MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/05.16.22.32-TDI

SISTEMA DE MONITORAÇÃO E CONTROLE DE SOLIDIFICAÇÃO DE MATERIAIS EM AMBIENTE DE MICROGRAVIDADE

Manuel Francisco Ribeiro

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelos Drs. Chen Ying An, e Marcelo Sampaio, aprovada em 24 de maio de 2016.

URL do documento original:
<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3LMNGSE>

INPE
São José dos Campos
2016

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Gabinete do Diretor (GB)
Serviço de Informação e Documentação (SID)
Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970
São José dos Campos - SP - Brasil
Tel.:(012) 3208-6923/6921
Fax: (012) 3208-6919
E-mail: pubtc@inpe.br

COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):
Presidente:
Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação (CPG)
Membros:
Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)
Dr. André de Castro Milone - Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)
Dra. Carina de Barros Melo - Coordenação de Laboratórios Associados (CTE)
Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação de Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)
Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Coordenação de Observação da Terra (OBT)
Dr. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)
Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SID)
BIBLIOTECA DIGITAL:
Dr. Gerald Jean Francis Banon
Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SID)
REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:
Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SID)
Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)
EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:
Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)
André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/05.16.22.32-TDI

SISTEMA DE MONITORAÇÃO E CONTROLE DE SOLIDIFICAÇÃO DE MATERIAIS EM AMBIENTE DE MICROGRAVIDADE

Manuel Francisco Ribeiro

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelos Drs. Chen Ying An, e Marcelo Sampaio, aprovada em 24 de maio de 2016.

URL do documento original:
<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3LMNGSE>

INPE
São José dos Campos
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Ribeiro, Manuel Francisco.

R354s Sistema de monitoração e controle de solidificação de materiais em ambiente de microgravidade / Manuel Francisco Ribeiro. – São José dos Campos : INPE, 2016.

xxvi + 143 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/05.16.22.32-TDI)

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Gerenciamento de Sistemas Espaciais) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2016.

Orientadores : Drs. Chen Ying An, e Marcelo Sampaio.

1. Solidificação. 2. Microgravidade. 3. Foguete de sondagem. 4. Voo suborbital. 5. Tecnologia de experimentos espaciais. I.Título.

CDU 620.018:542.65

Esta obra foi licenciada sob uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License.

Aluno (a): ***Manuel Francisco Ribeiro***

Título: " SISTEMA DE MONITORAÇÃO E CONTROLE DE SOLIDIFICAÇÃO DE MATERIAIS EM AMBIENTE DE MICROGRAVIDADE".

Aprovado (a) pela Banca Examinadora em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do Título de ***Mestre*** em

Engenharia e Tecnologia Espaciais/Gerenciamento de Sistemas Espaciais

Dra. Maria do Carmo de Andrade Nono

Presidente / INPE / SJCampos - SP

Dr. Chen Ying An

Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

Dr. Marcelo Sampaio

Orientador(a) / INPE / São José dos Campos - SP

Dr. José Bezerra Pessoa Filho

Convidado(a) / IAE/DCTA / São José dos Campos - SP

Este trabalho foi aprovado por:

( ) maioria simples

(X) unanimidade

São José dos Campos, 24 de Maio de 2016

Dedico à compreensão, paciência e todo o apoio recebido de minha família e amigos.

AGRADECIMENTOS

A todos os amigos do INPE.

Aos meus orientadores, Dr. Chen Ying An e Dr. Marcelo Sampaio, não poderia deixar de reforçar a gratidão por toda a atenção e paciência recebidas, em especial ao Chen.

A todos, com os quais, em algum momento, trabalhamos juntos na equipe do projeto de microgravidade: Dr. Irajá Newton Bandeira, Dr. Cesar Boschetti, Dr. Rafael Cardoso Toledo, Sr. Francisco Augusto Ferreira, Sr. Julio Cesar Peixoto, Sr. Francisco Eugênio Donatelli De Figueiredo Costa, Sr. Filipe Estevão de Freitas, Sr. Jognes Panasiewicz, Sr. Marcos Rizol / IAE e Sr. Heuller Aloys Carneiro Procópio / IAE. Um agradecimento especial ao parceiro na realização eletrônica, Rodolfo Roithmeier da Silva. Registro o apoio no projeto e da realização mecânica pelo Sr. José Pelógia da Silva, do Sr. Julio da Conceição Araujo e do pessoal do setor de mecânica do INPE.

Ao Laboratório Associado de Sensores e Materiais (LAS) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), por ter proporcionado todo o suporte e infraestrutura necessários para que este trabalho pudesse ser realizado.

À Agência Espacial Brasileira (AEB), pelo apoio financeiro no projeto do forno.

Aos professores que tive durante toda a minha formação.

RESUMO

Esta dissertação tem como objetivos a formulação, a fabricação e a qualificação para voo de um sistema eletroeletrônico que atenda aos requisitos necessários para o funcionamento do forno elétrico utilizado na execução do experimento científico conhecido como Solidificação de Ligas Eutéticas em Microgravidade (SLEM). O experimento SLEM deve transcorrer durante o voo suborbital de um foguete, durante a passagem pelo ambiente de microgravidade. O veículo utilizado será um VSB-30, a ser lançado pelo Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA), com o apoio da Agência Espacial Brasileira (AEB) através do Quarto Anúncio de Oportunidade (4ºAO). O trabalho teve início com a identificação das necessidades dos diversos atores, a redação de requisitos e o desenvolvimento de uma solução conceitual. Em seguida foi desenhada uma arquitetura de alto nível, o projeto preliminar, também chamado de DOC100 pela AEB. Foram realizadas revisões pelos especialistas da patrocinadora e com o resultado, somado à tecnologia disponível, gerou-se o projeto final de fabricação, ou DOC200. Neste ponto ocorreu uma revisão e ajustes, conforme solicitado, e a fabricação teve início. O equipamento gerado evoluiu no formato *protoflight* onde foram realizados os trabalhos de engenharia e qualificação de voo, além dele ser o próprio modelo de voo. Para aumentar a disponibilidade e minimizar o trabalho de possíveis manutenções corretivas, foi construído um segundo conjunto de equipamentos (um *back-up*) com plena capacidade de operação.

Palavras-chave: Solidificação. Microgravidade. Foguete de sondagem. Voo suborbital. Tecnologia de experimentos espaciais.

CONTROL AND MONITORING SYSTEM OF MATERIAL SOLIDIFICATION IN MICROGRAVITY ENVIRONMENT

ABSTRACT

This work aims the development, manufacture and qualification flight of an electronics system that meets the requirements for the operation of the electric furnace used in the implementation of scientific experiment known as solidification of eutectic alloys in Microgravity (SLEM). The SLEM experiment must elapse during the suborbital flight of a rocket, while passing by microgravity. The vehicle used is a VSB-30, to be released by the Department of Aerospace Science and Technology (DCTA), with the support of the Brazilian Space Agency (AEB) by Opportunity Announcement Room (4ºAO). The work began with the identification of the needs of the various actors, the writing requirements and the development of a conceptual solution. Then a high-level architecture was designed, the preliminary design, also called DOC100 by AEB. Revisions were made by the sponsor experts and the result added to the available technology, therefore generating the final manufacturing design, or DOC200. At this point there was a review and adjustment and the production began. The generated equipment evolved in “protoflight” format where the engineering work and flight qualification were conducted, beyond being the actual flight model. To increase availability and minimize the work of possible corrective maintenance, a second set of equipment was built (a back-up) with full operating capacity.

Key-words: Solidification. Microgravity. Sounding rockets. Suborbital flight. Space technology experiments.

LISTA DE FIGURAS

Pág.

2.1 – Equivalência de queda livre e imponderabilidade. 4
2.2 – Exemplos de meios de acesso à microgravidade. 5
2.3 – Tubo de queda livre do LAS/INPE..... 6
3.1 – Um dos primeiros testes de fusão e solidificação do experimento SLEM. Foi usado o forno F6 da Missão Maracati II. 7
3.2 – a) Forno F2015-01 que voará no 4°AO; b) detalhe do porta amostras com a representação da ampola em vermelho dentro da haste e; c) ampolas de quartzo com as cargas/amostras do experimento SLEM. 8
3.3 – Posicionamento das amostras no porta amostras do forno F2015-01 visto pelo lado das hastes, carregamento datado de 22/08/2015..... 9
3.4 – a) Forno em posição de aquecimento e; b) forno em posição de resfriamento. 9
3.5 – Visualização das partes principais do forno F2015-01. 10
3.6 – Campo de lançamento CLA. 11
3.7 – Foguete VS-30 no lançador do CLA..... 12
3.8 – Foguete VSB-30 a ser utilizado no 4°AO. 12
3.9 - Perfil esperado para o voo do foguete VSB-30. 13
3.10 – Lançamento do foguete VSB-30 durante a Missão Maracati II, no CLA. 14
3.11 – Cenário de operação do sistema de monitoração e controle no CLA. .. 15
3.12 – Locais para posicionamento do sistema de monitoração e controle. 15
3.13 - Foto da casamata no CLA..... 16
3.14 – Vista da casamata a partir do quadro elétrico. 16
3.15 – Vista interna do quadro elétrico..... 17
3.16 - Vista da plataforma de lançamento a partir do quadro elétrico. 17
3.17 – O foguete VSB-30 na plataforma de lançamento do CLA. 18

3.18 - Gráfico ampliado da temperatura em função do tempo no aquecimento do forno F6 durante a solidificação. 19
4.1 – A doutrina do sucessivo refinamento (*The doctrine of successive refinement*). 23
4.2 – Diagrama de blocos simplificado da interligação proposta na inscrição do 4ºAO. 24
4.3 – a) Fonte anterior, TCA 120-05XR1A e; b) fonte HRPG300-48. 25
4.4 - Concepção de uma arquitetura física inicial do sistema. 26
4.5 – Concepção mecânica da caixa da UECAS. 29
4.6 – Concepção mecânica da caixa da UEFONTE. 29
5.1 – Diagrama de blocos do projeto final de fabricação do sistema. 38
5.2 - Equipamento modelo FieldLogger, do fabricante Novus. 39
5.3 - Entrada digital para conexão de contato seco. 40
5.4 - Entrada digital para conexão de transistor NPN com coletor aberto. 40
5.5 - Saída digital via transistor NPN com coletor aberto. 41
5.6 - Rede MODBUS RS485. 42
5.7 – Tela exemplo do programa para a monitoração e controle com botões e indicadores numéricos. 43
5.8 – Circuito elétrico do forno. 44
5.9 – a) Aparafusadeira BLACK&DECKER KC9019; b) redutor e c) motor. 45
5.10 – Resistência do forno. 45
5.11 – Circuito elétrico da UECAS. 46
5.12 – Circuito do comando remoto entre a UECAS e a UEFONTE. 47
5.13 – Circuito elétrico da UEFONTE. 47
5.14 – Parte do circuito de comutação e diodo D4 na UEFOG. 50
5.15 - Concepção mecânica da caixa da UEFOG. 52
5.16 – Circuito elétrico do módulo de CONTROLE1. 52
5.17 – Circuito elétrico do movimento do motor. 53
5.18 – Circuito elétrico de parte da junta fria e telemetria. 55
5.19 – Circuito elétrico do módulo das baterias. 56
5.20 – Foto da tela inicial do programa Superview. 57

5.21 – Sequência de telas do procedimento de ligar a ALIMENTAÇÃO EXTERNA. 58
5.22 – Tela inicial do programa configurador do FieldLogger. 59
5.23– Tela dos parâmetros de registro da UEFOG. 60
5.24 - Tela dos parâmetros de registro da UEFONTE. 60
6.1 – Primeira versão da aleta e ajuste do posicionamento do foto acoplador. 62
6.2 – Versão final da aleta e ajuste do posicionamento do foto acoplador..... 62
6.3 – Montagem completa do FORNO F2015-02. 63
6.4 – a) Painel frontal da caixa da UECAS; b) montagem interna da caixa da UECAS e; c) painel traseiro da caixa da UECAS. 64
6.5 – Detalhe do conversor USB-RS485 e sua fonte de alimentação. 64
6.6 – Chave com proteção de acionamento. 65
6.7 – Montagem completa da caixa da UECAS 2015-01. 65
6.8 – Desenvolvimento do *mock-up* da UEFONTE 2015-01. 66
6.9 – Montagem completa da caixa da UEFONTE 2015-01. 66
6.10 – Montagem da UEFOG: CONTROLE1. 67
6.11 – Montagem da UEFOG: PCI DOS RELÉS. 68
6.12 – Montagem da UEFOG: BATERIAS. 68
6.13 – Montagem completa da caixa da UEFOG 2015-01. 68
6.14 – Meios de testes do sistema: cabos umbilicais. 69
6.15 – Meios de testes do sistema: cabos 4 e 5..... 69
6.16 – Meios de testes do sistema: aparatos diversos. 70
6.17 – Meios de testes do sistema: equipamento de laboratório..... 70
7.1 – a) Gráfico da variação da temperatura do forno de nove amostras, com isolante térmico na tampa e; b) gráfico da variação da temperatura do forno de nove amostras, sem isolante térmico na tampa. 71
7.2 - Diagrama de blocos para integração e testes do sistema..... 72
7.3 – UEFONTE na bancada para verificações e testes. 73
7.4 – a) Verificação do sinal RS485 antes do cabo 1, na posição 0m e; b) verificação do sinal RS485 depois do cabo 1, na posição 100m... 74

7.5: Experimento de solidificação realizado no forno F1-2015 que voará no 4ºAO. 74
8.1: Colagem e amarração da PCI do FieldLogger no módulo CONTROLE1 da UEFOG. 84
8.2: Detalhe do posicionamento da UEFOG na interface do vibrador. A localização do acelerômetro triaxial (Ponto 04) e o triedro de referência (X, Y, Z). 85
8.3: Vista geral da montagem do ensaio na mesa do vibrador (o “sino” está aberto para a visualização do FORNO). 85
8.4: Vista geral da montagem do sistema na mesa auxiliar para testes durante o ensaio de vibração. 86
8.5: Detalhe da trinca ocorrida no foto acoplador. 86
8.6: Indício da ocorrência de fusão devido ao calor e a diferença de materiais (alumínio e aço). 87
8.7: Relé que aciona o movimento do forno, componente qualificado para voo, danificado no ensaio de vibração. 87
B1 - Diagrama de blocos do sistema na inscrição do 4ºAO. 101
B2 - Diagrama de blocos do sistema no DOC100 - projeto preliminar. 102
B3 - Diagrama de blocos do sistema no DOC200 - projeto final de fabricação. 103
C.1 - Circuito elétrico da interface de fim de curso – DOC100. 105
C.2 - Circuito elétrico da interface das resistências – DOC100. 105
C.3 - Circuito elétrico do forno – DOC200. 106
C.4 - Circuito elétrico da UECAS – DOC200. 107
C.5 - Circuito elétrico da UEFONTE – DOC200. 108
C.6 - Circuito elétrico da UEFOG: módulo de controle – DOC200. 109
C.7 - Circuito elétrico da UEFOG: módulo dos relés – DOC200. 110
C.8 - Circuito elétrico da UEFOG: juntas frias do módulo dos relés – DOC200. 111
C.9 - Circuito elétrico da UEFOG: módulo das baterias – DOC200. 112
C.10 - Mapa da interligação da cablagem do sistema fabricado. 113

E.1 – Desenho mecânico em perspectiva da UEFOG montada..... 119
E.2 – Desenho mecânico em perspectiva do módulo de baterias da UEFOG. 120
E.3 – Desenho mecânico com a vista em planta para a fixação do FORNO no prato (PSM) do foguete. 121
E.4 – Desenho realizado para estudo do posicionamento da UEFOG e FORNO no prato (PSM) do foguete. 122
F.1 – Placa de circuito impresso da UEFONTE. 123
F.2 – Placa de circuito impresso da UEFOG..... 123

LISTA DE TABELAS

Pág.

3.1 – Requisitos do sistema de monitoração e controle. 21
4.1 – Especificações das fontes usadas no aquecimento do forno. 25
4.2 – Funções de *software* para controle de interfaces de saída. 30
4.3 – Funções de *software* para monitoração de interfaces de entrada. 30
4.4 – Procedimento para DESLIGAR O SISTEMA. 31
4.5 – Procedimento para DESLIGAR A ALIMENTAÇÃO EXTERNA da UEFOG. 32
4.6 – Procedimento para DESLIGAR A ALIMENTAÇÃO INTERNA da UEFOG. 32
4.7 – Procedimento para LIGAR O SISTEMA. 32
4.8 – Procedimento para RECARREGAR AS BATERIAS. 33
4.9 – Procedimento do AQUECIMENTO do forno. 33
4.10 – Procedimento do MOVIMENTO DO FORNO. 34
4.11 – Procedimento do INÍCIO DOS REGISTROS do sistema. 35
4.12 – Procedimento da PARADA DOS REGISTROS do sistema. 35
4.13 – Procedimento para COLETA DOS REGISTROS do sistema. 36
5.1 – Tabela da monitoração dos fins de curso. 44
5.2 – Tabela do controle das fontes da UEFONTE. 48
5.3 – Tabela do controle de aquecimento do forno. 49
5.4 – Tabela do controle da recarga e comutação. 50
5.5 – Tabela do controle dos recarregadores. 50
5.6 – Tabela do controle da alimentação externa. 51
5.7 – Tabela da monitoração das tensões e correntes na UEFONTE. 51
5.8 – Tabela do controle do movimento do forno. 54
5.9 – Tabela da monitoração do Smg. 54
5.10 – Tabela da monitoração da tensão de alimentação da UEFOG. 54
5.11 – Canais analógicos de entrada na UEFOG. 56

5.12 – Procedimento para ligar a ALIMENTAÇÃO EXTERNA da UEFOG. 57
5.13 – Procedimento do INÍCIO DOS REGISTROS do sistema. 59
7.1 – Procedimento de verificação e teste de integração. 73
7.2 – Verificação do cumprimento dos requisitos do item 3.6. 75
7.3 – Verificação do cumprimento dos requisitos da AEB/IAE/DCTA. 77
A1 - Cronograma do projeto. 99

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AEB	Agência Espacial Brasileira
AO	Anúncio de Oportunidade
CC	Corrente contínua
CDR	*Critical Design Review*
Ch	Canal de entrada analógica do equipamento FieldLogger
CLA	Centro de Lançamento de Alcântara no Estado do Maranhão
CEDOC	Centro de Documentação do LIT
DCTA	Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial
DOC100	Projeto Preliminar - nomenclatura da AEB/IAE
DOC200	Projeto Final de Fabricação - nomenclatura da AEB/IAE
EGSE	*Electrical Ground Support Equipment*
FC	Fim de curso
FCI	Fim de curso inferior
FCS	Fim de curso superior
IAE	Instituto de Aeronáutica e Espaço
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IHM	Interface Homem Máquina
I_LRB4V8	Corrente da bateria do motor
I_LAELRB24V	Corrente da bateria da PCI da UEFOG
I/O	Entrada ou saída digital do equipamento FieldLogger
LAS	Laboratório Associado de Sensores e Materiais - INPE

LIT	Laboratório de Integração e Testes - INPE
LMTVAA	Tensão da alimentação da UEFOG, esta alimentação não inclui o motor.
LMTLAE	Tensão da Linha de Alimentação Externa
LMTBAT4V8	Tensão da bateria do motor
LMTBAT24V	Tensão da bateria da monitoração e controle da UEFOG
NA	o contato Normalmente Aberto de um relé
NASA	*National Aeronautics and Space Administration*
PCI	Placa de Circuito Impresso
PRR	*Production Readiness Review*
PSM	Plataforma Suborbital de Microgravidade
UECAS	Unidade Eletrônica da Casamata
UEFOG	Unidade Eletrônica do Foguete
UEFONTE	Unidade Eletrônica Fonte
SCADA	*Supervisory Control And Data Acquisition*
SID	Serviço de Informação e Documentação
SLEM	Solidificação de Ligas Eutéticas em Microgravidade
SPG	Serviço de Pós-Graduação
Smg	Sinal de microgravidade
TC	Termopar tipo K
VSB-30	Foguete utilizado como Veículo de Sondagem

SUMÁRIO

Pág.

1 INTRODUÇÃO 1
2 MICROGRAVIDADE 3
2.1. O que é microgravidade? 3
2.2. Meios de acesso à microgravidade 5
2.3. Atividades brasileiras de microgravidade 6
3 IDENTIFICAÇÃO DAS NECESSIDADES E FORMULAÇÃO DE REQUISITOS 7
3.1. O experimento SLEM e o forno 7
3.2. O foguete de sondagem suborbital 11
3.3. O cenário do lançamento 13
3.4. O cenário de operação do sistema de monitoração e controle 15
3.5. Aspectos técnicos pré-definidos 18
3.5.1. Pré-voo 18
3.5.2. Voo ascendente 19
3.5.3. Microgravidade 20
3.5.4. Monitoração das temperaturas 20
3.5.5. Adequação e melhoria 20
3.6. Requisitos do sistema 21
4 PROJETO PRELIMINAR 23
4.1. O controle do projeto 23
4.1.1. Eventos de controle do projeto 24
4.1.2. Documento de inscrição no 4ºAO 24
4.1.3. Documento DOC100 25
4.2. O diagrama de blocos do projeto preliminar do sistema 26
4.3. Funções do sistema 27
4.3.1. Funções de *hardware* 28
4.3.2. Funções de *software* 30
4.3.3. Funções com procedimentos 31

5 PROJETO FINAL DE FABRICAÇÃO 37
5.1. Eventos de controle do projeto 37
5.1.1. Documento DOC200 37
5.2. O diagrama de blocos do projeto final de fabricação do sistema 38
5.3. Controle 39
5.3.1. FieldLogger 39
5.3.2. O *notebook* e o programa de monitoração e controle 41
5.4. Forno.. 44
5.4.1. Circuito do Fim de Curso 44
5.4.2. Termopares 44
5.4.3. Motor 45
5.4.4. Resistência do forno 45
5.5. UECAS (Unidade Eletrônica da Casamata) 46
5.5.1. Chave HABILITA UEFONTE 46
5.6. UEFONTE (Unidade Eletrônica Fonte) 47
5.6.1. Fonte de alimentação 48
5.6.2. Chave LIGA UEFONTE 48
5.6.3. Aquecimento do FORNO 49
5.6.4. Comutação entre os modos de recarga e alimentação interna da UEFOG 49
5.6.5. Recarregadores das baterias 50
5.6.6. Alimentação externa e monitorações 51
5.7. UEFOG (Unidade Eletrônica do Foguete) 51
5.7.1. Módulo de controle 52
5.7.2. Movimento do forno 53
5.7.3. Alimentação (Externa / Interna / Recarga das Baterias) 54
5.7.4. Juntas frias e telemetria 55
5.7.5. Baterias 56
5.8. Programas para a monitoração e controle do sistema 57
5.8.1. Exemplo de programação no Superview 57
5.8.2. Exemplo de programação no configurador do FieldLogger 59

6 FABRICAÇÃO DO SISTEMA 61
6.1. Eventos de controle do projeto 61
6.2. Plano de montagem geral 61
6.2.1. Plano de montagem eletroeletrônica do FORNO 62
6.2.2. Plano de montagem da UECAS 63
6.2.3. Plano de montagem da UEFONTE 65
6.2.4. Plano de montagem da UEFOG 67
6.2.5. Meios de testes do sistema 69
7 INTEGRAÇÃO E TESTE DO SISTEMA 71
7.1. Plano de integração e teste do sistema 722
7.1.1. Resultado da integração e teste do sistema 72
7.2. Resultado da verificação do cumprimento dos requisitos do sistema 75
8 QUALIFICAÇÃO DE VOO 83
8.1. Eventos de controle do projeto 83
8.2. Preparação para a qualificação de voo 83
8.3. Ensaio de vibração – LIT/INPE 84
8.4. Ensaios IAE/DCTA 88
9 CONCLUSÃO 89
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 91
GLOSSÁRIO 97
APÊNDICE A – CRONOGRAMA DO PROJETO 99
APÊNDICE B – DIAGRAMAS DE BLOCOS 101
APÊNDICE C – CIRCUITOS ELÉTRICOS 105
APÊNDICE D – CRONOLOGIA SIMULADA DO LANÇAMENTO 4ºAO 115
APÊNDICE E – PROJETO MECÂNICO DA UEFOG 119
APÊNDICE F – DESENHOS DOS LAY-OUTS DAS PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO 123
ANEXO A – ESPECIFICAÇÕES INICIAIS DA AEB E DCTA/IAE 125
ANEXO A.1 - DINÂMICA DE VOO E RECURSOS DA PSM 125
ANEXO A.2 - REQUISITOS TÉCNICOS DOS ESPECIALISTAS DO DCTA/IAE 131

ANEXO B – RELATÓRIO DE ENSAIOS DE VIBRAÇÃO REALIZADO NO LIT/INPE EM 3/11/2015 137

1 INTRODUÇÃO

A microgravidade é um importante recurso no avanço de questões fundamentais da ciência, visando encontrar soluções para problemas terrestres. Sendo assim, ela permite otimizar e melhorar processos físicos, químicos e biológicos relevantes na ciência, engenharia e medicina. As atividades neste ambiente são realizadas desde os primórdios da conquista do espaço, passando por experimentos a bordo da Apolo, Skylab e Apolo-Soyuz, durante os anos 1960 e 1970; MIR, *Spacelabs* (ônibus espaciais), foguetes Skylark, entre outros veículos mais recentemente; e também os foguetes brasileiros VSB30 na atualidade [1-4].

Por ser considerada uma área de pesquisa estratégica o Programa Nacional de Atividades Espaciais (PNAE) [5] traz diretrizes e as ações prioritárias que buscam desenvolver tecnologia crítica e pesquisa em microgravidade, formando e capacitando especialistas em atividades espaciais. Mais especificamente, ocorreu um impulso com a criação do Programa de Microgravidade da Agência Espacial Brasileira (AEB) e os Anúncios de Oportunidade (AO). Os AOs viabilizaram a realização de experimentos científicos por meio dos voos suborbitais em foguetes de sondagem [4].

O Laboratório Associado de Sensores e Materiais do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (LAS / INPE) participou das missões conhecidas por Cumã I, Cumã II e Maracati II [4,6,7]. No momento, o laboratório está engajado no 4ºAO com o experimento científico Solidificação de Ligas Eutéticas em Microgravidade (SLEM). Este AO tinha a previsão inicial de voar em julho de 2015 e hoje existe a expectativa que o voo se concretize no segundo semestre de 2016. O cronograma mostrado no Apêndice A é baseado no que foi proposto inicialmente para os trabalhos do 4ºAO e foi sendo atualizado conforme o andamento do projeto [8-10].

Esta dissertação teve os seguintes objetivos: o projeto, o desenvolvimento, a fabricação e a qualificação para voo de um sistema eletroeletrônico, que integrado ao forno elétrico construído para o experimento científico SLEM seja um complemento e contribua para que a Ciência dos Materiais possa entender melhor a influência da microgravidade na solidificação de materiais a bordo de um foguete de sondagem. Indiretamente, a aquisição dos conhecimentos com a realização de experimentos envolvendo materiais e processos em microgravidade será um ganho para a instituição com a publicação de trabalhos científicos e participações em congressos

especializados. A dissertação também constitui um documento importante do desenvolvimento tecnológico de um instrumento a ser utilizado em um voo suborbital e construído dentro das condições de um laboratório voltado para a pesquisa, com seus pontos fortes e dificuldades. A condução do texto almejou utilizar os conceitos que a AEB tem introduzido com seus documentos DOC100 [9] e DOC200 [10], e seus termos próprios; esta sistemática de documentação, fundamentada na disciplina de engenharia de sistemas, vem sendo considerada pela equipe do experimento na busca de um formato exequível na realidade do laboratório. Além disso, o sistema eletrônico desenvolvido possibilitará a sua utilização em futuras experiências que serão embarcadas em outros veículos espaciais.

O texto inicia com uma breve introdução a microgravidade e as atividades correlatas fora e dentro do Brasil. Em seguida a dissertação discorre sobre o desenvolvimento do sistema, conforme a sequência de capítulos abaixo:

2) microgravidade;
3) identificação das necessidades e formulação de requisitos;
4) projeto preliminar:
5) projeto final de fabricação:
6) fabricação do sistema;
7) integração e teste do sistema;
8) qualificação de voo;
9) conclusão;

apêndice A – cronograma do projeto;

apêndice B – diagramas de blocos;

apêndice C – circuitos elétricos;

apêndice D – cronologia simulada do lançamento 4º;

apêndice E – projeto mecânico da UEFOG;

apêndice F – desenhos dos *lay-outs* das placas de circuito impresso;

anexo A – especificações iniciais da AEB e DCTA/IAE;

anexo B – relatório de ensaios de vibração realizado no LIT/INPE em 3/11/2015.

2 MICROGRAVIDADE

2.1. O que é microgravidade?

O ambiente espacial é muito diferente do que é rotineiramente observado no solo da Terra. Nas grandes altitudes dos voos de artefatos espaciais, e fora da atmosfera terrestre, há de se lidar com características únicas e desafiadoras, como o vácuo, a radiação de alta energia originada em diversas fontes, além do Sol, e a aparente ausência de efeitos gravitacionais. A última característica citada é conhecida como microgravidade, ou imponderabilidade, e é ela que permite observar e explorar fenômenos e processos em experimentos científicos e tecnológicos que seriam mascarados sob a influência da gravidade terrestre. A condução de experimentos em microgravidade possibilita o melhor entendimento e o posterior aperfeiçoamento, na Terra, de processos físicos, químicos e biológicos [1,2,11,12].

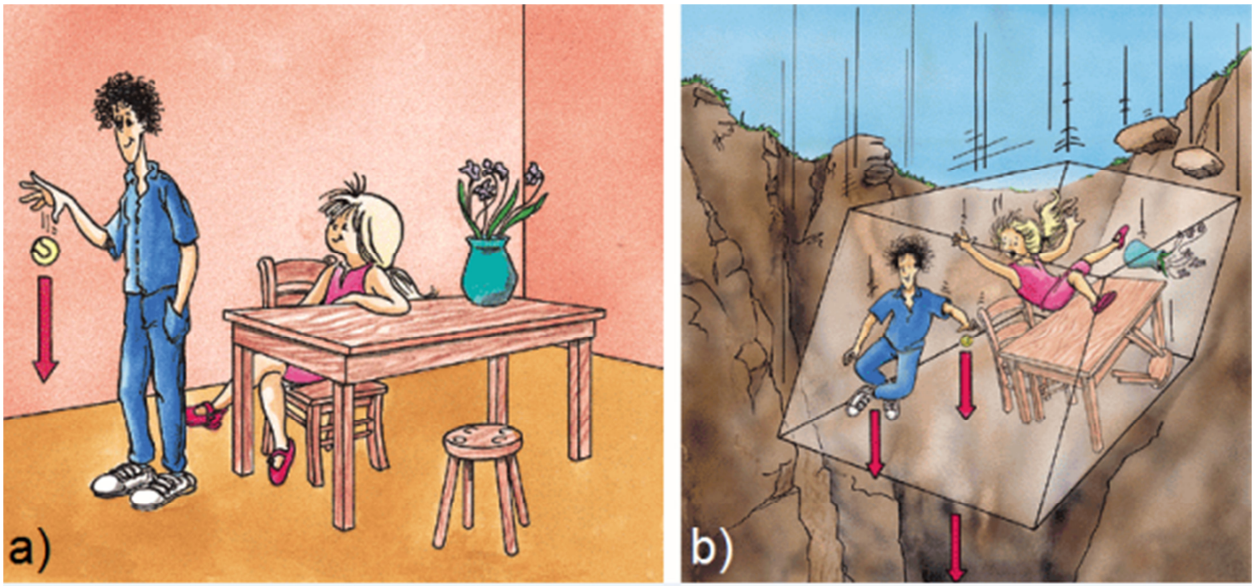
A força de gravidade terrestre é uma das quatro forças fundamentais da natureza, sendo um fenômeno natural pelo qual os corpos físicos se atraem com uma força proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre seus centros, conforme formulado por Isaac Newton através da Lei da Gravitação Universal. Assim, experimentos com duração maior que alguns segundos não são praticáveis com aparatos fixos no solo [12-14].

Segundo a Lei da Gravitação, uma nave teria a atração gravitacional da Terra reduzida em um milhão de vezes, somente quando estivesse a 6,4 milhões de quilômetros de distância, ou seja, a uma distância 17 vezes maior do que aquela entre a Terra e a Lua. A Estação Espacial Internacional (ISS) orbita entre 200 e 450 km de altitude, onde a gravidade é de apenas 10 % menor do que aquela da superfície da Terra, isto é, o ambiente espacial não é uma região livre de gravidade [2,12]. Como explicar a aparente ausência de gravidade a bordo das espaçonaves em órbita?

Na Figura 2.1.a as pessoas estão em uma sala de um imóvel e o rapaz deixa cair de sua mão uma bola de tênis, ou seja, a bola está em queda livre. Na Figura 2.1.b por algum motivo desconhecido, toda a sala cai junto com a bola em um precipício que se abre no solo da Terra. O objeto bola, e todos os outros objetos contidos pela sala, “não tem peso” relativamente ao sistema de referência que se move com a sala, todos em queda livre e aparentam flutuar para quem está dentro da sala. A explicação vem do fato de que a sala e tudo que se encontra dentro dela estão num estado de

imponderabilidade, que segundo o princípio da equivalência, postulado por Einstein, é um estado equivalente ao de um corpo em queda livre, ou seja, um estado onde se tem a sensação de que o corpo não possui peso. Todo objeto em queda livre fica sujeito à condição de imponderabilidade, ou microgravidade, que ocorre quando ele cai em direção ao centro da Terra com uma aceleração igual àquela da gravidade (9,8 m/s² ou 1 g) [1,15].

Figura 2.1 – Equivalência de queda livre e imponderabilidade.



a) Somente a bola está em queda livre; b) a bola está em queda livre, acompanhada da sala e tudo no seu interior, a bola aparenta flutuar no ambiente.

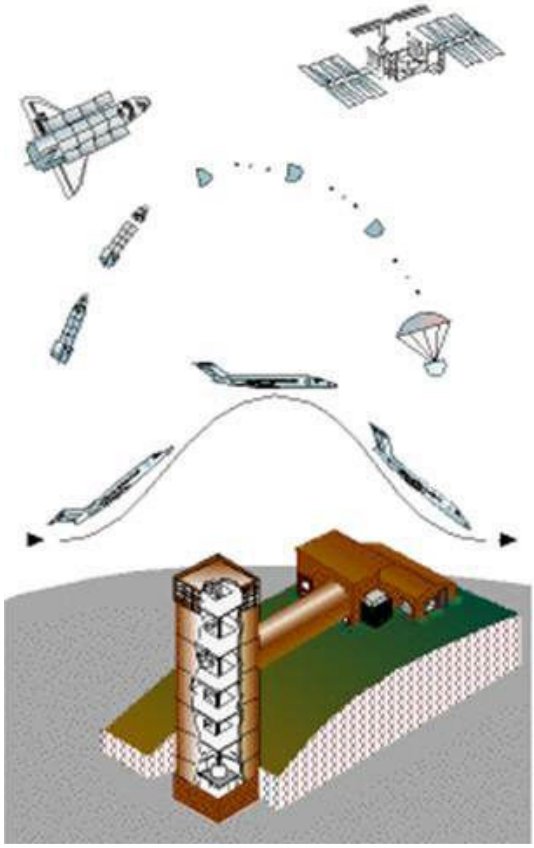
Fonte: [15].

A gravidade zero (0 g) é um conceito teórico que não existe na prática, consequência da gravidade ser uma força fundamental e com alcance infinito entre os corpos. As acelerações gravitacionais, embora pequenas, sempre existem, além de uma série de efeitos sustentarem uma gravidade residual. Também existem muitas forças não gravitacionais, tais como a pressão solar, entre outras. Portanto o termo microgravidade (ou imponderabilidade) é usado e expressa uma fração de g (entre 10^{-2} e 10^{-6} g). Em média, em uma nave como a ISS, é de 10^{-6} g e os efeitos gravitacionais residuais são da ordem de 10^{-7} g [12,16].

2.2. Meios de acesso à microgravidade

Existem várias plataformas que foram desenvolvidas para a realização de experimentos científicos ou tecnológicos em ambiente de microgravidade, baseada no conceito de imponderabilidade. Existem as plataformas tripuladas, ou não, em órbita da Terra, tais como os ônibus espaciais (em desuso) e estações espaciais. Recentemente, a China colocou em órbita um satélite recuperável. Nestes meios de acesso a microgravidade obtida possui a maior duração (aplicações com tempos acima de 30 minutos), mas com o maior custo e tempo associado, inclusive para o desenvolvimento da carga útil. As plataformas acessíveis em solo incluem os foguetes de sondagem (5 a 15 minutos), voos parabólicos (dezenas de segundos), queda a partir de balões, torres e tubos de queda livre. Os foguetes e voos parabólicos proporcionam tempos relativamente grandes, mas os tempos de preparação e os custos também são relativamente altos. O menor custo e a maior disponibilidade são encontrados nas torres e tubos de queda livre, mas com alguns segundos de microgravidade (Figura 2.2) [1,2,14,16]. No Brasil, estão disponíveis os foguetes de sondagem e os tubos de queda livre [17].

Figura 2.2 – Exemplos de meios de acesso à microgravidade.



Fonte: [12].

2.3. Atividades brasileiras de microgravidade

A principal atividade é o Programa de Microgravidade brasileiro, que foi criado em 1998 pela AEB, com o objetivo de fornecer uma sequência regular de oportunidades de voo para a comunidade científica brasileira para realizar experiências e testar o *hardware* de instalações em ambiente de microgravidade. O Programa apoia as atividades de microgravidade brasileiras, selecionando e monitorando, por meio de instituições como o INPE e o Instituto de Aeronáutica e Espaço do Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (IAE / DCTA), as experiências desde suas fases iniciais do projeto até a missão de voo, fornecendo também apoio financeiro parcial para os projetos aprovados.

O Programa de Microgravidade já contemplou missões na ISS e o desenvolvimento de foguetes de sondagem brasileiros. Até agora, apenas um voo foi feito para a ISS em 2006, levando oito experimentos e o primeiro astronauta brasileiro. O LAS / INPE participou de três voos de foguetes de sondagem do programa: as missões Cumã I, Cumã II e Maracati II. Também no LAS, foi construído um tubo de queda livre (*drop-tube*) de 3 m, com a capacidade de realizar experimentos em microgravidade com tempo de 0,8 s, visando o desenvolvimento das pesquisas em microgravidade dentro do laboratório (Figura 2.3) [6,7,17-20].

Figura 2.3 – Tubo de queda livre do LAS/INPE.

Fonte: [17].

3 IDENTIFICAÇÃO DAS NECESSIDADES E FORMULAÇÃO DE REQUISITOS

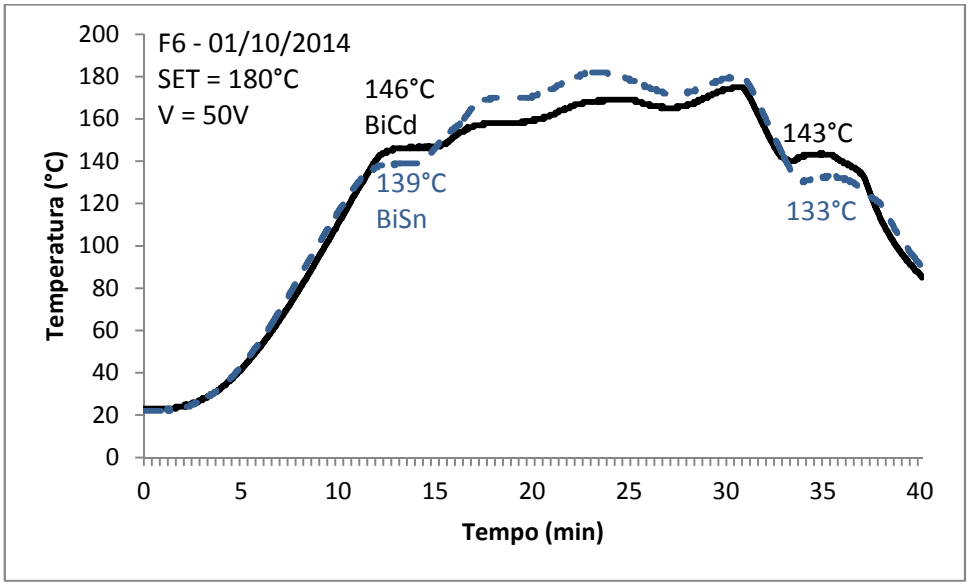
Todas as três participações do LAS/INPE no Programa de Microgravidade da AEB traziam no âmago um forno elétrico, necessidades e cenários semelhantes. A terceira participação, conhecida como Missão Maracati II, realizada em 2010, é a referência que norteia o desenvolvimento deste projeto, pois ela é a mais recente e a que alcançou todos os objetivos propostos [6,7,21-23]. Além da experiência de 2010, buscou-se organizar o relato da dissertação em uma forma de desenvolvimento padrão [24].

O sistema de monitoração e controle fabricado contempla todos os requisitos formulados com as necessidades e restrições informadas nos textos delineados a seguir [25,26].

3.1. O experimento SLEM e o forno

A solidificação de materiais realizada em ambiente de microgravidade permitirá que os fenômenos de sedimentação e convecção sejam suprimidos resultando na obtenção de maior homogeneidade na composição e estrutura dos materiais eutéticos estudados. No caso deste experimento serão utilizadas as ligas eutéticas dos sistemas binários de BiSn (ponto de fusão de 139°C) e BiCd (ponto de fusão de 146°C) (Figura 3.1).

Figura 3.1 – Um dos primeiros testes de fusão e solidificação do experimento SLEM. Foi usado o forno F6 da Missão Maracati II.



Fonte: [27].

As amostras são fundidas no solo e pouco antes do lançamento do foguete a energia do aquecimento é desligada. O foguete sobe e os materiais permanecem fundidos devido a inércia térmica do forno manter a temperatura necessária. O experimento inicia ao atingir o ambiente de microgravidade, onde as amostras são resfriadas para que ocorra o processo de solidificação [28]. É necessário o registro de três temperaturas: duas medições nas amostras e uma no aquecedor para o controle da temperatura do forno.

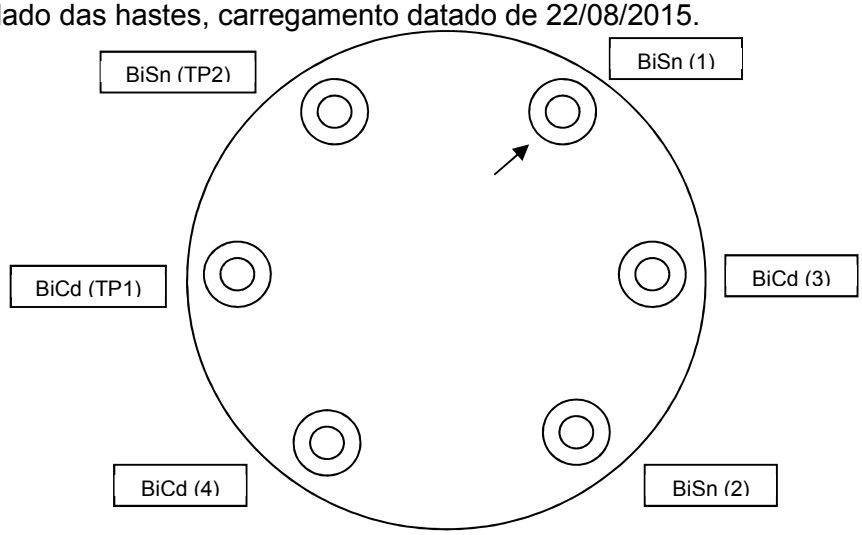
O forno fabricado para satistazer as necessidades identificadas tem capacidade para fundir, em solo, e solidificar, em microgravidade, até seis amostras simultâneas, na faixa de temperatura de 100 a 300°C e com resfriamento suficiente para aproveitar o tempo de microgravidade da ordem de 6min, (Figura 3.2) [8-10].

Figura 3.2 – a) Forno F2015-01 que voará no 4ºAO; b) detalhe do porta amostras com a representação da ampola em vermelho dentro da haste e; c) ampolas de quartzo com as cargas/amostras do experimento SLEM.

Fonte: Adaptada de [27].

Pode-se observar no detalhe da Figura 3.2.b que o porta amostras é composto de seis hastes cilíndricas e estas conterão ampolas de quartzo. As ampolas são as amostras / cargas dos materiais a serem submetidos ao experimento de solidificação. A Figura 3.3 (próxima página) mostra como foram posicionadas as amostras no forno F2015-01. A base de fixação das hastes do porta amostras possui uma marca de referência acima do parafuso de aperto da amostra BiSn(1) com a finalidade de identificar o posicionamento.

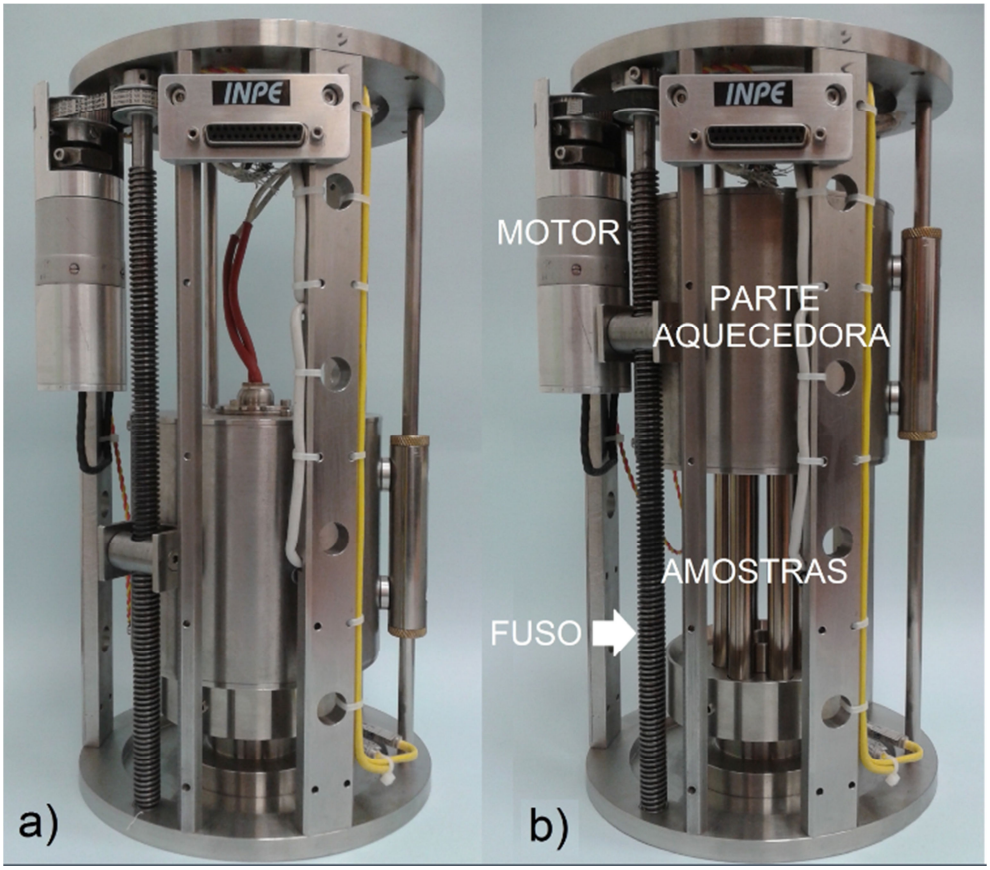
Figura 3.3 – Posicionamento das amostras no porta amostras do forno F2015-01 visto pelo lado das hastes, carregamento datado de 22/08/2015.



Fonte: [27].

A técnica utilizada para o resfriamento é uma tecnologia qualificada nos voos anteriores e resulta do movimento linear da parte aquecedora do forno, através de um fuso acionado por um motor elétrico, com a exposição das amostras (Figura 3.4) [6,7,21,22].

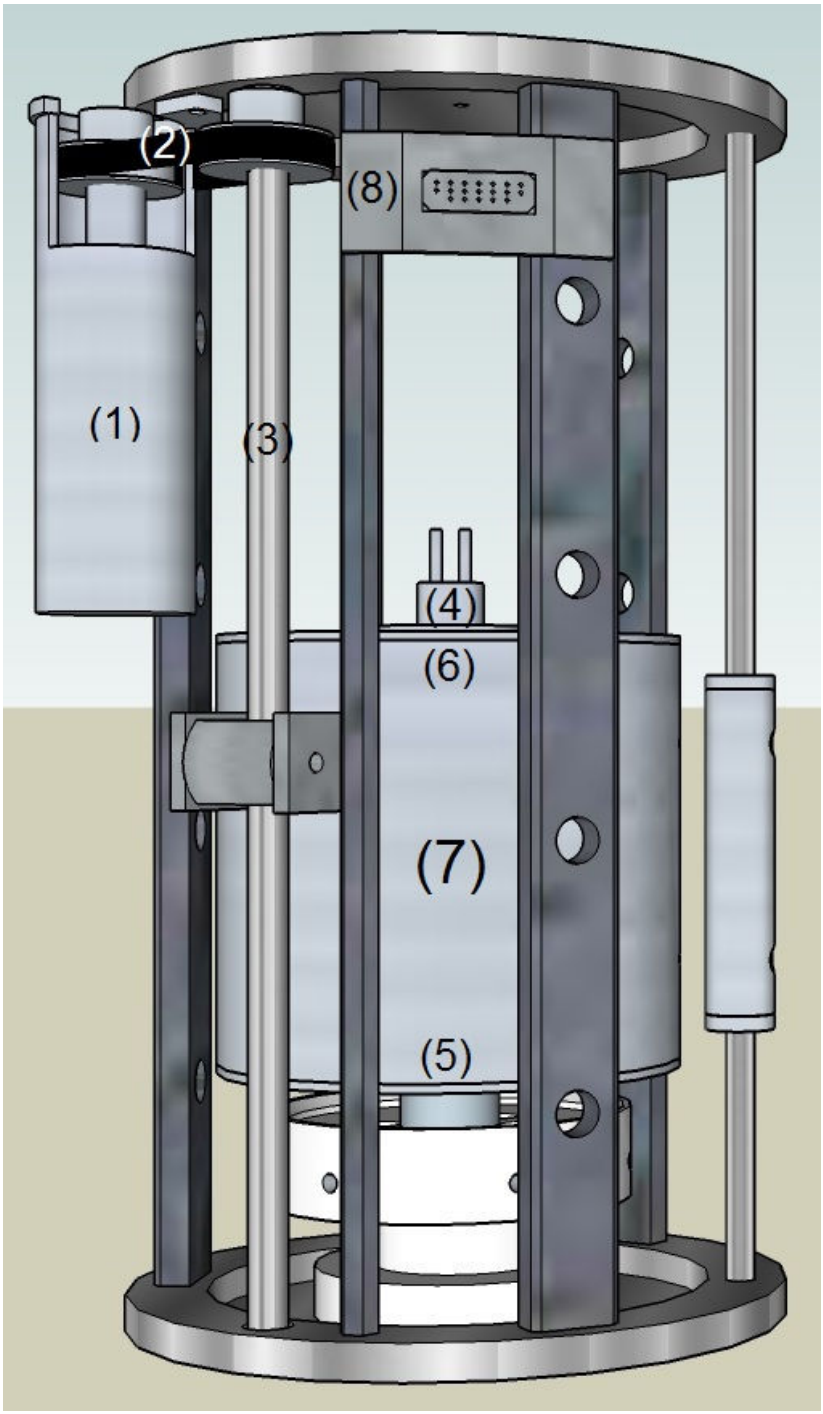
Figura 3.4 – a) Forno em posição de aquecimento e; b) forno em posição de resfriamento.



Fonte: [27].

O forno F2015-01 possui oito partes principais visualizadas na Figura 3.5. O motor movimenta o corpo do forno, os termopares monitoram as temperaturas e todos os sinais elétricos entram e saem pelo conector [10].

Figura 3.5 – Visualização das partes principais do forno F2015-01.



Motor elétrico (1); acoplamento por correia de borracha (2); fuso para movimentação linear (3); resistência de aquecimento (4); dois termopares na parte inferior junto as amostras (5); um termopar na parte superior junto ao corpo do forno (6); o corpo do forno (7) e; o conector de interface (8).

Fonte: Adaptada de [10].

3.2. O foguete de sondagem suborbital

A AEB utilizou os foguetes de sondagem suborbital fabricados na cidade de São José dos Campos pelo Instituto de Aeronáutica e Espaço do Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (IAE/DCTA). Estes veículos foram lançados na cidade de Alcântara, no Estado do Maranhão, no Centro de Lançamento de Alcântara (CLA) (Figura 3.6).

Figura 3.6 – Campo de lançamento CLA.

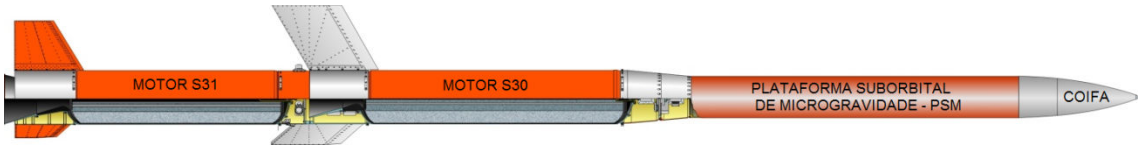
Fonte: Adaptado de [29].

A missão denominada Cumã I utilizou o foguete VS-30 de apenas um estágio motor modelo S30 e as missões Cumã II e Maracati II utilizaram o foguete VSB-30, de dois estágios com os motores modelos S31 e S30 (vide Figuras 3.7 e 3.8). O VSB-30 é um veículo mais potente que o VS-30 e isto faz com que ele carregue uma carga útil de massa maior, atinja altitudes maiores e, consequentemente, proporcione um período de microgravidade também maior [6]. O VSB-30 também deverá ser utilizado no 4ºAO [30,31].

Figura 3.7 – Foguete VS-30 no lançador do CLA.

Fonte: Adaptado de [6].

Figura 3.8 – Foguete VSB-30 a ser utilizado no 4ºAO.

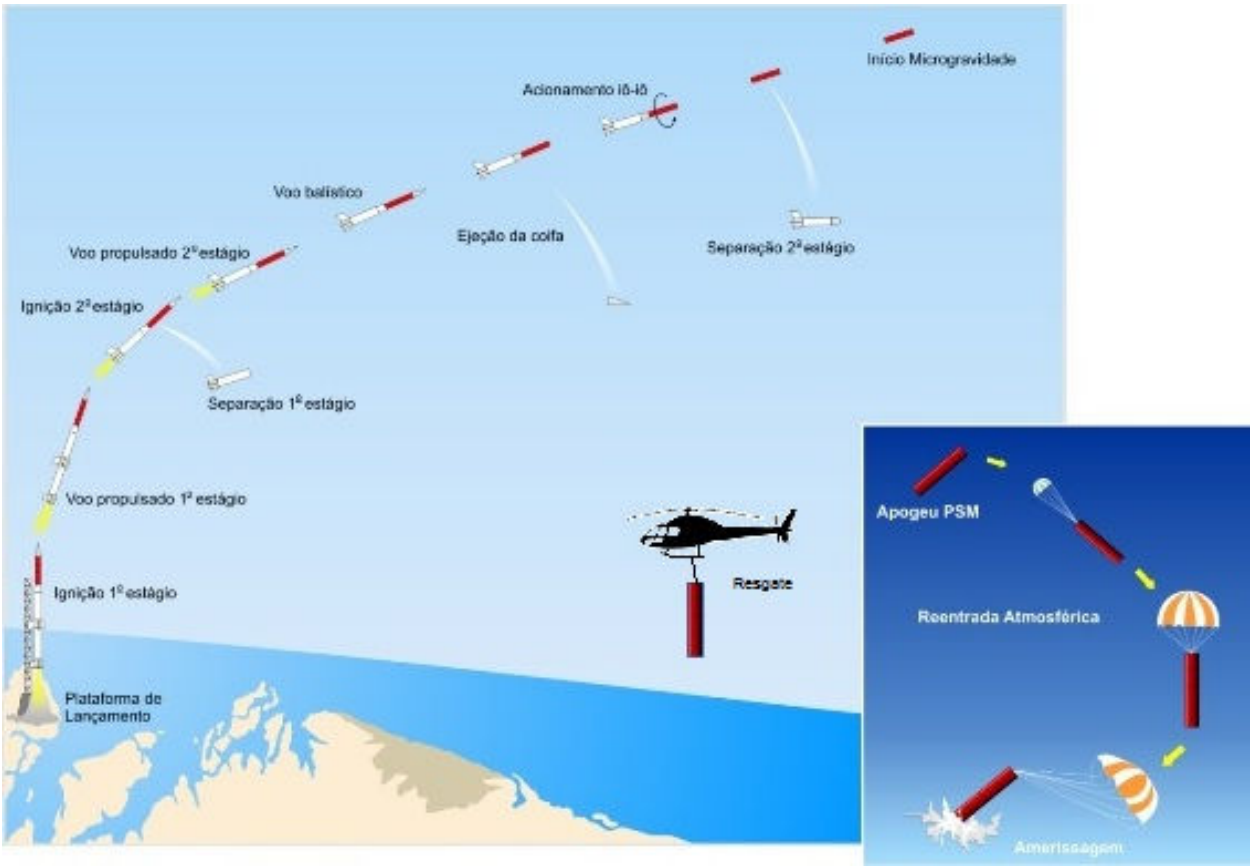


Fonte: [32].

3.3. O cenário do lançamento

As Figuras 3.9 e 3.10 ilustram o lançamento. Após a ignição do foguete, são estimados 78 s de voo até superar a altitude de 110km, onde inicia o período de microgravidade de aproximadamente seis minutos. O foguete continua o voo em trajetória parabólica enquanto o experimento científico é realizado. Passa pelo apogeu em torno de 282km e então desce para passar novamente pelos 110km de altitude, que marcam o fim da microgravidade. Acerca de 6km de altitude o paraquedas se abre, a carga útil amerissa na água do mar, é recuperada por um helicóptero e o experimento é devolvido para o pesquisador [6,30,32].

Figura 3.9 - Perfil esperado para o voo do foguete VSB-30.



Fonte: Adaptado de [32].

Figura 3.10 – Lançamento do foguete VSB-30 durante a Missão Maracati II, no CLA.

Sequência de fotos tomadas em intervalos de 0,000625s.

Fonte: [27].

3.4. O cenário de operação do sistema de monitoração e controle

A experiência da Missão Maracati II e as especificações da AEB definem as facilidades e restrições que se deve esperar do CLA. O posicionamento da infraestrutura existente moldou o sistema de monitoração e controle dividido em três locais: casamata, quadro elétrico e foguete (Figura 3.11 e 3.12). O cenário é descrito a seguir:

a) Casamata (Figura 3.13 e Figura 3.14):- edificação de segurança, onde ficam os operadores dos experimentos durante o lançamento e testes, distante 130m da plataforma de lançamento do foguete;

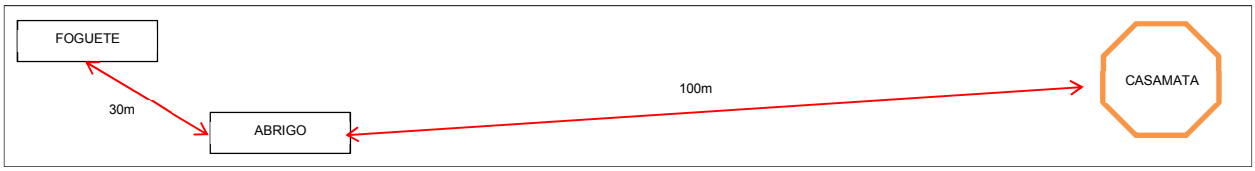
b) Quadro elétrico (conhecido por abrigo, Figuras 3.14, Figura 3.15 e Figura 3.16):- pequeno abrigo em alvenaria utilizado na proteção dos equipamentos a menos de 30m da plataforma de lançamento;

c) Plataforma de lançamento do foguete (Figura 3.16 e Figura 3.17):- mais especificamente, já dentro do foguete onde está localizada a carga útil e conhecido por Plataforma Suborbital de Microgravidade (PSM).

Figura 3.11 – Cenário de operação do sistema de monitoração e controle no CLA.

Fonte: Adaptada de [29].

Figura 3.12 – Locais para posicionamento do sistema de monitoração e controle.



Fonte: Produção do autor.

Figura 3.13 - Foto da casamata no CLA.

Fonte: [27].

Figura 3.14 – Vista da casamata a partir do quadro elétrico.

Fonte: [27].

Figura 3.15 – Vista interna do quadro elétrico.

Fonte: [27].

Figura 3.16 - Vista da plataforma de lançamento a partir do quadro elétrico.

Fonte: [27].

Figura 3.17 – O foguete VSB-30 na plataforma de lançamento do CLA.

Fonte: [27].

3.5. Aspectos técnicos predefinidos

3.5.1. Pré voo

A carga do experimento é mantida fundida no forno, na PSM, dentro do foguete, e sua temperatura não deve ser menor que 180°C (20% acima do ponto de fusão do BiCd).

Por motivo de segurança estabelecido pelo IAE e AEB [30,31], a tensão utilizada no aquecimento foi limitada em 50Vcc. Considerando este valor máximo da tensão e através de ensaios com o protótipo do forno, foi definido que a potência mínima a ser fornecida para atender o tempo máximo de 30min de aquecimento até a temperatura de 180°C (conforme atesta a Figura 3.1) deve ser de 150W. A energia elétrica necessária nessa etapa deverá ser fornecida por uma fonte de alimentação de corrente contínua (CC) de 50V e 3A (150W). Conforme a Figura 3.12, a distância entre a casamata e o foguete é de 130m, os cabos de cobre disponíveis para uso entre estes locais possuem bitola de $1mm^2$ [31]. Se a fonte fosse alocada na casamata, a distância de 260m de cabos entre esta e a base de lançamento (ida e volta do cabo) provocaria uma queda de tensão de aproximadamente 15V (2 x 130m x $0{,}0195\Omega m^{-1}$ x 3A), o que inviabilizaria o cumprimento da meta de aquecer o forno em 30min com 50V. Sendo assim, pela proximidade com o foguete, o quadro elétrico está sendo utilizado e deste retira-se a energia necessária ao forno. Para minimizar a queda de tensão, semelhante ao realizado na missão Maracati II, também foi definida a utilização de um par de cabos

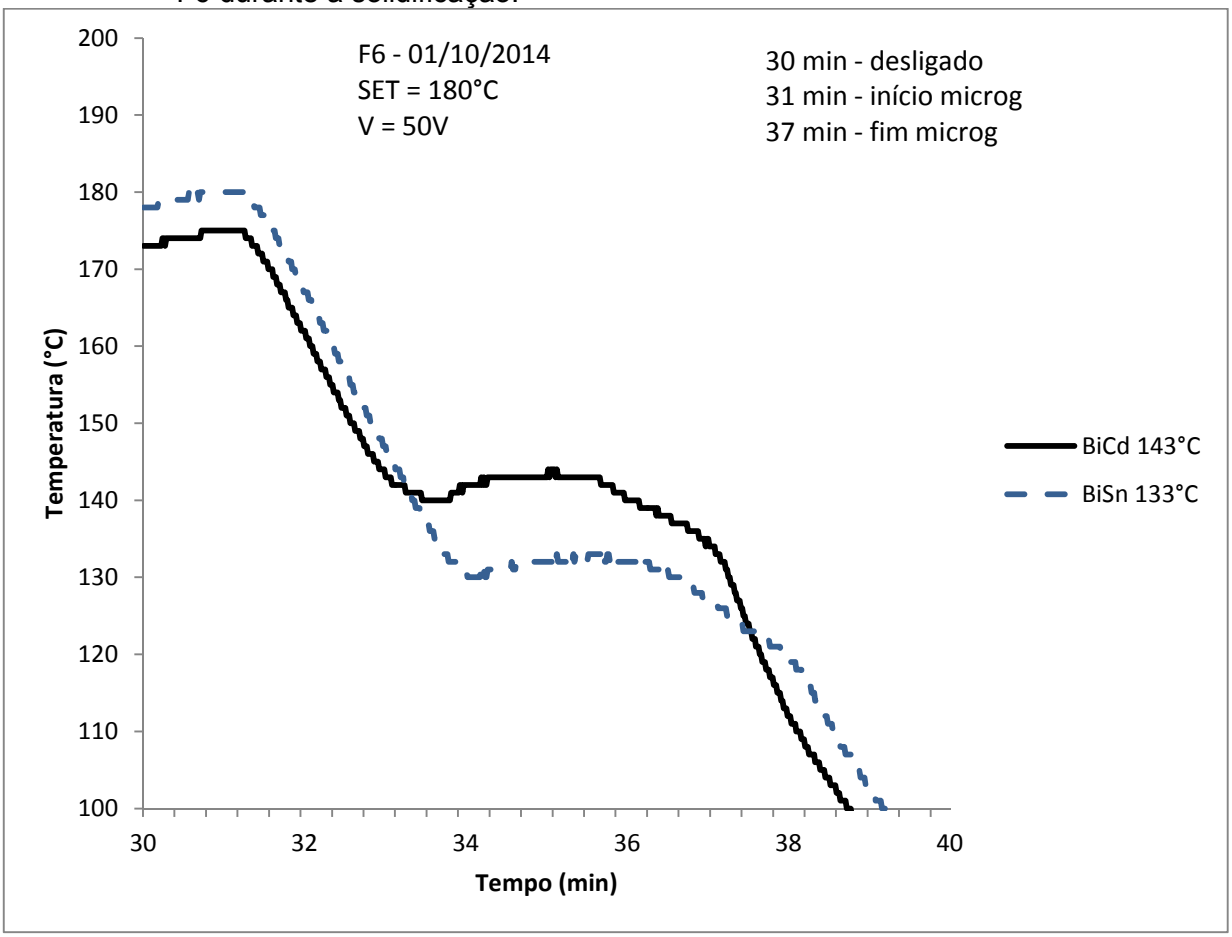
para cada polo do forno, através destas modificações a queda de tensão cai para menos de 2V (2 x 30m x 0,00975Ω m^{-1} x 3A) [31,33].

O estado do forno não se altera até 16s antes do lançamento quando a fonte do aquecimento é desligada remotamente da casamata [28] (Apêndice D). Deste momento em diante o forno permanece desligado, pois todas as fontes externas de energia são desligadas por motivo de segurança e as eventuais necessidades de energia devem ser supridas por baterias internas do experimento.

3.5.2. Voo ascendente

Após o lançamento transcorre um intervalo de 78s de voo até o foguete alcançar o ambiente de microgravidade [31]. Durante este tempo inicial do voo a temperatura do forno se mantém em um nível que não causa a solidificação da carga (acima dos 143°C, conforme mostra o gráfico da Figura 3.18).

Figura 3.18 - Gráfico ampliado da temperatura em função do tempo no aquecimento do forno F6 durante a solidificação.



Fonte: [27].

3.5.3. Microgravidade

Ao alcançar a microgravidade a interface do foguete sinaliza para o forno iniciar o experimento (com o fechamento de um contato normalmente aberto de um relé), sendo este evento que provoca o movimento do forno por 9s e o consequente resfriamento. Esta sinalização é conhecida por Sinal de microgravidade (Smg). A temperatura cai rapidamente devido à exposição das amostras e a carga do experimento solidifica dentro da estimativa de 6min de microgravidade (Figura 3.18).

3.5.4. Monitoração das temperaturas

As três temperaturas do forno são registradas continuamente através dos sinais elétricos originados em termopares tipo K [34], antes, durante e depois do lançamento por um equipamento *datalogger*. O modelo comercial escolhido é conhecido por FieldLogger e é fabricado pela empresa Novus [35,36]. O FieldLogger está posicionado no foguete e sinais elétricos derivados dos registrados também são enviados ao solo, via telemetria, para serem monitorados na casamata. A forma de registrar programada colhe uma aquisição das três temperaturas a cada intervalo de um segundo, sendo que a taxa máxima de varredura é 1000 informações diferentes por segundo. Podem ser registrados 512 mil pontos de dados no total. Existe um compromisso entre a quantidade de informações diferentes monitoradas e o tempo do intervalo entre as aquisições que determinará o tempo de autonomia de registro. Se for programada a aquisição de três temperaturas com um intervalo de 1s, o FieldLogger permite acima de 47h seguidas de registro e, se programado, pode parar no final da memória. O registro é acionado 10min antes do momento do lançamento e o tempo de microgravidade é de 6min [28], logo a capacidade de registro é muito superior, o que torna mais segura a operação, além de permitir novos registros, se necessário.

3.5.5. Adequação e melhoria

Para somar ao sucesso da Missão Maracati II, foram identificadas necessidades não contempladas e melhorias que foram implementadas no 4ºAO, entre as mais importantes temos: a recarga das baterias agora prescinde da abertura do foguete e a mudança da Interface Homem Máquina (IHM) para um formato mais amigável com o uso de um programa de monitoração e controle e rodando em um *notebook*.

3.6. Requisitos do sistema

Tabela 3.1 – Requisitos do sistema de monitoração e controle.

TIPO	DESCRIÇÃO	MANDATÓRIO	DESEJÁVEL
DIVERSOS	Devem ser cumpridos os requisitos formulados pelo IAE e AEB [31,32].	X	
DIVERSOS	Devem ser consideradas as restrições colocadas pela Plataforma suborbital [31,32].	X	
ELÉTRICO	O aquecimento do forno deve poder ser ligado e desligado remotamente.	X	
OPERACIONAL	O forno deve manter a temperatura acima de 180°C, em solo.	X	
RESTRIÇÃO	O forno deve aquecer até a temperatura de 180°C em no máximo 30 minutos.	X	
OPERACIONAL	Deve ser utilizado o método de controle *on/off* da temperatura do forno.		X
ELÉTRICO	O controle da temperatura do forno deve ser realizado através do uso da temperatura do termopar de controle TC3.	X	
RESTRIÇÃO	O aquecimento do forno deve ser realizado com uma tensão máxima de 50V e corrente de 3A (150W).	X	
OPERACIONAL	O aquecimento do forno só deve ocorrer em solo a partir de uma fonte posicionada no quadro elétrico.	X	
ELÉTRICO	Deve ser utilizado um par de cabos do umbilical do foguete para cada polo do forno.	X	
ELÉTRICO	O forno deve movimentar de forma automática sob o comando do sinal de microgravidade (Smg).	X	
ELÉTRICO	Deve ser possível desabilitar o Smg.	X	
RESTRIÇÃO	O movimento do forno deve expor completamente a carga em aproximadamente 10s.	X	
ELÉTRICO	O movimento do forno deve ocorrer nos dois sentidos, para retorno à condição inicial.	X	
ELÉTRICO	Devem existir meios de verificar a posição final do curso do movimento do forno nos dois sentidos, o chamado fim de curso.	X	
ELÉTRICO	A movimentação automática do forno não pode ultrapassar o fim de curso.	X	
OPERACIONAL	Deve existir o modo de movimentação manual para ajustes.	X	
ELÉTRICO	A movimentação manual pode considerar, ou não, ultrapassar o fim de curso.	X	
OPERACIONAL	Deve ser armazenada a informação do tempo de 1 em 1s.	X	
OPERACIONAL	Deve ser armazenada a aquisição de três temperaturas do forno a cada intervalo de tempo de 1s.	X	
OPERACIONAL	O registro das informações deve ser passível de parada, reinício, coleta e zeragem.	X	

(Continua)

Tabela 3.1 – (Conclusão)

TIPO	DESCRIÇÃO	MANDATÓRIO	DESEJÁVEL
ELÉTRICO	As três temperaturas do forno devem ser monitoradas em solo pela telemetria do foguete.	X	
ELÉTRICO	A eletrônica embarcada no foguete deve ser alimentada via umbilical durante a operação de solo.	X	
ELÉTRICO	Toda a energia necessária durante o período do voo, pelo subsistema embarcado no foguete, deve ser obtida de baterias.	X	
ELÉTRICO	O carregamento das baterias deve ser realizado pelo umbilical do foguete.	X	
ELÉTRICO	As baterias devem ser recarregadas com a carga lenta prevista em especificação do fabricante das baterias.		X
ELÉTRICO	Partindo da situação descarregada, as baterias devem ser suficientemente recarregadas no intervalo entre os ciclos de tentativa de lançamento.	X	
ELÉTRICO	A tensão do conjunto de baterias deve ser monitorada na casamata durante as operações de solo.	X	
ELÉTRICO	A corrente do conjunto de baterias deve ser monitorada na casamata durante as operações de solo.	X	
ELÉTRICO	O conjunto de baterias deve ser acondicionado em um módulo independente.		X
ELÉTRICO	Do lugar conhecido como casamata, deve ser possível ligar e desligar remotamente os equipamentos no ambiente chamado de quadro elétrico.	X	
OPERACIONAL	O operador da casamata deve ter recurso, além das funções de monitoração e controle automática, para cuidar dos eventos e executar as ações necessárias.	X	
OPERACIONAL	Deve ser desenvolvida uma interface amigável de monitoração e controle do sistema baseada em um programa supervisório comercial funcionando em um *notebook*.		X
ELÉTRICO	O controle deve utilizar uma rede de comunicação digital.		X
ELÉTRICO	Deve existir uma interface entre o controle e o forno para o manejo da potência do forno.	X	
ELÉTRICO	Deve existir uma interface entre o controle e o motor para o manejo da potência do motor.	X	
ELÉTRICO	Deve existir uma interface entre o controle e os fins de curso para adequar os sinais.	X	
ELÉTRICO	Deve existir uma interface entre o controle e o foguete para adequar o sinal de microgravidade, oriundo do foguete, e os sinais da telemetria, que seguem para o foguete.	X	
MECÂNICO	Os subsistemas devem ser realizados de forma modular com montagens intercambiáveis.		X
MECÂNICO	Os subsistemas modulares devem ser interligáveis por conectores.		X
ELÉTRICO	Devem ser realizados os meios de teste do sistema necessários para a realização dos procedimentos de qualificação e aceitação.	X	
OPERACIONAL	Deve ser realizado um plano de testes para a realização dos procedimentos de qualificação e aceitação.		X
DIVERSOS	Devem ser formulados os requisitos da infraestrutura de solo necessária.	X	

Fonte – Produção do autor.

4 PROJETO PRELIMINAR

4.1. O controle do projeto

Após a inscrição no 4ºAO e o aceite do experimento para o voo, o desenvolvimento do projeto inicia e começa ocorrer os eventos de controle. Estes são realizados na forma de contato telefônico, mensagem eletrônica, reunião, entregas e tornam o documento cada vez mais consistente. São transmitidos três documentos principais:

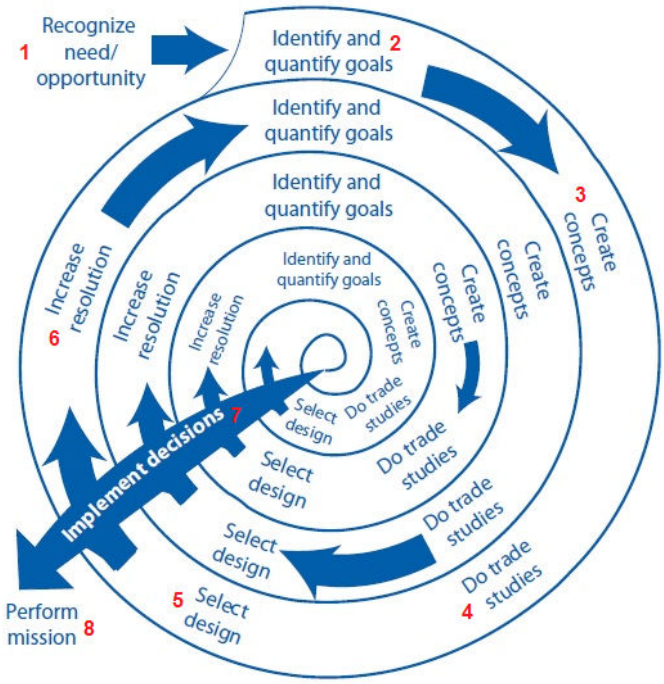
a) o documento de inscrição no 4ºAO [8];

b) o DOC100, que é uma forma de projeto preliminar [9];

c) e o DOC200, que é o projeto final de fabricação [10].

As oportunidades sucessivas de validação do projeto fazem parte do alicerce da engenharia de sistemas (vide exemplo da NASA na Figura 4.1) e leva a um aprimoramento dos documentos. O aprofundamento dos detalhes facilita encontrar as devidas soluções, além de trazer à tona os erros ou problemas [24].

Figura 4.1 – A doutrina do sucessivo refinamento (*The doctrine of successive refinement*).



1) Reconhecer necessidade/oportunidade; 2) identificar e quantificar metas; 3) criar conceitos; 4) realizar estudos de viabilidade; 5) selecionar uma solução; 6) incrementar a resolução; 7) implementar decisões e; 8) realizar a missão.

Fonte: Adaptada de [24].

4.1.1. Eventos de controle do projeto

Foram os seguintes eventos de controle:

a) JULHO/2013: entrega do documento de inscrição no 4ºAO para a AEB [8];

b) SETEMBRO/2013: realização do Seminário Programa de Microgravidade da AEB para informar e esclarecer os requisitos do IAE / AEB [31];

c) 24/10/2013: comunicação, via telefone, com o IAE para saber do cronograma do projeto, foi informado que o lançamento não ocorreria em julho de 2014;

d) 21/11/2013: comunicação, via email, com o IAE para esclarecer o surgimento de algumas restrições, nesta revisão ficou definido:

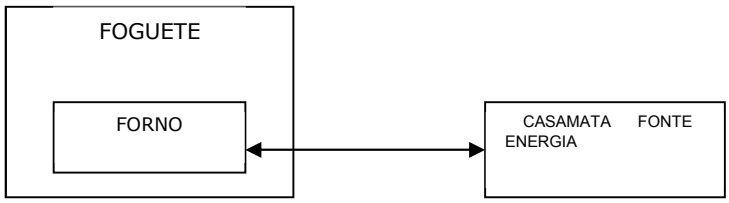
   - que não é possível usar telecomandos;
   - que a fonte de energia deve ser alocada no quadro elétrico;
   - que o umbilical tem 150m de cabos com bitola de $1mm^2$;

e) 26/11/2013: entrega do documento denominado DOC100, para a AEB.

4.1.2. Documento de inscrição no 4ºAO

Em julho de 2013 foi redigido o primeiro documento para o pleito de uma vaga no voo do 4ºAO. Além de estimar os custos e apontar os resultados esperados com o sucesso da missão, este apresentou para a AEB o experimento e suas primeiras necessidades [8]. Os conceitos propostos como solução (Apêndice B / Figura B.1) foram respostas diretas às necessidades funcionais dos experimentadores e do experimento. A fonte de energia foi alocada na casamata (Figura 4.2), embora na missão Maracati II estivesse no quadro elétrico. O motivo para tentar este posicionamento foi a dificuldade sentida nas missões anteriores com o tamanho, peso e controle elétrico da fonte. Mais adiante no projeto, já no DOC100, esta solução foi abandonada e trocou-se a fonte por outra mais adequada ao ambiente do quadro elétrico.

Figura 4.2 – Diagrama de blocos simplificado da interligação proposta na inscrição do 4ºAO.



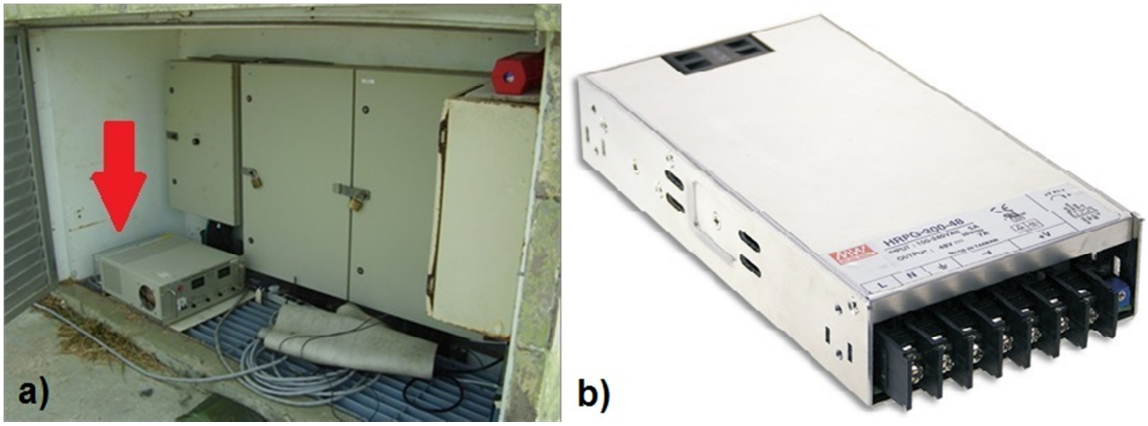
Fonte: Produção do autor.

4.1.3. Documento DOC100

Este documento busca aproximar de uma arquitetura realizável fisicamente e evoluir no sentido de cumprir os requisitos técnicos listados no item 3.6. Com estas premissas, foi redigido e entregue o documento DOC100 [9] para a AEB.

O diagrama de blocos do sistema entra em sua segunda versão (Apêndice B / Figura B.2) e surgem os primeiros circuitos elétricos (Apêndice C / Figuras C.1 e C.2). Busca-se o entendimento das especificações técnicas em geral com vistas às aquisições de materiais [37-42]. Também o forno já está consolidado como um modelo com a capacidade para uma carga de seis amostras de materiais diferentes e confirma-se o aquecimento até 180°C através da tensão de 50Vcc e corrente de 3Acc (150W). A fonte de energia utilizada nos AO's anteriores (30kg, de regulação linear) [43] é substituída por um modelo compacto, muito mais leve e que opera com regulação chaveada (Figura 4.3). Tanto a fonte anterior quanto a nova são equipamentos utilizados no LAS/INPE. A fonte nova [44] é utilizada de forma ininterrupta há anos, o que vem comprovar a sua capacidade para este trabalho. Na Tabela 4.1 pode-se verificar que tanto o tamanho quanto a massa da fonte compacta são muito menores, o que facilitará a movimentação do equipamento em campo e nos testes.

Figura 4.3 – a) Fonte anterior, TCA 120-05XR1A e; b) fonte HRPG300-48.



Fonte: a) Adaptada de [27] e; b) [44].

Tabela 4.1 – Especificações das fontes usadas no aquecimento do forno.

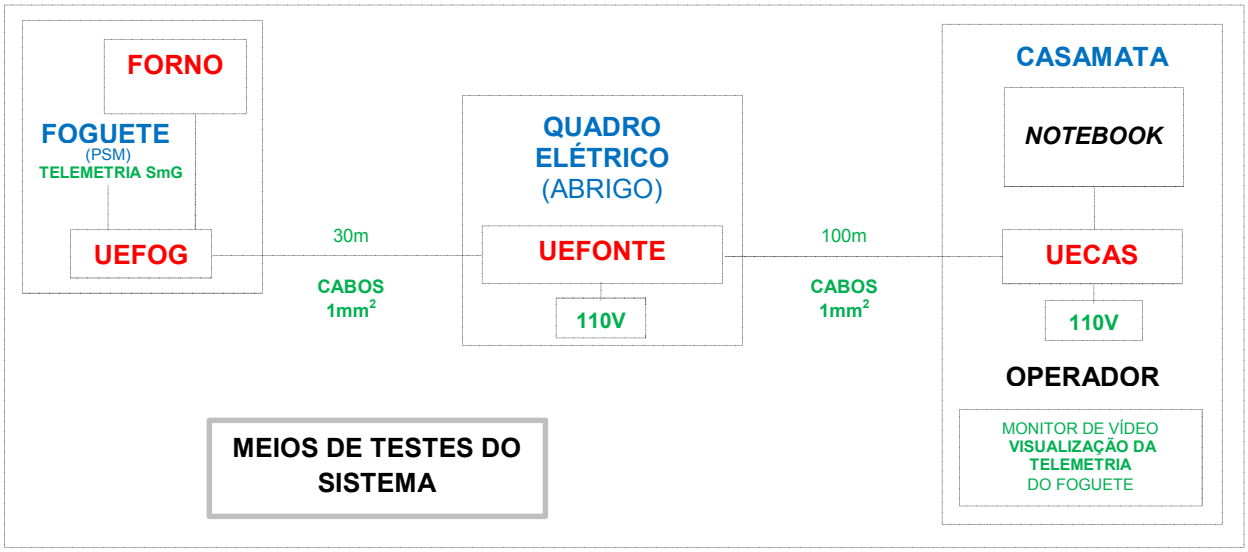
	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)	$T_{OPERAÇÃO}$ (°C)	MASSA (Kg)	DIMENSÕES (mm)
TCA 120-05XR1A	0 a 120	0 a 5	40	30	406x482,6x177
HRPG 300-48	40.8 a 55.2	0 a 7	70	0,95	199x105x41

Fonte: [43,44].

4.2. O diagrama de blocos do projeto preliminar do sistema

É idealizada uma concepção de arquitetura física inicial para o sistema, baseada nas informações compiladas até este ponto. A Figura 4.4 mostra quatro volumes principais (UECAS, UEFONTE, UEFOG e FORNO) distribuídos em três locais (CASAMATA, QUADRO ELÉTRICO e FOGUETE) e os recursos necessários (TELEMETRIA, Smg, CABOS INTERLIGAÇÃO e REDE ELÉTRICA 110V) para um sistema mínimo funcionar conforme os requisitos do item 3.6.

Figura 4.4 - Concepção de uma arquitetura física inicial do sistema.



A cor azul identifica o local, vermelha os volumes principais e verde os recursos físicos necessários.
Fonte: Produção do autor.

No texto seguinte são descritos os blocos do diagrama:

a) a Unidade Eletrônica da Casamata (UECAS) é uma eletrônica dedicada ligada a um microcomputador (*notebook*) que possibilita ao operador monitorar e controlar o sistema;

   – a telemetria das temperaturas do experimento em voo é visualizada na casamata em um monitor de vídeo [31];
   – é utilizada uma tomada da rede elétrica 110Vca;

b) a Unidade Eletrônica Fonte (UEFONTE) é uma eletrônica dedicada posicionada no quadro elétrico, que possui capacidade de fornecer a energia necessária para o aquecimento do forno e demais utilizações da UEFOG;

   – é utilizada uma tomada da rede elétrica 110Vca;

c) a Unidade Eletrônica do Foguete (UEFOG) é uma eletrônica dedicada posicionada na PSM do foguete, ao lado do forno, que monitora e controla o experimento científico SLEM automaticamente em voo e tem condições de ser acessada remotamente na casamata, durante as operações de solo;

   – esta eletrônica produz sinais elétricos para a telemetria do foguete e recebe o sinal Smg indicador para o início do movimento do forno;

d) o FORNO é posicionado no foguete, ao lado da UEFOG;

e) os três locais citados são interligados através dos cabos de 1mm^2 existentes no campo;

f) Os meios de testes do sistema é o conjunto dos recursos utilizados nas fases de testes, qualificação e aceitação.

4.3. Funções do sistema

As definições apresentadas até o momento no texto (Apêndice B / Figura B.2) viabilizam formas físicas de cumprir as exigências dos requisitos listados no item 3.6. A função do sistema é o que o sistema ou subsistema faz [25], ou em outras palavras, um conjunto de uma ou mais ações que juntas alcançam os objetivos dos requisitos, seja por *hardware* ou *software*.

As funções de *hardware* são detalhadas no item 4.3.1. As de *software* executam as ações básicas do sistema, um exemplo é a função SOBE FORNO, que movimenta o forno até atingir o fim de curso superior, no sentido de expor as amostras. As funções também foram desenvolvidas através de procedimentos, que são compostos das funções mais simples de *hardware* ou *software*. Um exemplo de procedimento para desligar o aquecimento do forno e expor as amostras é a sequência: a) desliga AQUECIMENTO; b) desliga FONTE FORNO; c) liga SOBE FORNO.

Mais adiante, já no texto do projeto final de fabricação, o equipamento FieldLogger vai ser consolidado com as atribuições de monitorar e controlar o sistema. Algumas funções com procedimentos se assemelham muito com o descrito no manual de utilização do FieldLogger e seu *software* configurador [36]. É bastante perceptível nos procedimentos que tratam dos registros.

4.3.1. Funções de *hardware*

Três funções são apresentadas neste item e devem ser desenvolvidas através de *hardware*. A primeira é um liga/desliga da alimentação de energia da UECAS e que foi planejada a utilização de uma chave. No caso da segunda e terceira função é uma exigência dos requisitos do IAE e visa a segurança. As Figuras 4.5 e 4.6 mostram uma concepção física real para a UECAS e a UEFONTE e visam facilitar o entendimento das três funções de *hardware*.

a) a chave LIGA UECAS, posicionada no painel frontal da UECAS (Figura 4.5), é um componente de *hardware* com dois estados, (ligado / desligado) e permite ligar e desligar a UECAS;

b) a chave HABILITA / DESABILITA UEFONTE, posicionada no painel frontal da UECAS (Figura 4.5):-

   - é um componente de *hardware* com três estados (habilita / sem função / desabilita) e permite habilitar e desabilitar a chave LIGA UEFONTE, que está posicionada no painel frontal da UEFONTE, este comando remoto é realizado através de um circuito exclusivo do umbilical entre a casamata e o quadro elétrico;

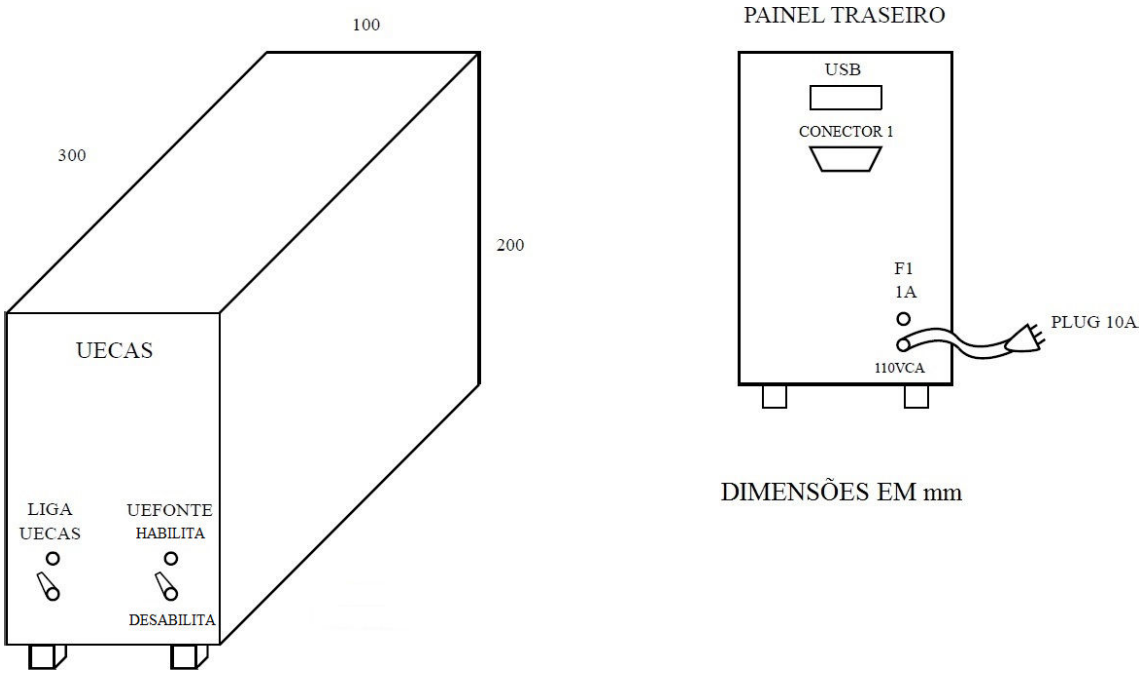
   - a posição desabilita sempre atua e desliga a UEFONTE, para posicionar a chave nesta posição, é necessário realizar antes um desligamento controlado por *software;*

c) a chave LIGA UEFONTE, posicionada no painel frontal da UEFONTE (Figura 4.6):-

   - é um componente de *hardware* de dois estados (ligado / desligado) e permite ligar e desligar a UEFONTE se esta chave estiver habilitada pela chave HABILITA / DESABILITA UEFONTE, que está posicionada no painel frontal da UECAS;

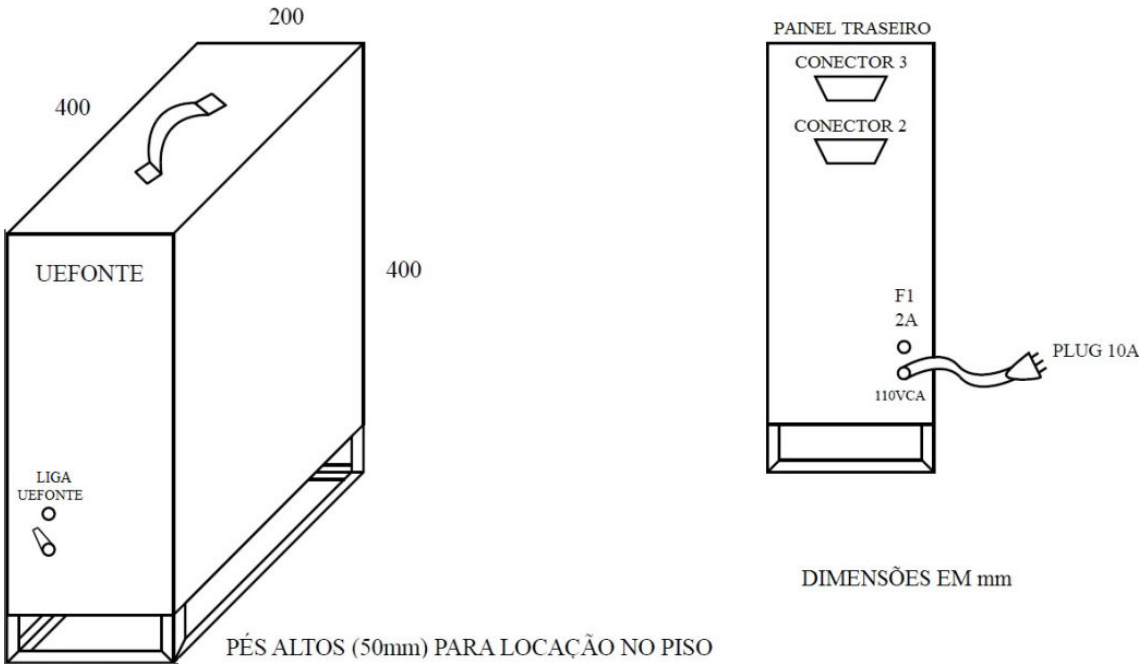
   - a posição desligado sempre atua e desliga a UEFONTE, para posicionar a chave nesta posição, é necessário realizar antes um desligamento controlado por *software*.

Figura 4.5 – Concepção mecânica da caixa da UECAS.



Fonte: Produção do autor.

Figura 4.6 – Concepção mecânica da caixa da UEFONTE.



Fonte: Produção do autor.

4.3.2. Funções de *software*

As tabelas seguintes descrevem as funções de *software* para monitoração e controle dos recursos mostrados no diagrama de blocos do (Apêndice B / Figura B.2). A Tabela 4.2 mostra as descrições das funções relativas ao controle de interfaces de saída e a Tabela 4.3 mostra as descrições das funções relativas à monitoração de interfaces de entrada.

Tabela 4.2 – Funções de *software* para controle de interfaces de saída.

ITEM	FUNÇÃO DE *SOFTWARE*	DESCRIÇÃO
1	FONTE FORNO	Liga/desliga a fonte que alimenta o aquecimento do forno.
2	AQUECIMENTO	Liga/desliga o aquecimento do forno.
3	FONTE GERAL	Liga/desliga a fonte que supre o modo de alimentação externa e a recarga de baterias da UEFOG.
4	ALIMENTAÇÃO EXTERNA	Liga/desliga o modo de alimentação externa da UEFOG.
5	RECARGA BATERIA MOTOR	Liga/desliga a recarga das baterias do motor, na UEFOG.
6	RECARGA BATERIA PCI UEFOG	Liga/desliga a recarga das baterias da PCI da UEFOG.
7	ALIMENTAÇÃO INTERNA	Liga/desliga o modo de alimentação interna da UEFOG.
8	SOBE FORNO	Liga/desliga o movimento de subida do FORNO, no sentido de expor as amostras.
9	DESCE FORNO	Liga/desliga o movimento de descida do FORNO, no sentido de cobrir as amostras.

Fonte – produção do autor.

Tabela 4.3 – Funções de *software* para monitoração de interfaces de entrada.

ITEM	FUNÇÃO DE *SOFTWARE*	DESCRIÇÃO
1	TC1	Monitora o termopar tipo K TC1
2	TC2	Monitora o termopar tipo K TC2
3	TC3	Monitora o termopar tipo K TC3
4	Smg	Monitora o contato NA do relé do foguete que fecha ao entrar no ambiente de microgravidade.
5	FCS	Monitora o sinal que, ao ser acionado, indica que o forno subiu até o fim de curso superior e expôs as amostras.
6	FCI	Monitora o sinal que, ao ser acionado, indica que o forno desceu até o fim de curso inferior.
7	LMTLAE	Monitora a tensão da alimentação externa.
8	LMTBAT4V8	Monitora a tensão da bateria do motor.
9	LMTBAT24V	Monitora a tensão da alimentação interna.
10	I_LRBBAT4V8	Monitora a corrente da bateria do motor.
11	I_LAELRBBAT24V	Monitora a corrente da bateria da PCI da UEFOG.

Fonte – produção do autor.

4.3.3. Funções com procedimentos

Foram desenvolvidos onze procedimentos para a operação do sistema:

a) procedimento para DESLIGAR O SISTEMA (Tabela 4.4);
b) procedimento para DESLIGAR A ALIMENTAÇÃO EXTERNA da UEFOG (Tabela 4.5);
c) procedimento para DESLIGAR A ALIMENTAÇÃO INTERNA da UEFOG (Tabela 4.6);
d) procedimento para LIGAR O SISTEMA em alimentação externa ou interna (Tabela 4.7);
e) procedimento para RECARREGAR AS BATERIAS (Tabela 4.8);
f) procedimento do AQUECIMENTO do forno (Tabela 4.9);
g) procedimento do MOVIMENTO DO FORNO (Tabela 4.10);
h) procedimento do INÍCIO DOS REGISTROS do sistema (Tabela 4.11);
i) procedimento da PARADA DOS REGISTROS do sistema (Tabela 4.12);
j) procedimento para COLETA DOS REGISTROS do sistema (Tabela 4.13), apagamento dos registros existentes e conversão de arquivos;
k) procedimento para DESABILITAR O Smg e o movimento do forno:-
   – é necessário apenas comutar a UEFOG para o modo de alimentação externa, no qual não é possível movimentar o FORNO devido a necessidade das baterias do motor para fazê-lo funcionar;

Tabela 4.4 – Procedimento para DESLIGAR O SISTEMA.

Procedimento para DESLIGAR O SISTEMA	
Ação:	Atua no FORNO, UEFOG, UEFONTE, UECAS e *notebook*. Desliga todo o sistema. É a condição mais segura do sistema.
ITEM	**DESCRIÇÃO**
1	Desliga a função AQUECIMENTO.
2	Desliga a função FONTE FORNO.
3	Desliga o movimento do forno com a função SOBE FORNO ou DESCE FORNO.
4	Desliga a função ALIMENTAÇÃO EXTERNA.
5	Desliga a função RECARGA BATERIA MOTOR.
6	Desliga a função RECARGA BATERIA .
7	Desliga a função ALIMENTAÇÃO INTERNA (habilita a recarga das baterias).
8	Desliga a função FONTE GERAL.
9	Aciona a função DESABILITA UEFONTE em chave de *hardware* na UECAS.
10	Desliga a UECAS em chave de *hardware* na UECAS.
11	Desliga a UEFONTE em chave de *hardware* na UEFONTE**.**
12	Desliga o programa de monitoração e controle.
13	Desliga o *notebook*.

Fonte – produção do autor.

Tabela 4.5 – Procedimento para DESLIGAR A ALIMENTAÇÃO EXTERNA da UEFOG.

	Procedimento para DESLIGAR A ALIMENTAÇÃO EXTERNA
Ação:	Atua na UEFOG e UEFONTE. Desliga a alimentação externa da UEFOG.
ITEM	**DESCRIÇÃO**
1	Desliga a função ALIMENTAÇÃO EXTERNA.

Fonte – produção do autor.

Tabela 4.6 – Procedimento para DESLIGAR A ALIMENTAÇÃO INTERNA da UEFOG.

	Procedimento para DESLIGAR A ALIMENTAÇÃO INTERNA
Ação:	Atua na UEFOG e UEFONTE. Desliga a alimentação interna da UEFOG.
ITEM	**DESCRIÇÃO**
1	Desliga a função RECARGA BATERIA MOTOR.
2	Desliga a função RECARGA BATERIA PCI UEFOG.
3	Desliga a função ALIMENTAÇÃO INTERNA (habilita a recarga das baterias).

Fonte – produção do autor.

Tabela 4.7 – Procedimento para LIGAR O SISTEMA.

	Procedimento para LIGAR O SISTEMA
Ação:	Atua no FORNO, UEFOG, UEFONTE, UECAS e *notebook*. Liga todo o sistema. A UEFOG é ligada em modo de alimentação externa ou interna.
ITEM	**DESCRIÇÃO**
1	Liga o *notebook*.
2	Liga o programa de monitoração e controle.
3	Liga a UEFONTE em chave de *hardware* na UEFONTE.
4	Liga a UECAS em chave de *hardware* na UECAS.
5	Aciona a função HABILITA UEFONTE em chave de *hardware* na UECAS.
6	Desliga a função AQUECIMENTO.
7	Desliga a função FONTE FORNO.
8	Desliga a função RECARGA BATERIA MOTOR.
9	Desliga a função RECARGA BATERIA PCI UEFOG.
10	Liga a função FONTE GERAL.
11	**PARA LIGAR O SISTEMA EM ALIMENTAÇÃO EXTERNA**
12	Desliga a função ALIMENTAÇÃO INTERNA
13	Liga a função ALIMENTAÇÃO EXTERNA
14	Desliga o movimento do forno com a função SOBE FORNO ou DESCE FORNO.
11	**PARA LIGAR O SISTEMA EM ALIMENTAÇÃO INTERNA**
12	Desliga a função ALIMENTAÇÃO EXTERNA.
13	Liga a função ALIMENTAÇÃO INTERNA.
14	Desliga o movimento do forno com a função SOBE FORNO ou DESCE FORNO.

Fonte – produção do autor.

Tabela 4.8 – Procedimento para RECARREGAR AS BATERIAS.

Procedimento para RECARREGAR AS BATERIAS	
Ação:	Atua na UEFOG e UEFONTE. Liga a recarga das baterias da UEFOG se permitido. A UEFOG deve estar ligada para execução do procedimento.
ITEM	**DESCRIÇÃO**
1	Dar continuidade ao procedimento se a tensão monitorada LMTBAT4V8 for menor que o mínimo valor de tensão, na descarga, recomendado pelo fabricante da bateria.
2	Dar continuidade ao procedimento se a tensão monitorada LMTBAT24V for menor que o mínimo valor de tensão, na descarga, recomendado pelo fabricante da bateria.
3	Desliga a função RECARGA BATERIA MOTOR.
4	Desliga a função RECARGA BATERIA PCI UEFOG.
5	Liga a função ALIMENTAÇÃO EXTERNA (a UEFOG chaveia para alimentação externa).
6	Desliga a função ALIMENTAÇÃO INTERNA (habilita a recarga das baterias).
7	Liga a função RECARGA BATERIA MOTOR se o resultado da verificação do item 1 permitir.
8	Liga a função RECARGA BATERIA PCI UEFOG se o resultado da verificação do item 2 permitir.
9	Desligar a função RECARGA BATERIA MOTOR (corrente de carga lenta) quando a monitoração da corrente I_LRB4V8 for igual a corrente de carga de flutuação recomendada pelo fabricante da bateria.
10	Desligar a função RECARGA BATERIA PCI UEFOG (corrente de carga lenta) quando a monitoração da corrente I_LAERB24V for igual a corrente de carga de flutuação recomendada pelo fabricante da bateria.

Fonte – produção do autor.

Tabela 4.9 – Procedimento do AQUECIMENTO do forno.

Procedimento do AQUECIMENTO do forno	
Ação:	Atua no FORNO e UEFONTE. Liga/desliga o aquecimento do FORNO. A temperatura de regulação do aquecimento é fixa em 180°C.
ITEM	**DESCRIÇÃO**
1	**PARA LIGAR O AQUECIMENTO DO FORNO**
2	Liga a função FONTE FORNO.
3	Liga a função AQUECIMENTO.
4	Mantém a função AQUECIMENTO ligada se a temperatura de controle TC3 for menor que 180°C (controle tipo *on/off*).
1	**PARA DESLIGAR O AQUECIMENTO DO FORNO**
2	Desliga a função AQUECIMENTO.
3	Desliga a função FONTE FORNO.

Fonte – produção do autor.

Tabela 4.10 – Procedimento do MOVIMENTO DO FORNO.

Procedimento do MOVIMENTO DO FORNO	
Ação:	Atua no FORNO e UEFOG. Liga/desliga o movimento do FORNO se a posição do forno permitir. Somente funciona com a UEFOG em modo de alimentação interna (baterias). Existem os modos automático e manual para o movimento de subida do forno, a descida é sempre manual. No modo manual pode ser monitorado, ou não, o fim de curso.
ITEM	**DESCRIÇÃO**
1	**PARA LIGAR O MOVIMENTO DE SUBIDA AUTOMÁTICA DO FORNO MICROGRAVIDADE**
2	Liga a função SOBE FORNO se a monitoração do Smg indicar acionado e a monitoração do FCS não indicar acionamento.
3	Mantém a função SOBE FORNO ligada se a monitoração do FCS não indicar acionamento.
1	**PARA LIGAR O MOVIMENTO DE SUBIDA MANUAL DO FORNO**
2	Liga a função SOBE FORNO se a monitoração do FCS não indicar acionamento.
3	Mantém a função SOBE FORNO ligada se a monitoração do FCS não indicar acionamento.
1	**PARA LIGAR O MOVIMENTO DE SUBIDA MANUAL DO FORNO SEM O FCS**
2	Liga a função SOBE FORNO.
1	**PARA DESLIGAR O MOVIMENTO DE SUBIDA DO FORNO**
2	Desliga a função SOBE FORNO.
1	**PARA LIGAR O MOVIMENTO DE DESCIDA MANUAL DO FORNO**
2	Mantém a função DESCE FORNO ligada se a monitoração do FCI não indicar acionamento.
1	**PARA LIGAR O MOVIMENTO DE DESCIDA MANUAL DO FORNO SEM O FCI**
2	Liga a função DESCE FORNO.
1	**PARA DESLIGAR O MOVIMENTO DE DESCIDA DO FORNO**
2	Desliga a função DESCE FORNO.

Fonte – produção do autor.

Tabela 4.11 – Procedimento do INÍCIO DOS REGISTROS do sistema.

Procedimento do INÍCIO DOS REGISTROS	
Ação:	Atua na UEFOG e UEFONTE. Inicia o registro de um bloco de aquisições com intervalo de 1 segundo. O registro ocorre na UEFOG e/ou na UEFONTE. Utiliza o *software* configurador do FieldLogger [36]. Antes da execução deste procedimento é recomendável a realização de uma coleta, pois pode ocorrer a perda de informação.
ITEM	**DESCRIÇÃO**
1	Carregar o *software* configurador do FieldLogger no *notebook*. Escolher a opção CONFIGURAÇÃO e avançar até a tela dos registros.
2	Verificar as informações registradas: – a UEFOG registra 7 monitorações diferentes, as temperaturas **TC1**, **TC2** e **TC3**, o acionamento dos sinais **Smg**, **FCS** e **FCI**, além da tensão de alimentação da UEFOG (**LMTVAA).**
3	Verificar o intervalo de tempo entre registros (**1 segundo**).
4	Verificar se o início e término de registros via MODBUS estão selecionados.
5	Configurar o início imediato dos registros.
6	Enviar a nova configuração.
7	Executar o procedimento com a UEFOG e a UEFONTE, conforme necessário.
8	No caso da UEFONTE: – são registradas 5 monitorações diferentes, a tensão da fonte geral **LMTLAE**, as tensões das baterias do motor e da PCI da UEFOG **LMTBAT4V8** e **LMTBAT24V**, a corrente da linha de recarga da bateria do motor **I_LRBBAT4V8** e a corrente da linha de alimentação externa ou linha de recarga da bateria da PCI da UEFOG **I_LAELRBBAT24V**.

Fonte – produção do autor.

Tabela 4.12 – Procedimento da PARADA DOS REGISTROS do sistema.

Procedimento da PARADA DOS REGISTROS	
Ação:	Atua na UEFOG e UEFONTE. Interrompe o registro na UEFOG e/ou na UEFONTE. Utiliza o *software* configurador do FieldLogger [36].
ITEM	**DESCRIÇÃO**
1	Carregar o *software* configurador do FieldLogger no *notebook*. Escolher a opção DIAGNÓSTICO e avançar até a tela “diagnósticos”.
2	Na aba registros selecionar a opção TÉRMINO.
3	Executar o procedimento com a UEFOG e a UEFONTE, conforme necessário.

Fonte – produção do autor.

Tabela 4.13 – Procedimento para COLETA DOS REGISTROS do sistema.

	Procedimento para COLETA DOS REGISTROS
Ação:	Atua na UEFOG e UEFONTE. Coleta os registros existentes na UEFOG e/ou na UEFONTE. Converte o arquivo coletado para diversos formatos comerciais. Pode realizar um apagamento total dos registros [36].
ITEM	**DESCRIÇÃO**
1	Carregar o *software* configurador do FieldLogger no *notebook*.
2	Escolher a opção COLETA.
3	Escolher a opção COLETAR DADOS e avançar nas telas do Gerenciador de Coletas.
4	A tela que mostra: “A coleta será armazenada na pasta abaixo.” grava um arquivo com a coleta dos registros em um padrão próprio do FieldLogger, lido só por ele.
5	Na mesma tela do item acima (gravação) também é perguntado se é desejado o apagamento dos registros existentes após a coleta/gravação. Os registros são apagados se a resposta é SIM.
6	As próximas telas possuem recursos para apresentar os registros de forma numérica, gráfica, relatórios. Também existe a opção de converter o arquivo gravado no padrão FieldLogger para padrões comerciais (PDF, EXCEL, WORD...).
7	Executar o procedimento com a UEFOG e a UEFONTE, conforme necessário.

Fonte – produção do autor.

5 PROJETO FINAL DE FABRICAÇÃO

5.1. Eventos de controle do projeto

Ocorreram alguns eventos de controle, listados a seguir:

a) MAIO/2014: realização pela AEB de uma visita às instalações do CLA em Alcântara, no Maranhão, nesta oportunidade foi previsto que o lançamento poderia ocorrer em junho de 2015 em uma campanha de três semanas;

b) 29/05/2014: reunião no IAE, para esclarecimento de dúvidas e discussão de dificuldades no andamento da construção do protótipo de engenharia, em especial a aquisição de componentes qualificados para voo;

c) JULHO/2014: realização de um seminário para apresentação e discussão do andamento do projeto de monitoração e controle no LAS/INPE;

d) 16/06/2014: reunião no IAE, na qual ficou definido:-

   - que o IAE buscará resolver o impasse dos componentes qualificados para voo;
   - a importância da isolação galvânica entre os dispositivos da comunicação;
   - não ser possível o fornecimento de um sinal elétrico correspondente a telemetria na casamata, somente será fornecida a visualização em um monitor;
   - que o acionamento da fonte de energia no quadro elétrico deve ser remoto e por *hardware* (fios);
   - o escoamento de possíveis cargas dos circuitos de terra da UEFOG para o chassi através de uma alta impedância (valor mínimo de 1MΩ);

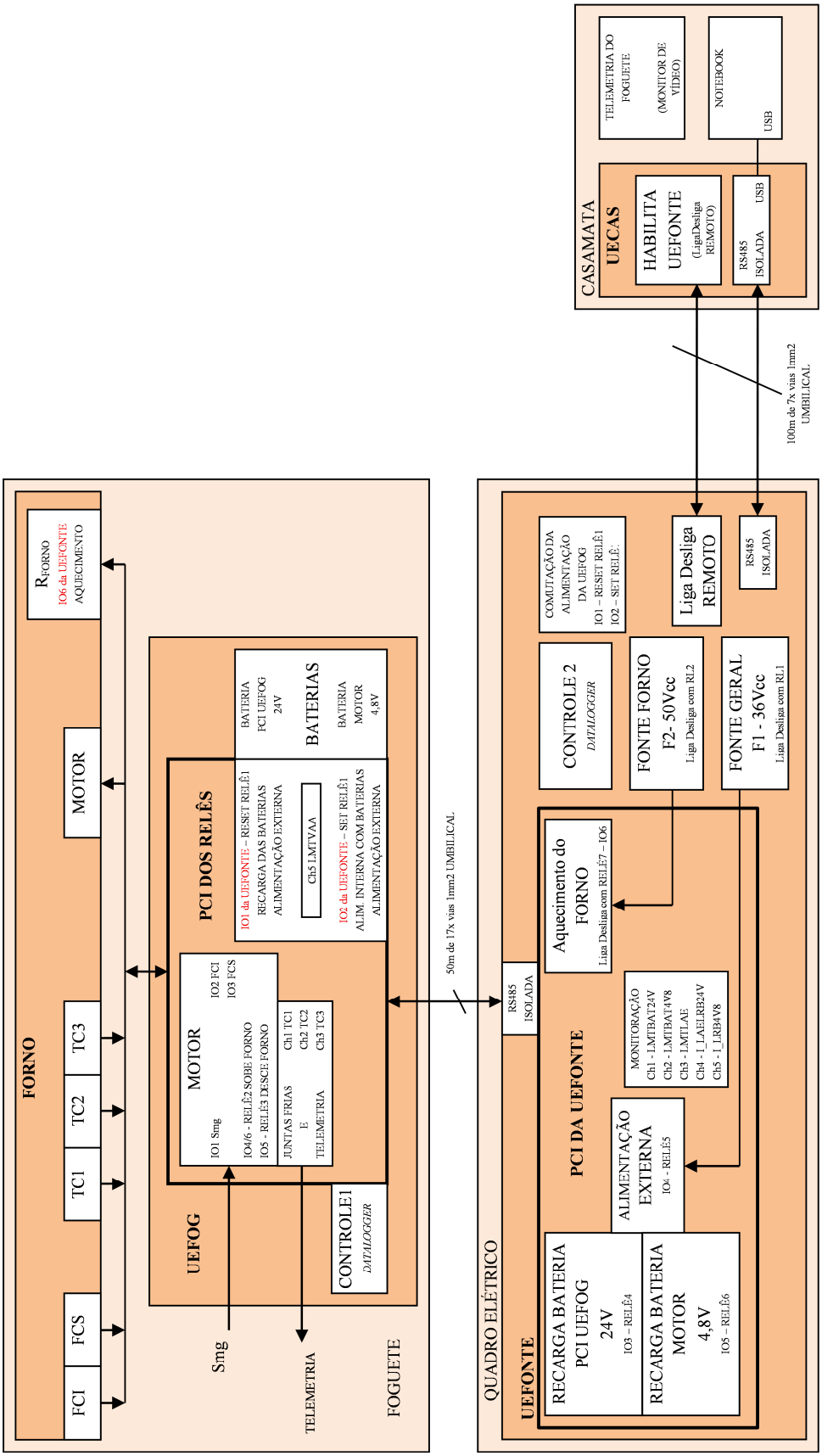
e) JULHO/2014: entrega do projeto final de fabricação, denominado DOC200, para a AEB.

5.1.1. Documento DOC200

O DOC200 teve o objetivo de viabilizar toda a fabricação do sistema, além da formulação de todos os planos necessários à realização do experimento SLEM [10]. O diagrama de blocos do (Apêndice B / Figura B.3) é uma arquitetura física, detalhada e genérica, que baseia o próximo item.

5.2. O diagrama de blocos do projeto final de fabricação do sistema

Figura 5.1 – Diagrama de blocos do projeto final de fabricação do sistema.



Fonte: Produção do autor.

O diagrama de blocos final, já próximo de um circuito elétrico, faz menção a linhas analógicas de entrada (Ch's), linhas digitais de entrada e saída (IO's), entre outros detalhes da arquitetura física final de fabricação do sistema.

Os blocos de controle mostrados no diagrama foram realizados com um equipamento comercial pronto para o uso e escolhido entre algumas opções de solução estudadas, entre elas: Arduíno, BeagleBoneBlack, FieldLogger e Raspiberry [36,45-47].

O texto seguinte detalha a arquitetura física de forma a permitir a sua fabricação. Inicia com os controles utilizados na UEFONTE e UEFOG, depois descreve os circuitos elétricos do FORNO, UECAS, UEFONTE e UEFOG.

5.3. Controle

5.3.1. FieldLogger

Os blocos de CONTROLE1 e CONTROLE2 no diagrama da Figura 5.2 têm a função de monitoração e controle, tanto para a UEFONTE como para a UEFOG. Estes blocos executam a função de *dataloggers*, interfaces analógicas de entrada, digitais de entrada e saída e comunicação digital. Foi buscado no comércio um equipamento comercial que possuísse os recursos citados, fosse utilizável em ambiente industrial e pudesse ser adquirido no mercado nacional. Conforme já citado ao longo do texto, o fabricante do equipamento escolhido foi a empresa Novus, com o modelo de *datalogger* conhecido como FieldLogger (Figura 5.2) [35,36].

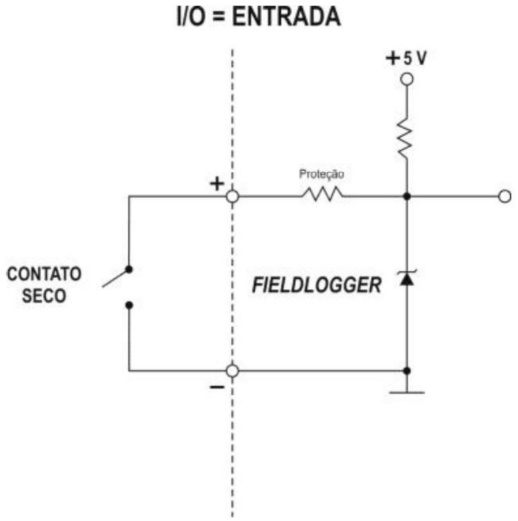
Figura 5.2 - Equipamento modelo FieldLogger, do fabricante Novus.

Fonte: [36].

As entradas analógicas possuem impedância de 1,1 MΩ e são configuradas para aceitar sinais elétricos de tensão com variação entre os limites de 0 e 5V. As Figuras

5.3, 5.4 e 5.5 mostram os circuitos elétricos das entradas e saídas digitais. Também existem dois relés mecânicos que acionam cargas nas condições de 3A@30Vcc ou 3A@250Vcc [36].

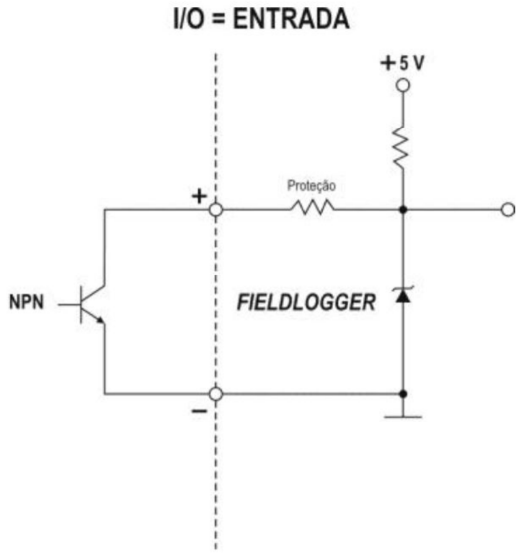
Figura 5.3 - Entrada digital para conexão de contato seco.



Nível lógico “0”: contato fechado; Nível lógico “1”: contato aberto; Máxima tensão de entrada: 30 Vcc; Corrente típica de entrada @ 30 Vcc: 3 mA.

Fonte: [36].

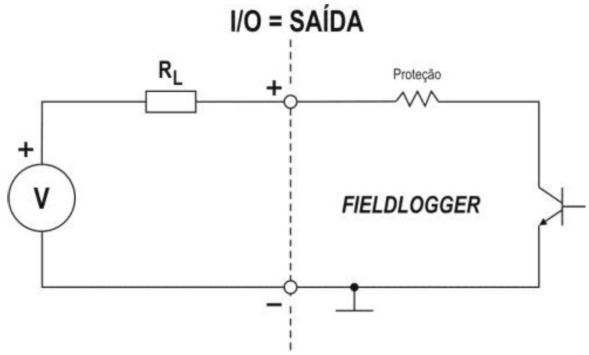
Figura 5.4 - Entrada digital para conexão de transistor NPN com coletor aberto.



Nível lógico “0”: transistor saturado de 0 a 0,8 Vcc; Nível lógico “1”: transistor cortado de 2 a 30 Vcc; Máxima tensão de entrada: 30 Vcc; Corrente típica de entrada @ 30 Vcc: 3 mA.

Fonte: [36].

Figura 5.5 - Saída digital via transistor NPN com coletor aberto.



Máxima tensão na saída: 30 Vcc; Máxima corrente na saída: 200 mA.

Fonte: [36].

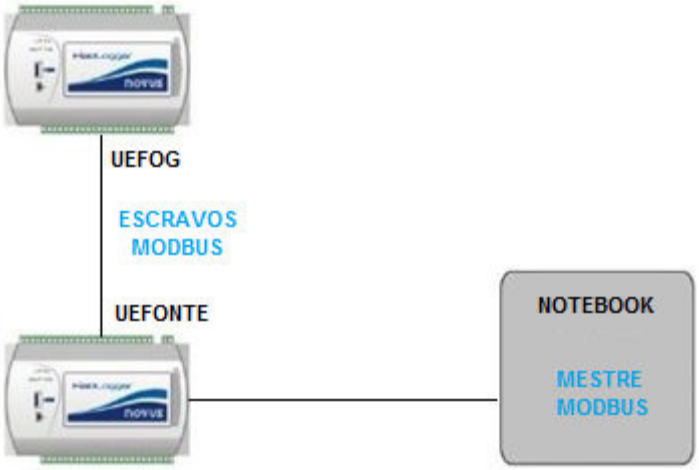
5.3.2. O *notebook* e o programa de monitoração e controle

A ligação entre o *notebook* (via UECAS), UEFONTE e UEFOG forma uma rede digital (Figura 5.6), onde a comunicação no sistema é estabelecida sob o protocolo MODBUS RTU [48,49] e os sinais elétricos seguem o padrão de interface RS485 existente no FieldLogger [36]. A interface pode ser configurada para operar nas velocidades (*baud rates*): 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600 e 115200. O número de *stop bits* pode ser um ou dois e a paridade par, ímpar ou nenhuma. O sistema opera com 9600 *bauds*, 2 *stop bits* e paridade par. O endereço de rede da UEFONTE é 2 e da UEFOG 3. A ligação do *notebook* com a UECAS é realizada através de um conversor isolado RS485, interno da UECAS, que utiliza interface USB. Entre a UEFONTE e a UEFOG a separação é mantida com repetidores RS485 isolados. Os sinais da RS485 são denominados Rx+, Rx- e GND, de forma a normalizar a nomenclatura dos dispositivos comerciais usados. Nos equipamentos RS485 utilizados no sistema fabricado são encontrados os termos:

- Rx+ = DATA+ = D1;
- Rx- = DATA- = D0;
- GND = C.

Na rede formada, os dispositivos FieldLoggers podem assumir o estado de dispositivos escravos em relação ao *notebook* e disponibilizam os valores dos canais para serem acessados pelo mestre da rede, no caso, o *notebook* (Figura 5.6).

Figura 5.6 - Rede MODBUS RS485.

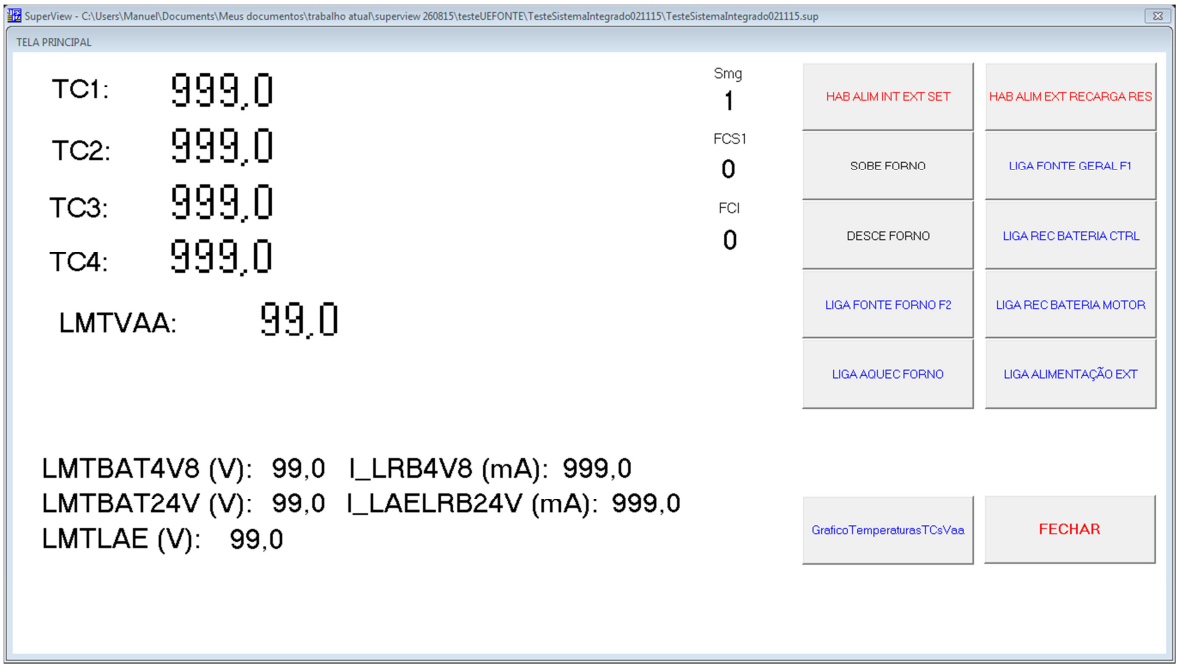


Fonte: Baseado em [36].

O *notebook* recebe as informações dos FieldLoggers e envia comandos de controle ou dados através do programa de monitoração e controle do sistema. O programa Superview, da empresa Novus, foi escolhido para a realização das funções de *software* já apresentadas, para o caso da atuação em solo. O motivo principal da escolha foi o maior grau de integração nativa com o FieldLogger, também da mesma empresa. O Superview está presente nos processos industriais e utiliza um modelo de desenvolvimento visual. Esta forma de programação proporciona uma IHM amigável para o programador e aos usuários [35,36,50-52]. Foram criadas telas com botões, indicadores numéricos e gráficos que representam o ambiente real de operação do lançamento (exemplo na Figura 5.7), com simplicidade de configuração e acesso à informação. Todos os procedimentos de operação e testes dos modelos de engenharia, qualificação e voo, além da aceitação final, envolvem a utilização das interfaces de comando assim construídas.

O programa de monitoração e controle é apresentado no final deste capítulo, no item 5.8, após a descrição de todo o *hardware* desenvolvido para o sistema.

Figura 5.7 – Tela exemplo do programa para a monitoração e controle com botões e indicadores numéricos.



Fonte: Produção do autor.

Conforme já apresentado, a função *datalogger* do FieldLogger traz a capacidade de armazenar 512 mil informações em 2MBytes de memória interna. Para ilustração, a quantidade de memória pode ser expandida, se necessário, e no caso do uso padrão de um cartão SD de 4GBytes é estimado em torno de um bilhão de informações armazenadas. Isto é bom, mas implica em tempos muito grandes de coleta da informação armazenada, então, mesmo no caso de “apenas” 512 mil informações, não serão realizadas coletas e apagamento durante a operação de lançamento.

O registro ocorre de modo independente na UEFOG e na UEFONTE, a visualização no *notebook* pode acontecer em tempo real, antes do lançamento, ou após a coleta total. Considerando as monitorações propostas até o momento:

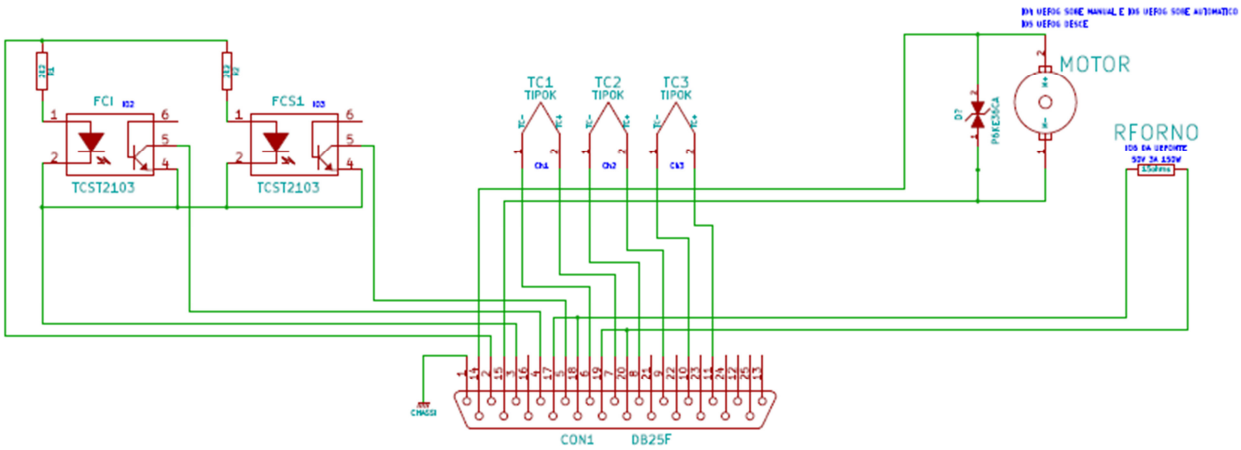
a) a capacidade de registro da UEFOG é igual as 512.000 informações divididas pelas 7 monitorações, dividido por 3600s e resulta em 20h no mínimo;

b) a capacidade de registro da UEFONTE é igual as 512.000 informações divididas pelas 5 monitorações, dividido por 3600s e resulta em 28h no mínimo.

5.4. Forno

O circuito elétrico do forno (Apêndice C / Figura C.3) é composto das seguintes partes: circuito do fim de curso, termopares da medição da temperatura, o motor elétrico do movimento e a resistência do aquecimento (Figura 5.8).

Figura 5.8 – Circuito elétrico do forno.



Fonte: Produção do autor.

5.4.1. Circuito do Fim de Curso

O FCI e FCS (respectivamente, Fim de Curso Inferior e Superior) são as partes do circuito elétrico que cuidam da verificação do fim de curso do movimento do forno. São utilizados acopladores ópticos [38] com os transistores NPN em coletor aberto e, assim, trabalhando em corte, ou saturação, são ligados diretamente as entradas digitais IO2 e IO3 do CONTROLE1 da UEFOG (Tabela 5.1).

Tabela 5.1 – Tabela da monitoração dos fins de curso.

ESTADO FC	TRANSISTOR	CONDIÇÃO ELÉTRICA	CONTROLE1 IO2 OU IO3
ACIONADO	CORTADO	ABERTO	1
NÃO ACIONADO	SATURADO	CURTO	0

Fonte – produção do autor.

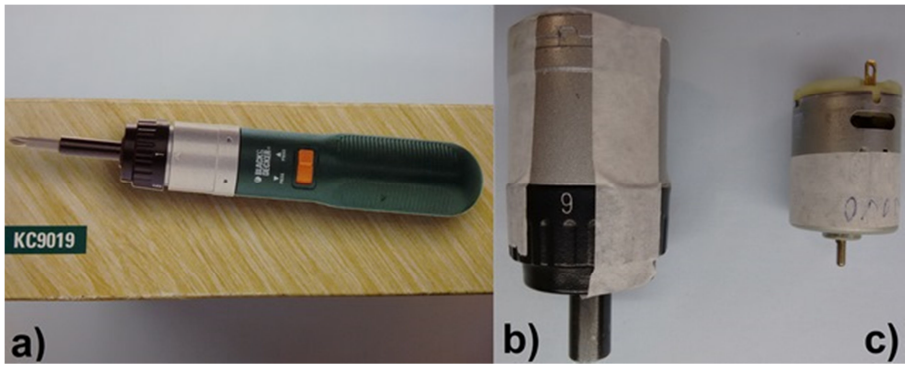
5.4.2. Termopares

Os sensores da medição de temperatura são termopares tipo K. São utilizados três dispositivos (TC1, TC2 e TC3), que geram tensões de aproximadamente 40μV/°C [34].

5.4.3. Motor

É utilizado um pequeno motor de corrente contínua, de menos de 10W de potência nominal. Este é um motor que, originalmente, é uma parte da aparafusadeira BLACK&DECKER KC9019 (Figura 5.9) e vem sendo utilizado nos fornos desenvolvidos no LAS. Verificou-se, através do protótipo do forno, que o motor trabalha com corrente nominal máxima de 1,7A na situação de esforço máximo (subida do forno, em solo) e corrente de pico máxima de 3,5A com o eixo travado, sempre com tensão nominal de 4,8Vcc. Em paralelo com o motor foi colocado o dispositivo de proteção de sobre tensão P6KE36CA, que visa minimizar as sobre tensões geradas durante o funcionamento [53]. Além do motor, esse dispositivo eletrônico de proteção é utilizado para minimizar as sobre tensões das aplicações com relés [41,42].

Figura 5.9 – a) Aparafusadeira BLACK&DECKER KC9019; b) redutor e c) motor.

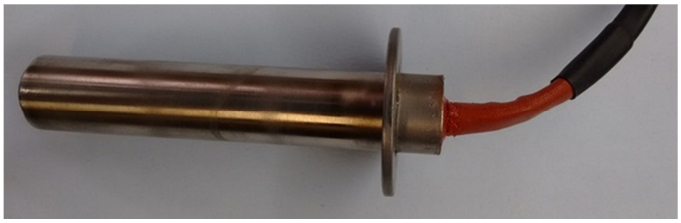


Fonte: Produção do autor.

5.4.4. Resistência do forno

A resistência do forno (Figura 5.10) possui um enrolamento de 15Ω e foi fabricada sob encomenda [54] para trabalhar com 150W de potência. Após os testes já citados, foi definido que a alimentação fosse realizada com a tensão de 50V e corrente de 3A, visando a funcionalidade e mantendo a segurança. Esta resistência leva o forno a uma temperatura máxima aproximada de 330ºC em uma situação de defeito do sistema.

Figura 5.10 – Resistência do forno.

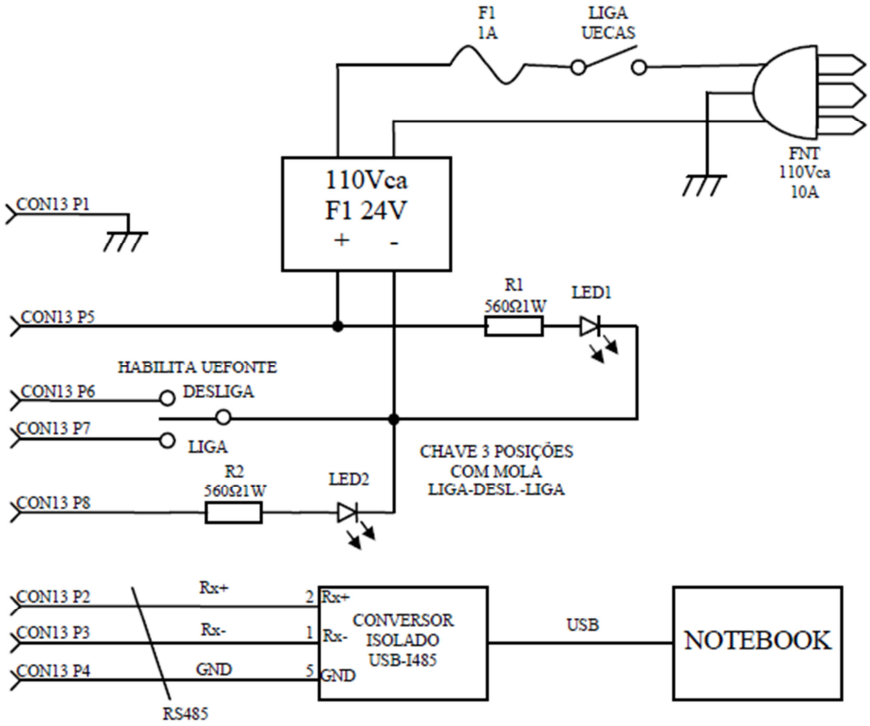


Fonte: Produção do autor.

5.5. UECAS (Unidade Eletrônica da Casamata)

O circuito elétrico da UECAS (Apêndice C / Figura C.4) é composto das seguintes partes: chave liga/desliga, circuito da chave HABILITA/DESABILITA da UEFONTE e conversor USB-RS485 (Figura 5.11).

Figura 5.11 – Circuito elétrico da UECAS.

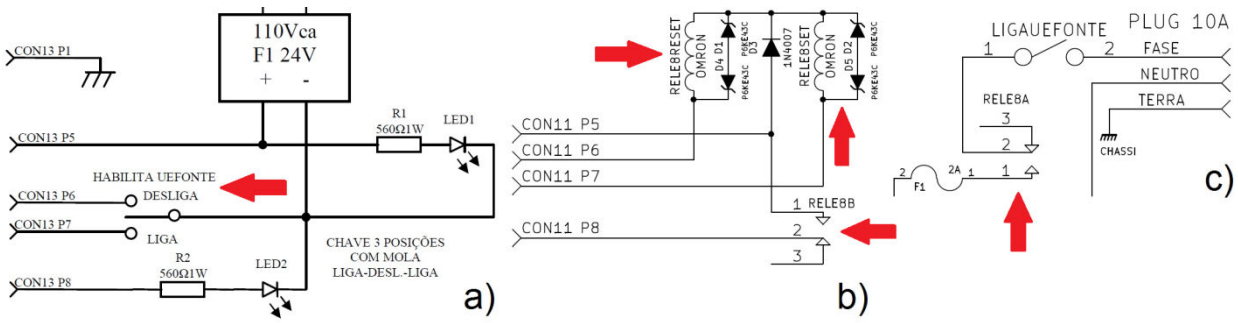


Fonte: Produção do autor.

5.5.1. Chave HABILITA UEFONTE

A chave HABILITA UEFONTE possui três posições, liga/desliga/liga (Figura 5.12a), e controla um relé com função *latch*, que possui duas bobinas e dois contatos reversíveis [55]. A característica *latch* significa que o relé mantém o estado dos contatos, mesmo sem alimentação. O relé pode ser comutado entre dois estados. No estado HABILITA o contato RELÉ8A energiza a UEFONTE e o RELÉ8B liga a indicação visual desta energização na UECAS (Figuras 5.12b e c). No estado DESABILITA a UEFONTE é desenergizada e a indicação visual desligada. O comando elétrico ocorre por um circuito exclusivo do umbilical entre a casamata e o quadro elétrico e sua função principal é assegurar que o subsistema no foguete seja desenergizado fisicamente e, assim, garanta a segurança dos trabalhos de preparação do lançamento do foguete. A ação dessa chave é prioritária sobre qualquer comando de programa.

Figura 5.12 – Circuito do comando remoto entre a UECAS e a UEFONTE.



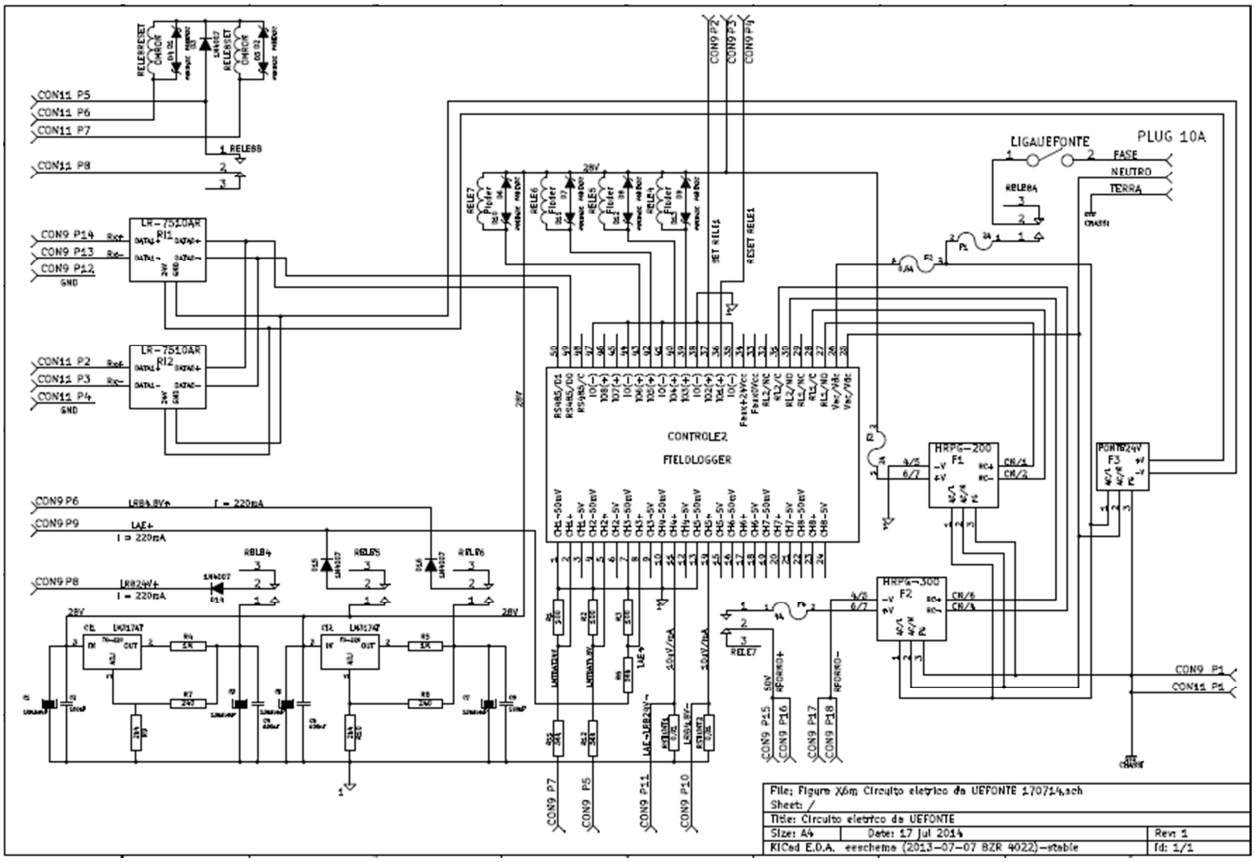
a) Parte do circuito na UECAS; b) retorno visual e energização na UEFONTE e; c) energização na UEFONTE.

Fonte: Produção do autor.

5.6. UEFONTE (Unidade Eletrônica Fonte)

O circuito elétrico da UEFONTE (Apêndice C / Figura C.5) é composto das seguintes partes: fonte de alimentação, chave do comando remoto da UEFONTE, aquecimento do forno, comutação entre recarga e alimentação interna, recarregadores das baterias, alimentação externa e monitorações (Figura 5.13).

Figura 5.13 – Circuito elétrico da UEFONTE.



Fonte: Produção do autor.

5.6.1. Fonte de alimentação

A energia necessária ao funcionamento dos circuitos da UEFOG é retirada de duas fontes de alimentação com tensões ajustáveis existentes na UEFONTE, a fonte F1 de 36V±10%, e a fonte F2 de 48V±10% [44]. São fontes com grande margem de segurança para trabalhar na aplicação e na temperatura esperada dentro do ambiente do quadro elétrico (acima dos 40°C). A fonte de 36V fornece 5,7 A (2,3 A em 70°C) e a de 48 V fornece 7A (3,5 A em 70°C).

A recarga das baterias e a alimentação externa dos diversos circuitos são providos pela fonte de 36V. O aquecimento do forno utiliza a energia da fonte de 48V com o valor de saída ajustado para 50V. As duas possuem o comando remoto para ligar e desligar através de um contato de relé, recurso que é comandado pelo CONTROLE2. A fonte F1 de 36V obedece o acionamento da saída RL1 e a fonte F2 de 48V obedece o RL2, ambos relés internos do CONTROLE2 (Tabela 5.2).

Tabela 5.2 – Tabela do controle das fontes da UEFONTE.

	CONTROLE2 - RL	FONTE
RL1	ACIONADO	LIGA F1
	NÃO ACIONADO	DESLIGA F1
RL2	ACIONADO	LIGA F2
	NÃO ACIONADO	DESLIGA F2

Fonte – produção do autor.

A necessidade de energia do forno é maior, sendo este alimentado por cabos de 1mm2 do cordão umbilical. A fonte de 48V foi alocada no quadro elétrico para reduzir a influência da queda de tensão. Na distância de 50m, conforme a informação do IAE datada de 21/11/2013, a queda de tensão esperada neste trecho é menor que 2,7V e já considerando a utilização de dois pares de fios para a alimentação da resistência do forno. A solução demanda quatro vias de 1mm2 do umbilical. O valor ajustado na fonte pode aumentar até 55V, caso seja necessário compensar uma perda remanescente.

5.6.2. Chave LIGA UEFONTE

A energização dos circuitos da UEFONTE é comandada pela chave LIGA UEFONTE em seu painel frontal, mas “o ligar” somente é efetivado se a UECAS também habilitou a ação. Existe o retorno visual da situação UEFONTE energizada no painel da UECAS. O comando elétrico ocorre por um circuito exclusivo do umbilical entre a casamata e o quadro elétrico. O RELÉ8 na UEFONTE é um dispositivo do tipo *latch*, ele liga e desliga

a entrada de energia da rede elétrica na UEFONTE e retorna o fechamento de um contato sinalizando esta energização da UEFONTE, conforme descrito no item 5.5.1. A ação dessa chave é prioritária sobre qualquer comando de programa.

5.6.3. Aquecimento do FORNO

O RELÉ7 [56] liga/desliga a alimentação da resistência de aquecimento do forno sob o acionamento da saída digital IO6 do CONTROLE2 (Tabela 5.3). Com este recurso é possível criar no programa um controlador de temperatura *on/off*.

Tabela 5.3 – Tabela do controle de aquecimento do forno.

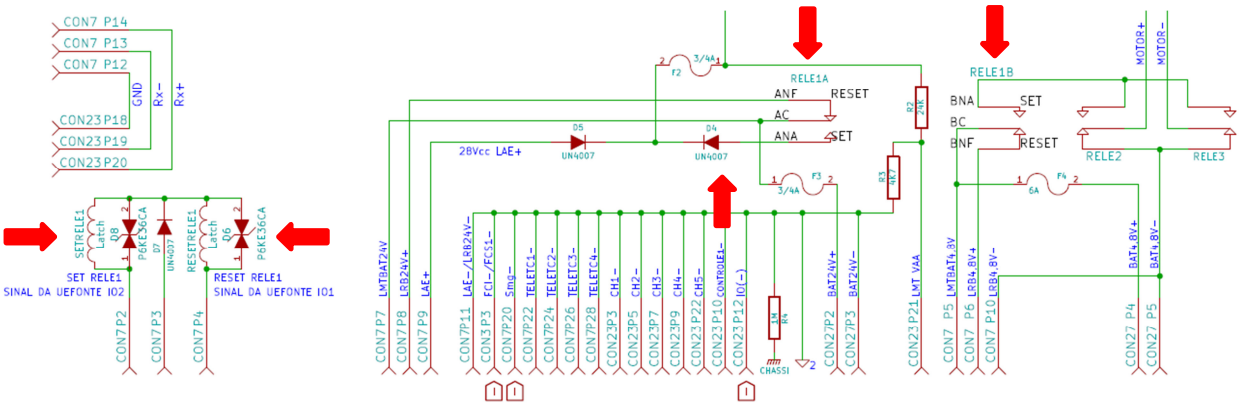
	CONTROLE2 – IO6	RELÉ7	AQUECIMENTO
IO6	ACIONADA	LIGADO	ACIONADO
	NÃO ACIONADA	DESLIGADO	NÃO ACIONADO

Fonte – produção do autor.

5.6.4. Comutação entre os modos de recarga e alimentação interna da UEFOG

A comutação entre o modo de recarga das baterias e o modo de alimentação interna, por baterias, da UEFOG é realizada pelo RELÉ1. Este relé está localizado na UEFOG, mas é comandado pelo CONTROLE2 da UEFONTE. Por ser um componente com partes mecânicas, necessariamente, foi utilizado um dispositivo com qualificação para voo [57]. Este é um relé do tipo *latch* com duas bobinas (SET RELÉ1 e *RESET* RELÉ1) e dois contatos (RELÉ1A e RELÉ1B). A característica *latch* significa que o relé muda a posição dos contatos e mantém, mesmo sem alimentação. A bobina *SET* RELÉ1 aciona o estado *LATCH* dos dois contatos e a bobina *RESET* RELÉ1 aciona o estado *RESET*, também dos dois contatos. As duas bobinas podem estar desligadas juntas, mas não ligadas simultaneamente. O RELÉ1 é acionado através das saídas digitais IO1 e IO2 do CONTROLE2, respectivamente, responsáveis por habilitar a recarga (*RESET* RELÉ1) ou a alimentação interna (*SET* RELÉ1) (Figura 5.14 e Tabela 5.4). A alimentação interna, por baterias, da UEFOG depende da habilitação com *SET* RELÉ1, mas também é necessário que a alimentação externa não esteja ligada, pois o diodo D4 na UEFOG bloqueia a atuação da tensão menor, que no caso é a alimentação interna (baterias).

Figura 5.14 – Parte do circuito de comutação e diodo D4 na UEFOG.



Fonte: Produção do autor.

Tabela 5.4 – Tabela do controle da recarga e comutação.

	CONTROLE2 - IO	RELÉ1	HABILITA
IO1	ACIONADO	LIGA *RESET* RELÉ1	RECARGA DAS BATERIAS
	NÃO ACIONADO	POSIÇÃO ANTERIOR RELÉ1	SITUAÇÃO ANTERIOR
IO2	ACIONADO	LIGA *SET* RELÉ1	ALIMENTAÇÃO INTERNA
	NÃO ACIONADO	POSIÇÃO ANTERIOR RELÉ1	SITUAÇÃO ANTERIOR

Fonte – produção do autor.

5.6.5. Recarregadores das baterias

Após a habilitação com o RELÉ1, a recarga pode ser ligada através dos relés 4 e 6. Os recarregadores operam com carga lenta e independentemente, um para a bateria de 4,8V e o outro para a bateria de 24V. O recarregador de 24V é ligado pelo acionamento do RELÉ4, pela saída digital IO3, do CONTROLE2. O recarregador de 4,8V é ligado pelo acionamento do RELÉ6, pela saída digital IO5, do CONTROLE2 (Tabela 5.5).

Tabela 5.5 – Tabela do controle dos recarregadores.

	CONTROLE2 - IO	RELÉ	RECARREGADOR
IO3	ACIONADO	LIGA RELÉ4	RECARGA DAS BATERIAS 24V
	NÃO ACIONADO	RELÉ4 DESLIGADO	CARREGADOR DESLIGADO
IO5	ACIONADO	LIGA RELÉ6	RECARGA DAS BATERIAS 4,8V
	NÃO ACIONADO	RELÉ6 DESLIGADO	CARREGADOR DESLIGADO

Fonte – produção do autor.

5.6.6. Alimentação externa e monitorações

A parte principal dos circuitos da alimentação externa encontra-se na UEFONTE e pode ser acionado através da saída digital IO4 do CONTROLE2 que liga/desliga o RELÉ5 (Tabela 5.6).

Tabela 5.6 – Tabela do controle da alimentação externa.

	CONTROLE2 – IO4	RELÉ	ALIMENTAÇÃO EXTERNA
IO4	ACIONADO	LIGA RELÉ5	ACIONADA
	NÃO ACIONADO	RELÉ5 DESLIGADO	NÃO ACIONADA

Fonte – produção do autor.

As tensões das baterias (LMTBAT24V e LMTBAT4,8V) e da alimentação externa (LMTLAE) podem ser sempre monitoradas na operação de solo pelo CONTROLE2. Também são monitoradas as correntes (através dos resistores R_{SHUNT1} e R_{SHUNT2}) de recarga e da alimentação externa (Tabela 5.7).

Tabela 5.7 – Tabela da monitoração das tensões e correntes na UEFONTE.

NOME NO SISTEMA	OBS.	VARIAÇÃO ESPERADA	LIMITES ESTIMADOS	CONTROLE2	CONTROLE2 LIMITES DE TENSÃO
LMTBAT24V	18bateriasx1,5V=27V	0 – 27V	0 – 30,5V	Ch1	0 – 5V
LMTBAT4V8	4bateriasx1,5V=6V	0 – 6V	0 – 6,5(9)V	Ch2	0 – 5V
LMTLAE	Fonte F1 = 36V±3,6V	32,4 – 39,6V	0 – 43,2(9)V	Ch3	0 – 5V
I_LAELRB24V	0 – 300mA	R_{SHUNT1}=1Ω	0 – 5000mA	Ch4	0 – 5V
I_LRB4V8	0 – 3,5A	R_{SHUNT2}=1Ω	0 – 5000mA	Ch5	0 – 5V

Fonte – produção do autor.

5.7. UEFOG (Unidade Eletrônica do Foguete)

A Figura 5.15 mostra a concepção mecânica da UEFOG com três módulos empilháveis. O Apêndice B mostra uma parcela dos desenhos do projeto mecânico detalhado da caixa da UEFOG. O módulo superior é o módulo do CONTROLE1, o do meio é o módulo da PCI DOS RELÉS e o inferior é o módulo das BATERIAS (Apêndice C / Figuras C.6, C.7, C.8 e C.9). Toda a interligação com o sistema é realizada a partir do módulo do meio.

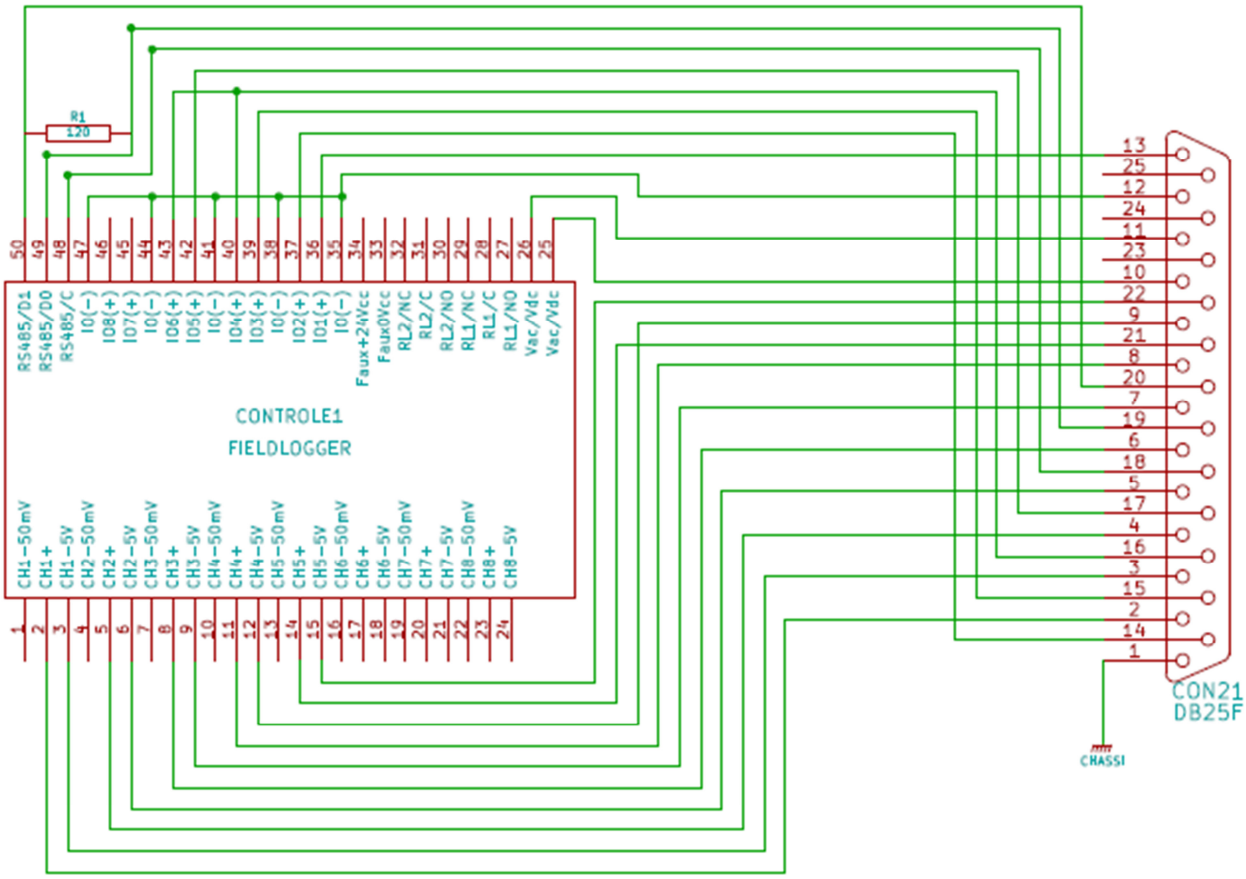
Figura 5.15 - Concepção mecânica da caixa da UEFOG.

Fonte: Adaptado de [58].

5.7.1. Módulo de controle

O módulo CONTROLE1 (Apêndice C / Figura C.6) cuida de toda a monitoração e controle dos sinais analógicos e digitais da UEFOG (Figura 5.16). Dois sinais são monitorados com um pequeno condicionamento eletrônico, as entradas digitais IO2 do FCI e IO3 do FCS (Tabela 5.1 no item 5.4.1).

Figura 5.16 – Circuito elétrico do módulo de CONTROLE1.

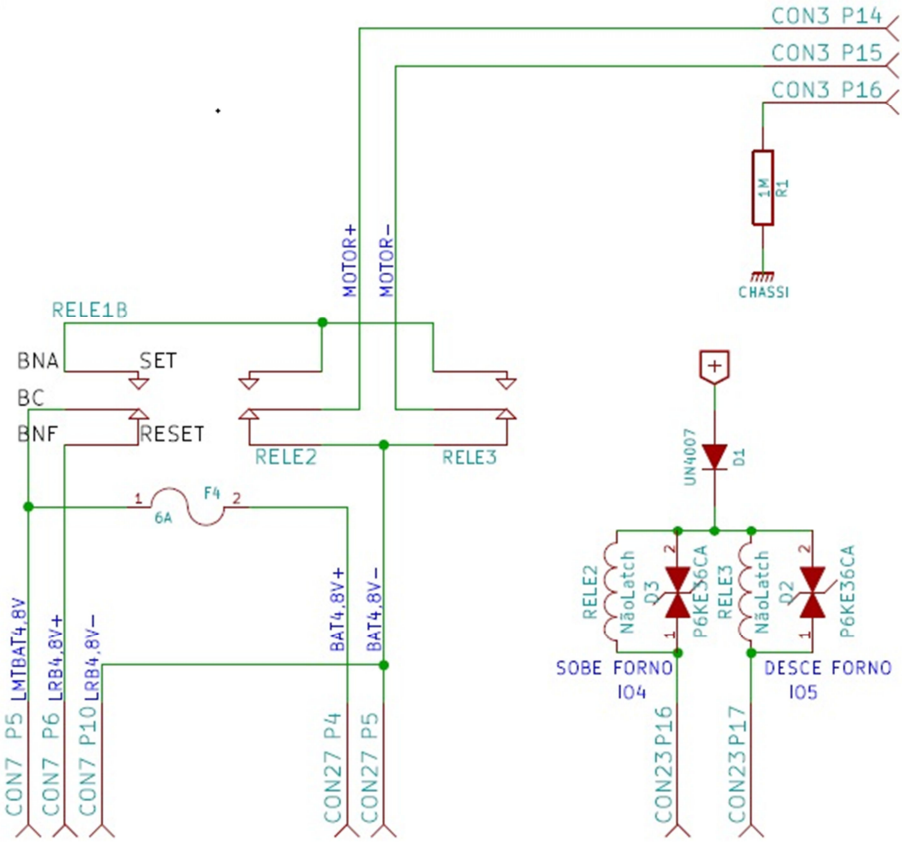


Fonte: Produção do autor.

5.7.2. Movimento do forno

Os relés RELÉ2 e RELÉ3 [59] ligam/desligam o motor, respectivamente, em sentido direto e reverso. O motor não aciona quando são ligados os dois relés. O CONTROLE1 aciona o RELÉ2 (SOBE FORNO) pelas saídas digitais IO4 e IO6 do CONTROLE1 e aciona o RELÉ3 (DESCE FORNO) pela saída digital IO5, também do CONTROLE1 (Apêndice C / Figura C.7) (Figura 5.17) (Tabela 5.8). As saídas IO4 e IO5 acionam o movimento manual do forno e a saída IO6 movimenta o forno automaticamente. A subida automática do forno ocorre com o fechamento do contato seco Smg, que é monitorado diretamente pela entrada digital IO1 do CONTROLE1 (Tabela 5.9). Através do programa de monitoração e controle existe a interação com o fim de curso superior e inferior, conforme visto no item 5.4.1. O fim de curso é sempre considerado no movimento automático de subida do forno e pode ser desabilitado no movimento manual. Também, só é possível movimentar o forno com a utilização da bateria do motor, isto determina que para desabilitar o Smg basta comutar o modo de alimentação para externo. Com o Smg desabilitado, podem-se realizar testes sem a movimentação automática do forno.

Figura 5.17 – Circuito elétrico do movimento do motor.



Fonte: Produção do autor.

Tabela 5.8 – Tabela do controle do movimento do forno.

	CONTROLE1 - IO	RELÉ	MOVIMENTO
IO4 e IO6	ACIONADO	LIGA RELÉ2	SOBE O FORNO
	NÃO ACIONADO	RELÉ2 DESLIGADO	SUBIDA DESLIGADA
IO5	ACIONADO	LIGA RELÉ3	DESCE O FORNO
	NÃO ACIONADO	RELÉ3 DESLIGADO	DESCIDA DESLIGADA
IO4/5/6	ACIONADOS	RELÉS LIGADOS	NÃO MOVIMENTA

Fonte – produção do autor.

Tabela 5.9 – Tabela da monitoração do Smg.

ESTADO Smg	CONDIÇÃO ELÉTRICA	CONTROLE1 IO1
ACIONADO	CURTO	0
NÃO ACIONADO	ABERTO	1

Fonte – produção do autor.

5.7.3. Alimentação (Externa / Interna / Recarga das Baterias)

A alimentação interna pelas baterias, na operação de solo, depende do chaveamento do RELÉ1 para a situação de alimentação interna e o desligamento da alimentação externa com o RELÉ5. Isto também ocorre se o RELÉ5 permanecer ligado e a bateria de 24V tiver carga suficiente para bloquear o diodo D4. Na operação de voo o RELÉ1 decola configurado para a alimentação interna, com a alimentação externa desligada. A tensão da alimentação da UEFOG pode ser monitorada em solo e voo pelo CONTROLE1, através da entrada analógica Ch5, que é o valor LMTVAA (Tabela 5.10).

Tabela 5.10 – Tabela da monitoração da tensão de alimentação da UEFOG.

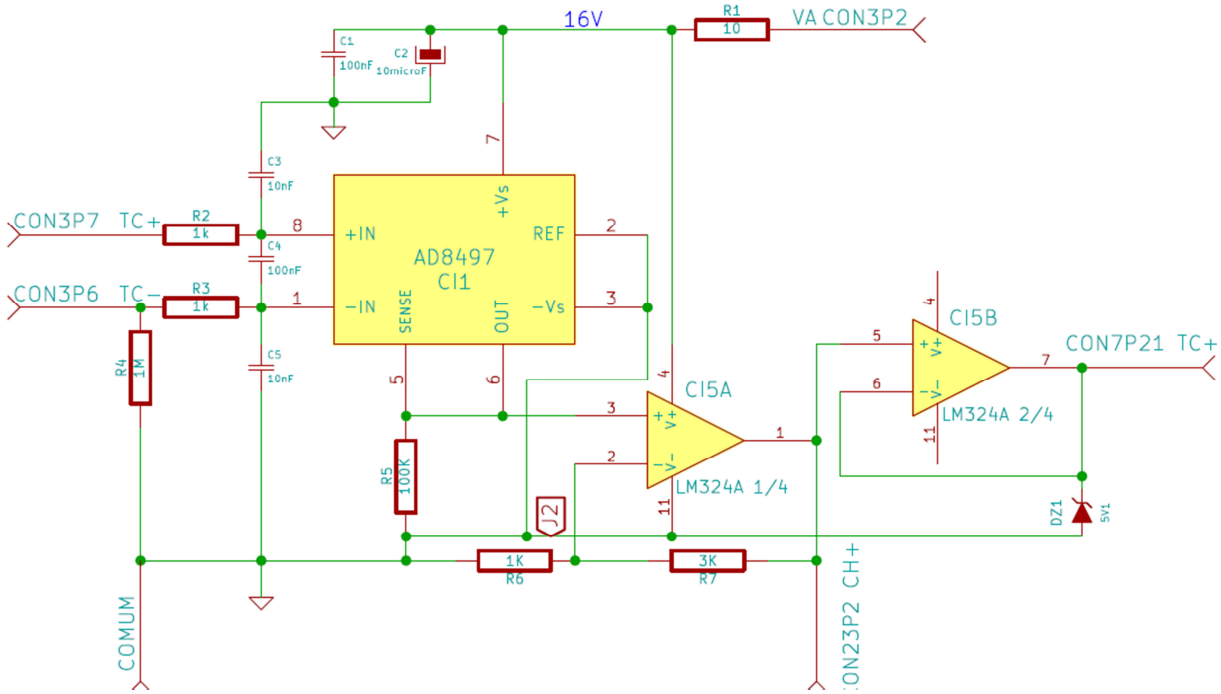
NOME NO SISTEMA	OBS.	VARIAÇÃO ESPERADA	LIMITES ESTIMADOS	CONTROLE1	CONTROLE1 LIMITES DE TENSÃO
LMTVAA	18bateriasx1,5V=27V 0 – 30,532V	0 – 30,532V	0 – 30,5V	Ch5	0 – 5V

Fonte – produção do autor.

5.7.4. Juntas frias e telemetria

Os sensores de temperatura TC1, TC2 e TC3 são utilizados para monitorar as temperaturas das amostras e fechar a malha de controle do aquecimento com TC3. Os sinais da ordem de 7 mV (termopares tipo K e 180°C) precisaram de amplificação e correção em relação às variações da temperatura ambiente (Apêndice C / Figura C.8) (Figura 5.18). A correção das variações devido a temperatura ambiente é compensada por juntas frias eletrônicas realizadas com o CI AD8497 da Analog Devices [60]. Após a amplificação da junta fria, somada a do primeiro amplificador operacional (CI5A), a variação do sinal elétrico devido à variação da temperatura ocorre entre 0 e 5 V. As entradas analógicas do CONTROLE1 já podem ser alimentadas, pois devem ser programadas para a faixa de 0 a 5V e ao entrar no CONTROLE1, torna-se possível o registro no *datalogger* interno e o trânsito na rede de comunicação. Os sinais ainda passam por buffers isoladores (CI5B) para abaixar a impedância de saída e poder alimentar a telemetria (0-5 V) do foguete, mesmo que sejam entradas de baixa impedância. Também existem proteções de sobretensão nas saídas das telemetrias (zeners de 5,1V) para evitar que um defeito nos amplificadores operacionais eleve as tensões a níveis maiores que 5 V e danifique os canais de telemetria do foguete.

Figura 5.18 – Circuito elétrico de parte da junta fria e telemetria.



Fonte – produção do autor.

Tabela 5.11 – Canais analógicos de entrada na UEFOG.

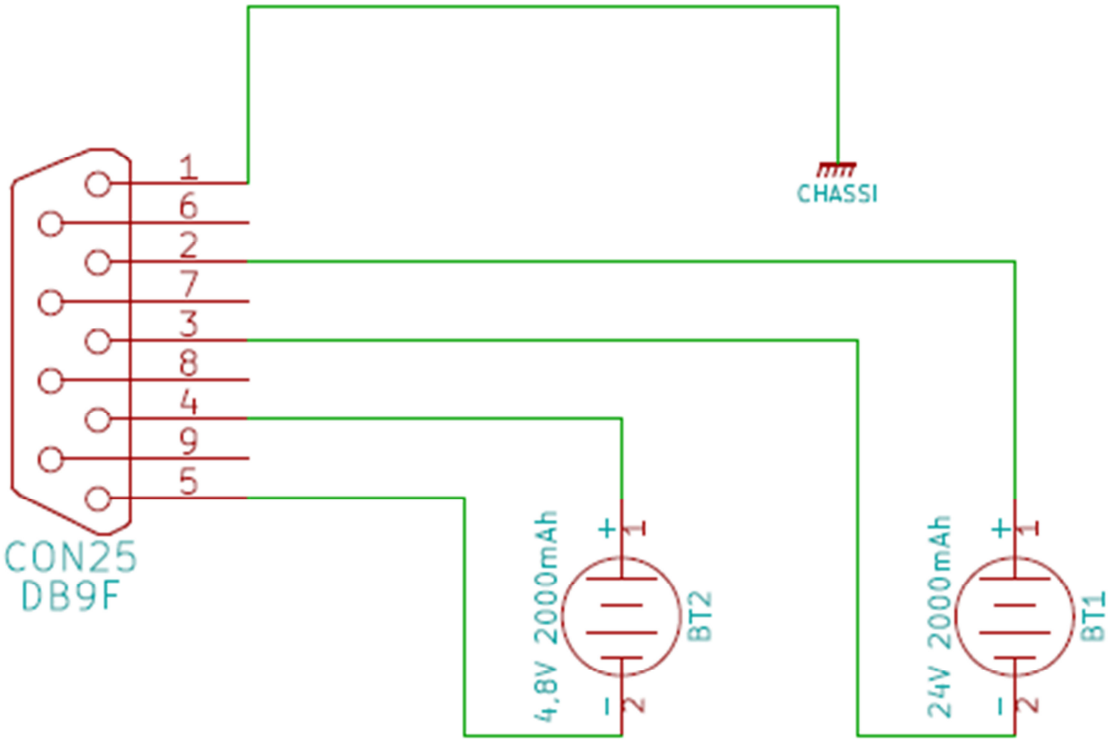
NOME NO SISTEMA	VARIAÇÃO ESPERADA	CONTROLE1	VARIAÇÃO ACEITA DE TENSÃO
TC1	40µV/°C	Ch1	0 – 5V
TC2	40µV/°C	Ch2	0 – 5V
TC3	40µV/°C	Ch3	0 – 5V

Fonte – produção do autor.

5.7.5. Baterias

As baterias (Apêndice C / Figura C.9) (Figura 5.19) são de Ni-Mh, tamanho AA, associadas em série e 2200mAh. A corrente utilizada na recarga é menor que 300mA para que seja realizada uma carga lenta noturna. O motivo da separação das baterias é a discrepância dos valores das correntes utilizadas pelos circuitos eletrônicos da UEFOG (120mA) e do motor (1,7A), os problemas decorrentes da recarga, a perda de energia na opção por abaixadores de tensão e a minimização da influência dos ruídos do motor com duas baterias.

Figura 5.19 – Circuito elétrico do módulo das baterias.



Fonte – produção do autor.

5.8. Programas para a monitoração e controle do sistema

A programação realizada considera todos os elementos de *hardware* desenvolvidos entre os itens 5.2 e 5.7.5. São utilizados dois programas comerciais na operação do sistema:

a) o programa tipo supervisório Superview [50-52], que monitora e controla todo o sistema em solo e;
b) o programa configurador que acompanha o FieldLogger e que parametriza o funcionamento destes equipamentos em solo e voo [36].

No item 4.3.2 foram listadas funções básicas e desenvolvidos onze procedimentos para a realização da programação da monitoração e controle necessária à operação do sistema. No texto seguinte são mostrados dois exemplos de procedimentos, um que utiliza o Superview e o outro que utiliza o configurador do FieldLogger.

5.8.1. Exemplo de programação no Superview

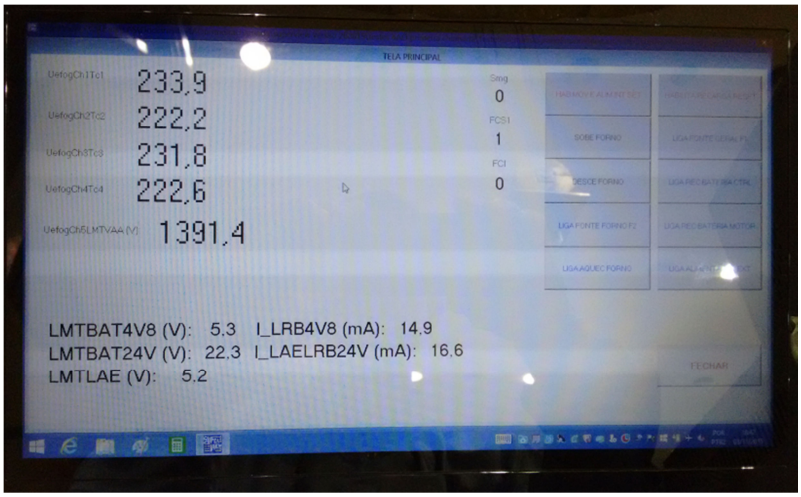
O texto seguinte mostra o procedimento do AQUECIMENTO do forno do sistema (Tabela 5.12) e três exemplos de telas do configurador do FieldLogger nas figuras seguintes.

Tabela 5.12 – Procedimento para ligar a ALIMENTAÇÃO EXTERNA da UEFOG.

	Procedimento para desligar a ALIMENTAÇÃO EXTERNA da UEFOG
Ação:	Atua na UEFOG e UEFONTE. Desliga a alimentação externa da UEFOG.
ITEM	DESCRIÇÃO
1	Desliga a função ALIMENTAÇÃO EXTERNA.

Fonte – produção do autor.

Figura 5.20 – Foto da tela inicial do programa Superview.



Fonte: Baseado no programa Superview [50,51].

Na Figura 5.21 são mostrados quatro recortes de uma sequência do procedimento de ligar a alimentação externa, seguindo a ordem das figuras (a, b, c e d):

a) tela inicial do procedimento, pelos botões não se sabe o estado da alimentação interna, no entanto pode-se saber qual alimentação está atuando, se a interna ou externa, por outras indicações da tela (tensão LMTVAA e outros sinais);
b) a ALIMENTAÇÃO EXTERNA é ligada;
c) na Figura 5.21c, caso a alimentação interna esteja ligada, ela é desligada;
d) repete-se o toque no botão (DE MAIS UM TOQUE) para deixá-lo em posição normal;
e) a alimentação externa permanece ligada na Figura 5.21d e a alimentação interna está, com certeza, desligada.

Figura 5.21 – Sequência de telas do procedimento de ligar a ALIMENTAÇÃO EXTERNA.

a) Tela incial; b) liga ALIMENTAÇÃO EXTERNA; c) DESL. ALIM. INTERNA e; d) ALIMENTAÇÃO EXTERNA ligada.

Fonte: Baseado no programa Superview [50,51].

5.8.2. Exemplo de programação no configurador do FieldLogger

O texto seguinte mostra o procedimento do INÍCIO DOS REGISTROS do sistema (Tabela 5.13) e três exemplos de telas do configurador do FieldLogger nas figuras seguintes.

Tabela 5.13 – Procedimento do INÍCIO DOS REGISTROS do sistema.

	Procedimento do INÍCIO DOS REGISTROS
Ação:	Atua na UEFOG e UEFONTE. Inicia o registro de um bloco de aquisições com intervalo de 1 segundo. O registro ocorre na UEFOG e/ou na UEFONTE. Utiliza o *software* configurador do FieldLogger [36]. Antes da execução deste procedimento é recomendável a realização de uma coleta, pois pode ocorrer a perda de informação.
ITEM	DESCRIÇÃO
1	Carregar o *software* configurador do FieldLogger no *notebook*. Escolher a opção CONFIGURAÇÃO e avançar até a tela dos registros.
2	Verificar as informações registradas: a UEFOG registra 7 monitorações diferentes, as temperaturas TC1, TC2 e TC3, o acionamento dos sinais Smg, FCS e FCI, além da tensão de alimentação da UEFOG (LMTVAA).
3	Verificar o intervalo de tempo entre registros (1 segundo).
4	Verificar se o início e término de registros via MODBUS estão selecionados.
5	Configurar o início imediato dos registros.
6	Enviar a nova configuração.

Fonte – produção do autor.

Figura 5.22 – Tela inicial do programa configurador do FieldLogger.

Fonte: Baseado no programa configurador do FieldLogger [36].

Figura 5.23– Tela dos parâmetros de registro da UEFOG.

Fonte: Baseado no programa configurador do FieldLogger [36].

Figura 5.24 - Tela dos parâmetros de registro da UEFONTE.

Fonte: Baseado no programa configurador do FieldLogger [36].

6 FABRICAÇÃO DO SISTEMA

6.1. Eventos de controle do projeto

a) 16/02/2015: realização de um seminário para apresentação do projeto final de fabricação e do embrião da proposta desta dissertação, com resultados positivos na melhoria do projeto já em execução no LAS/INPE;

b) 25/03/2015: realizada através de reunião no IAE, na qual ficou definido:-

- o IAE precisa que o experimento seja entregue no mínimo nove meses antes do lançamento;
- que nas condições da cablagem existente no CLA, a comunicação digital sustenta a taxa de 9600bauds sem problemas;
- a melhoria dos diagramas de origem/destino dos conectores e uma definição mais clara das responsabilidades do IAE e experimentador quanto à cablagem.

6.2. Plano de montagem geral

O sistema foi desenvolvido com o conceito de *protoflight* [24]. O mesmo equipamento, montado ao longo das fases iniciais de engenharia, passa por todas as etapas do desenvolvimento, correções e melhorias, para ser qualificado e, também, deve passar pela aceitação de voo junto ao IAE/DCTA. O sistema desenvolvido está sendo reproduzido e, assim, o experimento SLEM trabalhará com dois conjuntos idênticos de equipamentos. A existência de um segundo conjunto de equipamentos facilita a manutenção corretiva emergencial em razão da modularidade das partes.

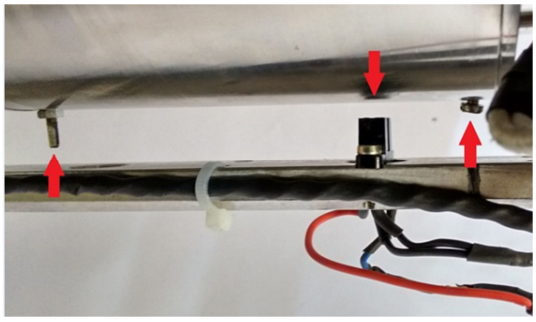
Nas interligações entre as partes do sistema são usados conectores modelo DB para solda. Os conectores DB são fêmeas nas caixas e machos nos cabos externos. Todas as soldas são isoladas com espaguetes termo contráteis, que possuem, também, a função de aliviar a tensão mecânica entre o terminal, a solda e o fio. Buscou-se agrupar os fios de mesma função e trançá-los para um nível mínimo de proteção de interferência mútua. A blindagem geral é garantida pelas caixas metálicas de alumínio. O encaminhamento dos fios dentro das caixas foi planejado de forma a isolar os circuitos de sinais de pequena e grande potência. Estes fios são amarrados com abraçadeiras plásticas comuns.

6.2.1. Plano de montagem eletroeletrônica do FORNO

Os foto acopladores são posicionados na parte inferior e superior interna da estrutura fixa do forno. No meio da estrutura móvel do forno foi instalada uma aleta que interage com o foto acoplador e indica a posição na movimentação do forno (Figuras 6.1 e 6.2). A interligação do forno com o sistema é realizada por meio de um conector DB25 fêmea existente na estrutura fixa do forno (Figura 6.3). A interligação do FORNO com a UEFOG é realizada através de um cabo com conectores fêmeas e que é confeccionado pelo IAE nos preparativos do prato do foguete.

- Realização da montagem:-

Figura 6.1 – Primeira versão da aleta e ajuste do posicionamento do foto acoplador.

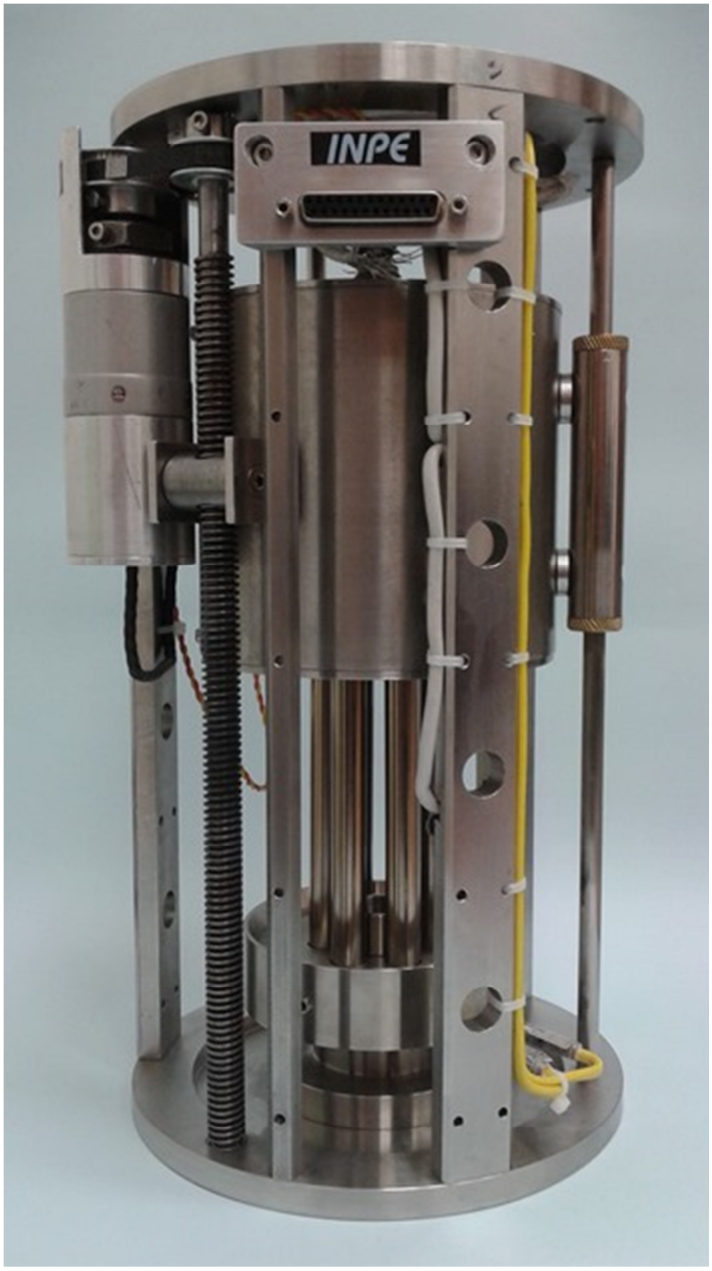


Fonte: Produção do autor.

Figura 6.2 – Versão final da aleta e ajuste do posicionamento do foto acoplador.

Fonte: Produção do autor.

Figura 6.3 – Montagem completa do FORNO F2015-02.



Fonte: Produção do autor.

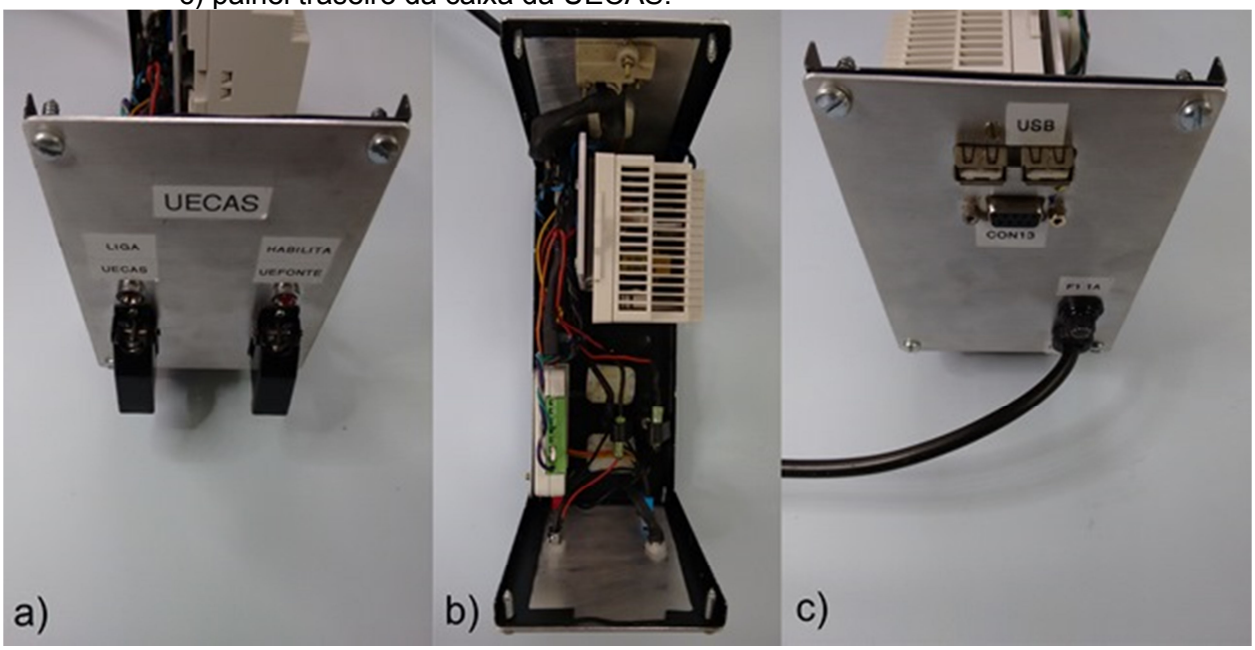
6.2.2. Plano de montagem da UECAS

A UECAS é utilizada na mesa de controle da casamata ao lado do *notebook* do sistema e, interligada com o mesmo, via um cabo USB comum. Devido às condições do local, deve ser um equipamento facilmente transportável e o menor possível. É fabricada em chapa metálica com as dimensões de um paralelepípedo com altura de 200 mm x profundidade de 300 mm x largura de 100 mm. No painel frontal encontram-se as chaves: liga/desliga UECAS e habilita/desabilita UEFONTE, cada uma com um LED indicador dos estados ligado e habilitado, respectivamente. No painel traseiro da

UECAS encontram-se a conexão fêmea que vai para a UEFONTE, o conector fêmea para o cabo USB do *notebook*, o rabicho com plug macho padrão novo brasileiro para a alimentação elétrica (fase, neutro, terra, 110 Vca, 10 A) e um porta fusível pequeno de painel (Figura 6.4 e 6.5). As chaves utilizadas possuem alavancas com proteção de acionamento acidental (Figura 6.6).

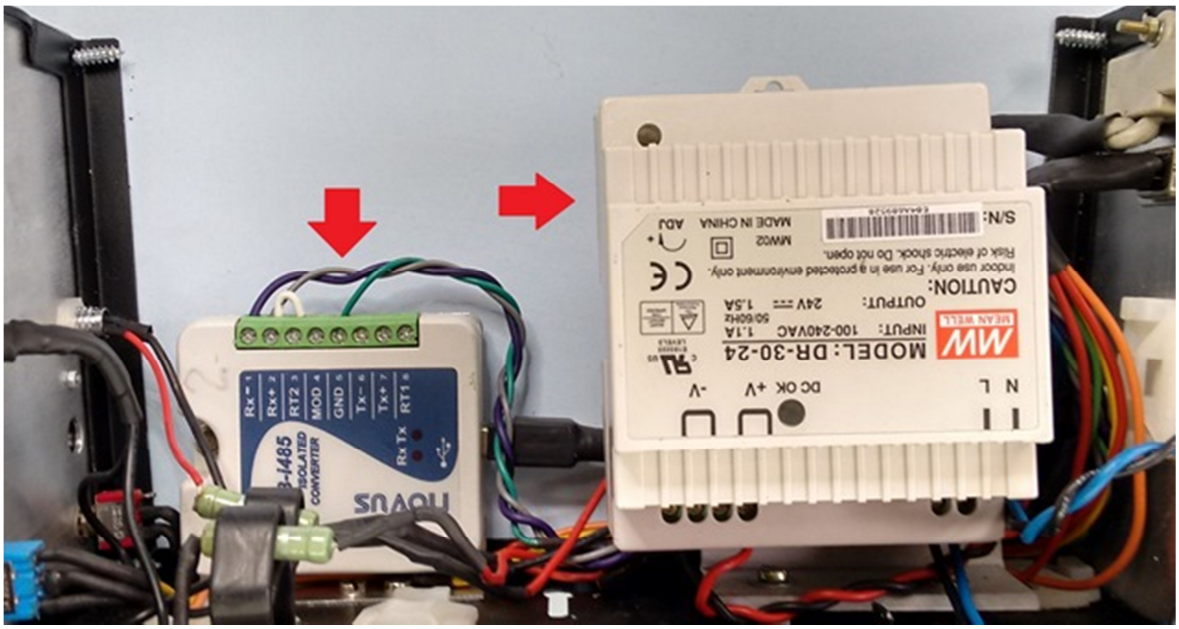
- Realização da montagem:-

Figura 6.4 – a) Painel frontal da caixa da UECAS; b) montagem interna da caixa da UECAS e; c) painel traseiro da caixa da UECAS.



Fonte: Produção do autor.

Figura 6.5 – Detalhe do conversor USB-RS485 e sua fonte de alimentação.



Fonte: Produção do autor.

Figura 6.6 – Chave com proteção de acionamento.

Fonte: Produção do autor.

Figura 6.7 – Montagem completa da caixa da UECAS 2015-01.

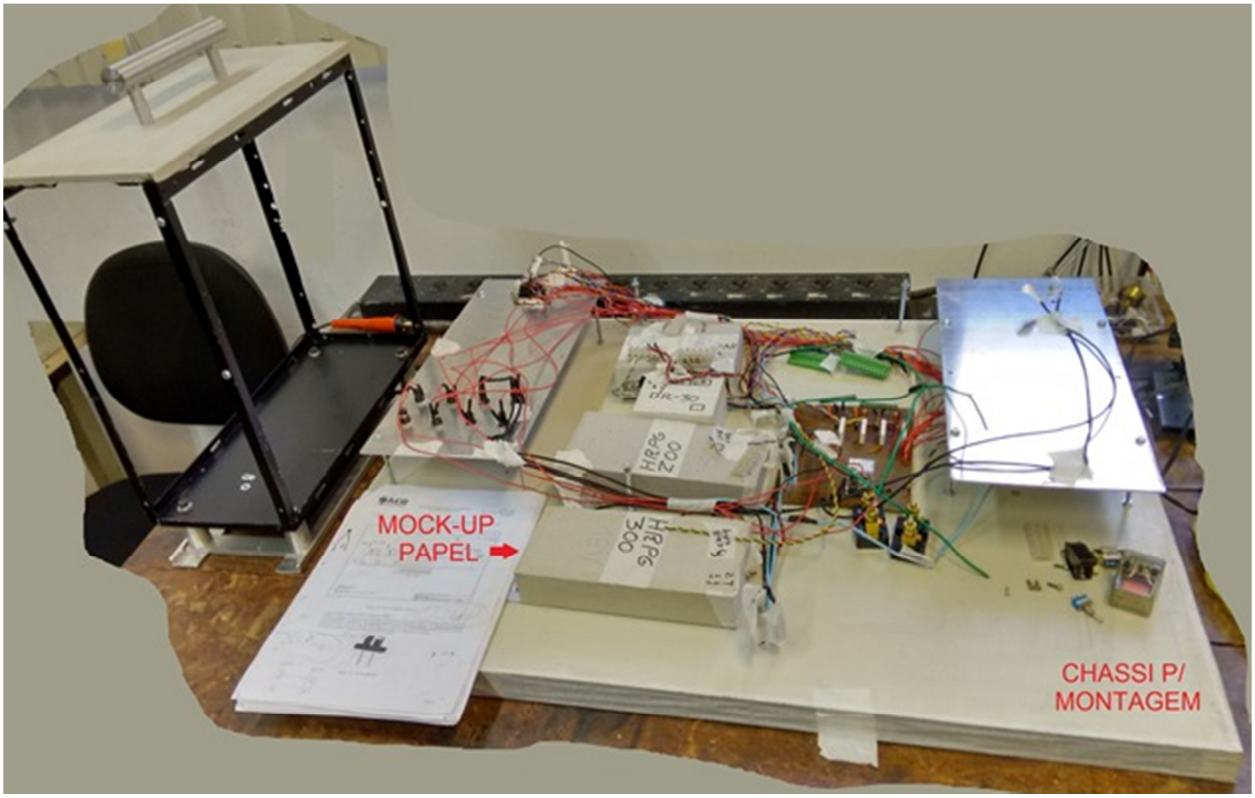
Fonte: Produção do autor.

6.2.3. Plano de montagem da UEFONTE

A UEFONTE deverá ser alocada no quadro elétrico, fator gerador da necessidade de um equipamento com pés apropriados e facilidade de transporte. Será fabricada em chapa metálica, com alça para transporte e pés altos (50 mm) para ser disposta em pisos molhados. Dimensões de um paralelepípedo com altura de 450 mm x profundidade de 400 mm x largura de 200 mm. No painel frontal encontra-se a chave: liga/desliga UEFONTE com um LED indicador do estado ligado. No painel traseiro da UEFONTE encontram-se a conexão que vai para a UECAS, a conexão que vai para a UEFOG, o rabicho com plug macho padrão novo brasileiro para a alimentação elétrica (fase, neutro, terra, 110 Vca, 10 A) e um porta fusível pequeno, de painel. As chaves possuem alavanca com proteção de acionamento acidental. A UEFONTE acomoda a placa de circuito impresso do circuito elétrico da UEFONTE. Também contém as duas fontes de tensão do sistema, dois repetidores RS485 e um FieldLogger (Figura 6.8 e 6.9).

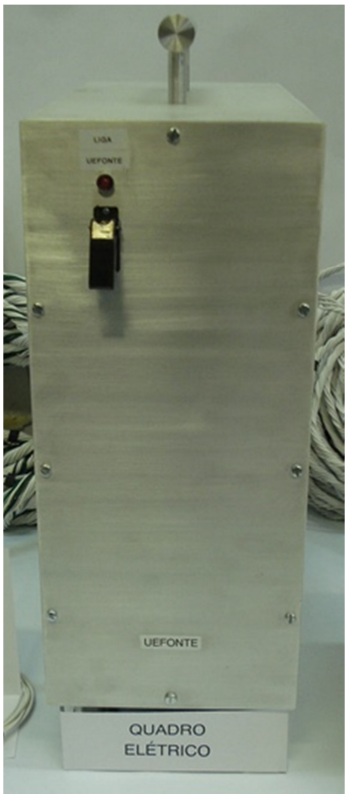
– Realização da montagem:-

Figura 6.8 – Desenvolvimento do *mock-up* da UEFONTE 2015-01.



Fonte: Produção do autor.

Figura 6.9 – Montagem completa da caixa da UEFONTE 2015-01.



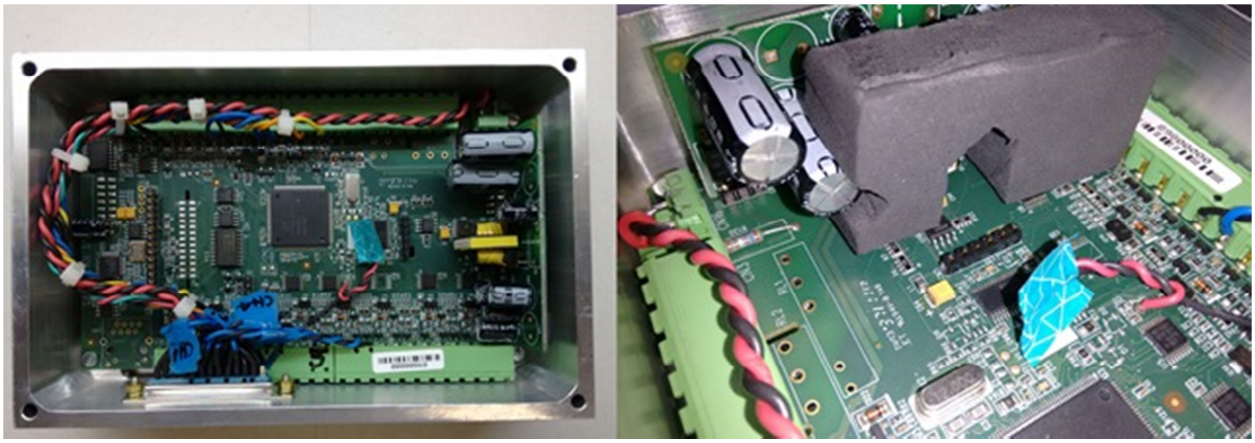
Fonte: Produção do autor.

6.2.4. Plano de montagem da UEFOG

A UEFOG foi fabricada dividida em três partes usinadas em blocos maciços de alumínio. Estas foram empilhadas e constituem três módulos independentes para facilitar a manutenção. Cada um dos módulos possui uma denominação: o módulo do CONTROLE1 mais acima (Figura 6.10), o módulo da PCI DOS RELÉS no meio (Figura 6.11) e o módulo das BATERIAS, fixado no prato do foguete (Figura 6.12). Uma placa de circuito impresso com 155 mm x 90 mm acomoda no módulo da PCI DOS RELÉS a eletrônica fabricada. O módulo CONTROLE1 é o equipamento comercial FieldLogger e a sua placa, também de 155 mm x 90 mm, foi acomodada no módulo CONTROLE1. As baterias foram organizadas em blocos de quatro peças cada um, que associados, formam a bateria de tensão maior (24V). O conjunto da UEFOG tem a dimensão de um bloco com altura de 128,5 mm x comprimento de 170 mm x largura de 110 mm e aproximadamente 2 kg de massa. Em uma lateral ficam as conexões que ligam os três módulos (CONTROLE1, PCI DOS RELÉS E BATERIAS). Na lateral do lado oposto ficam as conexões que fazem a ligação com a PSM do foguete e o forno (Figura 6.13).

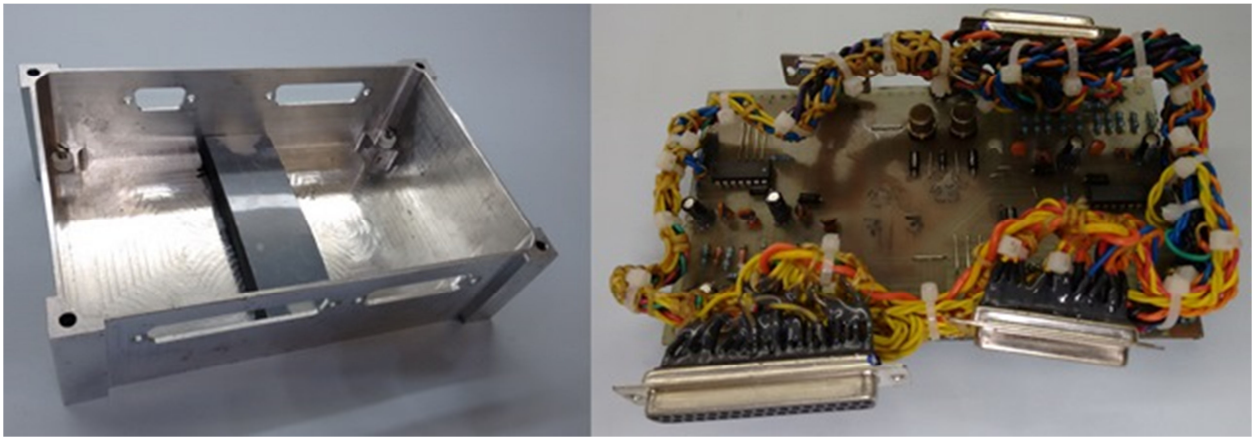
- Realização da montagem:-

Figura 6.10 – Montagem da UEFOG: CONTROLE1.



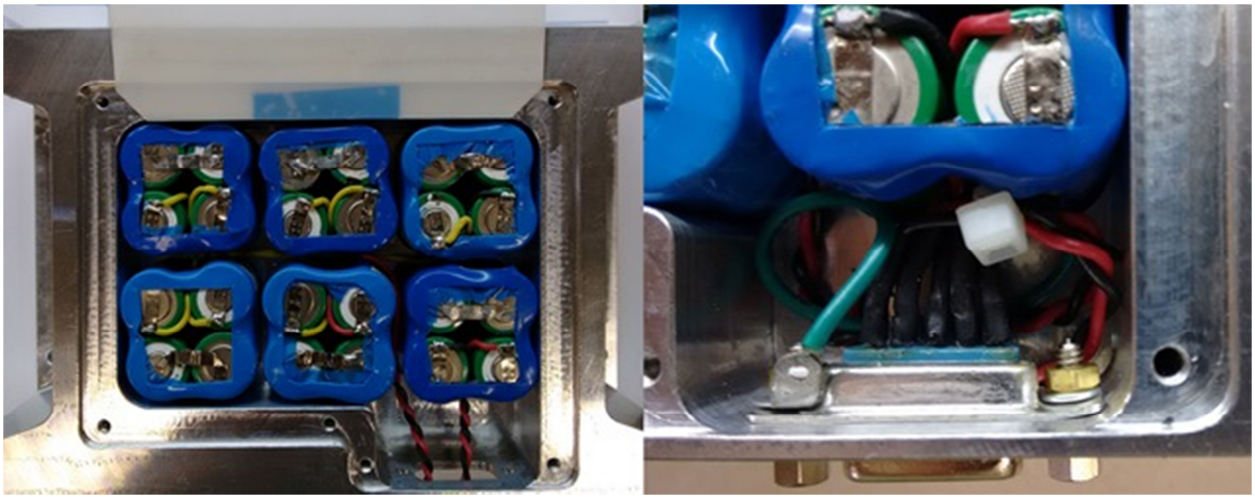
Fonte: Produção do autor.

Figura 6.11 – Montagem da UEFOG: PCI DOS RELÉS.



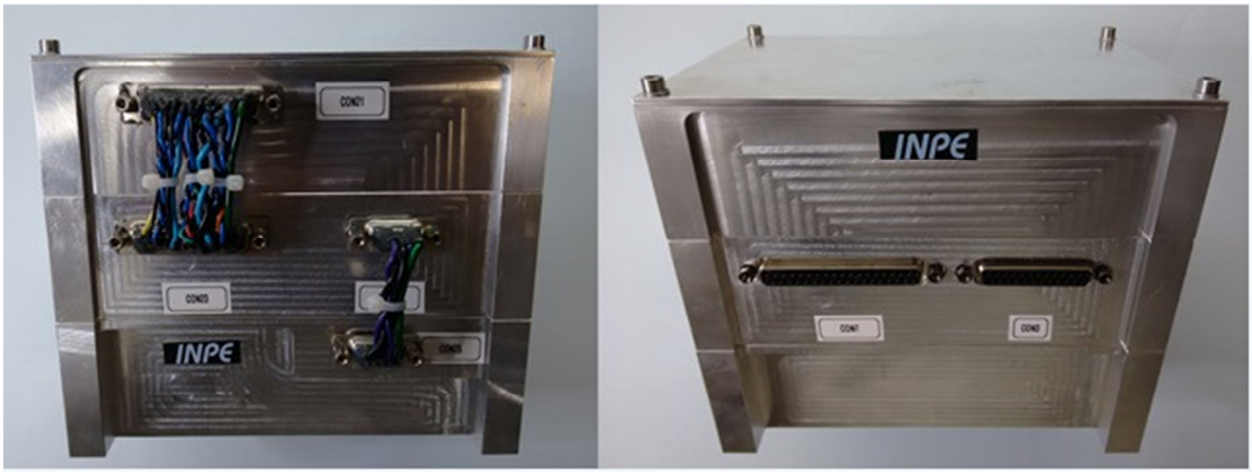
Fonte: Produção do autor.

Figura 6.12 – Montagem da UEFOG: BATERIAS.



Fonte: Produção do autor.

Figura 6.13 – Montagem completa da caixa da UEFOG 2015-01.



Fonte: Produção do autor.

6.2.5. Meios de testes do sistema

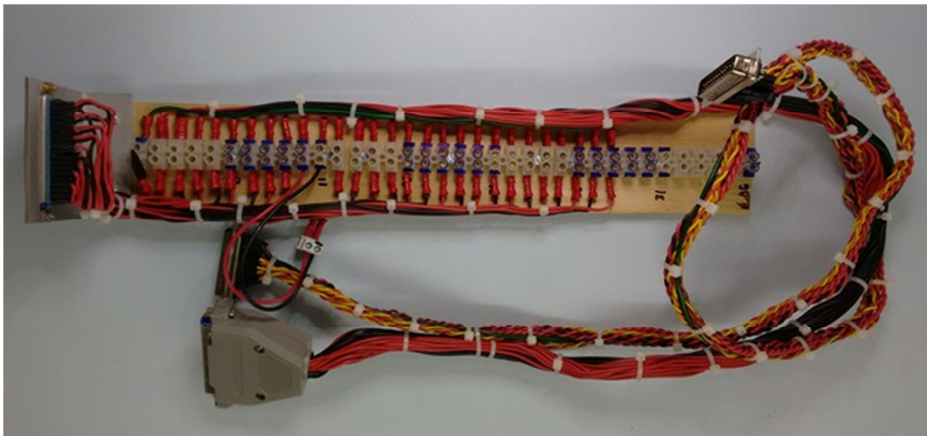
Foram desenvolvidos meios para testes do sistema de forma individual e integrada. Pretendeu-se, dentro do possível, reproduzir as condições encontradas no CLA, o que incluiu cabos de especificação e tamanhos semelhantes (Figura 6.14) (Apêndice C / Figuras C.10).

- cabo 1, USB comercial comum, de 1,5m, entre o *notebook* e a UECAS;
- cabo 2, umbilical entre a UECAS e a UEFONTE com 100m;
- cabo 3, umbilical entre a UEFONTE e a UEFOG com 30m e acesso às linhas dos sinais da telemetria e Smg;
- cabo 4, entre a UEFOG e o FORNO;
- cabo 5, de extensão para ser usado entre o cabo 3 e a UEFOG com a função de tornar todas as linhas acessíveis para testes (Figura 6.15);

Figura 6.14 – Meios de testes do sistema: cabos umbilicais.

Fonte: Produção do autor.

Figura 6.15 – Meios de testes do sistema: cabos 4 e 5.



Fonte: Produção do autor.

– pequenos aparatos para injetar sinais e simular cargas ao longo dos testes (Figura 6.16);

Figura 6.16 – Meios de testes do sistema: aparatos diversos.

Fonte: Produção do autor.

– um equipamento para os testes do forno no laboratório (Figura 6.17).

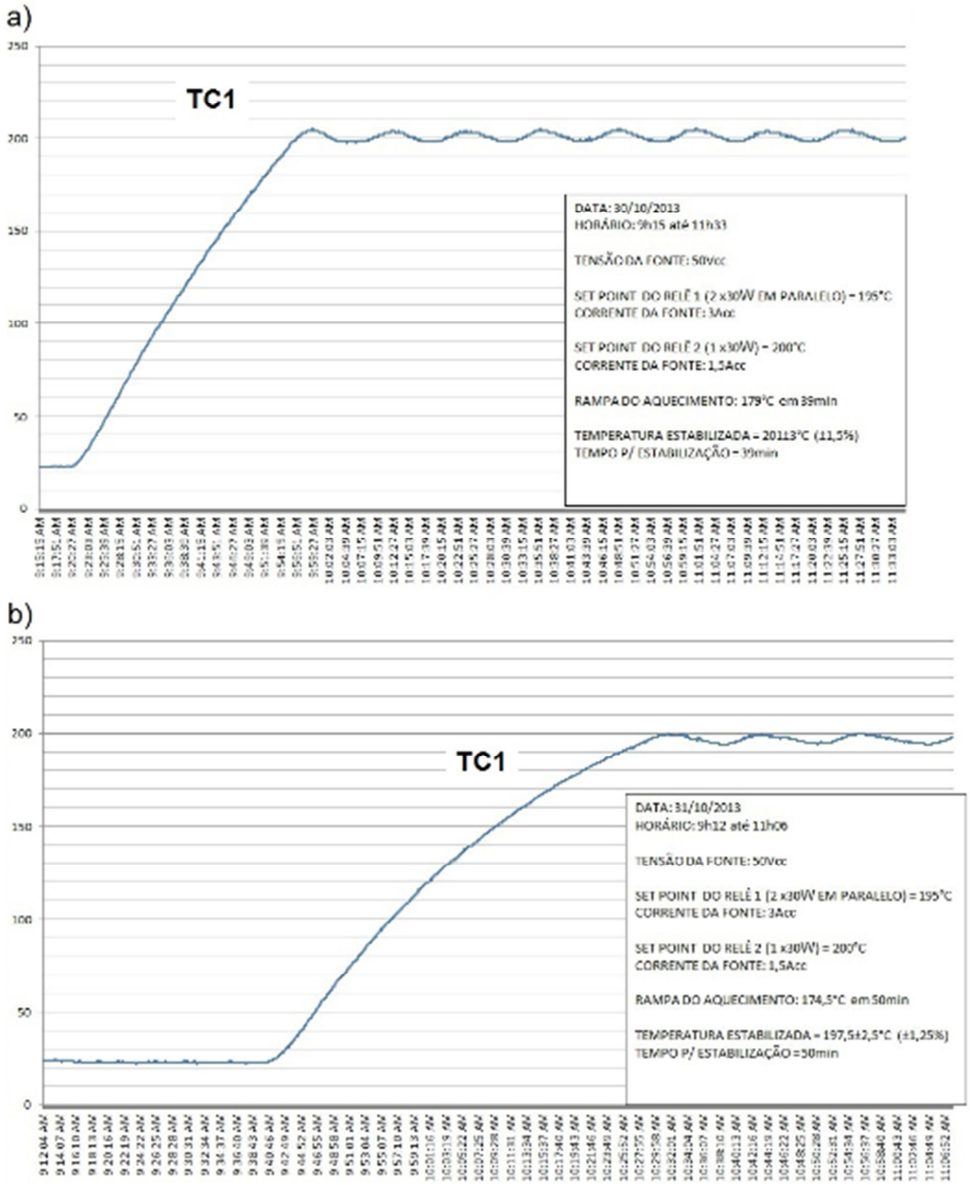
Figura 6.17 – Meios de testes do sistema: equipamento de laboratório.

Fonte: Produção do autor.

7 INTEGRAÇÃO E TESTE DO SISTEMA

Os testes foram uma constante nos trabalhos do 4ºAO, desde a validação dos primeiros conceitos. Para citar um exemplo, a Figura 7.1 mostra a alteração do desempenho do controlador de temperatura desenvolvido com o FieldLogger em função de mudança na inércia do forno. Teste realizado no final de outubro de 2013, durante os trabalhos do projeto preliminar.

Figura 7.1 – a) Gráfico da variação da temperatura do forno de nove amostras, com isolante térmico na tampa e; b) gráfico da variação da temperatura do forno de nove amostras, sem isolante térmico na tampa.



Com a retirada do material isolante térmico da tampa, aumenta o tempo para atingir a temperatura desejada, ou seja, a resposta do forno torna-se mais lenta. Observa-se que a temperatura variava ±1,5% e sem isolante a variação diminui, passando a ±1,25%.

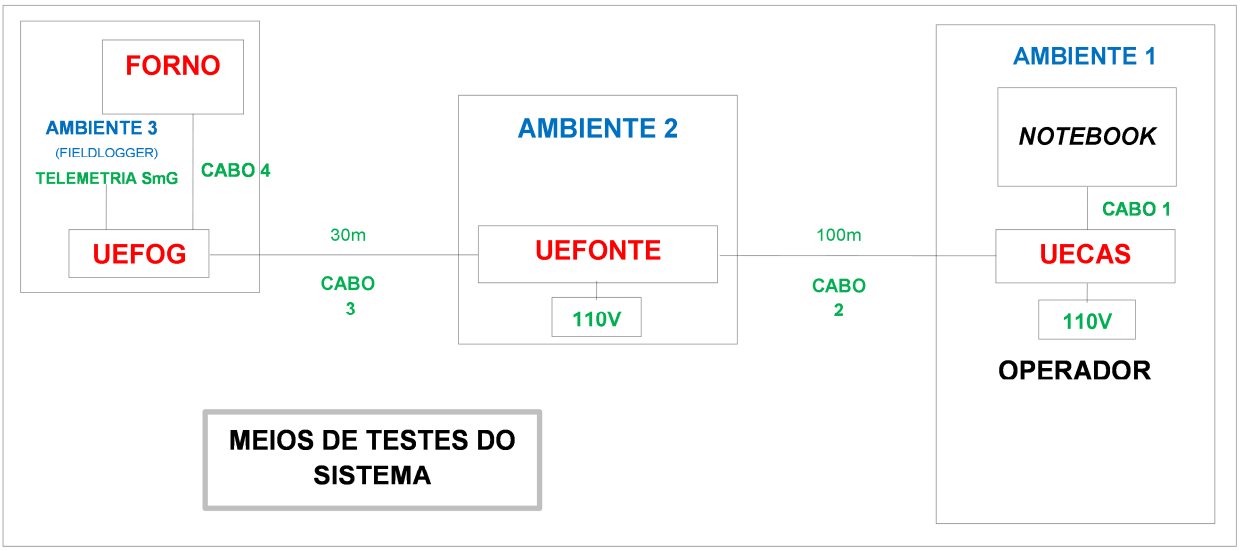
Fonte: Produção do autor.

Com o término do projeto final de fabricação, foram realizadas as montagens das diversas partes, cada uma delas passou por testes individuais elétricos e funcionais. Com a certeza do funcionamento de cada parte, é iniciado o procedimento de integração do sistema com testes passo a passo, conforme descreve o texto seguinte.

7.1. Plano de integração e teste do sistema

O diagrama de blocos da Figura 7.2 é a referência para o plano de integração e testes. Conforme o plano de testes transcorre com sucesso, a integração avança até o sistema estar completo. Os passos consistem em: primeiro, verificar o *notebook* e o programa; segundo, verificar e testar o trecho entre o *notebook* e a UECAS; terceiro, verificar e testar o trecho entre o *notebook* e a UEFONTE; quarto, verificar e testar o trecho entre o notebook e a UEFOG; quinto, verificar e testar o sistema completo integrado com o FORNO. Todos os procedimentos da integração são realizados em laboratório.

Figura 7.2 - Diagrama de blocos para integração e testes do sistema.



Nessa figura, os ambientes representam os locais onde será montado o sistema, durante o lançamento.

Fonte: Produção do autor.

7.1.1. Resultado da integração e teste do sistema

Nos procedimentos de integração foram verificadas medições de diversos pontos do sistema para investigar o funcionamento adequado. Foram utilizados um multímetro da Fluke, modelo 112, e um osciloscópio digital Textronics, modelo TDS224. O programa do sistema apresenta um valor, que é verificado com o multímetro e/ou se necessário

utilizado o osciloscópio. Os casos de divergências foram investigados e soluções propostas e desenvolvidas.

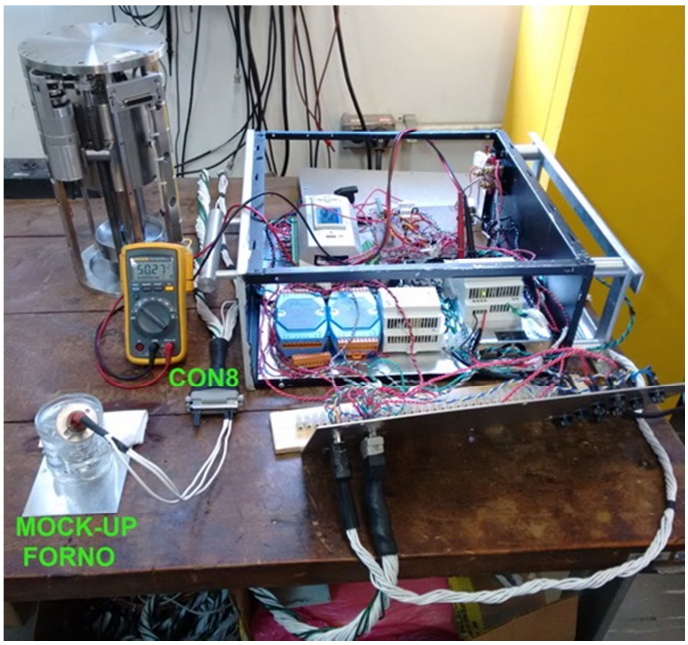
A Tabela 7.1 exemplifica através de um procedimento de verificação e teste da integração no trecho *NOTEBOOK* – UEFONTE. Esse procedimento é utilizado no teste de acionamento do aquecimento do forno e alimentação externa da UEFOG (Figura 7.3).

Tabela 7.1 – Procedimento de verificação e teste de integração.

	Procedimento para verificar o funcionamento do aquecimento e da alimentação externa.
Obs.:	Programa carregado e rodando no *notebook*. O cabo 5, de extensão, instalado para medições na posição do conector CON8. O texto em verde são comandos realizados através de botões na tela do programa. O texto, em vermelho, são as informações das verificações realizadas. $\mathbf{V_{LMTLAE}}$ é visualizado na tela do programa. $\mathbf{V_{FLUKE}}$ é medido com o multímetro Fluke.
Ação:	Todos os comandos são do programa.
ITEM	DESCRIÇÃO
1	Ligar **FONTE FORNO**.
2	Ligar **AQUECIMENTO** do forno (alguns segundos, caso contenha amostras).
3	Tensão entre os pinos CON8P15/16 e CON8P17/18 (V_{REF}=53,8V): $\mathbf{53{,}8V_{FLUKE}}$
4	Desligar o **AQUECIMENTO**.
5	Desligar **FONTE FORNO**.
6	Ligar **FONTE GERAL**.
7	Ligar **ALIMENTAÇÃO EXTERNA**.
8	Tensão entre os pinos CON8P9 e CON8P11 (V_{REF}=28,3V): $\mathbf{28{,}3V_{FLUKE}}$ $\mathbf{28{,}1V_{LMTLAE}}$
9	Desligar **ALIMENTAÇÃO EXTERNA**.
10	Desligar **FONTE GERAL**.

Fonte – produção do autor.

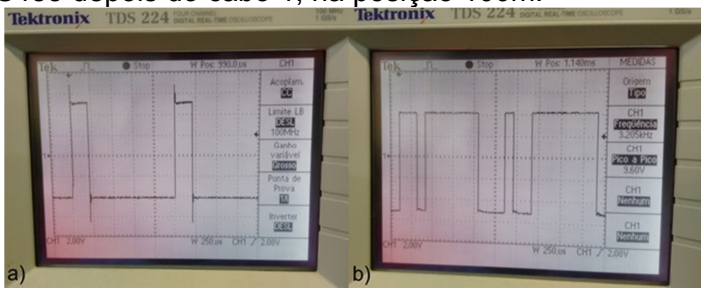
Figura 7.3 – UEFONTE na bancada para verificações e testes.



Fonte: Produção do autor.

A Figura 7.4 mostra uma das verificações realizadas com o osciloscópio e que visou constatar o funcionamento adequado da comunicação digital após o trecho de cabo com 100m. Constata-se na parte b da figura que o sinal está mais quadrado depois dos 100m de cabo. As impedâncias terminadoras de carga, (resistores de 120Ω, conforme a recomendação do fabricante do FieldLogger), utilizadas no casamento nos finais da linha, podem ter contribuído para que diminuíssem as distorções do sinal [48]. No teste foi utilizado o umbilical fabricado como meio de teste e não o existente no CLA, ou seja, existe uma parcela de incerteza quanto aos resultados.

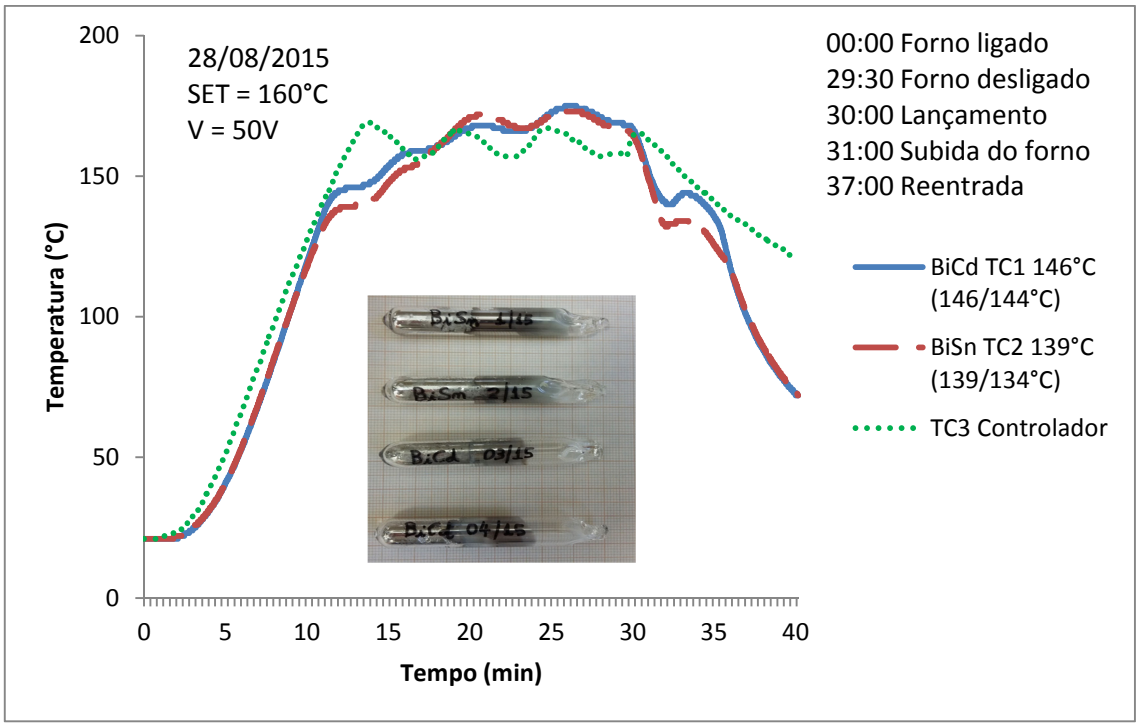
Figura 7.4 – a) Verificação do sinal RS485 antes do cabo 1, na posição 0m e; b) verificação do sinal RS485 depois do cabo 1, na posição 100m.



Fonte: Produção do autor.

Na Figura 7.5 é mostrado um experimento de solidificação realizado com o sistema. Observa-se que o forno atende aos requisitos funcionais e tempos necessários ao voo.

Figura 7.5: Experimento de solidificação realizado no forno F1-2015 que voará no 4ºAO.



Fonte – Baseado em [27].

7.2. Resultado da verificação do cumprimento dos requisitos do sistema

Tabela 7.2 – Verificação do cumprimento dos requisitos do item 3.6.

TIPO	DESCRIÇÃO	NECESSIDADE	RESULTADO
DIVERSOS	Devem ser cumpridos os requisitos formulados pelo IAE e AEB [31,32].	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
DIVERSOS	Devem ser consideradas as restrições colocadas pela Plataforma suborbital [31,32].	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
ELÉTRICO	O aquecimento do forno deve de poder ser ligado e desligado remotamente.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
OPERACIONAL	O forno deve manter a temperatura acima de 180°C, em solo.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO **NOVA T=160°C**
RESTRIÇÃO	O forno deve aquecer até a temperatura de 180°C em no máximo 30 minutos.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO **NOVA T=160°C**
OPERACIONAL	Deve ser utilizado o método de controle *on/off* da temperatura do forno.	DESEJÁVEL	CUMPRIDO
ELÉTRICO	O controle da temperatura do forno deve ser realizado através do uso da temperatura do termopar de controle TC3.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
RESTRIÇÃO	O aquecimento do forno deve ser realizado com uma tensão máxima de 50V e corrente de 3A (150W).	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
OPERACIONAL	O aquecimento do forno só deve ocorrer em solo a partir de uma fonte posicionada no quadro elétrico.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
ELÉTRICO	Deve ser utilizado um par de cabos do umbilical do foguete para cada polo do forno.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
ELÉTRICO	O forno deve movimentar de forma automática sob o comando do sinal de microgravidade (Smg).	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
ELÉTRICO	Deve ser possível desabilitar o Smg.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
RESTRIÇÃO	O movimento do forno deve expor completamente a carga em aproximadamente 10s.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
ELÉTRICO	O movimento do forno deve ocorrer nos dois sentidos, para retorno a condição inicial.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
ELÉTRICO	Devem existir meios de verificar a posição final do curso do movimento do forno nos dois sentidos, o chamado fim de curso.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
ELÉTRICO	A movimentação automática do forno não pode ultrapassar o fim de curso.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
OPERACIONAL	Deve existir o modo de movimentação manual para ajustes.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
ELÉTRICO	A movimentação manual pode considerar, ou não, ultrapassar o fim de curso.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
OPERACIONAL	Deve ser armazenada a informação do tempo de 1 em 1s.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
OPERACIONAL	Deve ser armazenada a aquisição de três temperaturas do forno a cada intervalo de tempo de 1s.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
OPERACIONAL	O registro das informações deve ser passível de parada, reinício, coleta e zeragem.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO

(Continua)

Tabela 7.2 – (Conclusão)

TIPO	DESCRIÇÃO	NECESSIDADE	RESULTADO
ELÉTRICO	As três temperaturas do forno devem ser monitoradas em solo pela telemetria do foguete.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
ELÉTRICO	A eletrônica embarcada no foguete deve ser alimentada via umbilical durante a operação de solo.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
ELÉTRICO	Toda a energia necessária durante o período do voo, pelo subsistema embarcado no foguete, deve ser obtida de baterias.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
ELÉTRICO	O carregamento das baterias deve ser realizado pelo umbilical do foguete.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
ELÉTRICO	As baterias devem ser recarregadas com a carga lenta prevista em especificação do fabricante das baterias.	DESEJÁVEL	CUMPRIDO
ELÉTRICO	Partindo da situação "descarregada", as baterias devem ser suficientemente recarregadas no intervalo entre os ciclos de tentativa de lançamento.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
ELÉTRICO	A tensão do conjunto de baterias deve ser monitorada na casamata durante as operações de solo.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
ELÉTRICO	A corrente do conjunto de baterias deve ser monitorada na casamata durante as operações de solo.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
ELÉTRICO	O conjunto de baterias deve ser acondicionado em um módulo independente.	DESEJÁVEL	CUMPRIDO
ELÉTRICO	Do lugar conhecido como casamata, deve ser possível ligar e desligar remotamente os equipamentos no ambiente chamado de quadro elétrico.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
OPERACIONAL	O operador da casamata deve ter recurso, além das funções de monitoração e controle automático, para cuidar dos eventos e executar as ações necessárias.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
OPERACIONAL	Deve ser desenvolvida uma interface amigável de monitoração e controle do sistema baseada em um programa supervisório comercial funcionando em um *notebook*.	DESEJÁVEL	CUMPRIDO **EM DESENV.**
ELÉTRICO	O controle deve utilizar uma rede de comunicação digital.	DESEJÁVEL	CUMPRIDO
ELÉTRICO	Deve existir uma interface entre o controle e o forno para o manejo da potência do forno.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
ELÉTRICO	Deve existir uma interface entre o controle e o motor para o manejo da potência do motor.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
ELÉTRICO	Deve existir uma interface entre o controle e os fins de curso para adequar os sinais.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
ELÉTRICO	Deve existir uma interface entre o controle e o foguete para adequar o sinal de microgravidade, oriundo do foguete, e os sinais da telemetria, que seguem para o foguete.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
MECÂNICO	Os subsistemas devem ser realizados de forma modular com montagens intercambiáveis.	DESEJÁVEL	CUMPRIDO
MECÂNICO	Os subsistemas modulares devem ser interligáveis por conectores.	DESEJÁVEL	CUMPRIDO
ELÉTRICO	Devem ser realizados os meios de teste do sistema necessários para a realização dos procedimentos de qualificação e aceitação.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
OPERACIONAL	Deve ser realizado um plano de testes para a realização dos procedimentos de qualificação e aceitação.	DESEJÁVEL	CUMPRIDO **EM DESENV.**
DIVERSOS	Devem ser formulados os requisitos da infraestrutura de solo necessária.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO

Fonte – Produção do autor.

Tabela 7.3 – Verificação do cumprimento dos requisitos da AEB/IAE/DCTA.

REQUISITOS ELÉTRICOS			
TIPO	**DESCRIÇÃO**	**NECESSIDADE**	**RESULTADO**
INTERFACES ELÉTRICAS	Disponibilizar um pino no conector de alimentação para função de terra (ligação com o chassi da caixa) por unidade do experimento.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
	Os conectores retangulares devem ser posicionados na caixa sempre com a parte maior (pino 1) para cima , no caso de montagem na horizontal.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
	Os conectores retangulares devem ser posicionados na caixa sempre com a parte maior (pino 1) para a direita, no caso de montagem na vertical.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
	Os conectores circulares devem ser posicionados na caixa sempre com a guia de orientação de conexão para cima	MANDATÓRIO	**NÃO É UTILIZADO**
	Prover capacidade de chaveamento remoto, via umbilical, operado por equipamentos de solo, para suas funções principais, como, por exemplo, ligar e desligar (consumo de bateria), iniciar execução, reinicializar, limpar memórias, etc. Os umbilicais do campo de lançamento possuem comprimento em torno de 150 metros.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
	Todos os sinais interligados através de pares trançados, como comunicação serial, alimentações, etc., devem estar posicionados em pinos adjacentes no conector de interface	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
	Identificar os conectores de interface	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
	Os sinais de µG (sinal indicativo de ambiente de microgravidade) e LO (lift0ff - decolagem do veículo) serão fornecidos aos experimentos através de fechamento de contato de relés de equipamento embarcado fornecido pelo IAE.	MANDATÓRIO	**CONSIDERADO NO PROJETO**
	Todos os conectores devem ser posicionados em uma mesma face do experimento.	MANDATÓRIO	**JUSTIFICADA A NÃO CONFORMIDADE EM REUNIÃO NO IAE**
	Disponibilizar retornos independentes para cada sinal de telemetria analógica (sinais de baixa amplitude).	DESEJÁVEL	CUMPRIDO
	Quando for utilizada comunicação serial para envio dos dados de telemetria e dados para os painéis de controle, utilizar o protocolo RS-422.	DESEJÁVEL	**USADO RS485**
	Projetar os conectores de modo a se evitar erros de inversão de conexão.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
	Os conectores elétricos que possuírem linhas energizadas ou que fornecem potência, devem ser do tipo fêmea.	DESEJÁVEL	CUMPRIDO
	O experimento deve possuir indicação de recebimento de µG e LO, quando aplicável.	DESEJÁVEL	CUMPRIDO
	O experimento deve estar preparado para receber sinais de µG e LO durante os testes sem que isso implique em que se tenha que ter acesso ao experimento.	DESEJÁVEL	CUMPRIDO
	Padronizar protocolo de envio de dados de TLM (palavras de sincronismo, por exemplo).	MANDATÓRIO	**NÃO É UTILIZADO**
	A quantidade de pinos de umbilical utilizada pelo experimento deve ser reduzida ao mínimo necessário.	DESEJÁVEL	CUMPRIDO
	Deve-se optar pela utilização de conectores tipo *crimp*.	DESEJÁVEL	**USADO SOLDA**

(Continua)

Tabela 7.3 – (Continuação)

REQUISITOS ELÉTRICOS			
TIPO	**DESCRIÇÃO**	**NECESSIDADE**	**RESULTADO**
ISOLAÇÃO	Os circuitos eletrônicos dos experimentos devem ser isolados da carcaça dos mesmos.	MANDATÓRIO	**AS POSSÍVEIS CARGAS SÃO ESCOADAS PARA O CHASSI VIA 1MΩ, CONFORME A REUNIÃO NO IAE EM 16/06/14.**
	A isolação entre o circuito e a carcaça do experimento deve ser de, no mínimo, 10 M ohm quando testado com 50 Vdc.	MANDATÓRIO	
	O experimento deve ser isolado galvanicamente da rede elétrica da carga útil.	MANDATÓRIO	
	A isolação entre o circuito e a carcaça do experimento deve ser de, no mínimo, 10 M ohm quando testado com 250 Vdc (rampa).	DESEJÁVEL	
BONDING	A carcaça do experimento e os meios de fixação respectivos devem proporcionar um b*onding* de, no máximo, 2,5 mOhm. Evitar tratamento superficial não condutivo.	DESEJÁVEL	**O CONTATO OCORRE ENTRE SUPERFÍCIES METÁLICAS**
	Os invólucros dos conectores de interface dos experimentos devem ter resistência de contato com a caixa dos mesmos menor que 2,5 miliohms.	DESEJÁVEL	**O CONTATO OCORRE ENTRE SUPERFÍCIES METÁLICAS**
ALIMENTAÇÕES	Os módulos eletrônicos embarcados dos experimentos deverão ter sua alimentação provida por bateria própria, a ser fornecida pelos responsáveis pelo experimento, e que seja integrável à carga útil.	DESEJÁVEL	CUMPRIDO
	As baterias têm que ser carregadas e descarregadas via conector umbilical, o controle de carga e descarga deve ser realizado por equipamento de solo próprio do experimento.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
	Deve ser possível monitorar a carga da bateria via umbilical.	DESEJÁVEL	CUMPRIDO
	As baterias devem ser de NiCd, NiMh ou Li-Ion.	DESEJÁVEL	**CUMPRIDO BATERIAS DE NiMh**
	As baterias devem ser seladas ou formadas por células seladas.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
	A bateria deve possuir capacidade para suportar o funcionamento do experimento por 2 horas em *stand by* mais 2 vezes o tempo de operação nominal em condições de voo.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO

(Continua)

Tabela 7.3 – (Continuação)

REQUISITOS ELÉTRICOS			
TIPO	**DESCRIÇÃO**	**NECESSIDADE**	**RESULTADO**
ALIMENTAÇÕES	Os experimentos devem ser alimentados com corrente contínua e com tensões dentro da faixa ±32 V. Quaisquer valores fora desta faixa ou em corrente alternada devem ser informados ao IAE para avaliação de viabilidade.	MANDATÓRIO	**CUMPRIDO O FORNO UTILIZA 50 V**
	A corrente de carga / descarga das baterias embarcadas, quando realizada com o veículo montado em rampa, não deve ser superior a 2 A.	DESEJÁVEL	CUMPRIDO
	A corrente de alimentação externa dos experimentos embarcados não deve ser superior a 2 A por linha de alimentação.	DESEJÁVEL	CUMPRIDO
	As linhas de alimentação externa dos experimentos devem ser separadas das linhas de carga de bateria.	DESEJÁVEL	CUMPRIDO
	As condições de estado da alimentação externa e interna dos experimentos devem ser sinalizadas através de retornos elétricos internos ao veículo via umbilical ou via telemetria.	DESEJÁVEL	CUMPRIDO
	O experimento deve possibilitar a comutação de energia entre alimentação externa e bateria interna, através de comando do equipamento de solo próprio do experimento, via linha umbilical. O circuito de comutação de energia deve possuir fonte de alimentação isolada galvanicamente da fonte de alimentação do experimento.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
PIROTÉCNICOS	A parte embarcada dos experimentos não deve conter elementos pirotécnicos ou explosivos. Caso sejam comprovadamente necessários, devem ser seguidos os requisitos de segurança utilizados para projeto e confecção de sistemas pirotécnicos aplicados no IAE.	MANDATÓRIO	**NÃO É UTILIZADO**
TESTES	Os módulos eletrônicos embarcados dos experimentos devem passar por ensaios de aceitação de acordo com os níveis e tipos de ensaio utilizados para equipamentos embarcados do IAE, abrangendo ensaios de: vibração, ciclo térmico, funcional, vácuo, etc.	MANDATÓRIO	**TESTES DEPENDEM DO IAE/DCTA**
	Os experimentos devem prover interfaces e características elétricas necessárias à realização de testes de aceitação funcional do item individualmente, testes de interface com outros equipamentos embarcados e testes sistêmicos de simulação de voo.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
COMPATIBILIDADE	Os experimentos presentes em um mesmo módulo devem ter sua compatibilidade eletromagnética comprovada através de testes funcionais em laboratório do IAE.	MANDATÓRIO	**TESTE DEPENDE DO IAE/DCTA**

(Continua)

Tabela 7.3 – (Continuação)

REQUISITOS MECÂNICOS			
TIPO	**DESCRIÇÃO**	**NECESSIDADE**	**RESULTADO**
MECÂNICA	Os módulos que compõem o experimento, incluindo sua bateria, devem possibilitar a fixação dos mesmos através de parafusos, padrão métrico, entre M3 e M6.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
	Os experimentos a serem embarcados em módulos herméticos devem suportar, no mínimo, a aplicação de 2 bar por, pelo menos, 30 minutos. (Esta situação ocorre durante o teste de estanqueidade de módulos herméticos).	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
	A localização dos furos para fixação dos experimentos devem ser projetados de modo a não prejudicar a fixação mecânica com torquímetro.	DESEJÁVEL	CUMPRIDO
	No caso de haver mais de uma unidade (módulo ou caixa), pensar na possibilidade de fazê-las de modo a se integrá-las em uma mesma face de um prato de experimentos.	DESEJÁVEL	CUMPRIDO
	No caso de haver mais de uma unidade (módulo ou caixa), pensar na possibilidade de fazê-las empilháveis (consultar Equipe de Integração de Sistemas Eletrônicos Embarcados).	DESEJÁVEL	CUMPRIDO
MATERIAL DA CAIXA	A caixa do experimento deve ser de material compatível ao alumínio, do prato de fixação, para se evitar a oxidação galvânica.	DESEJÁVEL	CUMPRIDO
	A caixa do experimento deve ser de material com boas características de blindagem elétrica. Sugestão: Alumínio.	DESEJÁVEL	CUMPRIDO
DIMENSÕES	As dimensões/pesos dos equipamentos de solo dos experimentos devem ser informadas para a equipe de Integração de Sistemas de Solo do IAE.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
	Os equipamentos de solo devem ser compatíveis para acomodação em *racks* de 19".	DESEJÁVEL	**O FORMATO FOI DECIDIDO EM REUNIÃO NO IAE EM 160614**
	As dimensões da parte embarcada do experimento devem ser submetidas a estudo/avaliação da Equipe de Integração de Sistemas Eletrônicos Embarcados do IAE.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
COMPATIBILIDADE	O experimento deve ser projetado e montado de forma que, em condições normais de preparação e voo, não libere substâncias de seu interior.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
	Os experimentos devem ser projetados e montados de forma que, em condições normais de preparação e voo, não cause qualquer tipo de dano a outros experimentos ou equipamentos embarcados na carga útil.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
	Os experimentos presentes em uma mesma carga útil devem ser compatíveis operacionalmente durante a cronologia de lançamento.	MANDATÓRIO	**VERIFICAÇÃO DEPENDE DO IAE/DCTA**

(Continua)

Tabela 7.3 – (Conclusão)

REQUISITOS OPERACIONAIS			
TIPO	**DESCRIÇÃO**	**NECESSIDADE**	**RESULTADO**
PRÉ-LANÇAMENTO (ACESSO, PREPARAÇÃO, TESTES HORIZONTAIS E VERTICAIS)	Os responsáveis pelos experimentos devem informar ao IAE, dentro de prazo estipulado, todos os requisitos operacionais de seus experimentos, como, por exemplo, tempo necessário para preaquecimento do experimento, tempo de vida de amostras, necessidade de acesso aos equipamentos no lançador durante a cronologia de lançamento, etc.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
	Os experimentos que tiverem necessidade de acesso para execução de atividades, como, por exemplo, trocas de amostras, ajustes ou calibrações periódicas deverão possuir mecanismos que possibilitem a execução destas atividades através de janelas de visita evitando a necessidade de desmontagem de qualquer módulo da carga útil.	DESEJÁVEL	**NÃO É UTILIZADO**
	Os experimentos devem possibilitar testes e/ou verificações remotas quando da carga útil já posicionada para lançamento.	MANDATÓRIO	CUMPRIDO
	O experimento deve ser projetado de forma a minimizar a necessidade de acesso de pessoal durante a fase de preparação para lançamento (O acesso à carga útil, estando esta no lançador, é restrito e apenas permitido em casos comprovadamente necessários).	DESEJÁVEL	CUMPRIDO

Fonte – Adaptado de [32].

8 QUALIFICAÇÃO DE VOO

8.1. Eventos de controle do projeto

a) NOV/2015: realização do ensaio de vibração da UEFOG e FORNO visando à qualificação para o voo;

b) MARÇO/2016: entrega para o IAE/DCTA da UEFOG e FORNO para trabalhos de metrologia.

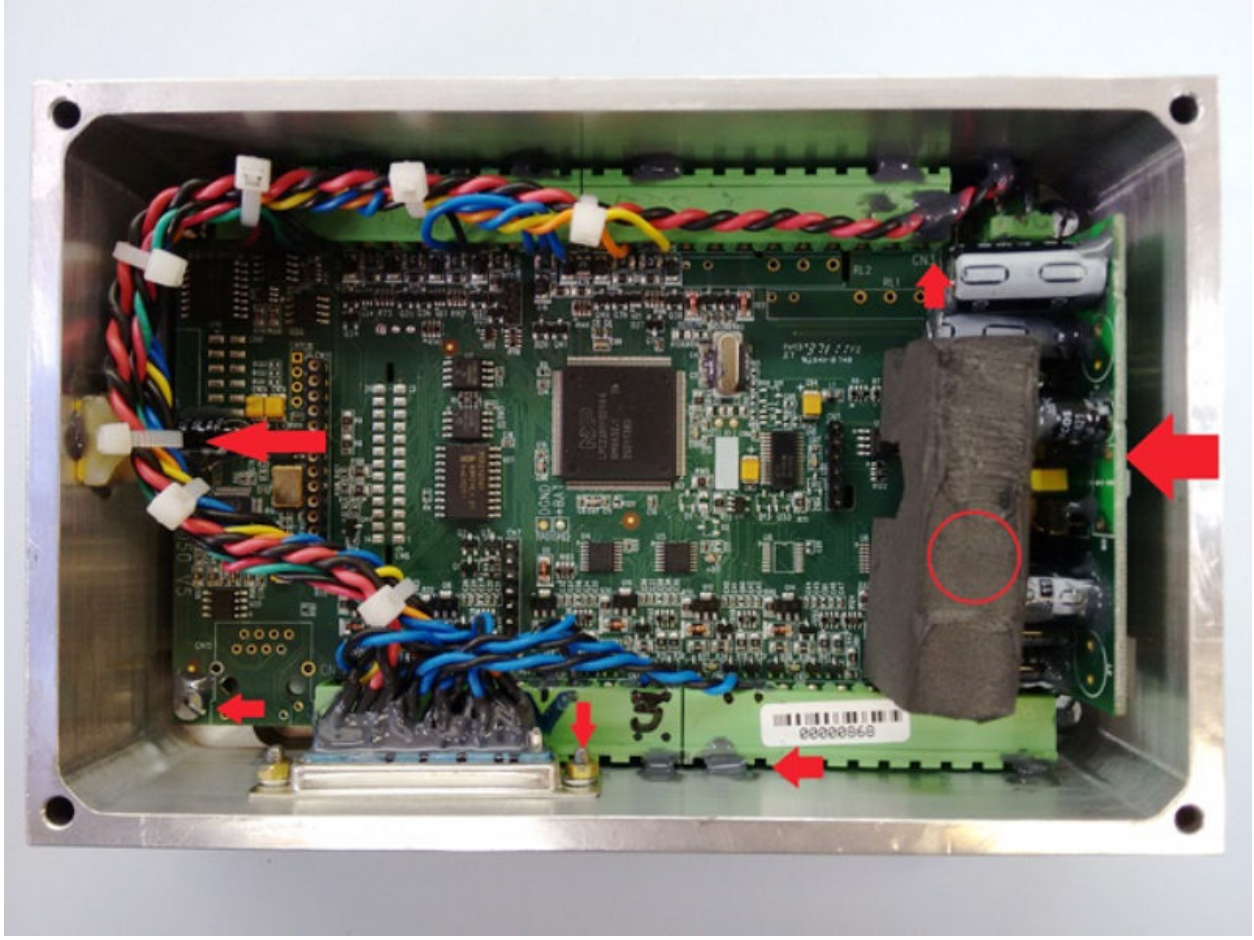
8.2. Preparação para a qualificação de voo

Após a validação do sistema integrado, procedeu-se a verificação visual geral mecânica, o reaperto e amarração de todos os itens internos e externos da UEFOG e da eletroeletrônica do FORNO.

Junto com a verificação foi realizada a colagem de todos os itens mecanicamente mais frágeis da UEFOG (Figura 8.1) e da eletroeletrônica do FORNO. O objetivo com a colagem é minimizar a sensibilidade à vibração do lançamento. Utilizou-se o adesivo epoxy Scotch-Weld 3M 2216 B/A. Foi executado o plano seguinte, conforme procedimentos qualificados através das missões Cumã I, Cumã II e Maracati II:

- em todas as conexões elétricas e soldas;
- nas partes da montagem com massa e/ou dimensões maiores, devido sofrerem maior esforço com as acelerações e vibração do lançamento e voo;
- em todas as fixações mecânicas e porcas de parafusos;
- nas partes da montagem com movimento ou flexibilidade.

Figura 8.1: Colagem e amarração da PCI do FieldLogger no módulo CONTROLE1 da UEFOG.



Fonte: Produção do autor.

8.3. Ensaio de vibração – LIT/INPE

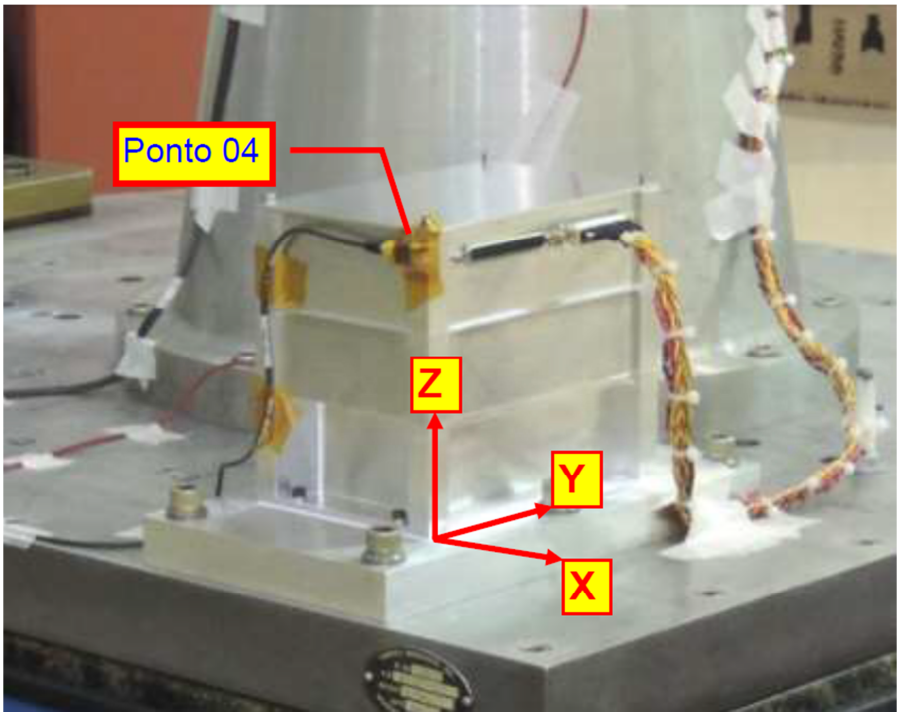
O FORNO e a UEFOG são fixados nos equipamentos de ensaio e submetidos a vibrações nos eixos X, Y e Z, em um total de doze ensaios (Figuras 8.2, 8.3 e 8.4). Todos os ensaios realizados no LIT/INPE [61] utilizaram os níveis de referência baseados no ambiente de vibração em voo do veículo Skylark e recomendações gerais da norma MIL-STD-1540C. Foram três passos em cada eixo:

a) passo inicial de vibração senoidal / na assinatura 1 é identificada a resposta mecânica do espécime com uma varredura da frequência de vibração;

b) vibração aleatória / aceitação;

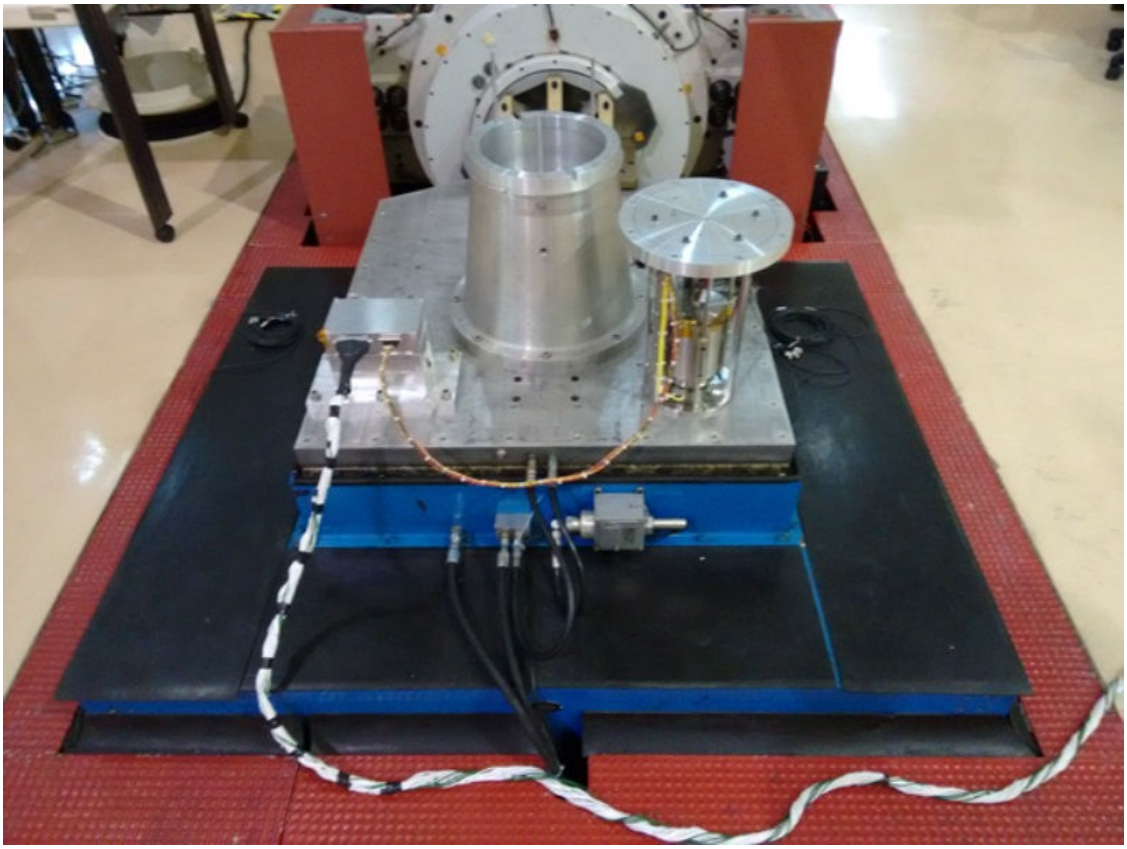
c) passo final de vibração senoidal / a assinatura 2 é idêntica à da assinatura 1, o comportamento diferente do inicial não é desejável, pois indicam mudanças mecânicas no espécime após o segundo passo.

Figura 8.2: Detalhe do posicionamento da UEFOG na interface do vibrador. A localização do acelerômetro triaxial (Ponto 04) e o triedro de referência (X, Y, Z).



Fonte: [61].

Figura 8.3: Vista geral da montagem do ensaio na mesa do vibrador (o “sino” está aberto para a visualização do FORNO).



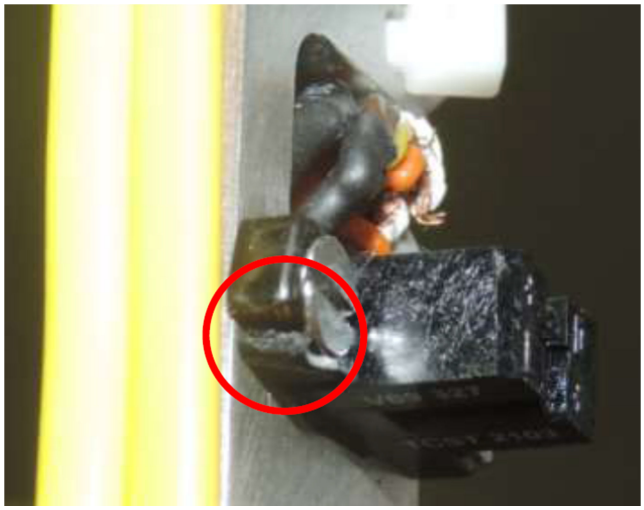
Fonte: Produção do autor.

Figura 8.4: Vista geral da montagem do sistema na mesa auxiliar para testes durante o ensaio de vibração.

Fonte: Produção do autor.

Durante a inspeção visual em uma pausa dos ensaios, notou-se que o foto acoplador do fim de curso superior (FCS) havia trincado (Figura 8.5). A falha foi analisada e a causa provável foram dois erros: o uso de parafusos com cabeças chanfradas e o aperto excessivo destes, que esmagou o corpo plástico do FCS. A solução foi trocar a peça, os parafusos também foram mudados para cabeça cilíndrica e o corpo do foto acoplador foi reforçado na etapa de colagem. Embora trincado, o dispositivo funcionou nos testes durante a análise da falha.

Figura 8.5: Detalhe da trinca ocorrida no foto acoplador.



Fonte: [61].

No teste final, após o ensaio de vibração, o movimento do forno não acionou. Na análise da falha, foi identificado um indício da ocorrência de fusão devido ao calor e a diferença de materiais (alumínio e aço) entre duas peças internas do forno (Figura 8.6). Esta falha mecânica causou o travamento da parte móvel do forno e na sequência uma falha elétrica do relé (Figura 8.7) que aciona o motor, devido à sobrecarga pela tentativa de mover o forno. Para resolver o problema foi refeita a peça interna do forno com modificações, para não ocorrer o travamento novamente, o relé danificado foi trocado e assim, o forno foi colocado em situação operacional novamente.

Figura 8.6: Indício da ocorrência de fusão devido ao calor e à diferença de materiais (alumínio e aço).

Fonte: [27].

Figura 8.7: Relé que aciona o movimento do forno, componente qualificado para voo, danificado no ensaio de vibração.

Fonte: Produção do autor.

8.4. Ensaios IAE/DCTA

O projeto foi desenvolvido tendo-se sempre entre as considerações os meios de teste do sistema. Este aparato de acessórios do sistema são as ferramentas e recursos que o sistema possui para viabilizar os ensaios, conforme os requisitos solicitam (Anexo A).

As atividades normais de verificação do IAE/DCTA [31] são realizadas em três fases do ciclo de vida do produto: no desenvolvimento (não é realizado nos AO's), na qualificação e na aceitação (com toda a carga e especificações de voo). Os processos de qualificação e aceitação do IAE/DCTA estão no início, apenas foi realizado o processo de metrologia do FORNO e da UEFOG.

Está prevista a realização de várias atividades de verificação (citadas nos requisitos do Anexo A):

- a metrologia, já realizada;
- teste de isolação;
- ensaio de ciclo térmico;
- verificação das baterias;
- testes de aceitação funcional individual;
- testes de aceitação funcional de interface com outros equipamentos;
- testes de aceitação funcional sistêmico de voo;
- ensaio de vibração individual (já realizado no LIT);
- ensaio de vibração com toda a carga útil do VSB.

9 CONCLUSÃO

Foram realizados o projeto e a fabricação do sistema eletroeletrônico, que integrado ao forno do experimento SLEM, foi submetido aos testes de validação, entre os quais o ensaio de vibração do LIT. Conforme esperado, o desenvolvimento do sistema eletroeletrônico agregou sua parcela de conhecimento aos trabalhos do 4ºAO e o viés de relato da dissertação pode trazer mais facilidade para outros que tenham tarefas semelhantes.

A recarga das baterias, sem a abertura do foguete e a mudança da Interface Homem Máquina (IHM) para um formato mais amigável, com o uso de um programa de monitoração e controle rodando em um *notebook*, foi realizada conforme planejado.

O FieldLogger trazia a imagem de um equipamento bastante completo que minimizaria a eletrônica para a implementação do *hardware*. Ele foi preparado para esta aplicação, mas não ficou uma solução otimizada do ponto de vista do controle. Na função *datalogger* não existe dúvida da capacidade do equipamento. Provavelmente, a solução controle independente e um *datalogger* simples compatível com o sistema possa ser mais eficiente no cumprimento das metas em um projeto novo (pode ser o próprio FieldLogger trabalhando mais próximo da função *datalogger*). O controle independente pode ser da família do Arduíno, ou outro tipo semelhante. Além, em um novo projeto, pode-se automatizar mais e melhor todos os eventos das operações de solo e voo, com o refinamento da programação, minimizando a quantidade e a extensão dos procedimentos com ação do operador. Também aumentar a disponibilidade de recursos de I/O analógico e digital, além da capacidade do suprimento de energia, para os experimentos do LAS ou de outros usuários.

Todos os materiais comprados foram orçados em três empresas diferentes e isto trouxe muita dificuldade. Componentes eletrônicos comuns, tais como resistores, capacitores, conectores, entre outros, são fáceis de encontrar, mas, sem a garantia da procedência, o que põe em dúvida a qualidade da peça e penaliza o resultado final do trabalho. Os componentes mais sofisticados são achados somente em distribuidores mundiais, que quase não existem para o Brasil, onde os valores são muito altos, a logística e, principalmente os prazos de entrega tornam-se novos adversários. Foram utilizados relés eletromecânicos neste projeto e estes componentes necessariamente devem possuir qualificação para voo devido ao nível de vibrações que a subida do

foguete imprime e tratar-se de um componente mecânico. Neste caso o processo de aquisição torna-se bastante complicado, foi tentada a compra, mas a solução foi recorrer aos nossos colegas de trabalho do INPE e IAE, que estão habituados com a tratativa comercial. Recomenda-se, para projetos novos, que se busque comprar tudo o mais antecipadamente possível e em distribuidores renomados. Também evitar utilizar relés eletromecânicos, caso possível; buscar realizar os chaveamentos com dispositivos de estado sólido (MOSFET's). Neste sentido, desenvolver uma ponte H para a inversão de direção do movimento do forno, em casos semelhantes ao experimento SLEM.

A compra de baterias confiáveis também foi um desafio. Foram utilizadas peças vendidas no comércio comum e elas foram problemáticas. Já recentemente, em abril de 2016, vingou um processo de compra de baterias do comércio comum, mas do fabricante SAFT, com as quais se espera fabricar um módulo de baterias com maior confiabilidade e trocar o existente. Sugere-se que em um próximo projeto a unidade de baterias tenha um sensor de temperatura interno tipo PT100, ou um dispositivo sensor que possua atuação automática, para maior segurança do processo de carga e descarga das baterias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] NAUMANN, R. J.; HERRING, H. W. **Materials processing in space:** early experiments. Washington, D.C.: NASA, 1980. Scientific and Technical Information Branch.

[2] HAMACHER, H.; FITTON, B.; KINGDON, J. The environment of earth-orbiting systems. In: WALTER, H. U. (Ed.). **Fluid sciences and materials science in space**: A european perspective. Berlin, Germany: Springer, 1987.

[3] REGEL, L. L.; WILCOX, W. R. **A review of detached solidification in microgravity**. Potsdam, USA, NY: Clarkson University. International Center for Gravity Materials Science and Applications, 1998.

[4] GARCIA, A. ET AL. VSB-30 Sounding Rocket: History of Flight Performance. **Journal of Aerospace Technology and Management**, v. 3, n. 3, p. 325-330, 2011.

[5] AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA. **Programa nacional de atividades espaciais - Pnae 2012-2021**. Brasília, DF: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2012. 34 p.

[6] AN, C. Y.; BOSCHETTI, C.; RIBEIRO, M. F.; TOLEDO, R. C.; FREITAS, F. E.; BANDEIRA, I. N. Performance of a solidification furnace developed for sounding rockets. **Microgravity Science and Technology**, v. 23, n. 4, p. 427-432, 2011. DOI: 10.1007/s12217-011-9263-8

[7] AN, C. Y.; BOSCHETTI, C.; RIBEIRO, M. F.; TOLEDO, R. C.; FREITAS, F. E.; CASTILHO, F. F.; BANDEIRA, I. N. Solidification furnace for microgravity experiments on sounding rockets. **Journal of Aerospace Technology and Management**, v. 4, n. 2, p. 237-240, Apr. – Jun., 2012. DOI: 10.5028/jatm.2012.04021412.

[8] AN, C. Y.; BANDEIRA, I. N.; BOSCHETTI, C.; TOLEDO, R. C.; RIBEIRO, M. F.; PEIXOTO, J. C. **4°AO - Chamada para** propostas **de** desenvolvimento **de** experimentos **em** microgravidade. São José dos Campos: Inpe, 2013. 14 p. Documento não publicado e apresentado à AEB.

[9] AN, C. Y.; BANDEIRA, I. N.; BOSCHETTI, C.; TOLEDO, R. C.; RIBEIRO, M. F.; PEIXOTO, J. C. **DOC100 - Solidificação de ligas Eutéticas em Microgravidade (SLEM)**. São José dos Campos, 2013. 25 p. Documento não publicado e apresentado à AEB.

[10] AN, C. Y.; BANDEIRA, I. N.; BOSCHETTI, C.; TOLEDO, R. C.; RIBEIRO, M. F.; PEIXOTO, J. C. **DOC200 - Solidificação de ligas Eutéticas em Microgravidade (SLEM)**. São José dos Campos, 2014. 48 p. Documento não publicado e apresentado à AEB.

[11] NAUMANN, R. J. **Early space experiments in materials processing.** Alabama: NASA, 1971. NASA TN-78234.

[12] AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA (AEB). **Microgravidade.** Desenvolvido por AEB. Brasília. 2008. Disponível em: <http://site.aeb.gov.br/mini.php?secao=microgravidade>. Acesso em: 30 jan 2013.

[13] GAROTTI, H. **As quatro forças fundamentais da natureza.** 2016. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20032/Humberto>. Acesso em: 14 maio 2016.

[14] MESLAND, D.; PARIS, D.; HUIJSER, R.; LAMMERTSE, P.; POSTEMA, R. Ballistocraft: a novel facility for microgravity research. **ESA Bulletin nº 82.**, 1995.

[15] EUROPEAN SPACE AGENGY (ESA). **What is weigtlessness.** 2016. Disponível em: <https://cnes.fr/en/what-weightlessness>. Acesso em: 14 maio 2016.

[16] EUROPEAN SPACE AGENGY (ESA). **Microgravity and drop towers.** 2016. Disponível em: <http://www.esa.int/Education/Microgravity_and_drop_towers>. Acesso em: 14 maio 2016.

[17] TOLEDO, R. C. **Estudo da solidificação de ligas metálicas eutéticas em ambiente de microgravidade**. 2013. 214 p. (sid.inpe.br/mtc-m19/2013/02.21.12.26-TDI). Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Materiais e Sensores) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2013. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3DJR26P>. Acesso em: 02 maio 2016.

[18] BANDEIRA, I. N.; AN, C. Y.; BOSCHETTI, C.; RIBEIRO, M. F.; FERREIRA, F. A.; PEIXOTO, J. C.; SILVA, S. **Forno Multiusuário para Solidificação (FORMU-S).** São José dos Campos: INPE, 2002. Disponível em: <http://site.aeb.gov.br/download/microgravidade/Relatoriopag_61_74_Iraja.pdf>. Acesso em: 04 fevereiro 2013.

[19] CORREA, F.; MUSSI, R.; HUMANN, M.; L., C.; BANDEIRA, I. N. Brazilian microgravity program: Challenges and perspectives. In: ESA SYMPOSIUM ON EUROPEAN ROCKET AND BALLOON PROGRAMMES AND RELATED RESEARCH, 17., 2005, Sandefjord. **Proceedings**... Norway: Sandefjord, 2005.

[20] BANDEIRA, I.; BOGOSSIAN, O.; CORREA, F. Centenary mission: first Brazilian microgravity experiments at iss. **Microgravity Science and Technology**, v. 5, n. 6, 2007 A.

[21] AN, C. Y.; BOSCHETTI, C.; RIBEIRO, M. F.; PEIXOTO, J. C. **Solidificação de uma liga de PbSnTe em microgravidade (SLM) – 3 AO.** Documentação Técnica de Experimento/Versão Integrada - Operação Maracati 2 - VSB-30 (DOC 200/I). São José dos Campos, 2009. 78 p. Documento não publicado e apresentado à AEB.

[22] AN, C. Y.; BANDEIRA, I. N.; BOSCHETTI, C.; RIBEIRO, M. F.; PEIXOTO, J. C.; TOLEDO, R. C. **Doc 200/1 - operação maracati - vsb-30**. São José dos Campos: INPE, 2013. 76 p. (sid.inpe.br/mtc-m19/2013/05.06.16.42-NTC). Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3E3SJJL>. Acesso em: 2 fev. de 2015.

[23] AN, C. Y.; BANDEIRA, I. N.; BOSCHETTI, C.; RIBEIRO, M. F.; PEIXOTO, J. C.; TOLEDO, R. C. **Relatório de participação na operação Maracati - 2**. São José dos Campos: INPE, versão: 2013-05-20. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3E3SJRB>. Acesso em: 2 fev. 2015.

[24] NASA CENTER FOR AEROSPACE INFORMATION. **NASA systems engineering handbook**. (NASA/SP-2007-6105 Rev1). Hanover: NASA Center for AeroSpace Information, 2007. 19-30 p.

[25] ALEXANDER, I. F; STEVENS, R. **Writing better requirements.** 1. ed. Great Britain: Pearson Education Ltd, 2002. 1-18 p.

[26] KAR, P.; BAILEY, M. Requirements management working group: characteristics of good requirements. **INCOSE International Symposium**, v 6, n. 1, p. 1225–1233, July 1996. DOI: 10.1002/j.2334-5837.1996.tb02142.x.

[27] AN, C. Y. **Acervo de documentos dos experimentos em microgravidade da linha de pesquisa TECMAT / LAS / INPE**. 2016. Documentos em meio eletrônico – Disco Rígido.

[28] CENTRO **DE LANÇAMENTO** DE ALCÂNTARA (CLA). **Cronologia real de lançamento operação Maracati 2 VSB-30 V07.** Alcântara, 2010. Documento preparado para ser utilizado durante o lançamento do foguete no CLA, em 12 dez. 2010.

[29] AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA (AEB). **Imprensa –** galeria **de** imagens**.** Desenvolvido por AEB. Brasília. 2016. Disponível em: <www.aeb.gov.br/imprensa/galeria-de-imagens/>. Acesso em: 14 mar. 2016.

[30] AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA (AEB). **Quarto Anúncio de Oportunidade (4AO).** Desenvolvido por AEB. Brasília. 2013. Disponível em: <http://200.130.146.7/index.php/aos>. Acesso em: 17 maio 2013.

[31] AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA (AEB). **Seminário programa microgravidade.** São José dos Campos, 2013. Seminário realizado no Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA), em 18 set. 2013. (informação verbal).

[32] AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA (AEB). **DOC200.** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <chen@las.inpe.br> em: 15 maio 2014.

[33] Nexans. **Aplicações recomendadas para os fios e cabos de BT e MT.** Americana, 2013. Catálogo. Disponível em: <http://www.nexans.com.br/eservice/Brazil-pt_BR/fileLibrary/Download_540223155/Brazil/files/mini%20MT_BT%20maio%202013.pdf>. Acesso em: 6 jun. 2016.

[34] OMEGA. **Temperature handbook.** UK, [S.l.]. Catálogo.

[35] NOVUS PRODUTOS ELETRÔNICOS LTDA. **Sistemas de aquisição de dados (fieldlogger).** São Paulo, 2013. Treinamento realizado na empresa NOVUS, em 21 ago. 2013.

[36] NOVUS PRODUTOS ELETRÔNICOS LTDA. **Manual de instruções fieldlogger.**. Porto Alegre: NOVUS, 2013. 104 p. v1.5x.

[37] OPTEK TECHNOLOGY INC. **Slotted optical switch**. Carrollton, Texas, 2012. Catálogo. Disponível em: <www.optekinc.com>. Acesso em: 7 fev. 2014.

[38] VISHAY INTERTECHNOLOGY, INC. **TCST2103 transmissive optical sensor with phototransistor output**. USA, 2009. Catálogo. Disponível em: <http://www.mouser.com/vishaysemiconductors>. Acesso em: 19 set. 2014.

[39] CHERRYSWITCHES. **H Subminiature snap switch -** single pole **- DB** series. Zhuhai, China, 2015. Catálogo. Disponível em: <www.cherryswitches.com>. Acesso em: 4 maio 2016.

[40] INFINEON TECHNOLOGIES AG. **High current PN half bridge BTN8962TA**. Munich, Germany, 2013. Catálogo. Disponível em: <www.infineon.com>. Acesso em: 19 nov. 2013.

[41] TELEDYNE RELAYS. **Space products selection guide –** teledyne relays. USA, 2013. Catálogo. Disponível em: <www.teledynerelays.com>. Acesso em: 2 abr. 2015.

[42] EUROPEAN SPACE AGENCY (ESA). **Relay, electromagnetic, latching**, 28VDC, 1A, 2PDT, TO5 CAN - ESCC detail specification Nº. 3602/002:. França, dez. 2013. 19 p.

[43] TECTROL – EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E ELETRÔNICOS LTDA. **Fonte de tensão estabilizada modelo : TCA 120-05XR1A.** Barueri, São Paulo: Tectrol. 2002. 14 p. (ref. 68450).

[44] MEAN WELL. **300W single output with PFC function HRPG-300 series**. Taiwan, 2015. Catálogo. Disponível em: <http://www.meanwell.com>. Acesso em: 4 maio 2016.

[45] ARDUINO. **Getting started with Arduino**. Desenvolvido por Arduino LLC - trademark@arduino.cc. [S.l.], 2016. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Guide/HomePage>. Acesso em: 5 maio 2016.

[46] TEXAS INSTRUMENTS. **Beagle bone black system reference manual**. Dallas, Tx, USA, 2013. Catálogo. Disponível em: <http://circuitco.com/support/index.php?title=BeagleBoneBlack>. Acesso em: 26 nov. 2013.

[47] RPi PROJECTS. **Raspberry Pi getting started guide**. [S.l.], 2016. Catálogo. Disponível em: <http://elinux.org/RPi_Projects>. Acesso em: 5 maio 2016.

[48] NOVUS PRODUTOS ELETRÔNICOS LTDA. **Conceitos básicos de RS485 e RS422**. Porto Alegre, 2006. Catálogo. Disponível em: <www.novus.com.br>. Acesso em: 11 ago. 2015.

[49] TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED. **Application report SLLA070D - RS-422 and RS-485 standards overview and system configurations**. Dallas, Texas, USA, 2010. Catálogo. Disponível em: <http://www.ti.com>. Acesso em: 9 set. 2013.

[50] NOVUS PRODUTOS ELETRÔNICOS LTDA. **Sistemas scada superview.** São Paulo, 2014. Treinamento realizado na empresa NOVUS, em 15 maio 2014.

[51] NOVUS PRODUTOS ELETRÔNICOS LTDA. **Manual de Instruções Superview.** Porto Alegre: NOVUS, 2013. 41 p. v2.9x.

[52] NOVUS PRODUTOS ELETRÔNICOS LTDA. **Manual de instruções editor receitas superview. v**1.0x. Porto Alegre: NOVUS, 2013. 41 p.

[53] FAIRCHILD SEMICONDUCTOR INTERNATIONAL, INC. **P6KE6V8(C)A - P6KE440(C)A 600 W transient voltage suppressors**. USA, 2013. Catálogo. Disponível em: <http://www.mouser.com/Fairchild-Semiconductor>. Acesso em: 9 set. 2013.

[54] HIGHER. **Sistema de aquecimento industrial -** resistências. Desenvolvido por ClickNow®. São José dos Campos. 2016. Disponível em: < http://www.higher.com.br/> Acesso em: 5 maio 2016.

[55] OMRON. **General-purpose latching relay MYK**. The Netherlands, 2002. Catálogo. Disponível em: <http:// www.eu.omron.com>. Acesso em: 18 jun. 2014.

[56] FINDEr. **55 Series -** general **purpose relays 7 - 10** a. Itália, 2009. Catálogo. Disponível em: <https://www.findernet.com/pt-BR/home>. Acesso em: 6 nov. 2015.

[57] HIREL A COMPANY OF STPI GROUP. **Series T ultraminiature TO 5 transistor size magnetic latching relays ESCC 3602-002**. Saint Jean De La Ruelle, France, 2015. Catálogo. Disponível em: <www.stpigroup.com>. Acesso em: 6 abr. 2015.

[58] PELÓGIA, J. **Projeto fabricação mecânica UEFOG**. 2015. Documentos em meio eletrônico – Disco Rígido do SEMA / INPE e CD com arquivos PDF Autocad R2008.

[59] HIREL A COMPANY OF STPI GROUP. **Series TL ultraminiature TO 5 transistor size magnetic non latching relays ESCC 3601-002**. Saint Jean De La Ruelle, France, 2015. Catálogo. Disponível em: <www.stpigroup.com>. Acesso em: 6 abr. 2015.

[60] ANALOG DEVICES INC. **Precision thermocouple amplifiers with cold junction compensation AD8494/AD8495/AD8496/AD8497**. U.S.A., 2011. Catálogo. Disponível em: <www.analog.com>. Acesso em: 20 fev. 2014.

[61] SAKITA, M. T.; LINO, C. O.; LOUREIRO, G. **Relatório de ensaios de vibração – Equipamento:** forno elétrico de solidificação de materiais **– F2015-02** e módulo eletrônico **UEFOG 2015-01 –** modelo**: VOO –** solicitante**: INPE / LAS / CTE**. São José dos Campos: INPE, 2015. 162 p. (LIT02-LAS-TR-012). A cópia impressa da versão 1 deste documento se encontra arquivada no Centro de Documentação (CEDOC) do LIT.

[62] PROCÓPIO, H. A. C. **Reunião**: posicionamento da UEFOG e do FORNO no prato. 2014. Interessado: LAS / INPE. São José dos Campos: sala projeto IAE/DCTA, 16 jun. 2014. (informação verbal).

GLOSSÁRIO

4ºAO – os chamados públicos para a participação das instituições interessadas na oportunidade de acesso ao ambiente espacial são conhecidos por anúncio de oportunidade e o 4ºAO é o qual está sendo realizado no momento pela AEB.

alto nível – no caso de uma arquitetura de sistema, alto nível quer dizer que se está falando sobre os pontos principais, sem entrar em detalhes e nem na implementação física.

bitola – relativo a área da seção transversal de um cabo metálico para fins elétricos ou eletrônicos.

carga – material que será fundido e solidificado no experimento científico.

controle de temperatura liga/desliga ou *on/off* – forma de controle de temperatura na qual o aquecimento é ligado ou desligado conforme a temperatura seja, respectivamente, menor ou maior que o valor desejado.

datalogger – equipamento eletrônico de armazenamento de dados analógicos ou digitais.

DOC100 – nome pelo qual o projeto preliminar é conhecido na documentação apresentada a AEB.

DOC200 – nome pelo qual o projeto final, visando a fabricação, é conhecido na documentação apresentada a AEB.

EGSE – Electrical Ground Support Equipment - equipamento auxiliar construído para os testes de outro equipamento ou sistema em solo.

fim de curso – dispositivo indicador de que um movimento não pode continuar devido a ter chegado ao fim do espaço útil do deslocamento.

FieldLogger – modelo de equipamento fabricado pela Novus, é um tipo de *datalogger* conjugado com interfaces analógica, digital e de comunicação.

hardkey – uma forma de licença física de um programa, normalmente um *pen-drive*, que deve ser ligado na porta USB para o programa licenciado funcionar.

hardware – parte física de um equipamento eletrônico, geralmente envolve computadores.

imponderabilidade – vide microgravidade.

jiga de testes – equipamento auxiliar construído para os testes de outro equipamento ou sistema (EGSE).

lay-out – projeto de posicionamento de partes físicas existentes em locais, painéis ou caixas.

microgravidade – é o estado de imponderabilidade, situação equivalente a de um corpo em queda livre, ou seja, situação equivalente a ausência de peso.

notebook – microcomputador portátil.

Novus – empresa fornecedora de equipamentos utilizados na solução do sistema.

protoflight – o produto gerado no projeto é o modelo de engenharia ou desenvolvimento, qualificação, aceitação e voo.

software – parte lógica, o programa que controla um equipamento eletrônico, geralmente envolve um computador.

RS485 – comunicação digital utilizada em ambiente industrial, semelhante ao padrão RS232.

relé *latch* – relés cujos contatos permanecem no estado comutado de modo permanente, mesmo sem alimentação.

umbilical – cablagem que liga o foguete nos equipamentos de solo.

APÊNDICE A – CRONOGRAMA DO PROJETO

A Tabela A1 apresenta o cronograma planejado para o projeto.

Tabela A1 - Cronograma do projeto.

Nº	DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE	ANO	MÊS											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Inscrição no 4AO da AEB	2013							x					
2	Identificação das necessidades e conceitos da arquitetura								x	x	x	x	x	
3	Projeto preliminar – entrega do DOC100												x	
4	Revisão do projeto preliminar pelo IAE												x	x
5	Projeto final de fabricação - DOC200												x	x
6	Desenvolvimento do modelo de engenharia								x	x	x	x	x	x
7	Revisão do projeto preliminar pelo IAE	2014	x	x										
8	Projeto final de fabricação - DOC200		x	x	x	x	x	x	x					
9	Revisão do projeto final pelo IAE								x	x	x	x	x	x
10	Desenvolvimento do modelo de engenharia		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
11	Montagem, integração e testes								x	x	x	x	x	x
12	Desenvolvimento do modelo de engenharia	2015	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
13	Montagem, integração e testes		x	x	x	x								
14	Integração e testes finais					x	x	x	x	x	x	x	x	x
15	Testes ambientais de qualificação					x	x	x	x	x	x	x	x	x
16	Aceitação para voo do sistema integrado					x	x	x	x	x	x	x	x	x
17	Desenvolvimento do modelo de engenharia	2016	x	x	x									
18	Integração e testes finais		x	x	x									
19	Testes ambientais de qualificação		x	x	x									
20	Aceitação para voo do sistema integrado		x	x	x									

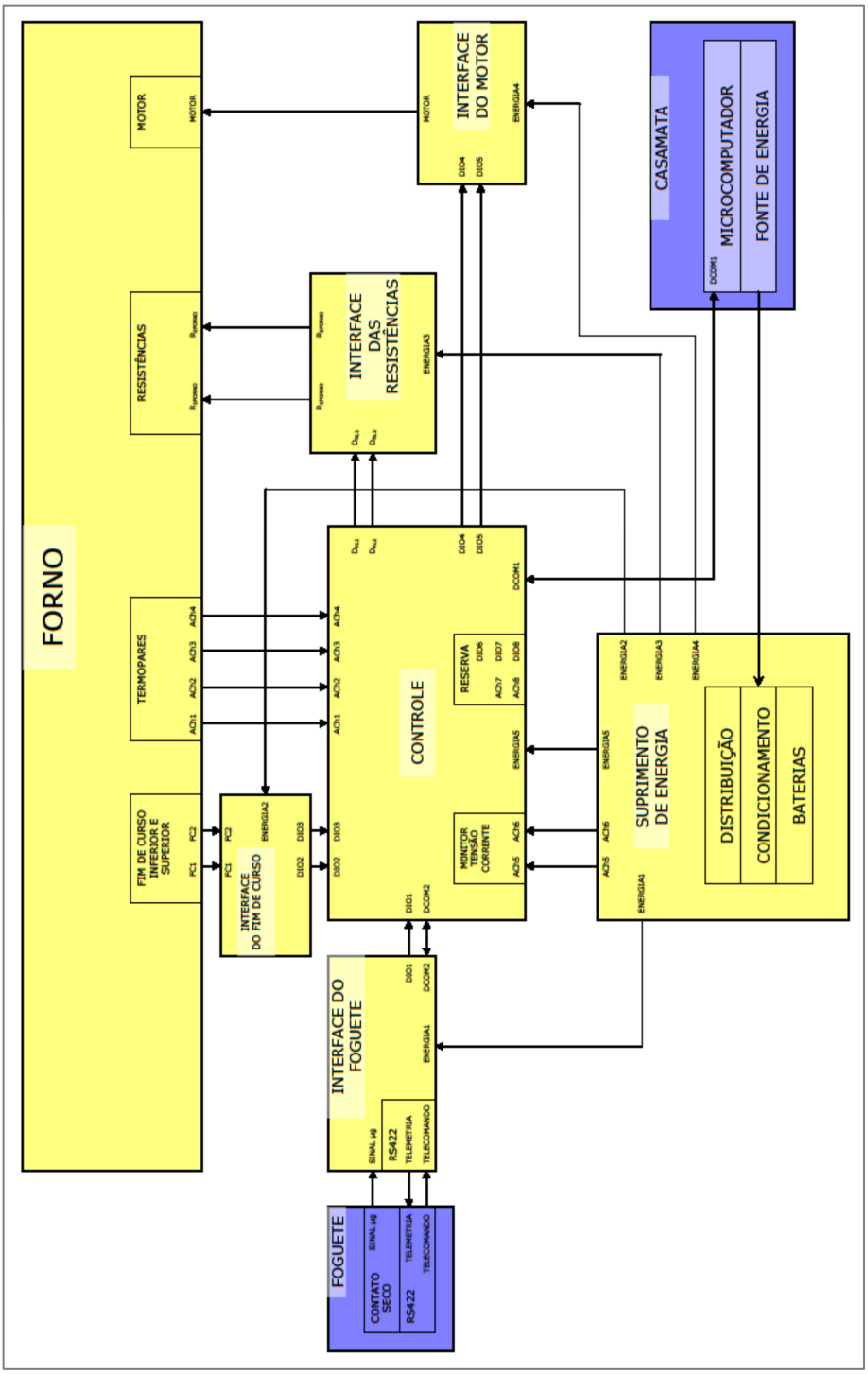
Somente as linhas com x (sem cor) indicam as atividades encerradas dentro do mesmo ano.

Fonte: Baseado no DOC200 [10].

APÊNDICE B – DIAGRAMAS DE BLOCOS

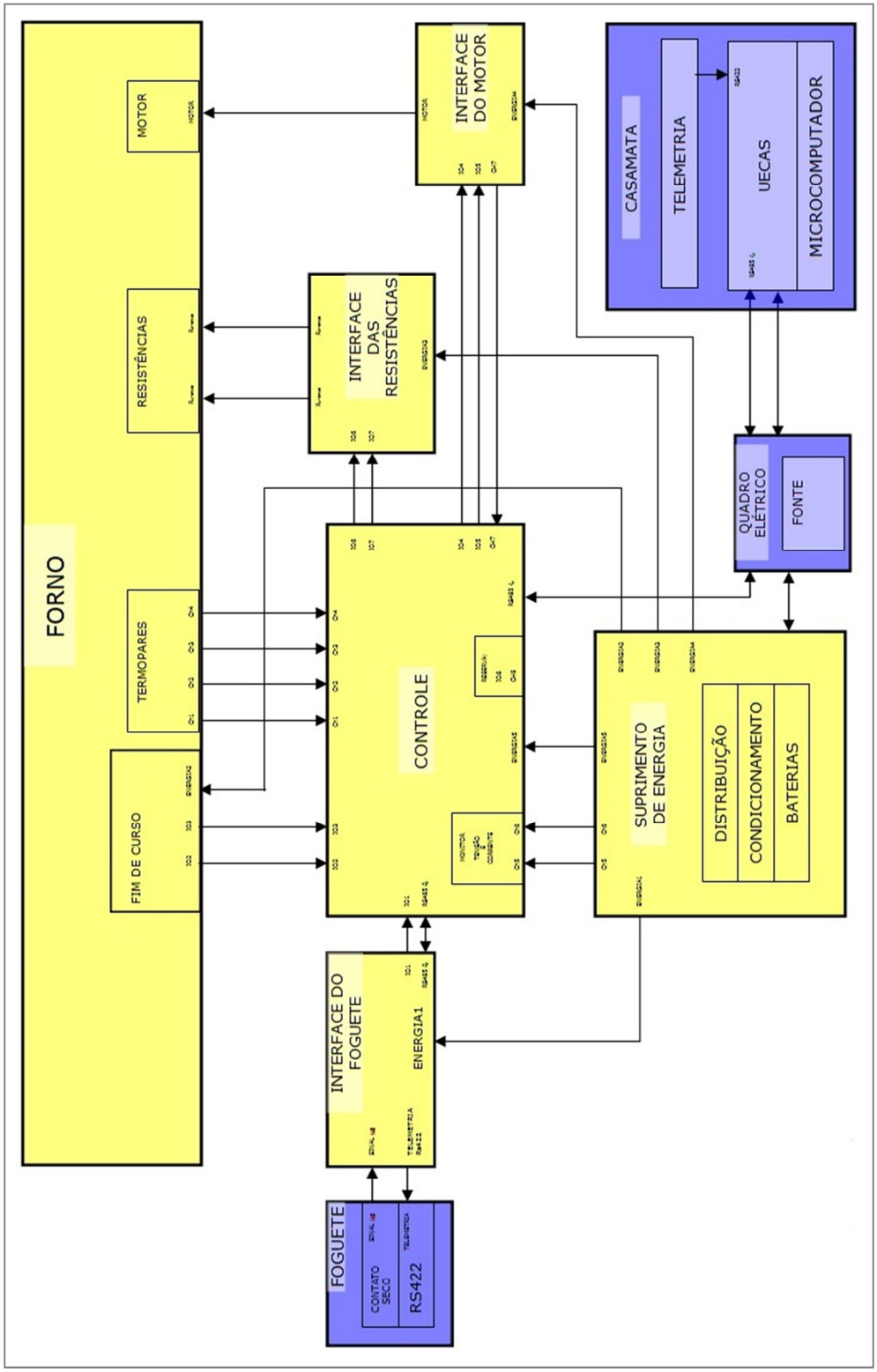
As três figuras seguintes mostram a evolução do diagrama de blocos do sistema, e o desenvolvimento do projeto na inscrição no 4ºAO, no DOC100 e depois no DOC200.

Figura B1 - Diagrama de blocos do sistema na inscrição do 4ºAO.



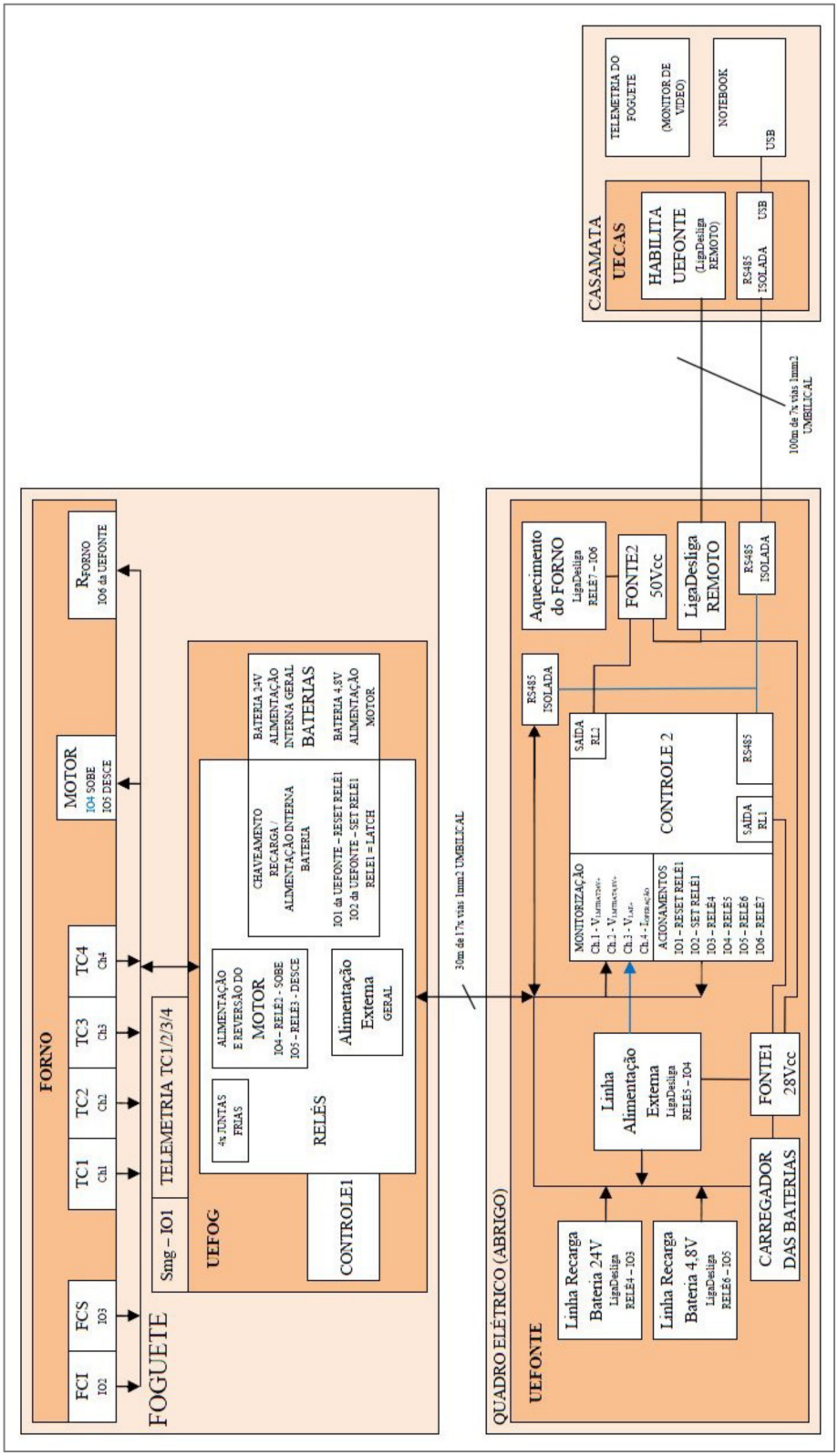
Fonte: Produção do autor.

Figura B2 - Diagrama de blocos do sistema no DOC100 - projeto preliminar.



Fonte: Produção do autor.

Figura B3 - Diagrama de blocos do sistema no DOC200 - projeto final de fabricação.

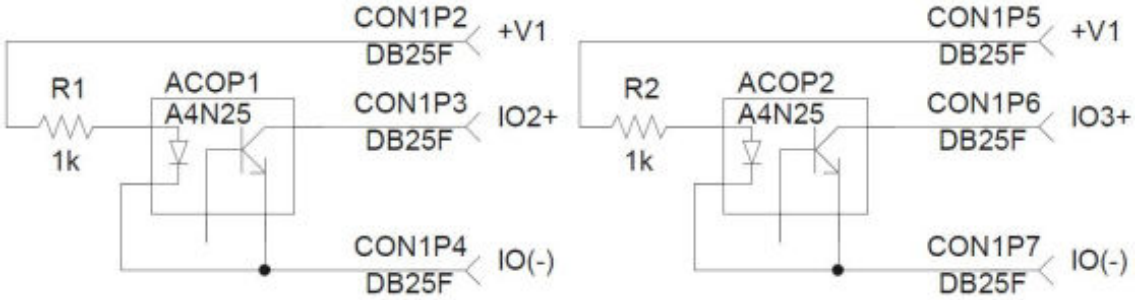


Fonte: Produção do autor.

APÊNDICE C – CIRCUITOS ELÉTRICOS

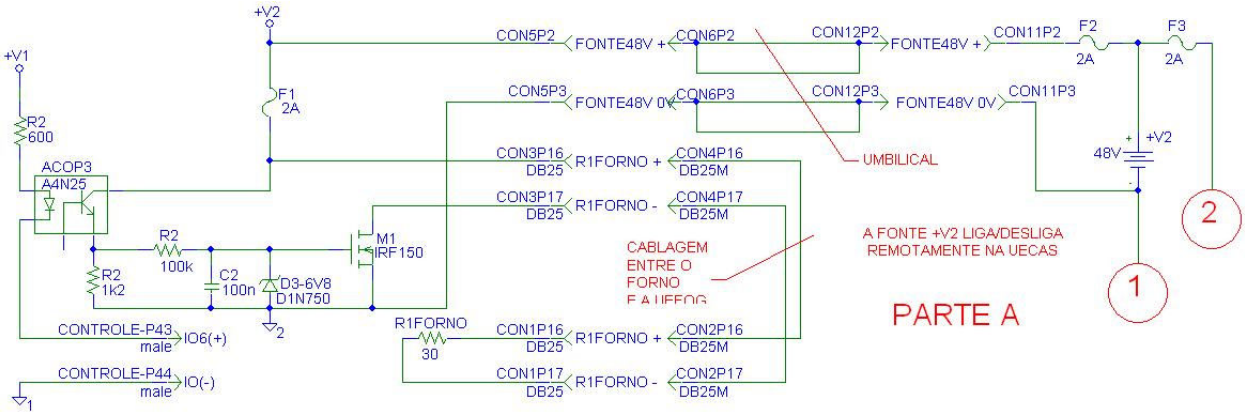
Dois exemplos de circuitos elétricos estudados no DOC100 e que não foram implementados.

Figura C.1 - Circuito elétrico da interface de fim de curso – DOC100.



Fonte: Produção do autor.

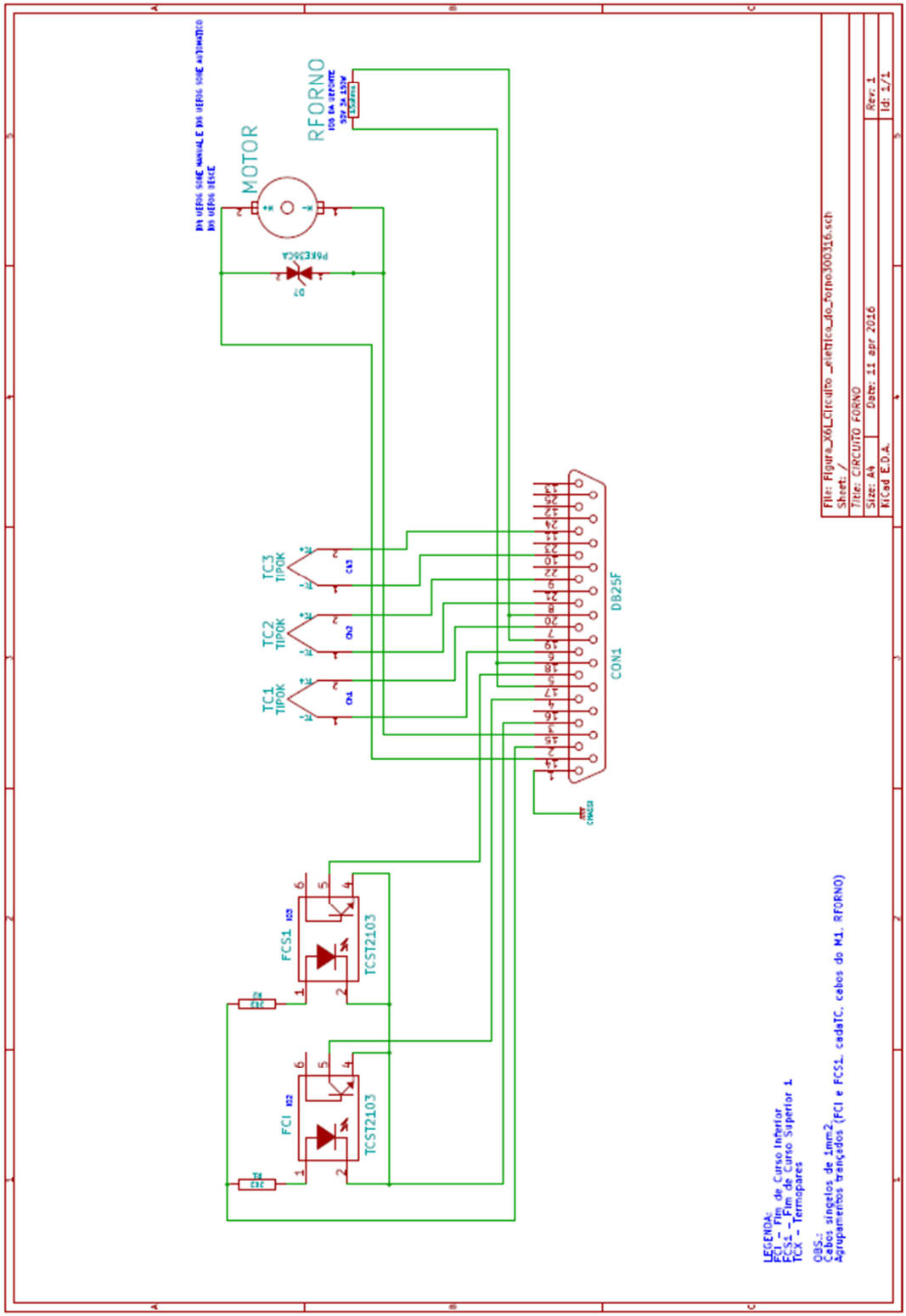
Figura C.2 - Circuito elétrico da interface das resistências – DOC100.



Fonte: Produção do autor.

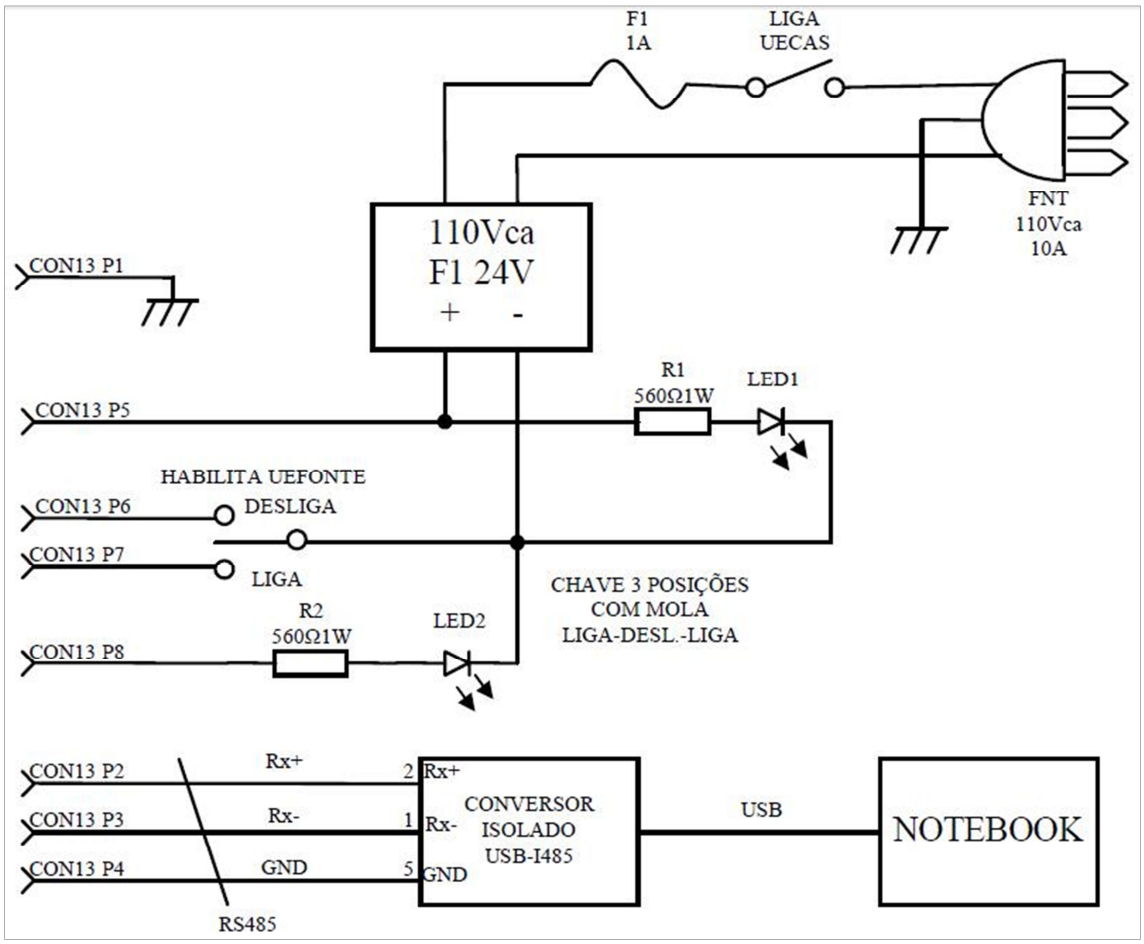
Os circuitos elétricos projetados e desenvolvidos no projeto final de fabricação - DOC200 e que foram fabricados.

Figura C.3 - Circuito elétrico do forno – DOC200.



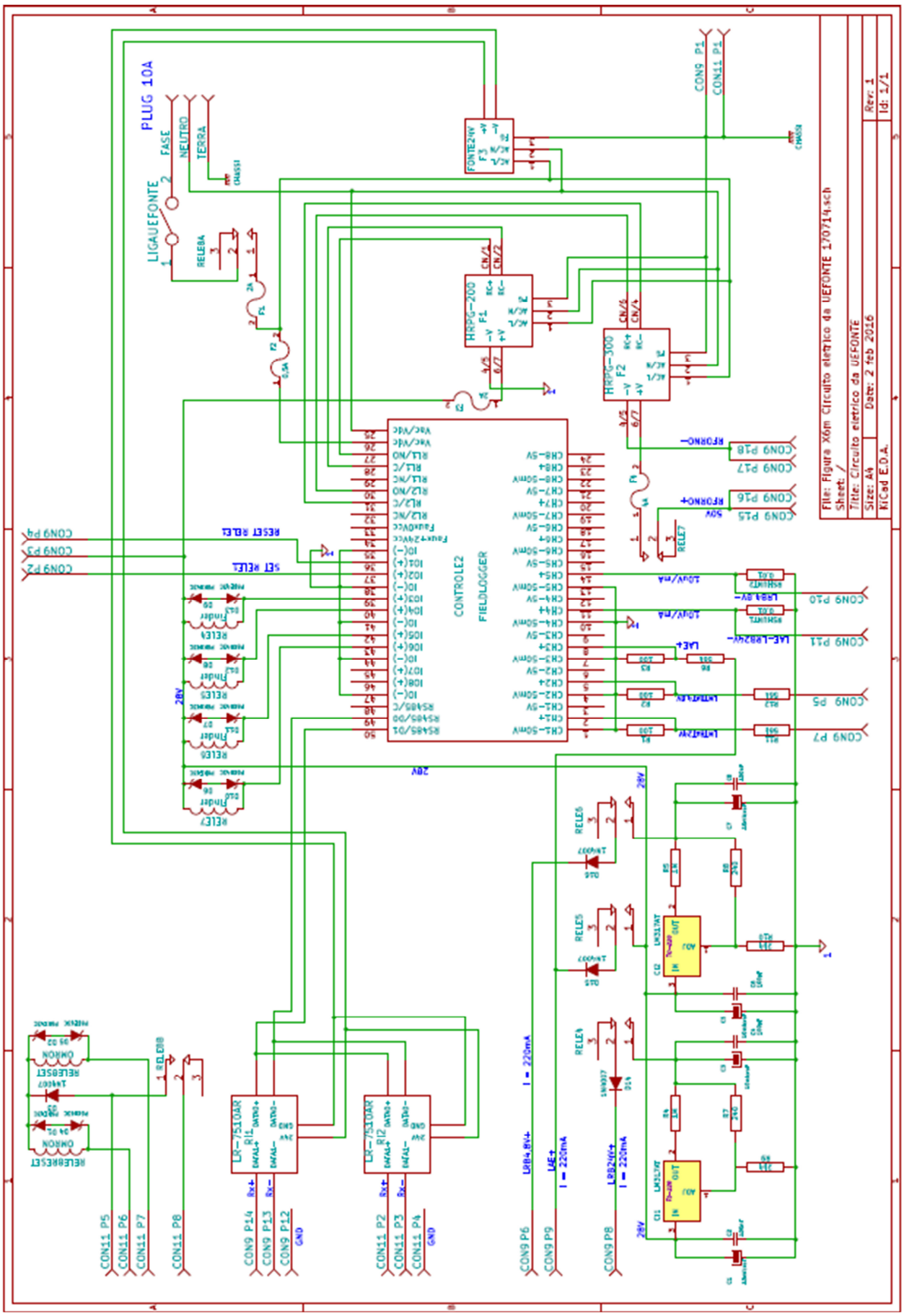
Fonte: Produção do autor.

Figura C.4 - Circuito elétrico da UECAS – DOC200.



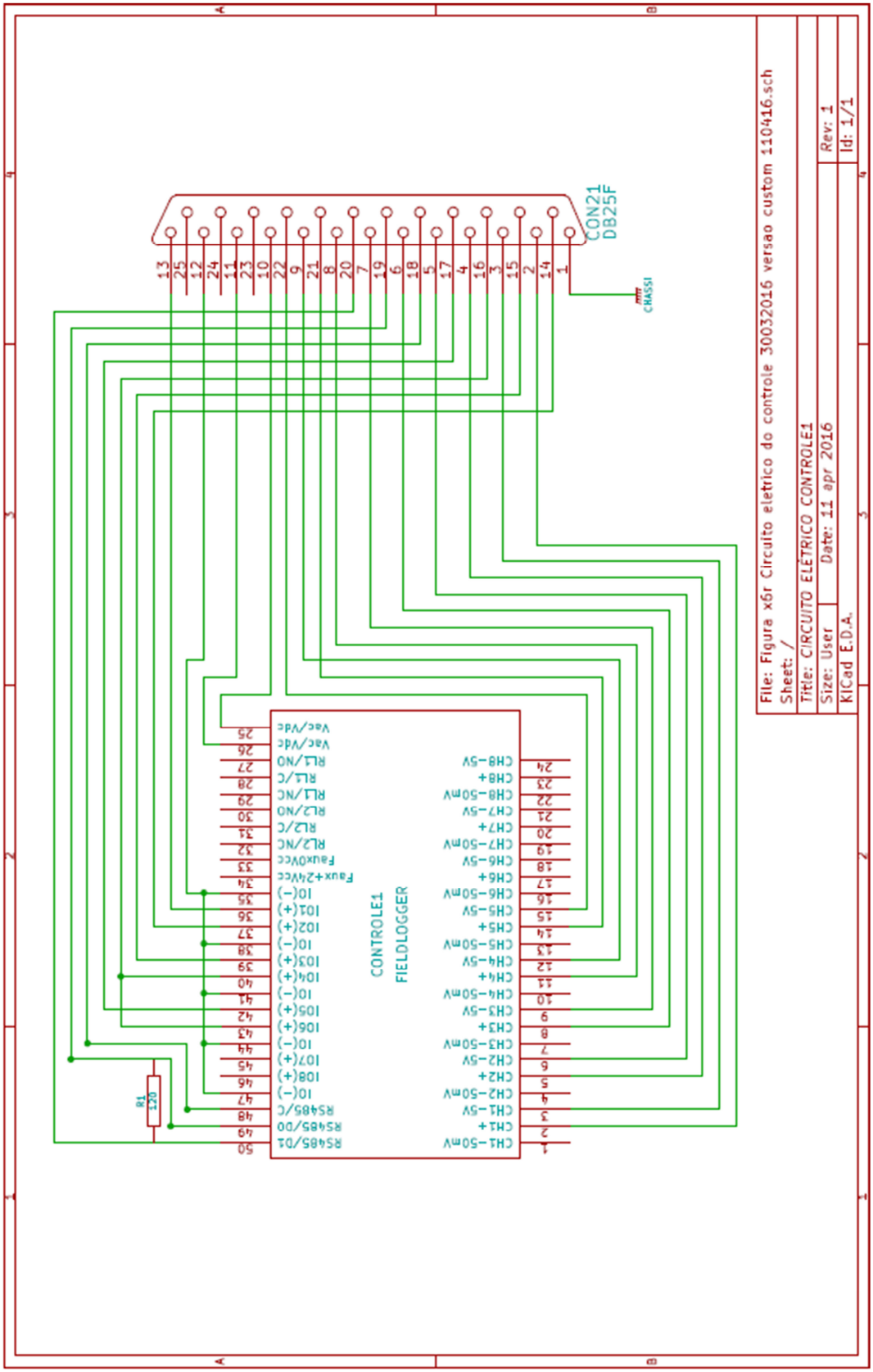
Fonte: Produção do autor.

Figura C.5 - Circuito elétrico da UEFONTE – DOC200.



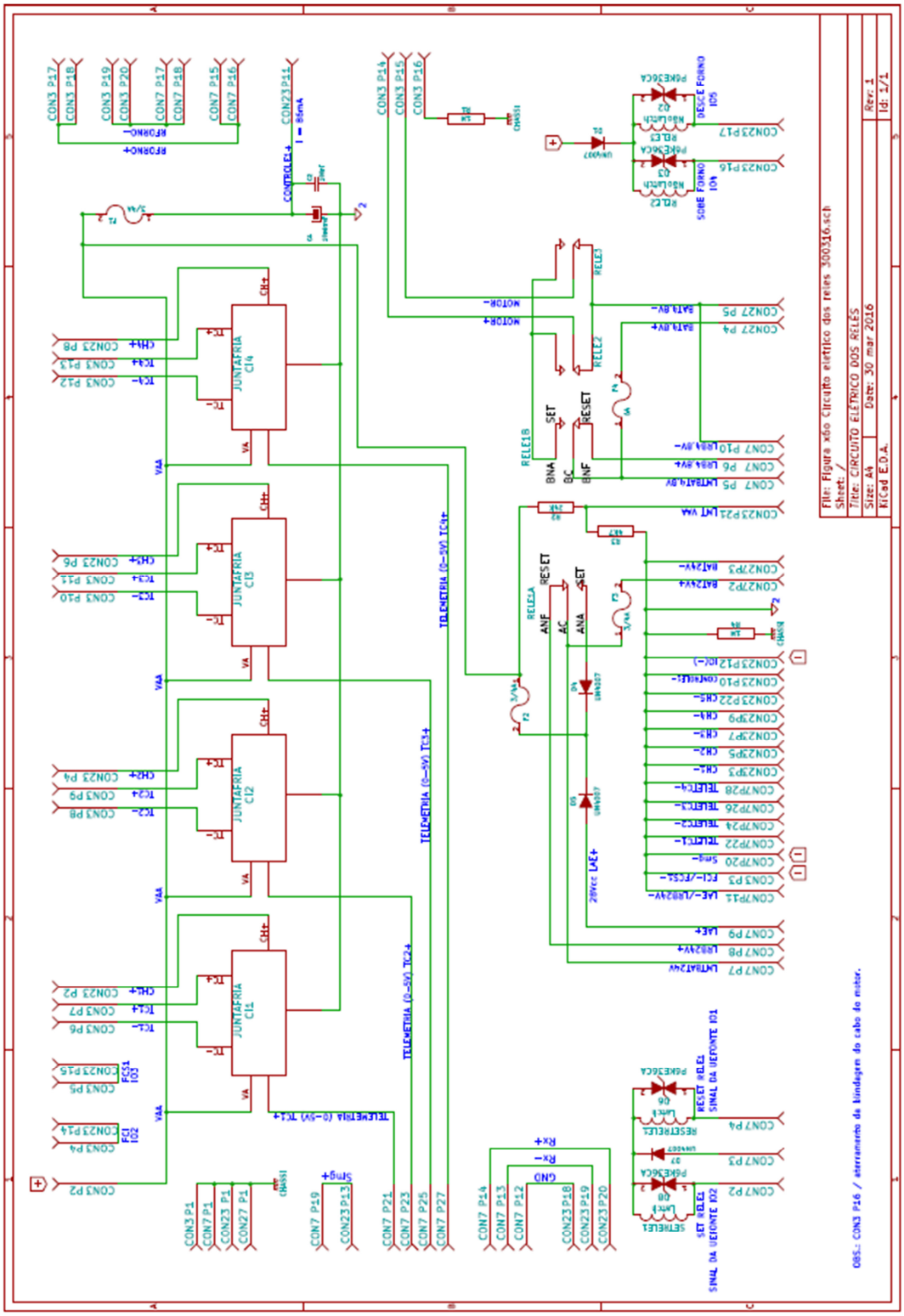
Fonte: Produção do autor.

Figura C.6 - Circuito elétrico da UEFOG: módulo de controle – DOC200.



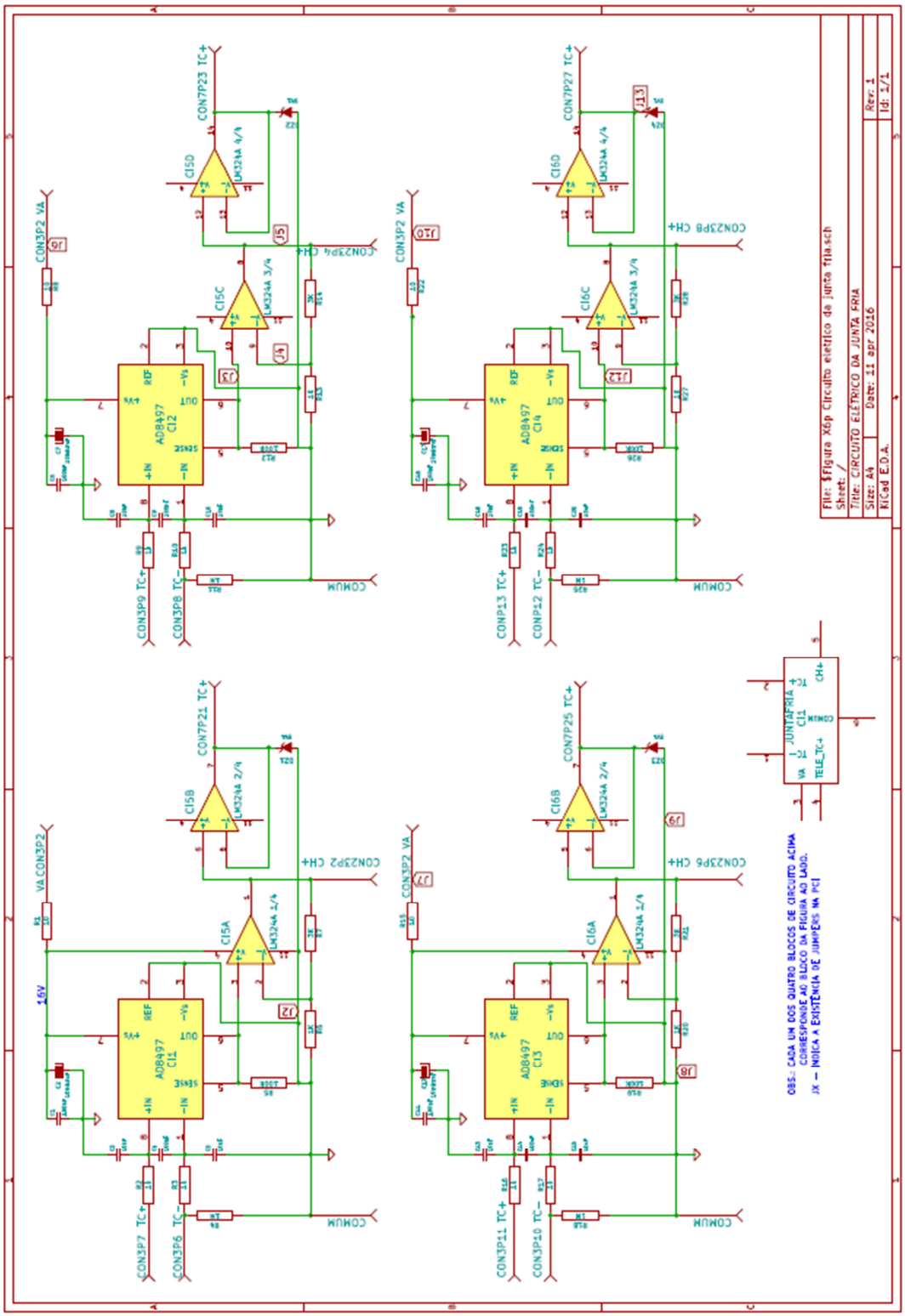
Fonte: Produção do autor.

Figura C.7 - Circuito elétrico da UEFOG: módulo dos relés – DOC200.



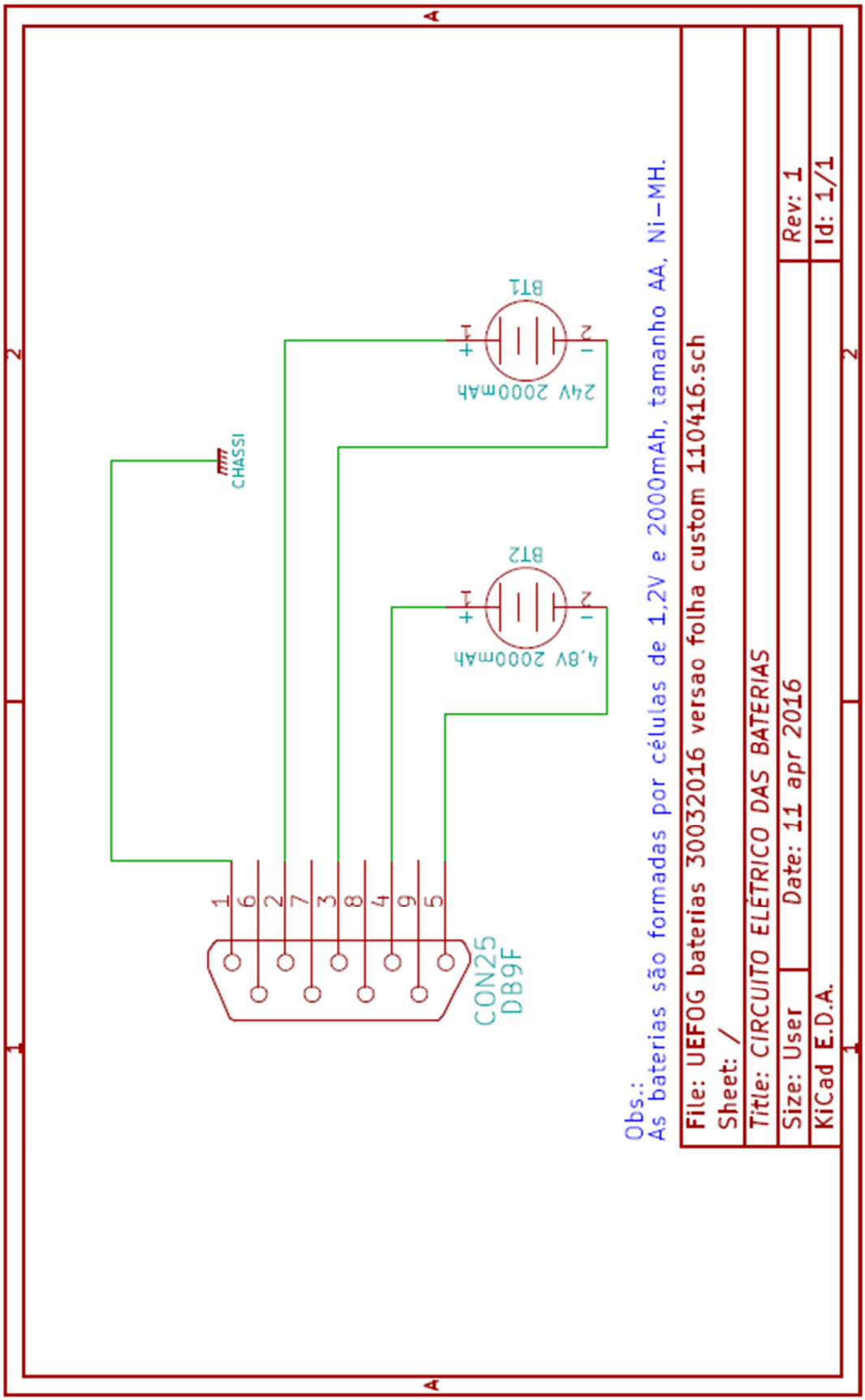
Fonte: Produção do autor.

Figura C.8 - Circuito elétrico da UEFOG: juntas frias do módulo dos relés – DOC200.



Fonte: Produção do autor.

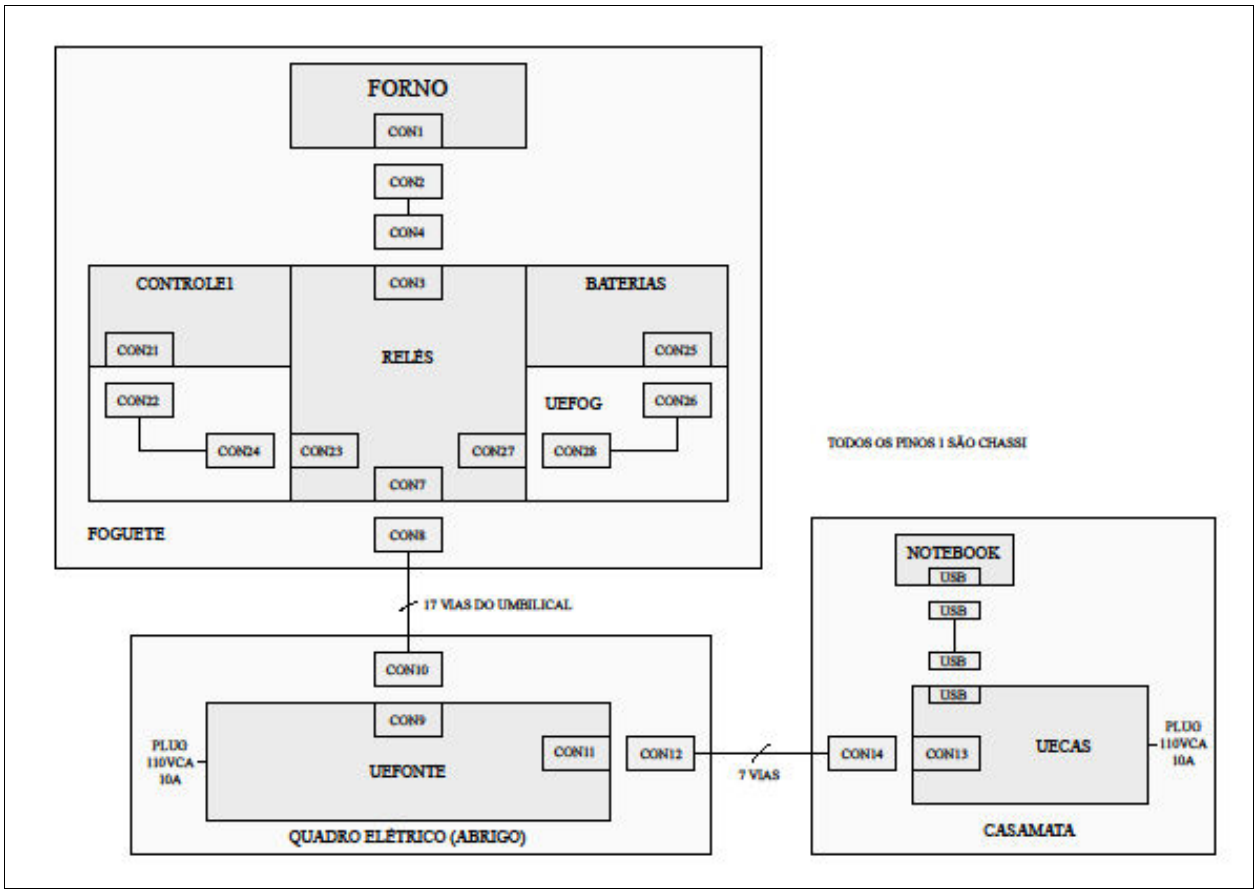
Figura C.9 - Circuito elétrico da UEFOG: módulo das baterias – DOC200.



Fonte: Produção do autor.

O diagrama de blocos seguinte documenta o posicionamento de cada conector no sistema e sua interligação elétrica.

Figura C.10 - Mapa da interligação da cablagem do sistema fabricado.



Fonte: Produção do autor.

APÊNDICE D – CRONOLOGIA SIMULADA DO LANÇAMENTO 4ºAO

As próximas três páginas são baseadas no documento: Cronologia Real de Lançamento - Operação Maracati II VSB-30 v07 (3ºAO) [28].

Ministério da
Ciência, Tecnologia
e Inovação

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PÁTRIA EDUCADORA

OPERAÇÃO NOME A DEFINIR

VSB-30 VXX

CRONOLOGIA SIMULADA DO LANÇAMENTO 4ºAO

1. Informações Gerais –

   Data: 29 de outubro de 2015
   H0 (*lift off*): 15 horas

INPE

São José dos Campos

2015

				29/10/15		CRONOLOGIA SIMULADA VSB-30 VXX	
				Versão 1		PROCEDIMENTO GERAL DE TESTES	
		Operação nome a definir				INPE/LIT - ENSAIO DE VIBRAÇÃO	
N°	Ok	TU	H0		DUR.	Ações e Eventos	Responsáveis
		hh:mm:ss		hh:mm:ss	hh:mm:ss		
1						**Pré-requisitos:** • Sistema integrado; • Experimento pronto; • Energização inicial; • UEFONTE (abrigo) habilitada; • UECAS (casamata) ligada; • Microcomputador ligado; • Programa de supervisão e controle carregado e pronto; • Emulador da telemetria (5xmultímetros ou FieldLogger auxiliar); • Sinal de µG não pode ser enviado em solo.	
						Ligar UEFONTE (casamata).	
						Início do Teste Horizontal do Experimento SLEM	
						Ligar Alimentação EXTERNA	
						Verificar: • Temperaturas < 30°C (TC1/2/3); • Tensões:- Vmín. < LMTLAE < Vmáx. Vmín. < LMTVAA < Vmáx. Vmín. < LMTBAT4V8 < Vmáx. Vmín. < LMTBAT24V < Vmáx. • Correntes:- Imín. < ILAE < Imáx. Imín. < ILRB4V8 < Imáx. Imín. < ILRB24V < Imáx.	
						Verificar sinais de telemetria: • TC1 = • TC2 = • TC3 =	
						Verificar recebimento do SmG:	

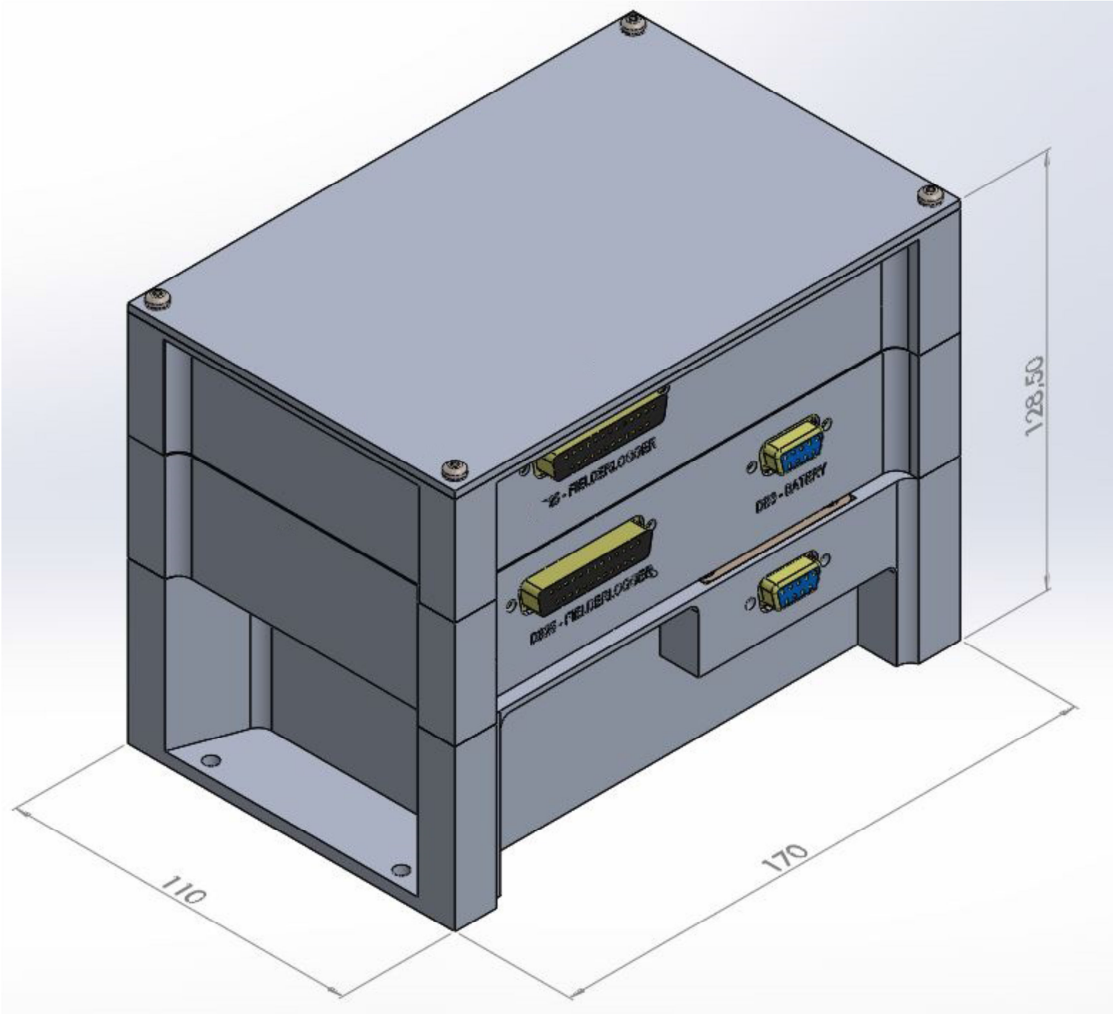
				29/10/15		CRONOLOGIA SIMULADA VSB-30 VXX	
				Versão 1		PROCEDIMENTO GERAL DE TESTES	
		Operação nome a definir				INPE/LIT - ENSAIO DE VIBRAÇÃO	
N°	Ok	TU	H0		DUR.	Ações e Eventos	Responsáveis
		hh:mm:ss		hh:mm:ss	hh:mm:ss		
						Teste do experimento SLEM – (M3)	
						Realizar pré-aquecimento (85°C??), monitorar as temperaturas, testar o registro de dados, comutar para alimentação interna, verificar prontidão e retornar para alimentação externa. Avisar antes de enviar sinal de µG.	
						Fim do Teste Horizontal do Experimento SLEM	
						Desligar UEFONTE (casamata)	
						Início Sequência de Eventos do veículo	
		H0	-	0:30:00		Contagem (Anunciar 30MINUTOS para o H0).	
						Ligar UEFONTE (casamata).	
						Ligar Alimentação EXTERNA SLEM. Verificar estado de prontidão. Ligar aquecimento (Toperação = 180°C)	
		H0	-	0:10:00		Confirmar experimento pronto para continuar contagem de lançamento e acionar o registro de dados do SLEM.	
			-	0:00:16		Desligar UEFONTE (casamata).	
		H0		0:00:00		H0 (Ignição e Decolagem) – *desligamento do umbilical*	
					0:04:00	PRÉ-ASSINATURA EM 1X EIXO	
					0:03:00	TESTE DE VIBRAÇÃO EM 1X EIXO	
					0:04:00	PÓS-ASSINATURA EM 1X EIXO	
		H0	+	0:02:18		Estado de microgravidade.	
						Apogeu	
		H0	+	0:13:00		Impacto da carga útil (água).	

APÊNDICE E – PROJETO MECÂNICO DA UEFOG

Neste apêndice são mostrados alguns dos desenhos mecânicos utilizados na fabricação da UEFOG (Figuras E.1 e E.2), um desenho mecânico com a vista da planta do FORNO (Figura E.3) e também um desenho do estudo realizado no IAE e comentado no texto seguinte (Figura E.4). O projeto completo encontra-se arquivado no acervo do projeto de microgravidade [27, 58].

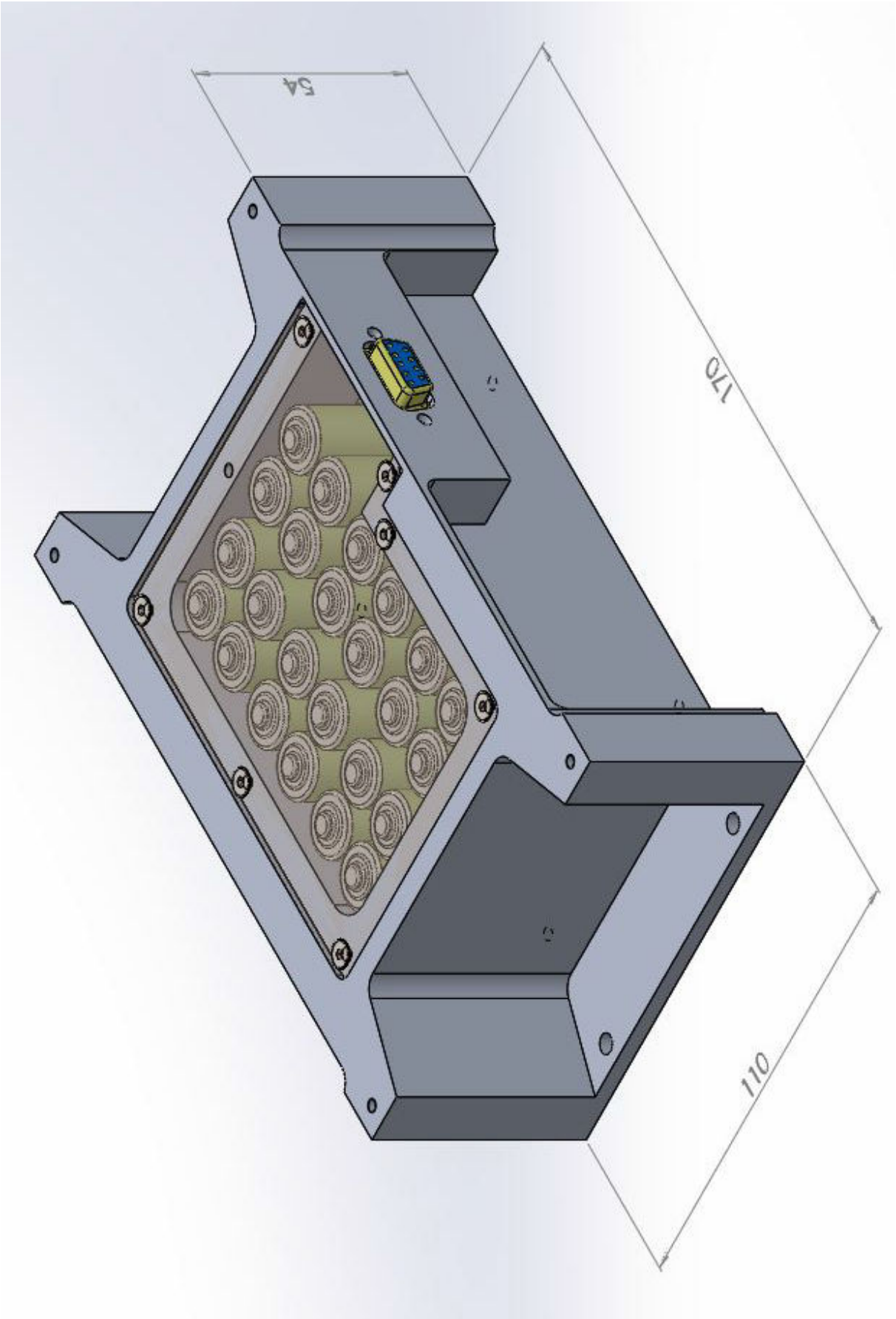
Em uma reunião, realizada em 16/06/2014 no IAE, foi realizado um estudo de viabilidade do posicionamento da UEFOG e do FORNO no prato do foguete (PSM). Foram aprovadas as formas e dimensões do conjunto, mas solicitado que o formato de fixação do bloco da UEFOG fosse mudado, de abas externas para pontos de fixação, embutidos nas pontas do bloco. A modificação teve o objetivo de minimizar o espaço utilizado, devido ao comprometimento de praticamente todo o prato, e assim reservar áreas para a utilização nas montagens do sistema do foguete.

Figura E.1 – Desenho mecânico em perspectiva da UEFOG montada.



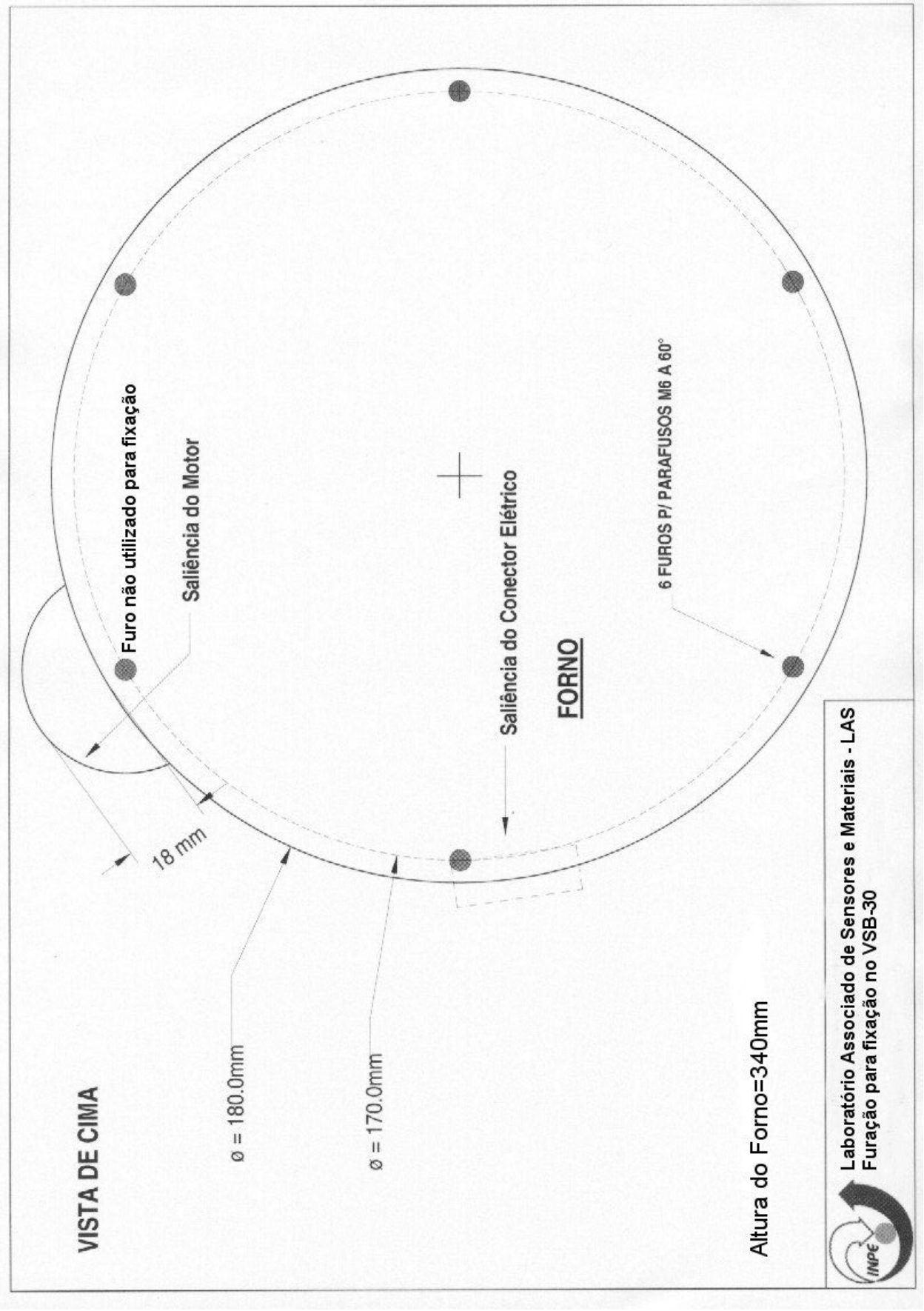
Fonte: [58].

Figura E.2 – Desenho mecânico em perspectiva do módulo de baterias da UEFOG.



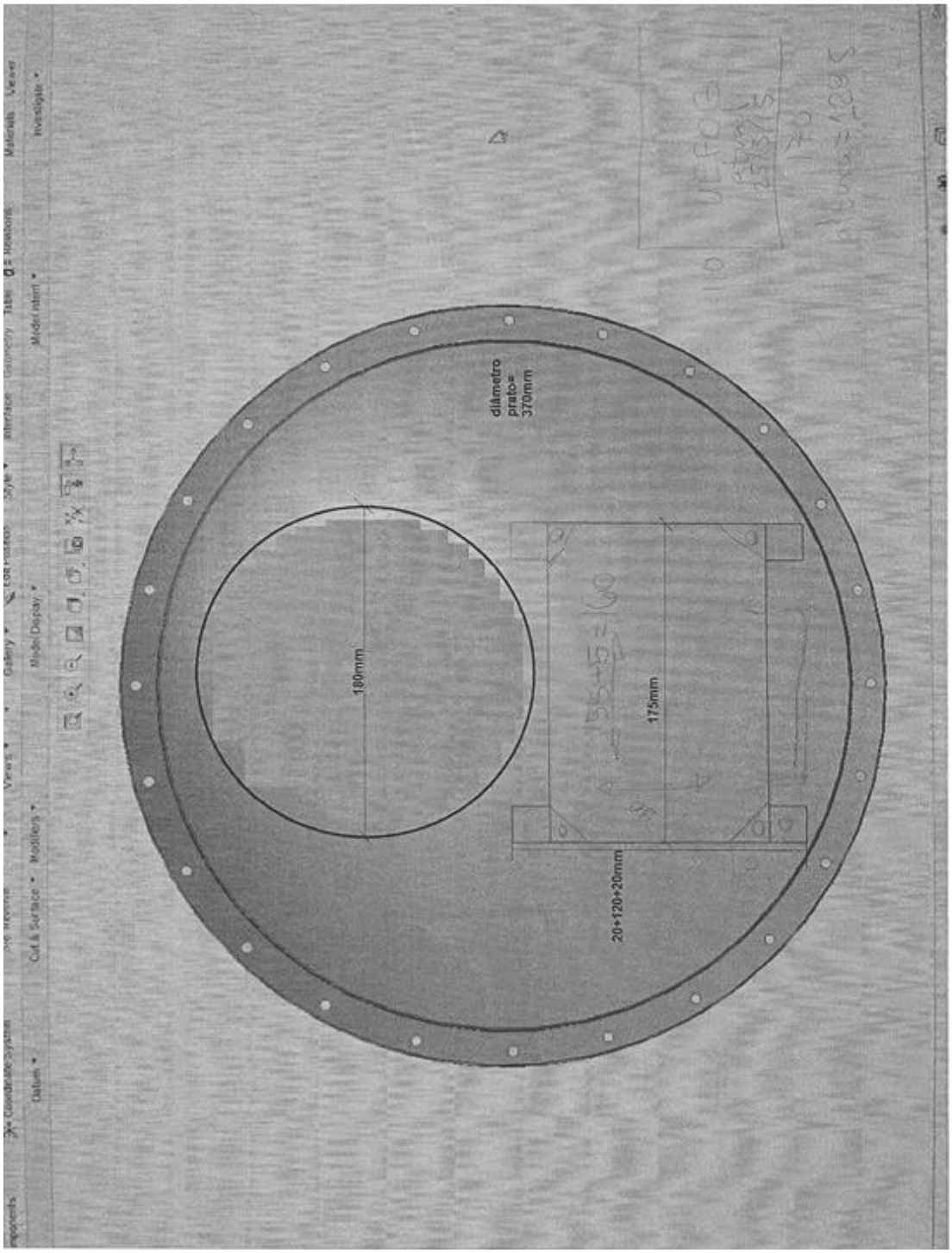
Fonte: [58].

Figura E.3 – Desenho mecânico com a vista em planta para a fixação do FORNO no prato (PSM) do foguete.



Fonte: [27].

Figura E.4 – Desenho realizado para estudo do posicionamento da UEFOG e FORNO no prato (PSM) do foguete.

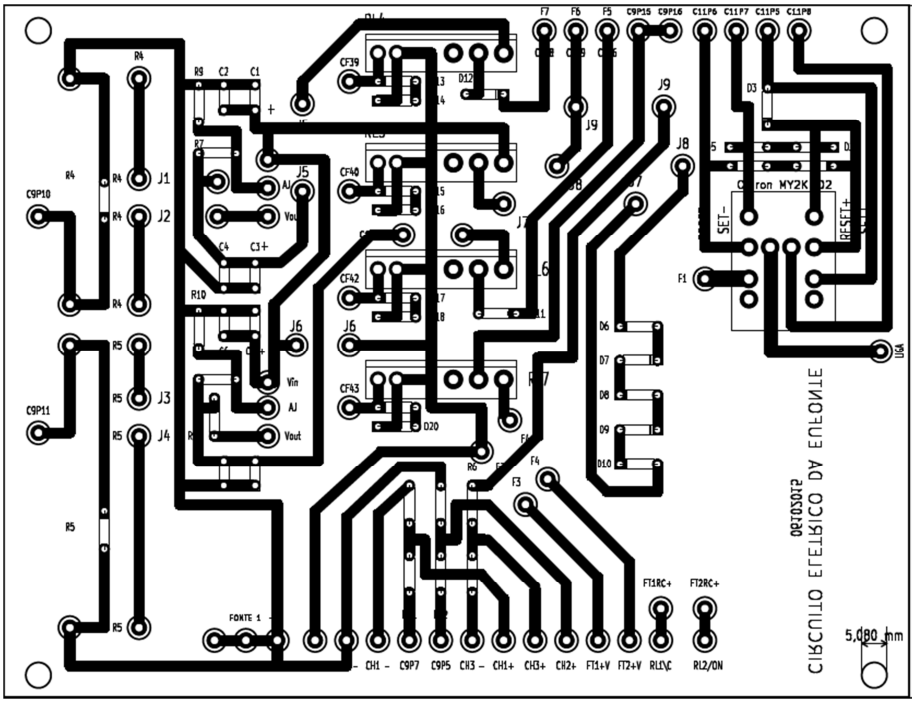


Fonte: [62].

APÊNDICE F – DESENHOS DOS LAY-OUTS DAS PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

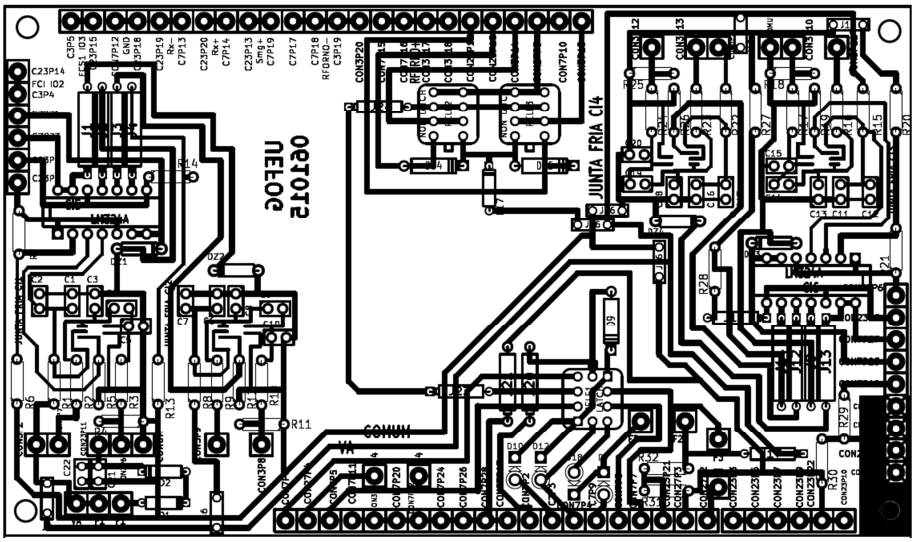
As Figuras F.1 e F.2 mostram os desenhos utilizados na fabricação das placas de circuito impresso do sistema.

Figura F.1 – Placa de circuito impresso da UEFONTE.



Placa face simples vista pelo lado dos componentes.
Fonte: [27].

Figura F.2 – Placa de circuito impresso da UEFOG.



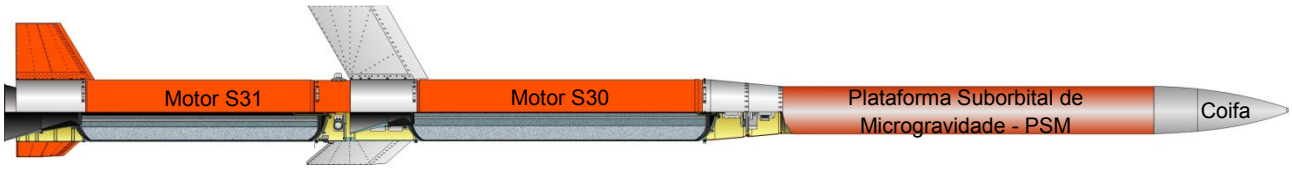
Placa dupla face vista pelo lado dos componentes.
Fonte: [27].

ANEXO A – ESPECIFICAÇÕES INICIAIS DA AEB E DCTA/IAE

ANEXO A.1 - DINÂMICA DE VOO E RECURSOS DA PSM

Nas próximas quatro páginas encontra-se um extrato do documento contido no e-mail enviado pela AEB em 15/5/2014 e que consolidou as especificações iniciais do 4ºAO [32].

Meio a ser utilizado: Veículo Suborbital VSB-30, com lançamento a partir do Centro de Lançamento de Alcântara, localizado no Estado do Maranhão.



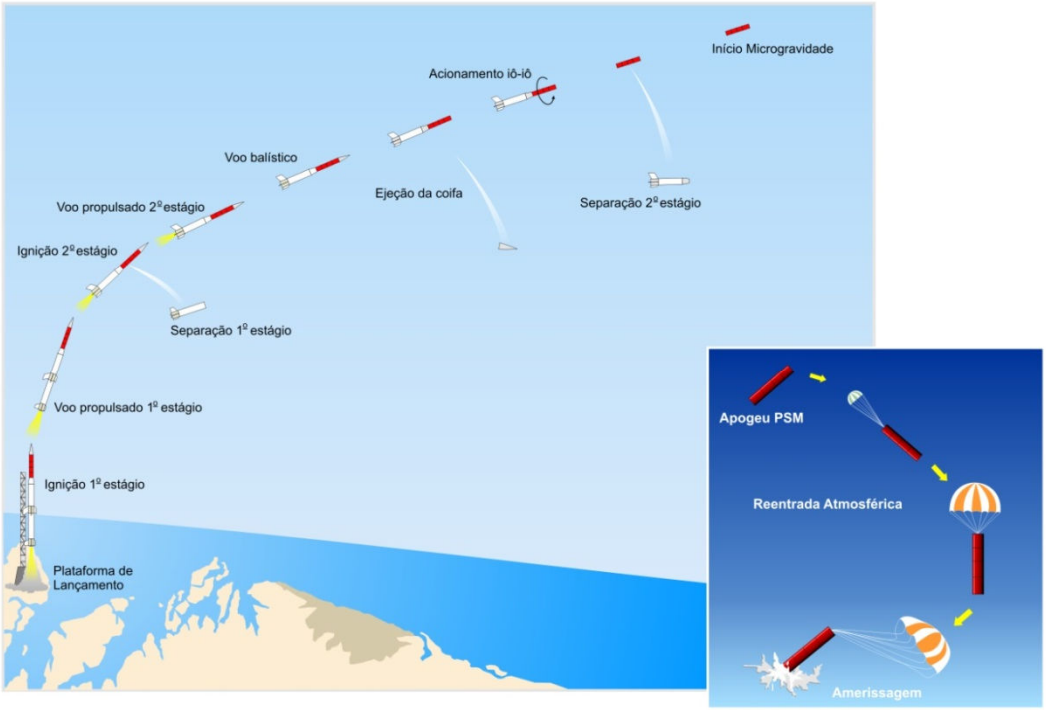
Representação esquemática do VSB-30.

1- Arquitetura Típica da Missão

O ambiente de microgravidade será proporcionado por uma Plataforma Suborbital de Microgravidade que será transportada ao espaço na parte superior do veículo suborbital VSB-30. O VSB-30 é um foguete nacional com dois estágios (motores S31 e S30). A Plataforma Suborbital de Microgravidade fornecerá os serviços básicos aos experimentos nela embarcados como suporte mecânico, comunicação, estabilização e sistema de recuperação. Os experimentos devem possuir suprimentos de energia próprios.

O foguete é lançado de uma posição quase vertical. Com o objetivo de melhorar a estabilidade dinâmica do foguete e a precisão do ponto de impacto da Plataforma Suborbital de Microgravidade, uma rotação de 3 rps (rotações por segundo) é induzida ao longo do eixo longitudinal do sistema foguete/Plataforma Suborbital de Microgravidade. O voo propulsado dura menos de um minuto, mas permite que a Plataforma Suborbital de Microgravidade atinja altitudes de até 282 km.

O ambiente de microgravidade será estabelecido durante o tempo em que a Plataforma Suborbital de Microgravidade estiver acima dos 110 km de altitude e sem qualquer rotação residual ao longo de quaisquer dos seus eixos. Para redução da rotação, que foi induzida ao longo do seu eixo longitudinal por ocasião do seu lançamento, um dispositivo, denominado iô-iô, reduzirá quase a zero essa rotação. Qualquer rotação residual que permanecer após o acionamento do iô-iô será eliminada pela atuação de um sistema de controle por gás frio. A partir deste instante, prevalecerão as condições de microgravidade, que permanecerão até que a Plataforma Suborbital de Microgravidade inicie sua reentrada na atmosfera terrestre, ou seja, a cerca de 110 km de altitude. Cerca de 6 km de altitude é acionado um sistema de paraquedas para diminuir a velocidade de impacto da Plataforma Suborbital de Microgravidade com o mar. Minutos após sua amerissagem, a Plataforma Suborbital de Microgravidade é recuperada por helicópteros e trazida de volta ao Centro de Lançamento. A Plataforma Suborbital de Microgravidade possui módulos herméticos e não herméticos. Além de proteger os experimentos da água salgada os módulos herméticos os protegem do vácuo do espaço, uma vez que são mantidos à pressão constante.



Representação esquemática do voo do VSB-30.

Principais eventos voo do VSB-30 (trajetória nominal).

Tempo [s]	Evento	Altitude [km]	Alcance [km]	Velocidade total [km/h]
0,0	2- Ignição do motor S31	0,051	0,0	0,0
0,4	3- Foguete deixa a plataforma	0,056	0,0	88,6
13,5	4- Separação do motor S31	4,0	0,5	1820,5
15,0	5- Ignição do motor S30	4,8	0,6	1730,9
45,0	6- Fim de queima do motor S30	47,1	7,6	7625,2
55,0	7- Ejeção do cone	67,5	11,3	7280,3
56,0	8- Acionamento do iô-iô	69,5	11,6	7246,4
59,0	9- Separação do motor S30	75,4	12,7	7144,2
78,0	10- Início da microgravidade	110,0	19,6	6502,7
92,0	11- Impacto do motor S31 na água	0,0	1,8	357,1
274,0	12- Apogeu da PSM	282,2	85,9	1161,4
469,0	13- Fim da microgravidade	110,0	147,5	6508,1
590,0	14- Impacto da PSM na água	0,0	161,4	0,0

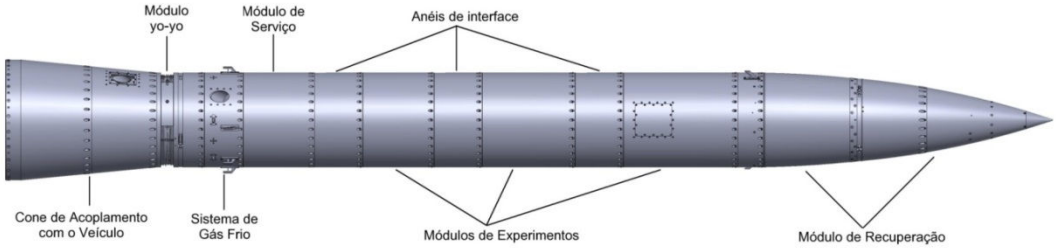
2- Dados da Plataforma Suborbital de Microgravidade

A seguir são apresentadas as principais características da Plataforma Suborbital de Microgravidade:

Volume Disponível

- Em módulo hermético: altura = 470 mm; diâmetro = 370 mm.
- Em módulo não hermético: altura = 400 mm; diâmetro = 370 mm.

Recomenda-se que os proponentes reduzam ao máximo as dimensões dos seus experimentos, uma vez que cada módulo da Plataforma Suborbital de Microgravidade transportará mais de um experimento, sendo a massa total transportada em cada módulo limitada a 50 kg. Vale lembrar que as alturas úteis dos módulos podem ser inferiores aos valores acima, uma vez que há experimentos em ambos os pratos (superior e inferior) de cada módulo.



Representação esquemática da Plataforma Suborbital de Microgravidade.

Potência Elétrica Disponível

- Voltagem: 28 +/- 4 VDC.
- Máxima capacidade elétrica disponibilizada: 1 Ah (no período de microgravidade) e 250 mAh (nas demais fases de voo).

Vale frisar que antes do lançamento, enquanto o foguete estiver na Plataforma de Lançamento, poderá ser fornecida alimentação elétrica DC por meio de umbilical entre o foguete e o experimento.

Telemetria de Dados e Transmissão de Imagens

Durante o voo é possível realizar a transmissão de dados e de imagens da Plataforma Suborbital de Microgravidade para o Centro de Lançamento (telemetria). A transmissão de dados e de imagens durante o voo é limitada pelo compartilhamento com outros experimentos e com os próprios subsistemas da Plataforma Suborbital de Microgravidade. Uma alternativa usual é, além do envio de dados via telemedidas, armazenar dados e imagens em cartão de memória, que poderá ser lido posteriormente, desde que o experimento seja embarcado no módulo hermético da Plataforma Suborbital de Microgravidade.

Sinalizador de Decolagem e de Microgravidade
Caso necessário, a Plataforma Suborbital de Microgravidade poderá disponibilizar para cada experimento uma chave *liga/desliga* para sinalizar a decolagem do veículo e/ou uma chave *liga/desliga* para sinalizar o início do período de microgravidade. O sinal elétrico de retorno das chaves deve ser alimentado pelo experimento e é utilizado como indicador ou iniciador de eventos.

Tempo de Acesso aos Experimentos

Antes do lançamento: Normalmente os experimentadores possuem acesso aos seus experimentos enquanto a carga útil está no PPCU (Prédio de Preparação da Carga Útil), antes do teste de simulação de voo. Após a integração da PSM ao veículo, os acessos têm que ser analisados e aprovados pelo IAE.

Depois do lançamento: cerca de duas horas.

Informações e Recomendações

A Plataforma Suborbital de Microgravidade não disponibiliza computador de bordo para o processamento de informações dos experimentos durante o voo. Da mesma forma, não há quaisquer disponibilidade de memória a bordo para uso dos experimentos. Quaisquer destas necessidades, bem como outras específicas tais como controle térmico e potência elétrica terão que ser providas pelo próprio experimento em voo e/ou por meio de umbilicais ou por outros meios enquanto o foguete estiver na Plataforma de Lançamento.

3- Características do Ambiente de Microgravidade e de Voo

Nível de microgravidade: Menor do que 10^{-3} g.

Tempo de microgravidade: Entre 360 e 420 segundos.

Tempo total de voo: Cerca de 15 minutos.

Rotação durante a fase propulsada: Aproximadamente 3 rotações por segundo em torno do eixo longitudinal da Plataforma Suborbital de Microgravidade.

Níveis de Aceleração/Desaceleração previstos: Voo ascendente: 11 a 13 g (aceleração);**Voo descendente:** 8 a 10 g (desaceleração).

Temperaturas ambientes máximas no interior da Plataforma Suborbital de Microgravidade: Antes do voo: Até 42°C; **Durante o voo:** até 60°C (pico de temperatura na reentrada).

ANEXO A.2 - REQUISITOS TÉCNICOS DOS ESPECIALISTAS DO DCTA/IAE

Nas próximas cinco páginas encontra-se um extrato do documento contido no e-mail enviado pela AEB em 15/5/2014 e que consolidou os requisitos iniciais do 4ºAO [32].

REQUISITOS ELÉTRICOS			
Tipo	**Descrição**	**Mandatórios**	**Desejáveis**
Interfaces Elétricas	Disponibilizar um pino no conector de alimentação para função de terra (ligação com o chassi da caixa) por unidade do experimento.	X	
	Os conectores retangulares devem ser posicionados na caixa sempre com a parte maior (pino 1) para cima, no caso de montagem na horizontal.	X	
	Os conectores retangulares devem ser posicionados na caixa sempre com a parte maior (pino 1) para a direita, no caso de montagem na vertical.	X	
	Os conectores circulares devem ser posicionados na caixa sempre com a guia de orientação de conexão para cima.	X	
	Prover capacidade de chaveamento remoto, via umbilical, operado por equipamentos de solo, para suas funções principais, como, por exemplo, ligar e desligar (consumo de bateria), iniciar execução, reinicializar, limpar memórias, etc. Os umbilicais do campo de lançamento possuem comprimento em torno de 150 metros.	X	
	Todos os sinais interligados através de pares trançados, como comunicação serial, alimentações, etc., devem estar posicionados em pinos adjacentes no conector de interface	X	
	Identificar os conectores de interface	X	
	Os sinais de µG (sinal indicativo de ambiente de microgravidade) e LO (lift0ff - decolagem do veículo) serão fornecidos aos experimentos através de fechamento de contato de relés de equipamento embarcado fornecido pelo IAE.	X	
	Todos os conectores devem ser posicionados em uma mesma face do experimento.	X	
	Disponibilizar retornos independentes para cada sinal de telemetria analógica (sinais de baixa amplitude).		X
	Quando for utilizada comunicação serial para envio dos dados de telemetria e dados para os painéis de controle, utilizar o protocolo RS-422.		X
	Projetar os conectores de modo a se evitar erros de inversão de conexão.	X	
	Os conectores elétricos que possuírem linhas energizadas ou que fornecem potência, devem ser do tipo fêmea.		X
	O experimento deve possuir indicação de recebimento de µG e LO, quando aplicável.		X
	O experimento deve estar preparado para receber sinais de µG e LO durante os testes sem que isso implique em que se tenha que ter acesso ao experimento.		X
	Padronizar protocolo de envio de dados de TLM (palavras de sincronismo, por exemplo).	X	
	A quantidade de pinos de umbilical utilizada pelo experimento deve ser reduzida ao mínimo necessário.		X
	Deve-se optar pela utilização de conectores tipo *crimp*.		X

REQUISITOS ELÉTRICOS			
Tipo	**Descrição**	**Mandatórios**	**Desejáveis**
Materiais empregados	Os fios escolhidos devem possuir isolação de Teflon e seguir as normas MIL-W-16878/4, MIL-W-5088L e ESA/SCC 3901/024.		X
	Os conectores D-Sub devem seguir as normas MIL-C-24308 (norma dimensional). ESA/SSC 3401 001 01B (densidade normal e contatos não removíveis), ESA/SSC 3401 001 02B (alta densidade e contatos não removíveis), ESA/SSC 3401 002 01B (densidade normal e contatos removíveis) e ESA/SSC 3401 002 02B (alta densidade e contatos removíveis).		X
	Os conectores circulares devem seguir a norma MIL-DTL-38999.		X
	No caso de se utilizar silicones, os mesmos deverão ser de cura neutra.	X	
Isolação	Os circuitos eletrônicos dos experimentos devem ser isolados da carcaça dos mesmos.	X	
	A isolação entre o circuito e a carcaça do experimento deve ser de, no mínimo, 10 M ohm quando testado com 50 Vdc.	X	
	O experimento deve ser isolado galvanicamente da rede elétrica da carga útil.	X	
	A isolação entre o circuito e a carcaça do experimento deve ser de, no mínimo, 10 M ohm quando testado com 250 Vdc (rampa).		X
Bonding	A carcaça do experimento e os meios de fixação respectivos devem proporcionar um b*onding* de, no máximo, 2,5 mOhm. Evitar tratamento superficial não condutivo.		X
	Os invólucros dos conectores de interface dos experimentos devem ter resistência de contato com a caixa dos mesmos menor que 2,5 miliohms.		X
Alimentações	Os módulos eletrônicos embarcados dos experimentos deverão ter sua alimentação provida por bateria própria, a ser fornecida pelos responsáveis pelo experimento, e que seja integrável à carga útil.		X
	As baterias têm que ser carregadas e descarregadas via conector umbilical, o controle de carga e descarga deve ser realizado por equipamento de solo próprio do experimento.	X	
	Deve ser possível monitorar a carga da bateria via umbilical.		X
	As baterias devem ser de NiCd, NiMh ou Li-Ion.		X
	As baterias devem ser seladas ou formadas por células seladas.	X	
	A bateria deve possuir capacidade para suportar o funcionamento do experimento por 2 horas em *stand by* mais 2 vezes o tempo de operação nominal em condições de voo.	X	

REQUISITOS ELÉTRICOS			
Tipo	**Descrição**	**Mandatórios**	**Desejáveis**
Alimentações	Os experimentos devem ser alimentados com corrente contínua e com tensões dentro da faixa ±32 V. Quaisquer valores fora desta faixa ou em corrente alternada devem ser informados ao IAE para avaliação de viabilidade.	X	
	A corrente de carga / descarga das baterias embarcadas, quando realizada com o veículo montado em rampa, não deve ser superior a 2 A.		X
	A corrente de alimentação externa dos experimentos embarcados não deve ser superior a 2 A por linha de alimentação.		X
	As linhas de alimentação externa dos experimentos devem ser separadas das linhas de carga de bateria.		X
	As condições de estado da alimentação externa e interna dos experimentos devem ser sinalizadas através de retornos elétricos internos ao veículo via umbilical ou via telemetria.		X
	O experimento deve possibilitar a comutação de energia entre alimentação externa e bateria interna, através de comando do equipamento de solo próprio do experimento, via linha umbilical. O circuito de comutação de energia deve possuir fonte de alimentação isolada galvanicamente da fonte de alimentação do experimento.	X	
Pirotécnicos	A parte embarcada dos experimentos não deve conter elementos pirotécnicos ou explosivos. Caso sejam comprovadamente necessários, devem ser seguidos os requisitos de segurança utilizados para projeto e confecção de sistemas pirotécnicos aplicados no IAE.	X	
Testes	Os módulos eletrônicos embarcados dos experimentos devem passar por ensaios de aceitação de acordo com os níveis e tipos de ensaio utilizados para equipamentos embarcados do IAE, abrangendo ensaios de: vibração, ciclo térmico, funcional, vácuo, etc.	X	
	Os experimentos devem prover interfaces e características elétricas necessárias à realização de testes de aceitação funcional do item individualmente, testes de interface com outros equipamentos embarcados e testes sistêmicos de simulação de voo.	X	
Compatibilidade	Os experimentos presentes em um mesmo módulo devem ter sua compatibilidade eletromagnética comprovada através de testes funcionais em laboratório do IAE.	X	

REQUISITOS MECÂNICOS			
Tipo	**Descrição**	**Mandatórios**	**Desejáveis**
Mecânica	Os módulos que compõem o experimento, incluindo sua bateria, devem possibilitar a fixação dos mesmos através de parafusos, padrão métrico, entre M3 e M6.	X	
	Os experimentos a serem embarcados em módulos herméticos devem suportar, no mínimo, a aplicação de 2 bars por, pelo menos, 30 minutos. (Esta situação ocorre durante o teste de estanqueidade de módulos herméticos).	X	
	A localização dos furos para fixação dos experimentos devem ser projetados de modo a não prejudicar a fixação mecânica com torquímetro.		X
	No caso de haver mais de uma unidade (módulo ou caixa), pensar na possibilidade de fazê-las de modo a se integrá-las em uma mesma face de um prato de experimentos.		X
	No caso de haver mais de uma unidade (módulo ou caixa), pensar na possibilidade de fazê-las empilháveis (consultar Equipe de Integração de Sistemas Eletrônicos Embarcados).		X
Material da caixa	A caixa do experimento deve ser de material compatível ao alumínio, do prato de fixação, para se evitar a oxidação galvânica.		X
	A caixa do experimento deve ser de material com boas características de blindagem elétrica. Sugestão: Alumínio.		X
Dimensões	As dimensões/pesos dos equipamentos de solo dos experimentos devem ser informadas para a equipe de Integração de Sistemas de Solo do IAE.	X	
	Os equipamentos de solo devem ser compatíveis para acomodação em *racks* de 19".		X
	As dimensões da parte embarcada do experimento devem ser submetidas a estudo/avaliação da Equipe de Integração de Sistemas Eletrônicos Embarcados do IAE.	X	
Compatibilidade	O experimento deve ser projetado e montado de forma que, em condições normais de preparação e voo, não libere substâncias de seu interior.	X	
	Os experimentos devem ser projetados e montados de forma que, em condições normais de preparação e voo, não cause qualquer tipo de dano a outros experimentos ou equipamentos embarcados na carga útil.	X	
	Os experimentos presentes em uma mesma carga útil devem ser compatíveis operacionalmente durante a cronologia de lançamento.	X	

REQUISITOS OPERACIONAIS			
Tipo	**Descrição**	**Mandatórios**	**Desejáveis**
Pré-lançamento (acesso, preparação, testes horizontais e verticais)	Os responsáveis pelos experimentos devem informar ao IAE, dentro de prazo estipulado, todos os requisitos operacionais de seus experimentos, como, por exemplo, tempo necessário para pré-aquecimento do experimento, tempo de vida de amostras, necessidade de acesso aos equipamentos no lançador durante a cronologia de lançamento, etc.	X	
	Os experimentos que tiverem necessidade de acesso para execução de atividades, como, por exemplo, trocas de amostras, ajustes ou calibrações periódicas deverão possuir mecanismos que possibilitem a execução destas atividades através de janelas de visita evitando a necessidade de desmontagem de qualquer módulo da carga útil.		X
	Os experimentos devem possibilitar testes e/ou verificações remotas quando da carga útil já posicionada para lançamento.	X	
	O experimento deve ser projetado de forma a minimizar a necessidade de acesso de pessoal durante a fase de preparação para lançamento (O acesso à carga útil, estando esta no lançador, é restrito e apenas permitido em casos comprovadamente necessários).		X

ANEXO B – RELATÓRIO DE ENSAIOS DE VIBRAÇÃO REALIZADO NO LIT/INPE EM 3/11/2015

Encontra-se nas seis páginas seguintes um extrato das páginas iniciais do Relatório de Ensaios de Vibração realizado no FORNO e UEFOG, pelo LIT/INPE, em 3/11/2015 [61]. O relatório completo é extenso e, caso necessário, deve ser buscado junto ao Centro de Documentação (CEDOC) do LIT.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

PROGRAMA / PROGRAM	DOCUMENTO/ DOCUMENT NO.	
Microgravidade	LIT02- LAS-TR-012	
	PÁGINA / PAGE	VERSÃO / ISSUE
	i	1

TÍTULO / TITLE

RELATÓRIO DE ENSAIOS DE VIBRAÇÃO

Equipamento: **FORNO ELÉTRICO DE SOLIDIFICAÇÃO DE MATERIAIS F2015-02 E MÓDULO ELETRÔNICO UEFOG2015-01**

Modelo : **Voo**

Solicitante : **INPE / LAS / CTE**

LIT — CÓPIA CONTROLADA Nº CÓPIA 01 — DATA 21/01/2016 — Destinatário/Recebedor: Chao Yong Ah

CÓDIGO / CODE A.P.

ESTE DOCUMENTO É DE PROPRIEDADE DO INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE NÃO PODENDO SER REPRODUZIDO, NO TODO OU EM PARTE, NEM TAMPOUCO TRANSMITIDAS SUAS INFORMAÇÕES A TERCEIROS SEM PRÉVIA AUTORIZAÇÃO DO INPE.

THIS DOCUMENT IS PROPERTY OF INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE, AND CAN NOT BE REPRODUCED OR COMUNICATED TO ANY PERSON WITHOUT AUTHORIZATION.

PREPARADO POR / PREPARED BY		APROVADO POR / APPROVED BY	
ASS./SIGN NOME/NAME Mauro T. Sakita Gerente - Lab. Ensaios Dinâmicos	12, 01, 16 DATA/DATE	ASS./SIGN NOME/NAME Carlos de O. Lino Gerente da Qualidade - LIT	12, 01, 2016 DATA/DATE
ASS./SIGN NOME/NAME	__/__/__ DATA/DATE	ASS./SIGN NOME/NAME Geilson Loureiro Chefe do LIT	12, 01, 2016 DATA/DATE
ASS./SIGN NOME/NAME	__/__/__ DATA/DATE	ASS./SIGN NOME/NAME	__/__/__ DATA/DATE
ASS./SIGN NOME/NAME	__/__/__ DATA/DATE	ASS./SIGN NOME/NAME	__/__/__ DATA/DATE
ASS./SIGN NOME/NAME	__/__/__ DATA/DATE	ASS./SIGN NOME/NAME	__/__/__ DATA/DATE
ASS./SIGN NOME/NAME	__/__/__ DATA/DATE	ASS./SIGN NOME/NAME	__/__/__ DATA/DATE

INPE - 09.1

RELATÓRIO DE ENSAIOS DE VIBRAÇÃO - RESUMO

➢ Documento No.	**LIT02-LAS-TR-012**
➢ Versão	Versão 1 (emitida em 12 de Janeiro de 2016)
➢ No. total de páginas	162 (incluindo página de rosto)
➢ Solicitante	**INPE / LAS / CTE - Coordenação de Laboratórios Associados** At.: Sr. Chen Ying An (LAS)
➢ Endereço	Av. dos Astronautas, 1758 - Jd da Granja (CEP:12227-010) São José dos Campos - SP - Brasil
➢ Espécime(s) / Produto(s)	**FORNO ELÉTRICO DE SOLIDIFICAÇÃO DE MATERIAIS F2015-02 + MÓDULO ELETRÔNICO UEFOG2015-01** *Modelo:* **Voo**
➢ Quantidade	01 (um)
➢ Especificação de ensaio(s)	Níveis de referência baseados no ambiente de vibração em voo do veículo Skylark e recomendações gerais da norma MIL-STD-1540C, incluindo os seguintes ensaios de tipo: a) Vibração Senoidal / Assinatura 1; b) Vibração Aleatória / Aceitação; c) Vibração Senoidal / Assinatura 2.
➢ Data de início do(s) ensaio(s)	03 de Novembro de 2015
➢ Data de conclusão do(s) ensaio(s)	03 de Novembro de 2015
➢ Série prevista de ensaios foi completada?	(x) Sim ( ) Não {motivo}
➢ Teste funcional do espécime durante ensaios	( ) Ok ( ) Não Ok (x) N.A.
➢ Resultado(s) do(s) ensaio(s)	Vide páginas seguintes deste documento
➢ Área do LIT No. / Laboratório	LIT02 / Ensaios Dinâmicos de Vibração
➢ Processo LIT/PAC No.	ELIT.2849.15.PRO (Serviço # 464778)
➢ Proposta No.	LIT/PAC - 2818/15 (emitida em 11/11/2015)
➢ Ordem de Serviço No.	0001.16.LIT02

ESTE DOCUMENTO É DE PROPRIEDADE DO INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE NÃO PODENDO SER REPRODUZIDO, NO TODO OU EM PARTE, NEM TAM-POUCO TRANSMITIDAS SUAS INFORMAÇÕES A TERCEIROS SEM PRÉVIA AUTORIZAÇÃO DO INPE.

THIS DOCUMENT IS PROPERTY OF INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE, AND CAN NOT BE REPRODUCED OR COMUNICATED TO ANY PERSON WITHOUT AUTHORIZATION.

INPE-011.1

SUMÁRIO

Pág.

1. INTRODUÇÃO 1
2. OBJETIVO DOS ENSAIOS 1
3. DATA DE REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS 1
4. IDENTIFICAÇÃO DO ESPÉCIME 2
5. DOCUMENTOS APLICÁVEIS E DE REFERÊNCIA 2
5.1. DOCUMENTOS APLICÁVEIS 2
5.2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA 2
6. REQUISITOS TÉCNICOS 2
6.1. ÁREA DE ENSAIOS 2
6.2. PESSOAL 3
6.3. MEIOS DE ENSAIOS 3
7. CONDIÇÕES DE ENSAIO 4
7.1. ESPECIFICAÇÃO DE ENSAIO 4
7.2. EIXOS DE REFERÊNCIA 4
7.3. INSTRUMENTAÇÃO DE CONTROLE E DE MEDIDA 5
7.4. MONTAGEM DO ESPÉCIME 5
7.5. ENSAIOS FUNCIONAIS 6
8. DESENVOLVIMENTO DOS ENSAIOS 6
8.1 ENSAIOS NO EIXO X 6
8.2 ENSAIOS NO EIXO Y 7
8.3 ENSAIOS NO EIXO Z 7
9. RESULTADOS/COMENTÁRIOS 11

LISTA DE TABELAS vi

APÊNDICE A - FICHAS DE "LOG-BOOK", FICHAS DE ANOMALIA, FICHAS DE CONTROLE DE INSTRUMENTAÇÃO E CÓPIA DA SOLICITAÇÃO DE ENSAIOS A1

APÊNDICE B - REGISTROS GRÁFICOS B1

APÊNDICE C - FOTOGRAFIAS DA MONTAGEM DO ESPÉCIME SOBRE OS MEIOS DE ENSAIO, DA INSTRUMENTAÇÃO DE CONTROLE/MEDIDA E DAS PRINCIPAIS OCORRÊNCIAS C1

ESTE DOCUMENTO É DE PROPRIEDADE DO INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE NÃO PODENDO SER REPRODUZIDO, NO TODO OU EM PARTE, NEM TAM-POUCO TRANSMITIDAS SUAS INFORMAÇÕES A TERCEIROS SEM PRÉVIA AUTORIZAÇÃO DO INPE.

THIS DOCUMENT IS PROPERTY OF INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE, AND CAN NOT BE REPRODUCED OR COMUNICATED TO ANY PERSON WITHOUT AUTHORIZATION.

INPE-011.1

1. INTRODUÇÃO

Atendendo à solicitação do INPE/LAS, o Laboratório de Integração e Testes (LIT) realizou em suas instalações uma série de ensaios de vibração no Modelo de Voo do Forno Elétrico de Solidificação de Materiais F2015-02 e seu Módulo Eletrônico UEFOG2015-01. Estes equipamentos constituem o denominado "Sistema de Monitoramento e Controle de Experimento de Solidificação de Materiais em ambiente de microgravidade", um dos experimentos científicos do "Projeto Microgravidade" coordenado pela AEB - Agência Espacial Brasileira, que será parte integrante da carga útil do Foguete Suborbital VSB-30. Os ensaios tiveram acompanhamento parcial por representantes da Solicitante, tendo sido completados, integralmente, com algumas ocorrências que estão resumidamente apresentadas no item 8 desse documento.

Conforme definido pela Solicitante, as avaliações funcionais do sistema integrado foram realizadas antes e após a conclusão da série de ensaios de vibração. Durante os ensaios os dois subsistemas (Forno e Módulo Eletrônico) foram mantidos interconectados através e cablagem específica, simulando-se a condição normal de lançamento.

De acordo com informações de representantes do LAS, na avaliação final foi identificada uma falha em um motor de acionamento e movimentação do Forno. Uma inspeção visual detalhada constatou indícios de ocorrência de fusão localizada entre duas peças metálicas pertinentes ao sistema de acionamento (vide foto no Apêndice C) e que foram confeccionadas com diferentes materiais (alumínio e aço), acarretando um travamento das partes/peças. Essa falha mecânica induziu a uma falha elétrica do relé de acionamento devido ao sobre-esforço aplicado.

Os ensaios de vibração na direção vertical (eixo Z) foram aplicados separadamente aos dois subsistemas em função da geometria do dispositivo adaptador de vibração que foi adaptado, originalmente, para montagem apenas de um Forno Elétrico.

A identificação do espécime (Forno Elétrico F2015-02 + Módulo Eletrônico UEFOG2015-01), as condições gerais, o andamento dos ensaios e os resultados obtidos são apresentados a seguir.

2. OBJETIVO DOS ENSAIOS

Os ensaios de vibração tiveram por objetivo:

- Levantamento das frequências de ressonância do espécime e/ou partes;
- Avaliação da resistência mecânica do espécime e identificação de eventual ocorrência de degradação no seu desempenho estrutural e/ou funcional, quando submetido a um ambiente dinâmico de vibração em nível de aceitação, conforme definido pela Solicitante.

3. DATA DE REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

Os ensaios foram realizados na área de Qualificação de Sistemas do LIT - Laboratório de Ensaios Dinâmicos, no dia 03 de Novembro de 2015.

ESTE DOCUMENTO É DE PROPRIEDADE DO INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE NÃO PODENDO SER REPRODUZIDO, NO TODO OU EM PARTE, NEM TAM-POUCO TRANSMITIDAS SUAS INFORMAÇÕES A TERCEIROS SEM PRÉVIA AUTORIZAÇÃO DO INPE.

THIS DOCUMENT IS PROPERTY OF INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE, AND CAN NOT BE REPRODUCED OR COMUNICATED TO ANY PERSON WITHOUT AUTHORIZATION.

INPE-011.1

4. IDENTIFICAÇÃO DO ESPÉCIME

**** Subsistema #1:***

- *Denominação*.....: **FORNO ELÉTRICO DE SOLIDIFICAÇÃO DE MATERIAIS F2015-02**;
- *Modelo*.....: **Voo**;
- *Part Number (P/N)*.....: N.A. (Não Aplicável);
- *Serial Number (S/N)*.....: N.A. (Não Aplicável);
- *Dimensões externas [mm]*.....: (não informadas);
- *Peso unitário*.....: (não informado);
- *Quantidade*.....: 01 (um).

**** Subsistema #2:***

- *Denominação*.....: **MÓDULO ELETRÔNICO UEFOG2015-01**;
- *Modelo*.....: **Voo**;
- *Part Number (P/N)*.....: N.A. (Não Aplicável);
- *Serial Number (S/N)*.....: N.A. (Não Aplicável);
- *Dimensões externas [mm]*.....: (não informadas);
- *Peso unitário*.....: (não informado);
- *Quantidade*.....: 01 (um).

5. DOCUMENTOS APLICÁVEIS E DE REFERÊNCIA

5.1. DOCUMENTOS APLICÁVEIS

- DA1: Solicitação de ensaios: E-mail de 21/10/2015;
- DA2: Especificação Ambiental para equipamentos a bordo do veículo Skylark e recomendações gerais da norma MIL-STD-1540C.

5.2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

- DR1: Manuais do Sistema de Vibração LDS V964LS;
- DR2: Manuais do Controlador/Analisador Spectral Dynamics SD2560.

6. REQUISITOS TÉCNICOS

6.1. ÁREA DE ENSAIOS

As operações descritas neste documento foram executadas na Área de Qualificação de Sistemas do INPE/LIT, cujas condições ambientais estão descritas a seguir (somente pessoas autorizadas têm acesso a esta área).

- *Classe de limpeza*.....: 100.000 (ISO 8);
- *Temperatura*.....: 23°C +/- 2°C;
- *Umidade Relativa*.....: 50% +/- 10%.

ESTE DOCUMENTO É DE PROPRIEDADE DO INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE NÃO PODENDO SER REPRODUZIDO, NO TODO OU EM PARTE, NEM TAM-POUCO TRANSMITIDAS SUAS INFORMAÇÕES A TERCEIROS SEM PRÉVIA AUTORIZAÇÃO DO INPE.

THIS DOCUMENT IS PROPERTY OF INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE, AND CAN NOT BE REPRODUCED OR COMUNICATED TO ANY PERSON WITHOUT AUTHORIZATION.

INPE-011.1

7. CONDIÇÕES DE ENSAIO

7.1. ESPECIFICAÇÃO DE ENSAIO

Conforme definido pela Solicitante foram utilizados os níveis de referência baseados no ambiente de vibração em voo do veículo Skylark e recomendações gerais da norma MIL-STD-1540C. De acordo com procedimento padrão deste Laboratório e em conformidade com a especificação aplicável, um ensaio com varredura senoidal e nível reduzido foi realizado antes e após os ensaios de vibração em nível de aceitação, de modo a se obter assinaturas (resposta dinâmica do Espécime).

Os níveis de referência para os ensaios de vibração realizados são apresentados nas Tabelas 7.1.1 e 7.1.2, respectivamente.

Tabela 7.1.1 - Níveis para Ensaio de Vibração Senoidal / Assinatura

Eixos	Faixa de frequência [Hz]	Nível de Vibração
(X, Y, Z)	10 - 2.000 Hz	0,5g
Velocidade de varredura	2 oitavas / minuto	

Tabela 7.1.2 - Níveis para Ensaio de Vibração Aleatória / Nível Aceitação

Eixos	Faixa de frequência [Hz]	Nível de Vibração (ASD)
(X, Y, Z)	10 - 300 Hz 300 - 2.000 Hz	0,0025 g^2/Hz 0,0250 g^2/Hz
Aceleração total eficaz	6,6 gRMS	
Duração do ensaio	2 minutos por eixo	

7.2. EIXOS DE REFERÊNCIA

Os três eixos principais do equipamento foram definidos conforme segue (vide fotos no Apêndice C):

a) **FORNO ELÉTRICO DE SOLIDIFICAÇÃO DE MATERIAIS F2015-02**:

- Eixo X: Radial I;
- Eixo Y: Radial II (perpendicular aos eixos X e Z);
- Eixo Z: Axial/Vertical (normal ao plano de fixação do Forno ao cone).

b) **MÓDULO ELETRÔNICO UEFOG2015-01**:

- Eixo X: Frontal (normal ao painel dos conectores);
- Eixo Y: Lateral (perpendicular aos eixos X e Z);
- Eixo Z: Vertical (normal ao plano de fixação do Módulo).

ESTE DOCUMENTO É DE PROPRIEDADE DO INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE NÃO PODENDO SER REPRODUZIDO, NO TODO OU EM PARTE, NEM TAM-POUCO TRANSMITIDAS SUAS INFORMAÇÕES A TERCEIROS SEM PRÉVIA AUTORIZAÇÃO DO INPE.

THIS DOCUMENT IS PROPERTY OF INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE, AND CAN NOT BE REPRODUCED OR COMUNICATED TO ANY PERSON WITHOUT AUTHORIZATION.

INPE-011.1

PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS EDITADAS PELO INPE

Teses e Dissertações (TDI)

Teses e Dissertações apresentadas nos Cursos de Pós-Graduação do INPE.

Notas Técnico-Científicas (NTC)

Incluem resultados preliminares de pesquisa, descrição de equipamentos, descrição e ou documentação de programa de computador, descrição de sistemas e experimentos, apresentação de testes, dados, atlas, e documentação de projetos de engenharia.

Propostas e Relatórios de Projetos (PRP)

São propostas de projetos técnico-científicos e relatórios de acompanhamento de projetos, atividades e convênios.

Publicações Seriadas

São os seriados técnico-científicos: boletins, periódicos, anuários e anais de eventos (simpósios e congressos). Constam destas publicações o Internacional Standard Serial Number (ISSN), que é um código único e definitivo para identificação de títulos de seriados.

Pré-publicações (PRE)

Todos os artigos publicados em periódicos, anais e como capítulos de livros.

Manuais Técnicos (MAN)

São publicações de caráter técnico que incluem normas, procedimentos, instruções e orientações.

Relatórios de Pesquisa (RPQ)

Reportam resultados ou progressos de pesquisas tanto de natureza técnica quanto científica, cujo nível seja compatível com o de uma publicação em periódico nacional ou internacional.

Publicações Didáticas (PUD)

Incluem apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

Programas de Computador (PDC)

São as sequências de instruções ou códigos, expressos em uma linguagem de programação compilada ou interpretada, a ser executada por um computador para alcançar um determinado objetivo. São aceitos tanto programas fonte quanto executáveis.