equipamentos em solo, capaz de efetuar de modo remoto o acionamento de módulos embarcados e a supervisão de sinais digitais e analógicos oriundos de redes elétricas instaladas em foguetes de sondagem. Essa arquitetura sistêmica foi elaborada para ser aplicada a uma família específica de foguetes de sondagem, além de ser baseada em sistema de supervisão, controlador lógico programável, sensores e atuadores, os quais estão disponíveis no mercado nacional, com a meta de favorecer, principalmente, a utilização de *hardware* padronizado e *software* que possibilite a realização de alterações em ambiente integrado de desenvolvimento. Os resultados satisfatórios observados nos ensaios operacionais, realizados com a primeira versão de protótipo representativo dessa arquitetura, mostraram que a proposta apresentada neste trabalho é viável e pode ser levada a efeito para a aplicação a qual se destina.

**Palavras-chave:** Foguete de Sondagem, Automatização, Supervisão e Acionamento de Módulos.

---

1 Artigo publicado no IV Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2006, Recife/PE.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a maior parte dos sistemas de automação aplicados nas indústrias, no comércio e em residências, apresenta como características básicas: a robustez, a confiabilidade, a padronização e o custo acessível, haja vista a ampla quantidade de instalações que utilizam esses sistemas integrados em suas plantas operacionais.

Essas características também são almejadas para os equipamentos em solo que realizam tarefas dedicadas de supervisão funcional e acionamento remoto de módulos elétricos presentes nas redes elétricas embarcadas de foguetes de sondagem, os quais são presentemente desenvolvidos no Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE).

Na supervisão funcional é realizado o monitoramento do estado operacional de módulos pertencentes às redes elétricas embarcadas em foguetes e de valores de parâmetros elétricos representativos de condições de funcionamento dessas redes. Essa supervisão visa detectar a ocorrência de anomalias nessas redes elétricas, por meio de indicações de estado e valores alcançados pelas variáveis monitoradas.

Essas tarefas são efetuadas, especialmente, durante a execução de testes operacionais relacionados com as redes elétricas embarcadas, os quais são realizados na fase de integração de módulos e pré-lançamento de foguete, para garantir condições aceitáveis dessas redes no lançamento.

Nessa fase de integração de módulos são realizadas tarefas relacionadas com a montagem de subsistemas, pertencentes às redes elétricas embarcadas de foguete, com a meta de executar ensaios de aceitação e dinâmico de vibração.

No ensaio dinâmico de vibração é avaliado o comportamento de equipamentos, condutores, conectores e acessórios, utilizados nas redes elétricas, submetidos às condições pré-estabelecidas de vibração.

A meta do ensaio de aceitação está concentrada em verificar a continuidade elétrica de condutores, efetuar medidas de isolamento, confirmar os endereços entre pinos de conectores e avaliar o comportamento de equipamento submetido à solicitação funcional, os quais são previstos em especificação.

Na solicitação funcional é aplicada sequência dedicada de operações no equipamento avaliado, sendo que essa sequência é desempenhada com nível de tensão elétrica nominal.

Na fase de pré-lançamento, o foguete está totalmente montado, com carga útil e instalado na plataforma de lançamento. Nessas circunstâncias são executados testes finais para verificar o estado funcional e/ou operacional das redes elétricas embarcadas do foguete, os quais são realizados com o auxílio de diversas estações pertencentes ao campo de lançamento, antes do momento de lançamento.

Essas estações, normalmente, estão relacionadas com avaliação de informações pertinentes a telemetrias, segurança de voo e meteorologia.

Nesse contexto este trabalho apresenta uma proposta de arquitetura sistêmica, para os aludidos equipamentos em solo, capaz de efetuar de modo remoto o acionamento de módulos embarcados e a supervisão de sinais digitais e analógicos oriundos de redes elétricas instaladas em foguetes de sondagem.

Essa arquitetura sistêmica foi elaborada para atender uma família específica de foguetes de sondagem, biestágio, não guiado, estabilizado por empenas e lançado a partir de trilho, os quais são atualmente fabricados no Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) e utilizados em convênio internacional para lançamento de carga útil científica, fora do território brasileiro.

O principal objetivo desse lançamento está concentrado em submeter essa carga útil ao ambiente de microgravidade, em período de tempo suficiente, para a completa realização de eventos científicos que são previstos em solo.

Os elementos que constituem essa arquitetura são baseados em controlador lógico programável, sensores, atuadores, fontes de tensão, microcomputadores e *software* de supervisão, controle e aquisição de dados, disponíveis para aquisição no mercado nacional.

A adoção dessa característica, para os elementos da mencionada arquitetura, tem como principal objetivo favorecer a utilização de *hardware* padronizado e *software* que possibilite a realização de alterações em ambiente integrado de desenvolvimento.

## 2. OBJETIVOS DO TRABALHO

Este trabalho tem como principal objetivo apresentar uma proposta de arquitetura para sistema em solo realizar tarefa dedicada de supervisão funcional e acionamento remoto de módulos elétricos presentes nas redes elétricas embarcadas de foguetes de sondagem, sendo que os componentes dessa arquitetura devem ser baseados em sistema de supervisão, controlador lógico programável, sensores e atuadores, disponíveis no mercado nacional.

## 3. ARQUITETURA PROPOSTA

Os principais componentes representativos da arquitetura proposta para sistema em solo realizar tarefa dedicada de supervisão funcional e acionamento remoto de módulos elétricos, presentes nas redes elétricas embarcadas de foguetes de sondagem, são apresentados na Figura 1.

Na Figura 1, é possível observar que o controlador pode operar em malha fechada, ou seja, utiliza os sinais enviados pelas redes elétricas como referência na determinação dos atuais estados operacionais alcançados pelos equipamentos embarcados.

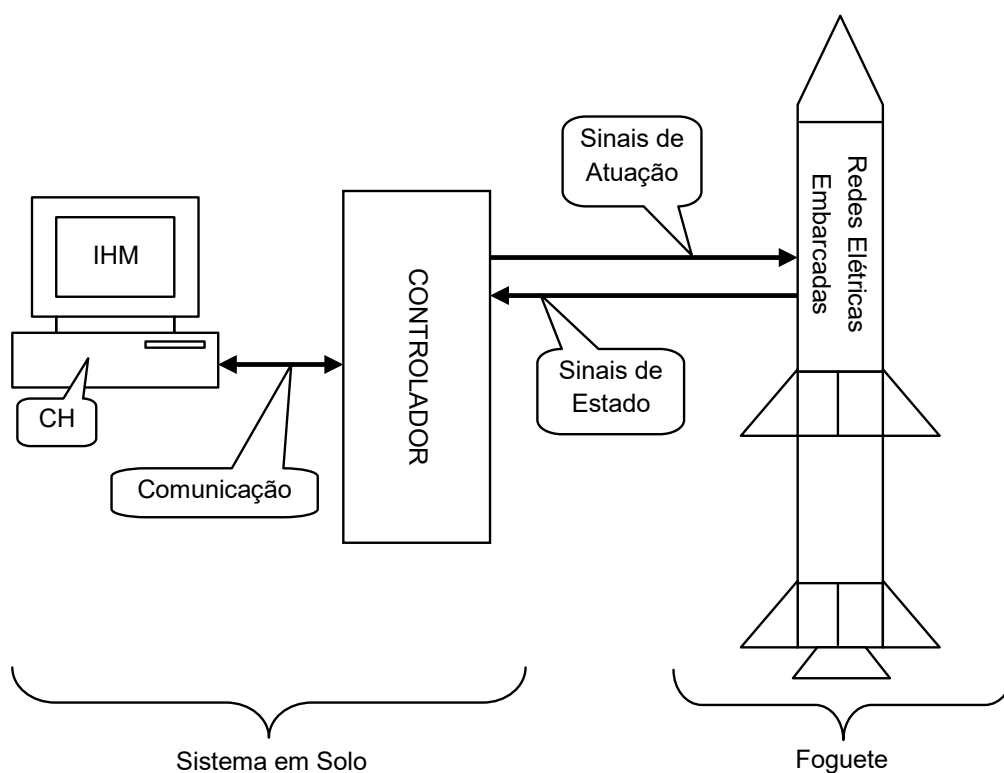


Figura 1 - Componentes básicos da arquitetura.

A função do bloco denominado por CONTROLADOR, apresentado na Figura 1, pode ser desempenhada por um Controlador Lógico Programável (CLP), pois o mesmo tem capacidade de operar com entradas e saídas, digitais ou analógicas, que atendem vasta faixa de amplitude de sinais elétricos (Miyagi, 1996).

Nesse CONTROLADOR é prevista a instalação de programa que efetuará o gerenciamento de atividades da arquitetura proposta, em função de características funcionais e/ou operacionais exigidas pelos equipamentos pertencentes às redes elétricas embarcadas no foguete.

Conforme sequência de operações estabelecidas para a realização de acionamentos e supervisão de estado de equipamentos, esse programa poderá acionar atuadores e obter informações de sensores relacionadas com as redes elétricas embarcadas no foguete.

Na Interface Homem-Máquina (IHM), a qual está instalada na camada do aplicativo do computador hospedeiro (CH), está prevista janela específica munida com recursos necessários para o operador acionar remotamente (De Moraes e Castrucci, 2001) os módulos presentes nas redes elétricas embarcadas e supervisionar seus estados, por meio de modo automático ou individual de operação.

Independentemente da escolha desse modo de acionamento, as informações sobre os atuais estados desses módulos embarcados serão apresentadas na Interface Homem-Máquina (IHM) para acompanhamento do operador do sistema.

Essa interface deverá se comunicar com o Controlador Lógico Programável (CLP) por meio físico dedicado e com a previsão de separação galvânica.

A mencionada separação galvânica tem por objetivo básico limitar consequências no Controlador Lógico Programável (CLP), na hipótese de ocorrer manifestação de desconformidades elétricas no computador hospedeiro (CH), e vice-versa (Costa, 2005).

#### **4. PROTÓTIPO**

Uma vista dos componentes que compõem a primeira versão do protótipo elaborado para representar o funcionamento de sistema em solo, que realiza tarefa dedicada de supervisão funcional e acionamento remoto de módulos presentes nas redes elétricas embarcadas de foguetes de sondagem, é apresentada na Figura 2.

No mencionado protótipo foram realizados os ensaios para validar a arquitetura proposta neste trabalho.

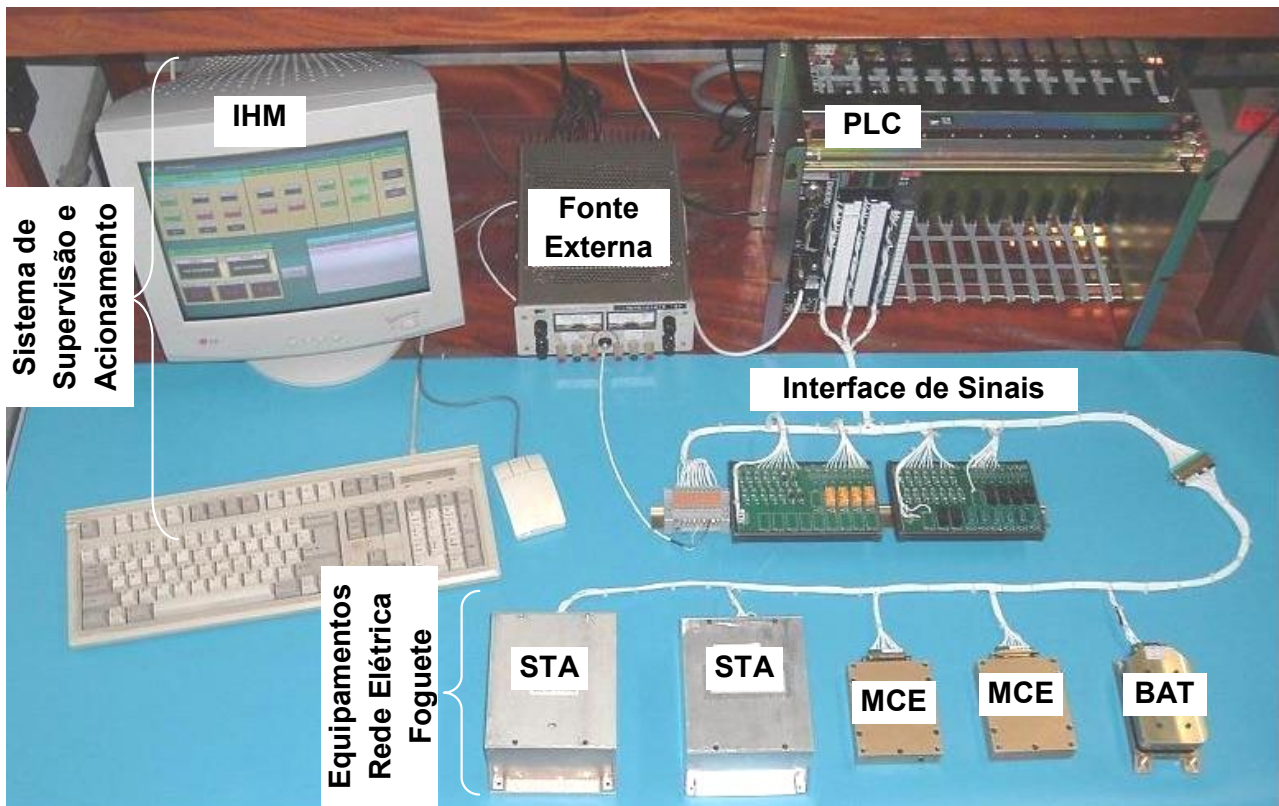


Figura 2 - Vista do protótipo.

No protótipo da Figura 2, podem ser identificados os equipamentos que pertencem a uma rede elétrica específica do foguete de sondagem e ao sistema em solo de supervisão funcional e acionamento remoto de módulos elétricos embarcados.

A mencionada rede é intitulada por Rede Elétrica de Serviço (RES), sendo que a sua função no foguete está concentrada em atender o suprimento de energia elétrica e a sequência de eventos (Palmério, 2002).

Cabe destacar que a importância dessa rede para o sucesso do lançamento é tão significativa que a mesma possui configuração de equipamentos em redundância.

Os condutores, terminais, conectores e acessórios utilizados no suprimento de energia elétrica são de confiabilidade adequada ao tipo de aplicação em questão, sendo que esses são projetados e executados de modo que em regime nominal de operação as cargas atendidas pela mencionada rede sejam submetidas ao mínimo de variação de tensão elétrica.

Os equipamentos pertencentes ao mencionado sistema de suprimento de energia são intitulados por Módulo de Comando de Energia (MCE) e Bateria Funcional (BF).

Os transitórios de corrente elétrica são normalmente mais destacados nos módulos relacionados com a sequência de eventos.

Nos módulos da sequência de eventos são promovidos os acionamentos de eletropirotécnicos (Pinheiro, 2005), os quais exigem energia significativa da fonte de alimentação para atuação.

Esses eletropirotécnicos são usualmente empregados na atuação de sistemas de iniciação e separação de estágios propulsores do foguete.

Os equipamentos pertencentes à referida sequência de eventos são intitulados por Módulo de Segurança, Temporização e Atuação (STA) e Bateria para Eventos Pirotécnicos (BP).

A arquitetura do mencionado sistema de supervisão funcional e acionamento remoto de módulos elétricos está dividida em bloco de Acionamento e Supervisão.

Na fase de pré-lançamento, os elementos que constituem esse bloco de Acionamento ficam localizados nas proximidades da plataforma de lançamento, o qual tem por objetivo realizar as atuações necessárias na rede elétrica embarcada do foguete e confirmar se essas atuações provocaram as ações esperadas.

Essa confirmação é realizada por meio de observação de níveis de tensão elétrica em pontos estratégicos da rede, sinais enviados por sensores e contatos auxiliares existentes nos módulos embarcados.

Nessa mesma fase, os elementos pertencentes ao bloco de Supervisão são instalados em local afastado da plataforma de lançamento, geralmente na casamata, sendo esse bloco responsável por informar o atual estado funcional e/ou operacional dos módulos, presentes na rede elétrica embarcada, para a Interface Homem-Máquina (IHM) do sistema e enviar os comandos do operador para o bloco de Acionamento efetuar as atuações necessárias no sentido de avaliar a rede elétrica supervisionada.

#### 4.1. Esquema de Ligações

O esquema de ligações adotado na primeira versão do protótipo elaborado para representar o funcionamento de sistema em solo, que realiza tarefa dedicada de supervisão funcional e acionamento remoto de módulos presentes nas redes elétricas embarcadas de foguetes de sondagem, é apresentado na Figura 3.

No esquema da Figura 3 é mostrado somente um dos conjuntos de equipamentos embarcados no foguete, pois o outro opera de modo redundante.

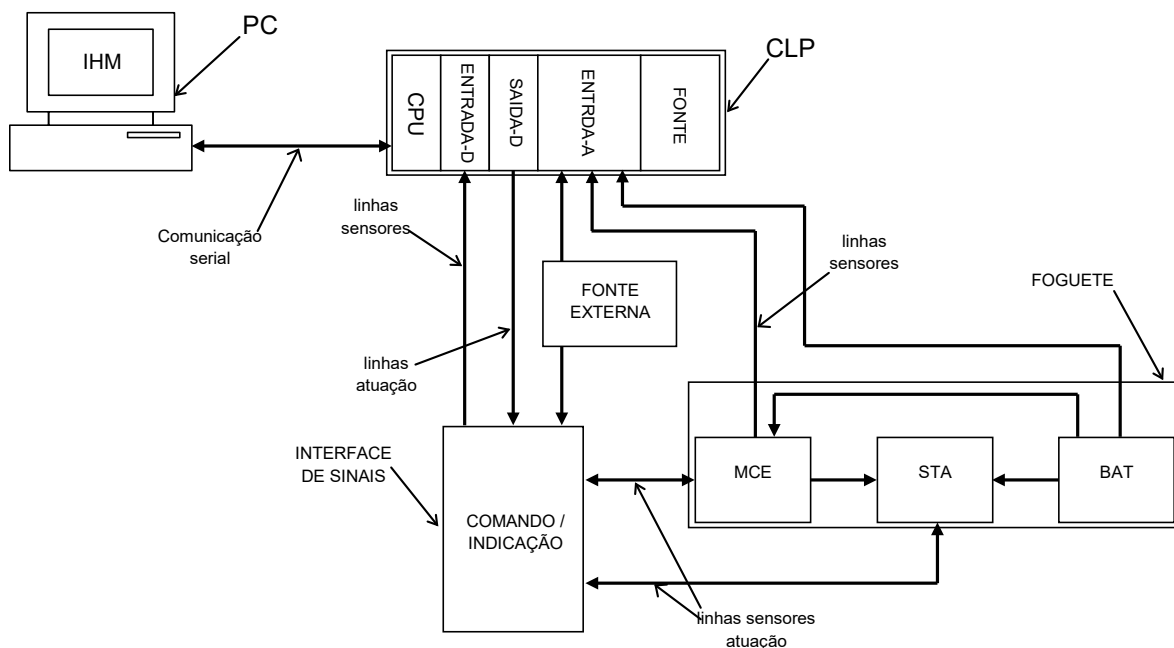


Figura 3 - Esquema de ligações do protótipo.

Na Figura 3, o bloco designado por BAT representa os conjuntos de baterias que atendem de modo individual as cargas do Módulo de Segurança, Temporização e Atuação (STA) e Módulo de Comando de Energia (MCE).

Os níveis de tensão elétrica dessas baterias devem ser supervisionados para o propósito deste trabalho.

No Módulo de Segurança, Temporização e Atuação (STA) estão instalados o Relé de Segurança e Relé de Simulação, os quais para o propósito deste trabalho devem ter seus estados operacionais supervisionados e, também, serem acionados de modo remoto.

Esse Relé de Segurança, dependendo das características do sinal de comando enviado para o mesmo, pode alcançar a posição intitulada por Segurança ou Armado.

Na posição denominada por Segurança, o Relé de Segurança interrompe o suprimento de energia para as linhas que atendem os eletropirotécnicos.

Na posição denominada por Armado, o Relé de Segurança estabelece o suprimento de energia para as linhas que atendem os eletropirotécnicos.

Cabe mencionar que o Relé de Segurança permanece na última posição comandada até que um novo sinal seja aplicado ao mesmo.

Os componentes da sequência de eventos são avaliados por ação do Relé de Simulação e, também, pelo estado definido na linha indicativa de condição passiva (CP).

O Relé de Simulação ao ser acionado permite iniciar os componentes de temporização e ativação das linhas positivas e negativas que atendem as ordens do foguete.

Cabe mencionar que o Relé de Simulação permanece em operação no período de tempo em que o mesmo recebe sinal de acionamento, sendo que na ausência desse sinal esse relé retorna para a posição de repouso.

A rede elétrica do foguete pode ser alimentada por meio de fonte externa ou bateria embarcada.

O Módulo de Comando de Energia (MCE) tem a função de inserir a bateria embarcada na linha de alimentação de energia elétrica.

Nesse módulo está instalado o Relé de Comando de Energia, o qual para o propósito deste trabalho também deve ter seus estados operacionais supervisionados e ser acionado de modo remoto.

O Relé de Comando de Energia, dependendo das características do sinal de comando enviado para o mesmo, pode alcançar a posição denominada por Ligado ou por Desligado.

Na posição intitulada por Ligado, o Relé de Comando de Energia conecta a bateria embarcada com as redes elétricas do foguete.

Na posição intitulada por Desligado, essa conexão não é estabelecida, sendo que o Relé de Comando de Energia permanece na última posição comandada até que um novo sinal seja aplicado no mesmo.

Para estabelecer ou interromper a energia elétrica, por meio de fonte externa, é utilizado o Relé de Alimentação Externa.

O Relé de Alimentação Externa está situado na INTERFACE DE SINAIS, mostrada na Figura 3, o qual possui duas posições que são denominadas por Desligado ou Ligado, e com operação semelhante ao Relé de Comando de Energia, do Módulo de Comando de Energia (MCE), porém para a fonte externa.

O Controlador Lógico Programável (CLP), mostrado na Figura 3, está configurado com unidade central de processamento (CPU), entrada digital (ENTRADA-D), saída digital (SAÍDA-D), entrada analógica (ENTRADA-A) e fonte dedicada de alimentação (FONTE).

Essa configuração associada com a INTERFACE DE SINAIS e FONTE EXTERNA são os elementos necessários para possibilitar: i) supervisão dos níveis de tensão da bateria funcional e de pirotécnicos, ii) supervisão e acionamento do Relé de Segurança, Relé de Simulação e supervisão da indicação de Condição Passiva (CP) dos eventos, do Módulo de Segurança, Temporização e Atuação (STA), iii) supervisão e acionamento do Relé de Comando de Energia instalado no Módulo de Comando de Energia (MCE) e supervisão de níveis de tensão fornecidos para a rede elétrica, e iv) supervisão e acionamento do Relé de Alimentação Externa instalado na INTERFACE DE SINAIS.

A INTERFACE DE SINAIS realiza a adequação necessária dos sinais digitais enviados do Controlador Lógico Programável (CLP) para os Relés de Segurança e Relé de Comando de Energia.

Essa adequação de sinais utiliza os níveis de tensão elétrica disponibilizadas na referida fonte externa.

Os níveis de tensão elétrica são monitorados pelo Controlador Lógico Programável (CLP), por meio do seu módulo de entrada analógica.

A comunicação serial é o meio físico estabelecido para efetuar o fluxo de informações entre o Controlador Lógico Programável (CLP) e computador hospedeiro (PC), o qual abriga a Interface Homem-Máquina (IHM) do sistema.

## 4.2. Programa de Gerenciamento

O programa de gerenciamento de informações previsto para a arquitetura proposta neste trabalho foi elaborado para operar em dois principais modos, os quais são utilizados na execução de tarefas relacionadas com as fases de integração de módulos embarcados e pré-lançamento de foguete.

No primeiro modo, cabe ao operador do sistema efetuar o acionamento individual de módulos que permitem estabelecer a distribuição de energia para as cargas atendidas pelas redes elétricas embarcadas e iniciar a sequência de eventos prevista para o foguete.

Nesse modo de operação é possível efetuar a ativação e desativação de componentes que pertencem a um único módulo, por várias vezes. Essa ação pode ser utilizada como recurso para diagnosticar e/ou confirmar a manifestação de desconformidades em um módulo específico presente na rede elétrica.

Isso é factível em razão desse módulo apresentar como característica operacional a presença de sinalização de estado, que ao ser enviada para o sistema de supervisão é capaz de informar para o operador do sistema o quão íntegro o mesmo está, no âmbito do sinal avaliado.

O segundo modo é destinado ao acionamento automático e sequencial de módulos presentes na rede elétrica. Esse modo é capaz de identificar desconformidades na rede elétrica, porém não permite realizar a ativação e desativação de um determinado módulo, fora da sequência prevista.

Independentemente do modo de operação escolhido para o programa de gerenciamento executar, sempre são utilizados os sinais de estado, analógicos e/ou digitais, presentes nos módulos da rede para definir se os acionamentos efetuados foram bem sucedidos.

O fluxograma sintético que representa uma sequência específica de ações previstas nesse programa de gerenciamento, a qual foi utilizada na realização dos ensaios práticos deste trabalho é apresentado na Figura 4.

O bloco representativo de rotina de erro, mostrado na Figura 4, está relacionado com a indicação de desconformidades que são apresentadas na Interface Homem-Máquina (IHM) e ações para desativação automática de módulo, em ambos os modos previstos para a operação do programa.

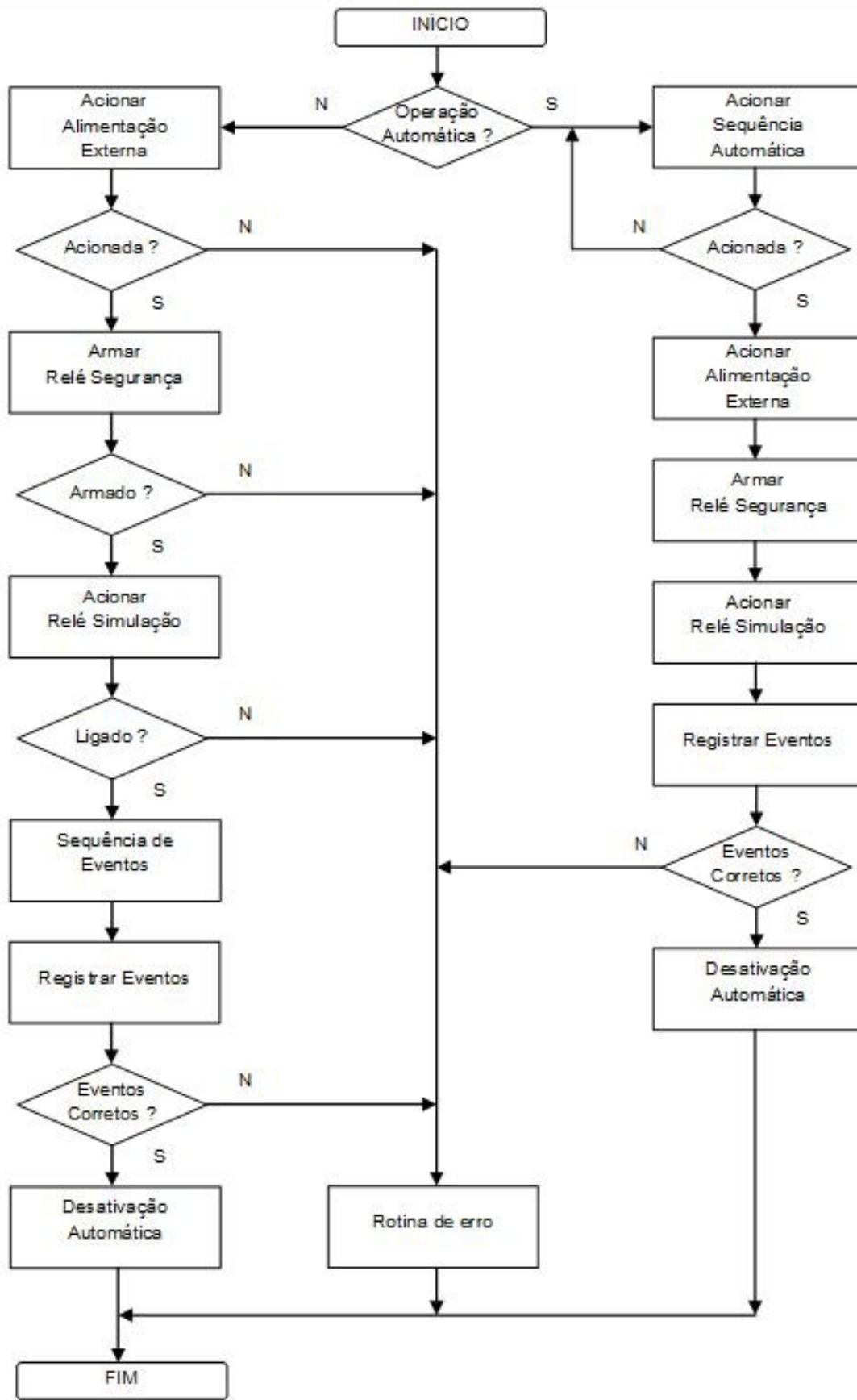


Figura 4 - Fluxograma sintético de sequência de ações.

### 4.3. Interface Gráfica

A função básica da Interface Homem-Máquina (IHM) está concentrada em servir de meio para o operador de o sistema comandar e supervisionar os módulos presentes nas redes elétricas embarcadas. Nesse sentido, a janela principal dessa interface é apresentada na Figura 5.

Na parte superior da janela principal, pode ser observado o conjunto de botões e de sinalizações dedicadas ao modo de operação que permite a execução de acionamento individual de módulos da rede elétrica embarcada.

Nas duas primeiras colunas, no sentido da esquerda para a direita, são previstos botões para efetuar acionamentos e supervisões relacionados com os Módulos de Comando de Energia (MCEs).

Esses módulos têm interface com as fontes de alimentação externa e interna. A fonte externa é utilizada, por exemplo, na fase de testes das redes elétricas em pré-lançamento, com a meta de não solicitar energia das baterias embarcadas.

As fontes de alimentação internas são utilizadas, exclusivamente, para atenderem as necessidades de consumo de energia elétrica pelo foguete durante o seu período de voo.

Nas duas colunas subsequentes as anteriores, estão os botões de acionamento e sinalizações de estado referentes aos Relés de Segurança e de Simulação dos Módulos de Segurança, Temporização e Atuações (STAs).

A sinalização de condição passiva, pertinente aos relés das linhas que atendem os eletropirotécnicos, é mostrada na coluna seguinte a anterior.

A condição passiva no estado ativo indica que todos os relés das linhas que atendem os eletropirotécnicos não estão acionados. Se essa condição não estiver no estado ativo, essa situação indica que no mínimo um desses relés está acionado.

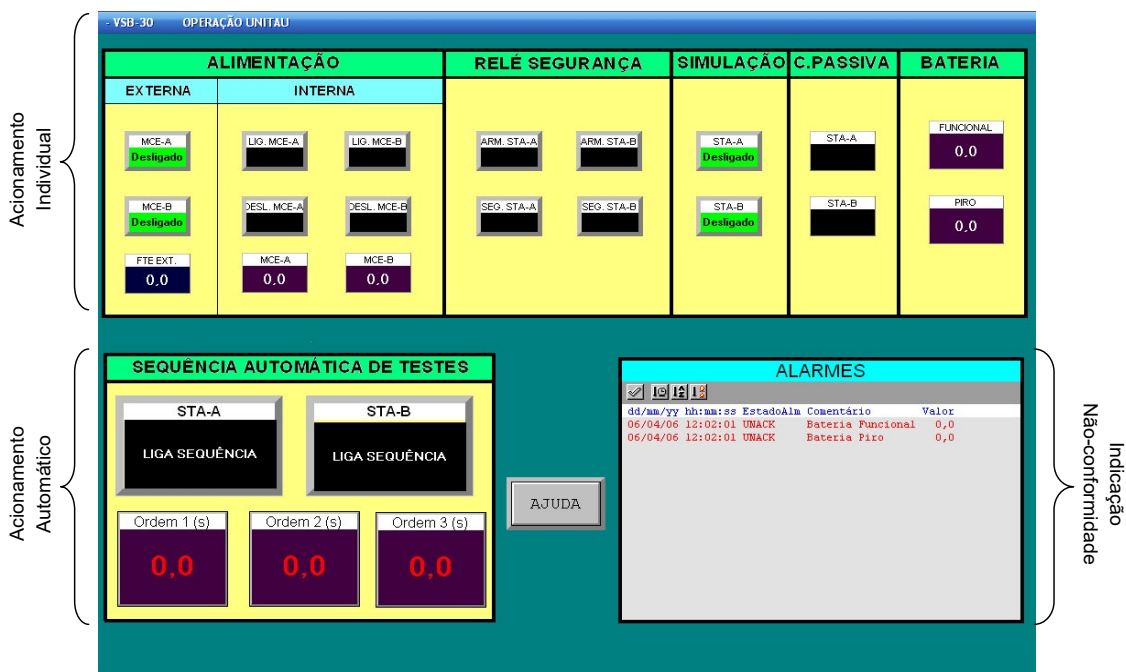


Figura 5 - Janela principal da interface gráfica.

Na janela principal mostrada na Figura 5, o nível de tensão elétrica na bateria funcional e de pirotécnicos, embarcadas, pode ser observado na coluna subsequente a anterior. Os valores desses níveis de tensão podem ser relacionados com as quantidades de energias contidas nessas baterias.

No canto inferior esquerdo da janela principal pode ser observado o conjunto de botões e de sinalizações dedicadas ao modo de operação que permite a execução de acionamento automático de módulos da rede elétrica embarcadas.

Nessa parte da janela principal, estão previstos os botões para acionamento automático dos Módulos de Segurança, Temporização e Atuações (STAs) e supervisão dos tempos de ocorrência de ordens.

No centro inferior da janela principal, pode ser observado o botão de AJUDA. Esse botão, ao ser ativado, apresenta texto com a descrição dos botões e das sinalizações que estão contidas na Interface Homem-Máquina (IHM).

Todas as informações sobre as desconformidades e alarmes detectados na operação desse sistema são apresentadas no canto inferior direito da janela principal.

As cores, nomenclaturas, distribuições de botões e sinalizações, mostradas na janela principal, foram elaboradas com a meta de atender as solicitações e necessidades dos operadores do sistema e facilitar a identificação de componentes durante a utilização da Interface Homem-Máquina (IHM).

Nesse contexto, o acionamento desses botões pode ser efetuado por seleção direta com o mouse, pertencente ao computador hospedeiro, ou por seleção das teclas de funções contidas no teclado (*keyboard*) do mesmo.

#### 4.4. Ensaios Práticos

Na realização dos ensaios práticos, necessários para atender este trabalho, foi montado o esquema de ligações apresentado na Figura 3 e elaborado um programa para o Controlador Lógico Programável (CLP), em linguagem *ladder*, capaz de atender as ações contidas no fluxograma sintético mostrado na Figura 4.

Para validar a arquitetura proposta neste trabalho, foram efetuadas várias operações de acionamento e supervisão de estado dos módulos pertencentes às redes embarcadas, com utilização do modo individual e automático do programa. Sendo que parte dessas operações foi realizada com a inserção proposital de desconformidades, em módulos conhecidos, para observar a capacidade que o sistema possui em sinalizar essa situação irregular.

### 5. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Os resultados satisfatórios obtidos nos ensaios práticos que foram realizados com a primeira versão do protótipo de sistema em solo que realiza tarefa dedicada de supervisão funcional e acionamento remoto de módulos elétricos presentes nas redes elétricas embarcadas de foguetes de sondagem, mostraram que a arquitetura de sistema proposta neste trabalho é viável e pode ser levado a efeito para a aplicação a qual se destina.

Os objetivos previstos, neste trabalho, foram alcançados em toda a sua plenitude, principalmente no que concerne ao acionamento e supervisão de estado dos módulos pertencentes às redes embarcadas em foguetes de sondagem.

No desenvolvimento e na montagem do protótipo foram utilizados, exclusivamente, sistema de supervisão, controlador lógico programável, sensores e atuadores, disponíveis para aquisição no mercado nacional, situação que minimiza custo de implantação e facilita alterações no sistema.

## 6. REFERÊNCIAS

Costa, C., 2005, “Controlador Baseado em Lógica Programável Estruturada”. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Taubaté, Brasil.

De Moraes, C. C. e Castrucci, P. L., 2001, Engenharia de Automação Industrial, LTC, Rio de Janeiro, Brasil.

Miyagi, P. E., 1996, Controle Programável – Fundamentos do Controle de Sistemas a Eventos Discretos, Editora Edgard Blucher Ltda, São Paulo, Brasil.

Palmério, A. F., 2002, “Introdução à Engenharia de Foguetes”, Apostila de Curso realizado no Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), Brasil.

Pinheiro, A. P. M., 2005, “Sistemas Eletropirotécnicos”, Apostila de Curso realizado no Instituto de Tecnológico de Aeronáutica (ITA), Brasil.

