

HENRIQUE CUNHA PAZELLI

**Desenvolvimento de Equipamento de Testes Eletrônicos
para Câmera Multiespectral do Satélite CBERS**

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica

Área de concentração: Processamento de Sinais e Instrumentação
Orientador: Prof. Associado Valentin Obac Roda

São Carlos

2007

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

DEDICATÓRIA

Ao meu filho Marcelo,

À minha esposa Tatiana,

Aos meus pais Altino e Haida,

Aos meus sobrinhos Heloísa e Eduardo,

Aos meus irmãos Gustavo, Luciana e suas famílias,

Com amor e gratidão.

AGRADECIMENTOS

Ao meu filho Marcelo por dar significado à minha vida.

À minha esposa Tatiana pelo amor incondicional, pela paciência e pelos debates de idéias que contribuíram todos os dias para a realização deste trabalho.

Aos meus pais Altino e Haida pelo empenho na minha educação, por todo amor, compreensão e incentivo que sempre guiaram os meus passos.

Aos meus irmãos Gustavo e Luciana, pela inspiração profissional.

Ao Professor Valentin Obac Roda pela orientação no meio científico.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia de São Carlos pela contribuição na minha formação como engenheiro.

Aos meus colegas de trabalho, que auxiliaram na realização deste trabalho.

À Opto Eletrônica que possibilitou o desenvolvimento desta pesquisa.

RESUMO

PAZELLI, H. C. (2007). Desenvolvimento de Equipamento de Testes Eletrônicos para Câmera Multiespectral do Satélite CBERS. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um equipamento para testes eletrônicos, GSE (*Ground Support Equipment*), em nível de sistema e subsistema do imageador multiespectral (MUX) do satélite CBERS3&4, a primeira câmera espacial desenvolvida no país. O projeto foi realizado com base em um modelo de referência para o desenvolvimento de produtos mecatrônicos. O GSE utiliza instrumentação virtual, um banco óptico e outros equipamentos controlados por computador e integrados por uma eletrônica própria para testar todos os requisitos funcionais do subsistema. Além disso, é capaz de simular outros subsistemas do satélite que possuam interface com a câmera MUX, tais como o DDR (*Digital Data Recorder*), OBDH (*On-Board Data Handler*) e o EPSS (*Electrical Power Supply Subsystem*). Como resultado, este trabalho apresenta os testes realizados pelo equipamento desenvolvido, ressaltando sua funcionalidade.

Palavras-chave: automação, instrumentação, satélite, testes.

ABSTRACT

PAZELLI, H. C. (2007). Development of a ground support equipment for electronic tests of the multispectral imager from CBERS satellite. Dissertation (Master), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

This work presents the development of an equipment for electronic tests, GSE (Ground Support Equipment), in system and subsystem levels of the multispectral imager from CBERS3&4 satellite, the first camera for space applications developed in the country. This project was developed using a reference model for mechatronic products development. GSE utilizes virtual instrumentation, an optical bench and other equipments controled by computer and integrated by its own electronics to test all subsystem functional requirements. Besides, GSE is capable to simulate all others satellite subsystems which share interfaces with MUX, such as DDR (Digital Data Recorder), OBDH (On-Board Data Handler) and EPSS (Eletrical Power Supply Subsystem). As a result, this work presents the tests accomplished by the developed equipment, emphasizing its functionality.

Keywords: automation, instrumentation, satellite, tests.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vista em corte do módulo RBNA.....	24
Figura 2 - Módulos (a) RBNB e (b) RBNC	25
Figura 3 - Processo de Desenvolvimento em Engenharia de Sistemas	29
Figura 4 - Taxonomia dos diagramas SysML. (Fonte: http://www.sysml.org , 20/08/2006)	31
Figura 5 - Fases do MRM. (Fonte: BARBALHO, 2006, p. 106).....	33
Figura 6 - Fase de especificações. (Fonte: BARBALHO, 2006, p. 130)	33
Figura 7 - Fase de planejamento de projeto. (Fonte: BARBALHO, 2006, p. 132).....	35
Figura 8 - Fase de concepção do produto. (Fonte: BARBALHO, 2006, p. 135)	36
Figura 9 - Fase de planejamento técnico. (Fonte: BARBALHO, 2006, p. 139)	37
Figura 10 - Fase de projeto do produto. (Fonte: BARBALHO, 2006, p. 144).....	38
Figura 11 - Diagrama simplificado da transmissão e recepção LVDS. (Fonte - NATIONAL, 2004, p. 1-2)	43
Figura 12 - Estrutura de padrões GPIB. (Fonte: NATIONAL INSTRUMENTS, 2006d).....	44
Figura 13 - Exemplo de <i>Ethernet</i> /LAN baseada em sistema de instrumentação virtual. (Fonte: NATIONAL INSTRUMENTS, 2006e)	45
Figura 14 - Técnica do diagrama de olho para análise de <i>jitter</i> . (a) Superposição das amostras, (b) Diagrama de Olho, (c) Relação do diagrama com o histograma. (Fonte: TEKTRONIX, 2006)	47
Figura 15 - Períodos de amostragem de sinal de vídeo com a técnica CDS	49
Figura 16 - Diagrama de blocos do GSE.....	54
Figura 17 - Estrutura Analítica do Projeto	60
Figura 18 - WBS e cronograma de projeto	61
Figura 19 - Desenho da placa base do Controlador GSE.....	62
Figura 20 - Desenho de placas de condicionamento do Controlador GSE	62
Figura 21 - Desenho da placa do Sistema de Exibição de Imagens	63
Figura 22 - Desenho mecânico da gaveta de eletrônica do controlador GSE	63
Figura 23 - Desenhos mecânicos do trilho e do espelho do conector das placas de circuito impresso	64
Figura 24 - Traseira da gaveta eletrônica do sistema de exibição de imagens.....	64
Figura 25 - Adaptador para conectores e tubo cilíndrico	65
Figura 26 - Placa NI PCI-GPIB.....	68
Figura 27 - Placa NI PCI-5112.....	68
Figura 28 - Placa de multímetro NI PCI-4060	68
Figura 29 - Placa NI PCI-6541 e conjunto de conectores de distribuição dos canais do gerador/analizador digital	69
Figura 30 - Frequencímetro 53132A.....	69
Figura 31 - Fonte controlada N5746A	70
Figura 32 - Placa NI PCI-6254.....	70
Figura 33 - Placa NI PCI-6503.....	70
Figura 34 - Placa NI PCI-6561 – Gerador/analizador lógico LVDS.....	71
Figura 35 - Controladores ESP300 dos motores e controlador da fonte de luz radiométrica	71
Figura 36 - Sensor de pressão Omega.....	71
Figura 37 - Impressora HP Laserjet 1320	72
Figura 38 - Roteador <i>Wireless</i> DGL-4300	72

Figura 39 - Conectores padrão D subminiatura e SMB.....	73
Figura 40 - DFD do aplicativo do Controlador GSE.....	75
Figura 41 - DFD do aplicativo do Sistema de Exibição de Imagens.....	75
Figura 42 - Árvore de Produtos.....	76
Figura 43 - Posicionamento dos equipamentos nos bastidores.....	77
Figura 44 - Desenho da traseira da gaveta de interfaces eletrônicas do Controlador GSE.....	77
Figura 45 - Desenho da traseira da gaveta de tomadas.....	78
Figura 46 - Bastidores do GSE, à direita CONTGSE e à esquerda SEIGSE.....	78
Figura 47 - Conector e cabo de interligação do GSE com a MUX.....	78
Figura 48 - Sensoriamento remoto da alimentação. (Fonte: AGILENT TECHNOLOGIES, 2006, p. 26).....	80
Figura 49 - Bastidor do Controlador GSE.....	81
Figura 50 - Placa duto do CONTGSE.....	81
Figura 51 - Traseira do computador do CONTGSE.....	82
Figura 52 - Traseira da gaveta de interfaces eletrônicas.....	82
Figura 53 - Condicionamento de sinal térmico.....	82
Figura 54 - Condicionamento de sinal analógico.....	83
Figura 55 - Proteção no aterramento.....	83
Figura 56 - Condicionamento de sinal Digital Serial.....	84
Figura 57 - Condicionamento de sinal <i>On/Off</i>	84
Figura 58 - Condicionamento da linha +28V comum.....	85
Figura 59 - Condicionamento de sinais <i>Memory Load</i>	85
Figura 60 - Condicionamento de sinais de nível.....	86
Figura 61 - Interface para geração de sinais LVDS.....	86
Figura 62 - Interface de leitura de sinais de teste.....	87
Figura 63 - Multiplexação Analógica.....	87
Figura 64 - Multiplexação Digital.....	88
Figura 65 - Placa de interface de telemetrias.....	88
Figura 66 - Demultiplexação Digital.....	89
Figura 67 - Demultiplexação das linha +28V comum.....	89
Figura 68 - Placa de interface de telecomandos.....	89
Figura 69 - Circuitos de interface para o autoteste.....	90
Figura 70 - Esquema e placa de interface de alimentação.....	91
Figura 71 - Hierarquia de programas de TC e TM.....	94
Figura 72 - Interface gráfica para controle do osciloscópio virtual.....	96
Figura 73 - Interface gráfica para controle do gerador de formas de onda digitais virtual.....	96
Figura 74 - Tela de controle do colimador principal.....	97
Figura 75 - Tela de controle do simulador de cena.....	97
Figura 76 - Fluxograma de configuração para testes.....	100
Figura 77 - Barra de comandos dos testes.....	101
Figura 78 - Máquina de estados do teste de modos de operação.....	102
Figura 79 - Tela do teste da interface OBDH.....	103
Figura 80 - Tempo de integração e exposição.....	104
Figura 81 - Tela do teste de consumo de potência.....	106
Figura 82 - Tela de aquisição de imagens.....	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Requisitos de alimentação elétrica	58
Tabela 2 - Matriz de Verificação de Desenvolvimento.....	59
Tabela 3 - Cablagem utilizada.....	73
Tabela 4 - Funções da barra de comandos	101

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEB	Agência Espacial Brasileira
AIT	<i>Assembly, Integration and Test</i>
AN	Analógica
BL	Bilevel
BERT	<i>Bit Error Rate Testers</i>
CBERS	<i>China Brazil Resources Satellite</i>
CCD	<i>Charge-Coupled Device</i>
CLBI	Campo de Lançamento da Barreira do Inferno
COBAE	Comissão Brasileira de Atividades Espaciais
CONTGSE	Controlador GSE
CLA	Centro de Lançamento de Alcântara
CTA	Centro Tecnológico Aeroespacial
DDR	<i>Digital Data Recorder</i>
DFD	Diagrama de Fluxo de Dados
DS	<i>Digital Serial</i>
DVM	<i>Design Verification Matrix</i>
EAP	Estrutura Analítica do Projeto
ECL	<i>Emitter Coupled Logic</i>
E/S	Entrada/Saída
EPSS	<i>Electrical Power Source System</i>
FPGA	<i>Field Programmable Gate Array</i>

GOCNAE	Grupo de Organização da Comissão Nacional de Atividades Espaciais
GPIB	<i>General Purpose Interface Bus</i> - Barramento de Interface de Propósito Geral
IAE	Instituto da Aeronáutica e Espaço
INCOSE	<i>International Council on Systems Engineering</i>
IRMSS	<i>Infrared Multispectral Scanner</i>
ISS	<i>International Space Station</i>
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LAN	<i>Local Area Network</i>
LVDS	<i>Low Voltage Differential Signaling</i>
LSB	<i>Least Significant Bit</i>
MECB	Missão Espacial Completa Brasileira
MLC	<i>Memory Load Command</i>
MOS	<i>Metal Oxide Semiconductor</i>
MRM	Modelo de Referência para o desenvolvimento de produtos Mecatrônicos
MSB	<i>Most Significant Bit</i>
MTF	<i>Modulation Transfer Function</i>
NI	<i>National Instruments</i>
OBDH	<i>On-Board Data Handling</i>
OMG	<i>Object Management Group</i>
OO	<i>On/Off</i>
PAC	<i>Programmable Automation Controller</i>
PC	<i>Personal Computer</i>
PCDs	Plataformas de Coleta de Dados
PCI	<i>Peripheral Component Interconnect</i>
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produto
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
PXI	<i>Peripheral Component Interconnect Extensions for Instrumentation</i>
RTOS	<i>Real Time Operating System</i>

SCD	Satélite de Coleta de Dados
SCPI	<i>Standard Commands for Programmable Instrumentation</i>
SE	<i>System Engineering</i>
SEIGSE	Sistema de Exibição de Imagens do GSE
SysML	<i>Systems Modeling Language</i>
TC	Telecomando
TIA	<i>Time Interval Analyzers</i>
TIE	<i>Time Interval Error</i>
TM	Telemetria
TH	Térmica
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
UML	<i>Unified Modeling Language</i>
VLS	Veículo Lançador de Satélites
WBS	Work Breakdown Structure
WFI	<i>Wide Field Imager</i>

SUMÁRIO

Capítulo 1 - Introdução	21
1.1 Programa espacial brasileiro.....	21
1.2 Satélites CBERS.....	23
1.3 Câmera multiespectral (MUX).....	24
1.4 Justificativa do trabalho.....	25
1.5 Objetivos	26
1.6 Limitações do trabalho	27
1.7 Estrutura da dissertação.....	27
Capítulo 2 - Metodologia de Pesquisa.....	29
2.1 Especificações	33
2.2 Planejamento do projeto.....	34
2.3 Concepção	35
2.4 Planejamento técnico.....	36
2.5 Projeto do produto.....	37
Capítulo 3 - Fundamentação Teórica	41
3.1 Instrumentação virtual.....	41
3.2 Interfaces de comunicação	42
3.2.1 LVDS	43
3.2.2 GPIB	44
3.2.3 Ethernet e Wi-fi.....	45
3.2.4 Jitter de sinais	46
3.3 Interfaces de vídeo.....	47
Capítulo 4 - Arquitetura do Sistema.....	51
4.1 Especificação.....	51
4.1.1 Conceito do produto.....	51
4.1.2 Requisitos de desempenho.....	53
4.1.3 Requisitos de construção e desenvolvimento.....	57
4.1.4 Requisitos elétricos	57
4.1.5 Verificação.....	58
4.2 Planejamento do projeto.....	60
4.3 Concepção do produto.....	60
4.3.1 Equipamentos eletrônicos	61
4.3.2 Equipamentos mecânicos.....	63
4.3.3 Equipamentos ópticos	65
4.3.4 Software de testes.....	65
4.4 Planejamento técnico.....	66
4.4.1 Interfaces e controle.....	66
4.4.2 Equipamentos adquiridos.....	67
4.4.3 Parâmetros críticos.....	73
4.4.4 Requisitos de software	74
4.4.5 Árvore de produtos	76
4.5 Projeto do produto.....	76
4.5.1 Engenharia básica do produto.....	76
4.5.2 Comunicação e controle.....	79

4.5.2.1	GSE-LAN.....	79
4.5.2.2	Interface de alimentação	79
4.5.3	Projeto eletrônico	80
4.5.3.1	Controlador GSE.....	80
4.5.3.1.1	Condicionamento de telemetrias	82
4.5.3.1.2	Condicionamento de telecomandos.....	84
4.5.3.1.3	Condicionamento de sinais de testes.....	86
4.5.3.1.4	Multiplexação e demultiplexação.....	87
4.5.3.1.5	Circuitos para autoteste	90
4.5.3.1.6	Interface de alimentação	90
4.5.3.2	Sistema de exibição de imagens	91
4.5.3.3	Gaveta de alimentação.....	92
4.5.4	Software de baixo nível	93
4.5.5	Co-desenvolvimento	95
	Capítulo 5 - Resultados	99
5.1	Características.....	99
5.2	Codificação	100
5.3	Apresentação.....	102
5.3.1	Relacionados com telemetrias e a telecomandos	102
5.3.2	Relacionados com medições temporais.....	103
5.3.3	Relacionados com alimentação	105
5.3.4	Relacionados com recepção de imagens	106
5.3.5	Testes ópticos.....	108
	Capítulo 6 - Conclusão	109
6.1	Trabalhos futuros	111
	Referências.....	111

Capítulo 1

Introdução

1.1 Programa espacial brasileiro

As atividades em torno do programa espacial brasileiro se iniciaram na década de 1940, com a regulamentação das atividades da Subdiretoria de Tecnologia Aeronáutica no Ministério da Aeronáutica e se consolidaram em 1953, com o Centro Técnico da Aeronáutica, hoje Centro Técnico Aeroespacial (CTA), (INOVAÇÃO UNICAMP, 2003). Em 1965, começou a operar o Campo de Lançamento da Barreira do Inferno (CLBI) no Rio Grande do Norte, de onde já foram feitos mais de dois mil lançamentos, dentre eles, o do primeiro foguete de sondagem brasileiro, Sonda I, (AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA, 2006).

A partir da década de 60, foram criadas diversas instituições que deram uma melhor estrutura ao programa nacional como: o Instituto de Atividades Espaciais, que se transformou no Instituto da Aeronáutica e Espaço (IAE); a Comissão Brasileira de Atividades Espaciais (COBAE), substituída pela atual Agência Espacial Brasileira (AEB); e o Grupo de Organização da Comissão Nacional de Atividades Espaciais (GOCNAE), depois extinto e substituído pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Foram, então, desenvolvidos outros foguetes de sondagem capazes de lançar cargas úteis compostas por experimentos científicos e tecnológicos como o Sonda II e o Sonda III.

A inauguração do Centro de Lançamento de Alcântara (CLA), em 1983, e a aprovação da Missão Espacial Completa Brasileira (MECB) foram marcos da formação do programa espacial brasileiro. A oficialização da intenção de construção do Veículo Lançador de Satélites, em 1979, levou ao desenvolvimento dos veículos Sonda IV, VS-30, VS-40 e o VLSR ampliando o conhecimento tecnológico na área. O primeiro satélite concebido, projetado, fabricado e testado no Brasil, o Satélite de Coleta de Dados SCD-1 da MECB, foi lançado na Flórida (EUA) em 1993 e continua funcionando em órbita desde então. O SCD-2, lançado em 1998, assim como seu antecessor, visa fornecer ao país um sistema de coleta de dados ambientais baseado na utilização de satélites e plataformas de coleta de dados (PCDs) distribuídas pelo território nacional, (MECB, 2006).

Em 1997 e 1999, ocorreram dois lançamentos frustrados do VLS-1, e, em 2003, ele se incendiou dois dias antes do início das operações de seu terceiro lançamento, matando 21 pessoas do CTA. Apesar dessa tragédia, o governo brasileiro manteve o programa espacial e assegurou a participação do Brasil na Estação Espacial Internacional (*International Space Station - ISS*), possibilitando a ida do seu primeiro astronauta, em março de 2006, para a realização de experimentos tecnológicos.

Os altos custos do sensoriamento remoto tornam os países em desenvolvimento dependentes das imagens fornecidas por equipamentos de outras nações. Para reverter este quadro, os governos do Brasil e da China fizeram uma parceria em 1988 para o desenvolvimento de dois satélites avançados de sensoriamento remoto, denominados de Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres 1 e 2 (*China Brazil Earth Resources Satellite - CBERS*), (CBERS, 2006). Nestes satélites, foi criado um sistema de responsabilidades divididas em 30% brasileira e 70% chinesa. Os satélites CBERS-1 e 2 foram lançados com sucesso, em 1999 e 2003 respectivamente. Os governos decidiram dar continuidade ao programa e firmaram um novo acordo para o desenvolvimento e lançamento de mais dois satélites, o CBERS-3 com previsão de lançamento em 2008 e o CBERS-4 em 2010, agora com as responsabilidades divididas igualmente entre os dois países. Como o tempo de vida do CBERS-2 está se esgotando, é previsto ainda para 2007 o lançamento do CBERS-2B, que será praticamente uma réplica de seu antecessor, que deverá continuar a fornecer imagens até o CBERS-3 entrar em operação.

1.2 Satélites CBERS

A órbita dos satélites CBERS é hélio-síncrona a uma altitude de 778 km, faixa situada na região de órbita baixa entre a superfície da Terra e o primeiro cinturão de Van Allen. O satélite faz cerca de 14 revoluções por dia e cruza o Equador sempre na mesma hora local, 10:30h da manhã, permitindo assim que se tenha sempre a mesma condição de iluminação solar para a comparação de imagens tomadas em dias diferentes.

O CBERS é composto por dois módulos: serviço e carga útil. O módulo serviço contém os equipamentos que asseguram o suprimento de energia, os controles, as telecomunicações e demais funções necessárias à operação do satélite. O módulo carga útil dos CBERS-1 e 2 possui os sistemas ópticos: Câmera Imageadora de Alta Resolução, Imageador por Varredura de Média Resolução (*Infrared Multispectral Scanner - IRMSS*) e Imageador de Amplo Campo de Visada (*Wide Field Imager - WFI*), que são utilizados para observação da Terra, e o Repetidor para o Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais. O módulo carga útil dos CBERS-3 e 4 acomoda os seguintes sistemas ópticos: Câmera PanMux, Câmera Multiespectral (MUX), Imageador por Varredura de Média Resolução (IRMSS); Câmera Imageadora de Amplo Campo de Visada (WFI), além de equipamentos como: Transmissores de Dados de Imagens, Gravador de Dados Digital (*Digital Data Recorder - DDR*), Transponder de Coleta de Dados e Monitor Espacial Ambiental.

A cobertura da Terra é obtida em 26 dias com as câmeras de média e alta resolução e de 5 dias com as de amplo campo de visada, sendo que suas características diferentes geram imagens para várias aplicações. As imagens dos CBERS-1 e 2 são usadas para o controle do desmatamento e de queimadas, monitoramento de recursos hídricos, áreas agrícolas, crescimento urbano, ocupação, dentre outros. O Brasil é o maior distribuidor de imagens de satélite do mundo, graças à política de distribuição gratuita implantada em junho de 2004.

1.3 Câmera multiespectral (MUX)

A câmera equivalente à MUX nos satélites CBERS-1 e 2 foi desenvolvida na China e possui características ópticas distintas. Por uma decisão estratégica dos dirigentes do INPE, visando criar capacidade nacional para desenvolver e fabricar instrumentos ópticos para uso espacial, a câmera MUX (ou subsistema MUX) está sendo desenvolvida no país pela Opto Eletrônica S.A.

Além de possuir requisitos ópticos de alto desempenho, a MUX deverá operar em condições ambientais severas em termos térmicos e de exposição à radiação solar e espacial. Para isso, é necessário que o subsistema realize algumas funções auxiliares, tais como: controle de temperatura, autocalibração radiométrica e ajuste de foco óptico via comando remoto.

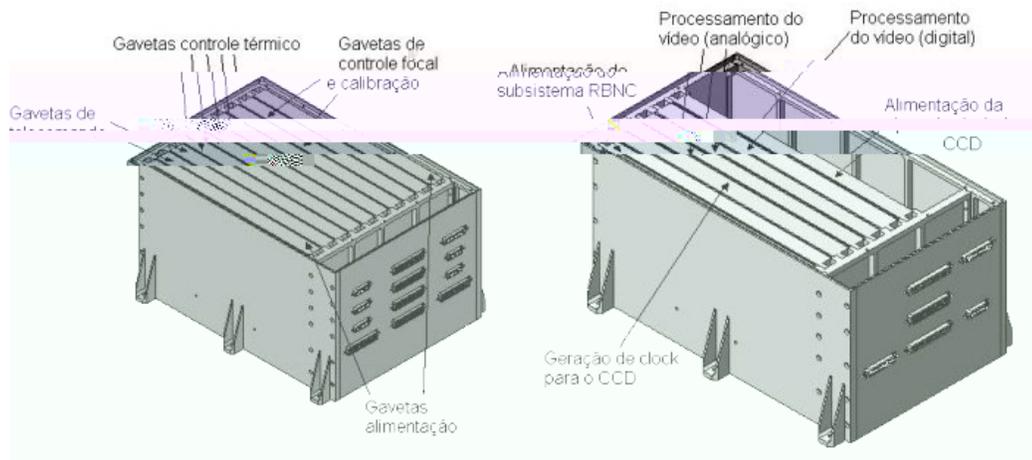


Figura 2 - Módulos (a) RBNB e (b) RBNC

A captação da imagem pelo subsistema MUX é feita através de um dispositivo de carga acoplado (CCD) quadrilinear, sendo que cada linha capta uma banda espectral diferente da luz através de filtros “passa-faixas” em sua superfície. Cada linha tem 6000 pontos, $13\mu\text{m}$ cada, sendo dispostas de forma paralela, separadas por um pequeno espaço ($\sim 0,7\text{mm}$) destinado à montagem prática dos filtros espectrais. A câmera deve permitir resolução de 20m no solo, amostrados de forma “quase” simultânea ou sucessivamente pelo movimento do satélite.

A câmera também deve conter sistema eletrônico capaz de capturar os sinais do CCD, e processá-los de forma conveniente para serem transferidos aos outros subsistemas do satélite e às estações de Terra. E ainda, ela deve gerar sinais de telemetria (TM), receber sinais de telecomandos (TC) de acionamento, e controlar a seleção e o funcionamento dos quatro modos de operação: modo stand-by, modo de imageamento normal, modo de calibração relativa e modo de ajuste da distância focal.

1.4 Justificativa do trabalho

As atividades de montagem, integração e testes (*Assembly, Integration and Test - AIT*) de um satélite artificial a ser colocado em órbita da Terra correspondem a conjuntos de procedimentos e à execução de uma seqüência de eventos logicamente inter-relacionados, cujo propósito é obter um alto grau de confiança no funcionamento do satélite.

Cada subsistema do satélite passa por uma série de testes de aceitação, calibração e desempenho durante o seu desenvolvimento e durante as fases AIT, visando sempre verificar se funcionalmente as especificações de projeto estão satisfeitas. A realização dos testes requer a disponibilidade de um sistema próprio e flexível que possibilite a adequada interface com o satélite e viabilize a execução das complexas operações de ensaios. Este sistema é denominado equipamento de suporte terrestre (*Ground Support Equipment - GSE*), (LABORATÓRIO DE INTEGRAÇÃO E TESTES, 2006).

O desenvolvimento do subsistema MUX em território nacional é de significativa importância para o programa espacial brasileiro, pois o investimento nesse tipo de tecnologia agrega conhecimento e capacidade intelectual para futuros projetos de porte ainda superior.

A construção da câmera MUX deve ser realizada obedecendo elevado grau de segurança, confiabilidade, redundância e testabilidade. Assim, depende também do desenvolvimento concomitante do seu próprio GSE – um equipamento que possa testar seus requisitos e oferecer suporte aos seus componentes em nível de subsistema (isolada do satélite) e de sistema (integrada ao veículo espacial CBERS).

1.5 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento do GSE, de forma que este consiga testar todos os requisitos funcionais especificados do subsistema MUX, sendo alguns dos principais itens:

- Controlar o banco óptico: equipamento auxiliar capaz de gerar padrões ópticos necessários para cálculo e medição das características ópticas do subsistema, tais como: plano focal, qualidade da imagem, distorções, radiância, calibração, ganho, entre outros;
- Simular a interface da MUX com o subsistema de alimentação do satélite (*Electrical Power Supply Source – EPSS*): gerar a alimentação elétrica adequada e analisar consumo de potência.
- Simular a interface da MUX com o sistema de processamento de dados embarcado do satélite (*On-Board Data Handling – OBDH*): gerar a operação de todas as telemetrias e todos os telecomandos;

- Simular a interface da MUX com o subsistema de gravação de dados digital (*Digital Data Recorder – DDR*): fornecer meios para adquirir, armazenar e exibir as imagens da câmera em todas as bandas espectrais simultaneamente;
- Checar a formatação dos dados da imagem, emular dados auxiliares e interpretar o conteúdo da imagem em cada quadro de vídeo;
- Gerar, receber e interpretar os sinais necessários para executar os testes em nível de sistema e subsistema da câmera MUX;
- Checar a operação de todo o sistema: estado inicial, aterramento, contatos e sinais internos.

1.6 Limitações do trabalho

O GSE é um equipamento que possui engenhos ópticos, mecânicos, eletrônicos e de *software*, podendo ser classificado como um sistema mecatrônico. Entretanto, esta dissertação se concentra nos detalhes pertinentes ao desenvolvimento e às questões de pesquisa apenas do sistema eletrônico.

O *software* do equipamento é analisado apenas em níveis necessários para a complementação da eletrônica para a realização dos testes, não sendo abordadas questões referentes à engenharia e às práticas de desenvolvimento do *software*. Não são tratadas também, questões sobre os estudos ópticos e mecânicos que foram utilizados para a construção do banco óptico, considerado aqui como equipamento auxiliar ao GSE.

1.7 Estrutura da dissertação

O trabalho está dividido em cinco capítulos. O Capítulo 2 apresenta a metodologia utilizada para o desenvolvimento do equipamento. No Capítulo 3, uma revisão bibliográfica das tecnologias aplicadas no desenvolvimento do projeto é apresentada. No Capítulo 4, analisa-se detalhadamente o GSE construído. No capítulo 5, são apresentados os resultados do projeto, ou seja, os testes que o GSE é capaz de realizar no subsistema MUX. No último capítulo, são apresentadas considerações finais.

Capítulo 2

Metodologia de Pesquisa

O desenvolvimento de um equipamento como o GSE envolve uma ampla pesquisa em diversas áreas da eletrônica, uma vez que existem inúmeras opções de arquiteturas, tecnologias, circuitos e fabricantes disponíveis. Com esse grande número de opções em abrangentes setores do conhecimento, torna-se necessário a pesquisa de uma metodologia de desenvolvimento embasada nas teorias de processo de desenvolvimento de produtos (PDP) que apresente os procedimentos adequados para serem utilizados neste trabalho.

Este é o campo de estudo da Engenharia de Sistemas (*Systems Engineering* - SE), que com uma abordagem interdisciplinar estuda os processos de realização, desenvolvimento e todo o ciclo de vida de sistemas complexos, (INCOSE, 2006). Em SE o acrônimo, do inglês, “SIMILAR” referencia a divisão do processo de desenvolvimento, como pode ser visto na Figura 3, em sete principais tarefas: funcionalidades (*state the problem*), alternativas (*investigate alternatives*), modelagem (*model the system*), integração (*integrate*), lançamento (*launch the system*), avaliação (*assess performance*) e reavaliação (*re-evaluate*).

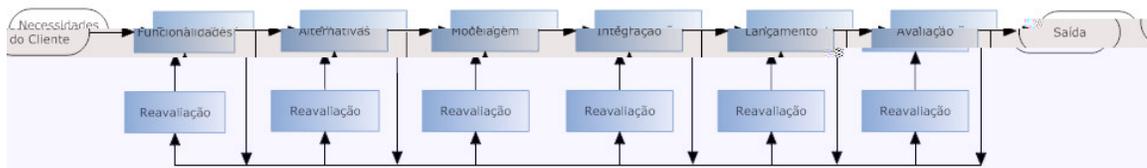


Figura 3 - Processo de Desenvolvimento em Engenharia de Sistemas

A etapa da descrição do problema é um relato em alto nível do que o sistema deve fazer e de todos os requisitos que ele deve cumprir, fornecendo dados quantitativos e qualitativos da operação. Parâmetros de desempenho, agenda e custo são utilizados para delinear as possíveis alternativas de soluções para o problema.

A interpretação dos requisitos é definida como a atividade de compreensão das necessidades do cliente e uma expansão destas indicações para a produção de especificações que devem ser tomadas para o desenvolvimento do produto, (BRADLEY *et al.*, 2000). Para tal, técnicas de interpretação dos requisitos utilizadas são: análise de texto, de pontos de vista, funcional e sensitiva. A análise de texto consiste na separação e organização dos requisitos de forma que sejam estabelecidas especificações funcionais, ou seja, diretamente ligadas à operação do sistema; e não funcionais, como custo e segurança, por exemplo, que modificam ou restringem as características funcionais. A análise de pontos de vista agrupa os requisitos funcionais em requisitos de definição e requisitos limitantes, levando em conta não apenas as perspectivas humanas, mas também padrões e legislações, sendo possível a partir desta análise a geração de uma estrutura de blocos que subdivide as tarefas do sistema. A análise funcional é parte também da etapa de modelagem. Ela mapeia o funcionamento do sistema em vários níveis através de diagramas de fluxo de dados, técnica muito utilizada em desenvolvimento de *software*, gerando uma estrutura lógica a partir da qual a análise sensitiva, utilizando parâmetros de confiabilidade e tolerância, consegue identificar pontos com alto potencial de falha, compromissos de desempenho, entre outros.

A etapa da modelagem da alternativa ou das alternativas escolhidas é essencial para o gerenciamento de todo ciclo de vida do sistema desde o seu desenvolvimento. Deve ser ressaltado que o processo de engenharia de sistemas não é seqüencial e sim paralelo e interativo, cuja complexa relação entre o melhoramento dos modelos, o desenvolvimento destes e a seleção de alternativas é um bom exemplo da sua natureza dinâmica. Muitos tipos de modelagem de sistema podem ser usados dependendo da aplicação, tais como: máquinas de estado, diagrama de blocos, diagramas de fluxo de dados, redes de Petri, e, entre outros, a linguagem de modelagem de sistemas SysML (

A SysML é uma linguagem de código aberto e de domínio específico para aplicações de engenharia de sistemas. Suporta especificações, análise, desenvolvimento, verificação e validação de uma vasta gama de sistemas, que podem incluir *hardware*, *software*, processos, informações pessoais e facilidades, (SYSML PARTNERS, 2006). É semelhante à UML (*Unified Modeling Language*), amplamente utilizada em engenharia de *software*, herdando vários de seus tipos de diagramas conforme pode ser visto na Figura 4, entretanto foi desenvolvida para ser mais apropriada que UML para a modelagem de sistemas. A primeira versão completa, SysMLv.1.0a, foi submetida em novembro de 2005 para a OMG (*Object Management Group*), um consórcio aberto e sem fins lucrativos da indústria de computadores que trabalha com integração e padronização de várias tecnologias, que anunciou a adoção da linguagem em julho de 2006.

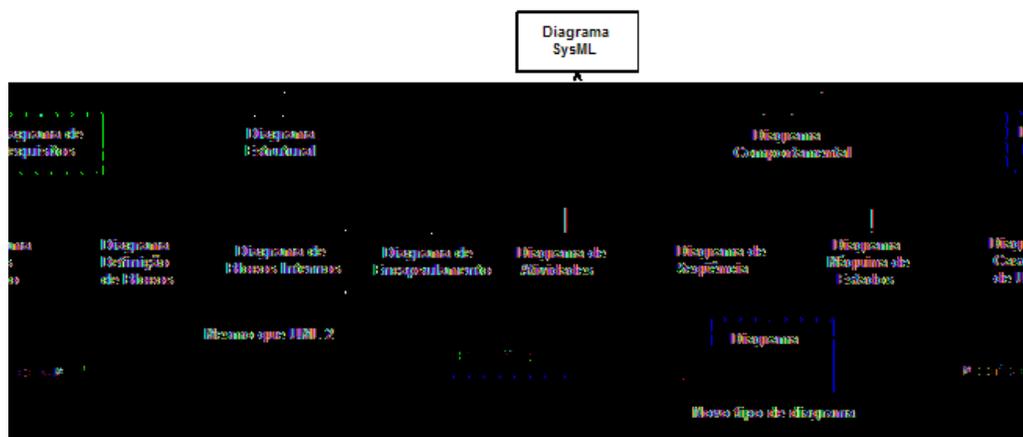


Figura 4 - Taxonomia dos diagramas SysML. (Fonte: <http://www.sysml.org>, 20/08/2006)

A etapa de integração do sistema envolve a interação entre as pessoas, os negócios e os sistemas. Nela devem ser definidos subsistemas do sistema principal e interfaces entre os subsistemas, minimizando a quantidade de informação, itens físicos e energia necessária para o desenvolvimento de cada uma das partes. Produtos típicos do processo de engenharia de sistemas nessa fase são documentos de requisitos, de métodos de verificação e validação, de planos de teste, de listas de entregas, de modelos, de análise de riscos e de descrição de funções, objetos e arquiteturas.

A etapa de lançamento é a construção do equipamento. O desenvolvimento pode se dar da forma *top-down*, técnica geralmente utilizada em desenvolvimento de *software*, em que o desenvolvedor inicia seu trabalho com as tarefas de maior nível e vai gradualmente decompondo o

problema até seus níveis mais baixos de funcionamento. Ou pode se dar da forma inversa: *bottom-up*, muito utilizada em desenvolvimento eletrônico, em que há necessidade de se estabelecer o desempenho do funcionamento de elementos de circuitos antes de se prosseguir com o restante. Entretanto, na prática, o que mais ocorre é uma alternância entre as duas técnicas, devido à necessidade de se verificar o funcionamento de particularidades antes do desenvolvimento como um todo para prosseguir.

A etapa de avaliação de desempenho é a obtenção de resultados que quantifiquem o desempenho do sistema. Enquanto que a etapa de reavaliação é a observação das saídas de todas as etapas e a utilização dessas informações para implementar modificações em todo o ciclo de desenvolvimento como pode ser visto nas realimentações da Figura 3.

A diversidade de tipos de sistemas que são produzidos leva a muitas variações desse modelo discutido. Entretanto, o caráter de pesquisa tecnológica aplicada do GSE levou a busca por um modelo de referência que contemplasse um conjunto de práticas específicas para serem aplicadas em seu processo de desenvolvimento. A inexistência de um modelo que contemplasse as melhores práticas da teoria de PDP que fosse adaptado ao contexto tecnológico de produtos mecatrônicos foi identificada em (BARBALHO, 2006), que então trabalhou nesta lacuna desenvolvendo o Modelo de Referência para o desenvolvimento de produtos Mecatrônicos (MRM). Outro fator que contribuiu para a adoção do MRM como linha de metodologia deste trabalho foi que ele já era aplicado em outros produtos na empresa em que o GSE foi produzido.

Como pode ser visto na Figura 5, a seqüência de fases do MRM engloba todo o ciclo de vida de um produto, do seu desenvolvimento ao seu acompanhamento. Por este trabalho não se tratar do desenvolvimento de um item de produção para o mercado, foram consideradas apenas as etapas de pesquisa, de desenvolvimento e de gerência que influenciam diretamente no trabalho técnico. Nos próximos itens, é explicado como cada etapa do MRM foi seguida, e, no capítulo 4, a arquitetura do sistema é apresentada seguindo estes procedimentos.

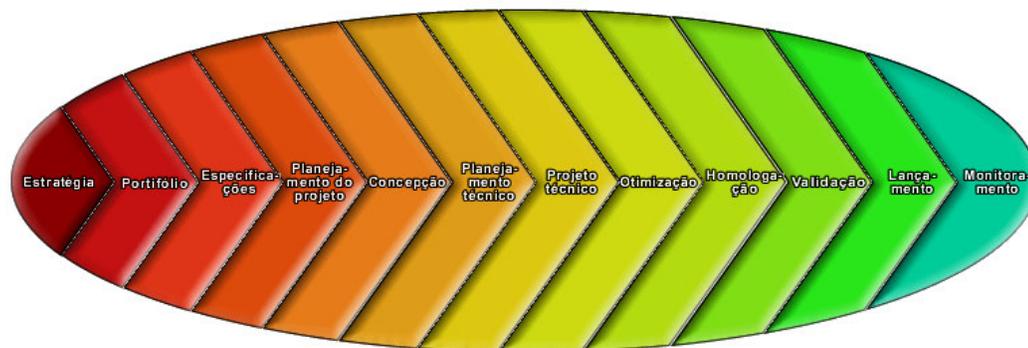


Figura 5 - Fases do MRM. (Fonte: BARBALHO, 2006, p. 106)

2.1 Especificações

Na Figura 6, é apresentado o fluxograma da fase de especificações. Essas atividades têm o objetivo de estabelecer o conjunto de especificações do produto a ser desenvolvido.

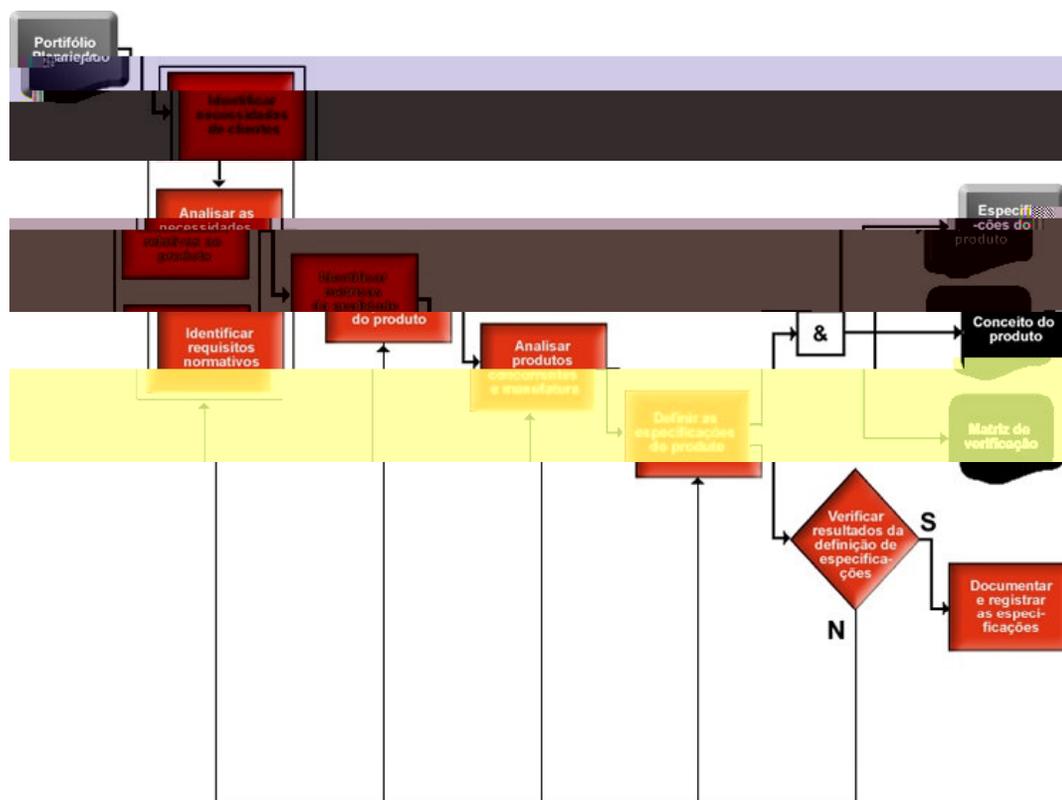


Figura 6 - Fase de especificações. (Fonte: BARBALHO, 2006, p. 130)

As necessidades do cliente, as necessidades relativas ao produto, requisitos normativos e as métricas de qualidade estão agrupados no documento de especificação do GSE gerado pelos grupos

responsáveis pela construção do satélite. Entretanto, para um completo entendimento deste documento foi necessário também o estudo de documentos pertinentes ao subsistema MUX: suas especificações; seu manual de desenvolvimento que especifica uma série de requisitos relativos à forma como o subsistema deve ser construído; e suas interfaces que especificam todos os pontos relativos à comunicação entre os subsistemas OBDH, DDR, EPSS, e os três equipamentos da MUX – RBNA, RBNB e RBNC.

Não foi possível ter acesso a documentos de produtos concorrentes que pudessem servir de base de comparação para o MUX-GSE como o GSE do imageador equivalente à MUX do CBERS 1 e 2. Dessa forma, essa etapa foi substituída por visitas ao LIT (Laboratório de Integração e Testes do INPE), contato com seus pesquisadores e observações de equipamentos similares de outras áreas.

2.2 Planejamento do projeto

Na Figura 7, é apresentado o fluxograma de planejamento do projeto. Esta fase é de caráter mais administrativo e suas atividades têm como objetivo a confecção de um plano de projeto de um produto cujas especificações já foram determinadas.

Algumas etapas dessa fase são de responsabilidade da alta direção do projeto, tais como a declaração do trabalho, a estrutura de custos e plano de gerência de riscos. Através de constantes reuniões entre a direção e o pessoal técnico, as informações pertinentes ao desenvolvimento do produto foram sempre comunicadas, como mudanças de cronograma e alocações de recursos.

Como parte da etapa de WBS (*Work Breakdown Structure* - Estrutura de Divisão do Trabalho), foi elaborada uma EAP (Estrutura Analítica do Projeto). Nesta etapa o produto foi desmembrado em partes componentes imediatamente inferiores a serem projetadas, e, então, listadas as atividades a serem desenvolvidas com base no MRM. A partir dessa WBS, um cronograma macro do projeto foi delineado. Versões mais detalhadas do cronograma foram feitas de forma específica para atividades faltantes antes de marcos de entrega de documentação ao cliente.

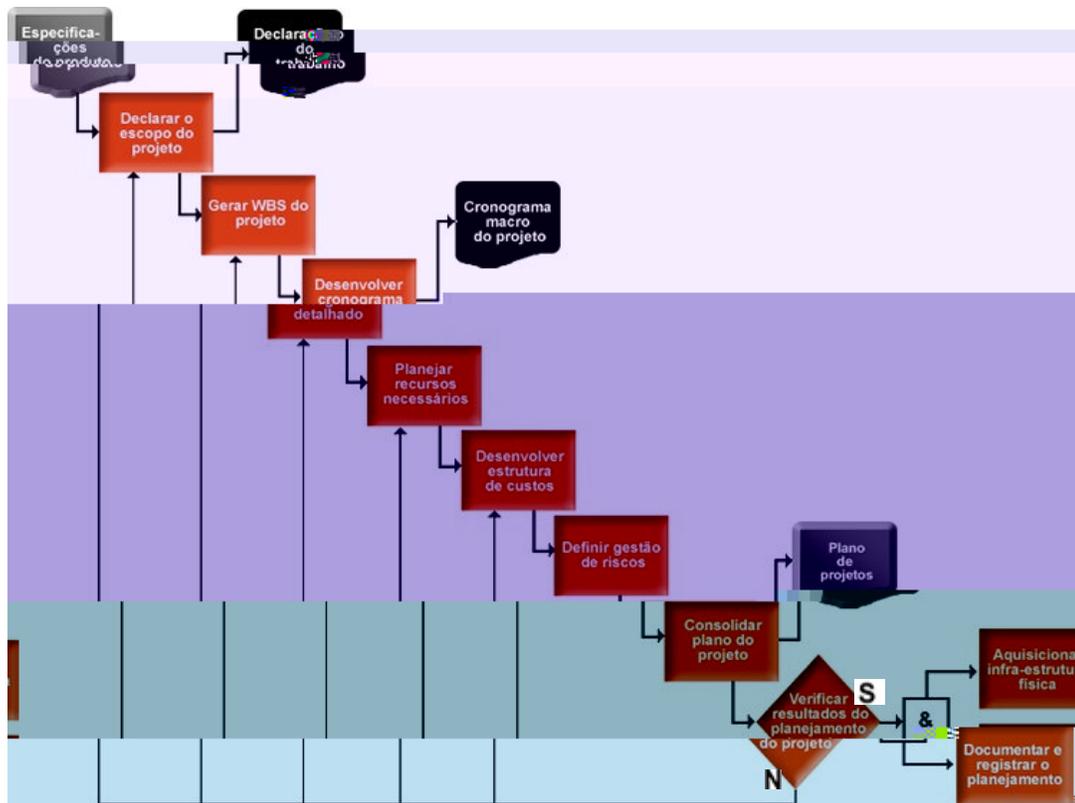


Figura 7 - Fase de planejamento de projeto. (Fonte: BARBALHO, 2006, p. 132)

2.3 Concepção

Na Figura 8, é apresentado o fluxo de atividades da fase de concepção do produto. O propósito dessa fase é desenvolver um conjunto de concepções e escolher uma opção, isto é, uma descrição aproximada de tecnologia, princípios de funcionamento e empacotamento mecânico de cada parte constituinte do produto, conforme identificado na EAP.

Inicialmente foram definidos os problemas de projeto. Através de pesquisas realizadas no estado da arte das tecnologias envolvidas e com a experiência de projetos anteriores da empresa, foram identificadas alternativas de concepção. A partir da análise de custo e de viabilidade das soluções, foram definidas as melhores opções, que, quando necessário, foram testadas em protótipos. Por fim, foi gerado um novo documento denominado Projeto do GSE com escolha das alternativas de concepção e uma nova revisão do documento de especificação do projeto.

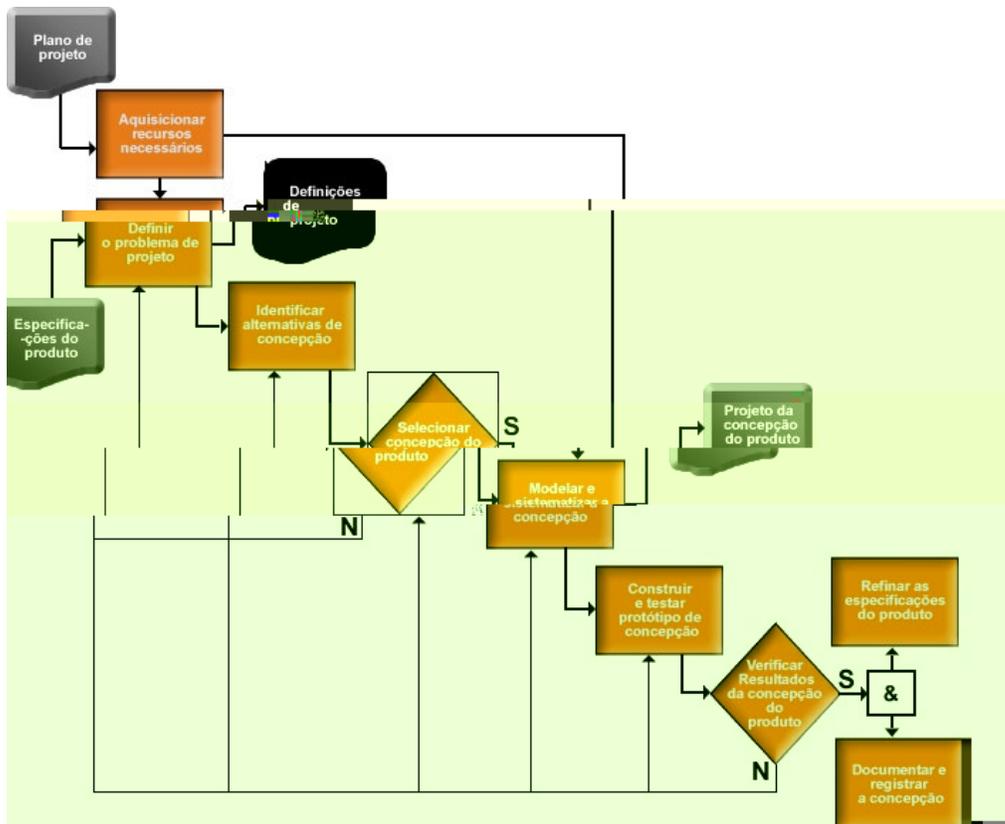


Figura 8 - Fase de concepção do produto. (Fonte: BARBALHO, 2006, p. 135)

2.4 Planejamento técnico

Na Figura 9, é apresentado o fluxograma do planejamento técnico. Nessa fase é desenvolvido um planejamento para o projeto do produto com detalhes das atividades a serem realizadas e da estrutura de documentação a ser confeccionada.

A arquitetura do produto obtida na fase de concepção foi consolidada com a escolha dos componentes a serem adquiridos e com a especificação de todas as interfaces do projeto. Normas técnicas e padrões aplicáveis ao sistema, parâmetros críticos e requisitos de *software* foram identificados e integrados às especificações.

Foi gerada uma árvore de produto, que pode ser definida, segundo BARBALHO (2006, p. 138), como “uma estrutura representativa das partes físicas do produto para os quais é desenvolvida a documentação usada para verificar e validar o projeto”. Através dela são gerados todos os códigos exigidos pelo departamento de qualidade da empresa, para a documentação enviada ao cliente e, pelo

departamento de compras, para a aquisição e utilização de itens. O documento iniciado na fase anterior, Projeto do GSE, é complementado com todo o plano técnico desenvolvido nesta fase.

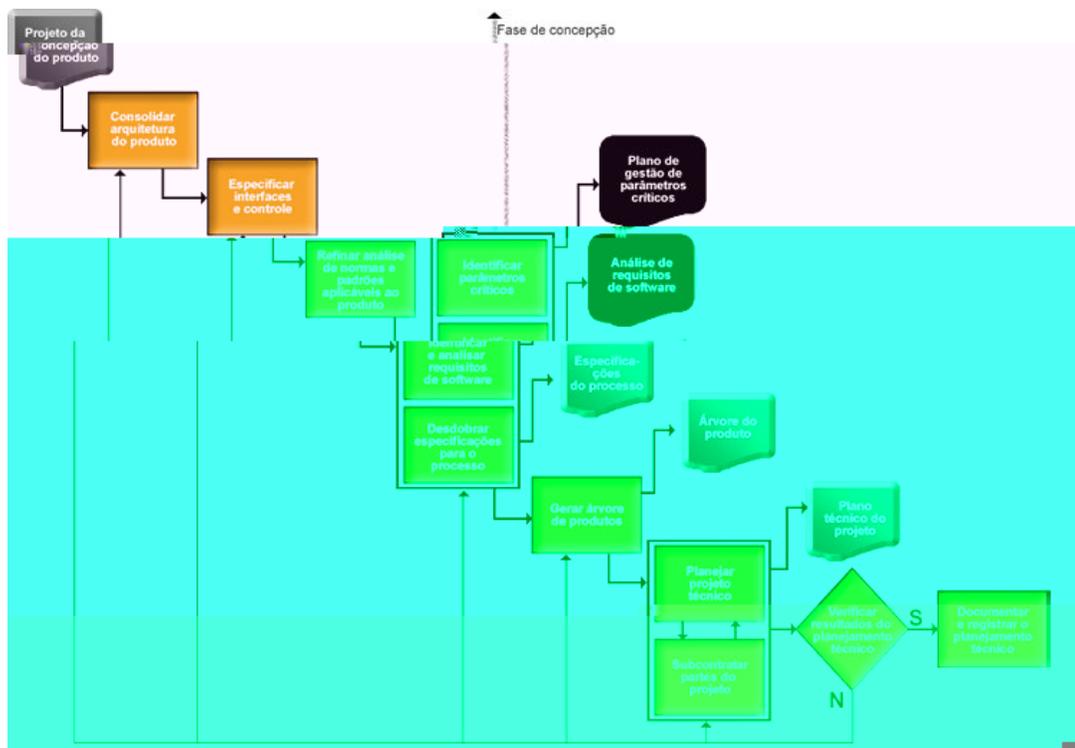


Figura 9 - Fase de planejamento técnico. (Fonte: BARBALHO, 2006, p. 139)

2.5 Projeto do produto

Na Figura 10, é apresentado o fluxo de atividades do projeto técnico. A finalidade desta fase é a realização do projeto em si, desenvolvendo toda mecânica, eletrônica e *software*, com base em toda a documentação e planejamento feitos até este ponto.

O projeto se inicia com a estrutura necessária para a montagem física do sistema. O projeto do sistema de controle representa todas as interconexões necessárias entre os equipamentos utilizados de acordo com os padrões e protocolos escolhidos. Já a etapa do sistema de comunicação representa o projeto da rede de comunicação do sistema com outros equipamentos.

O projeto eletrônico é visto como a parte principal do GSE. Essa atividade é dividida nas seguintes etapas:

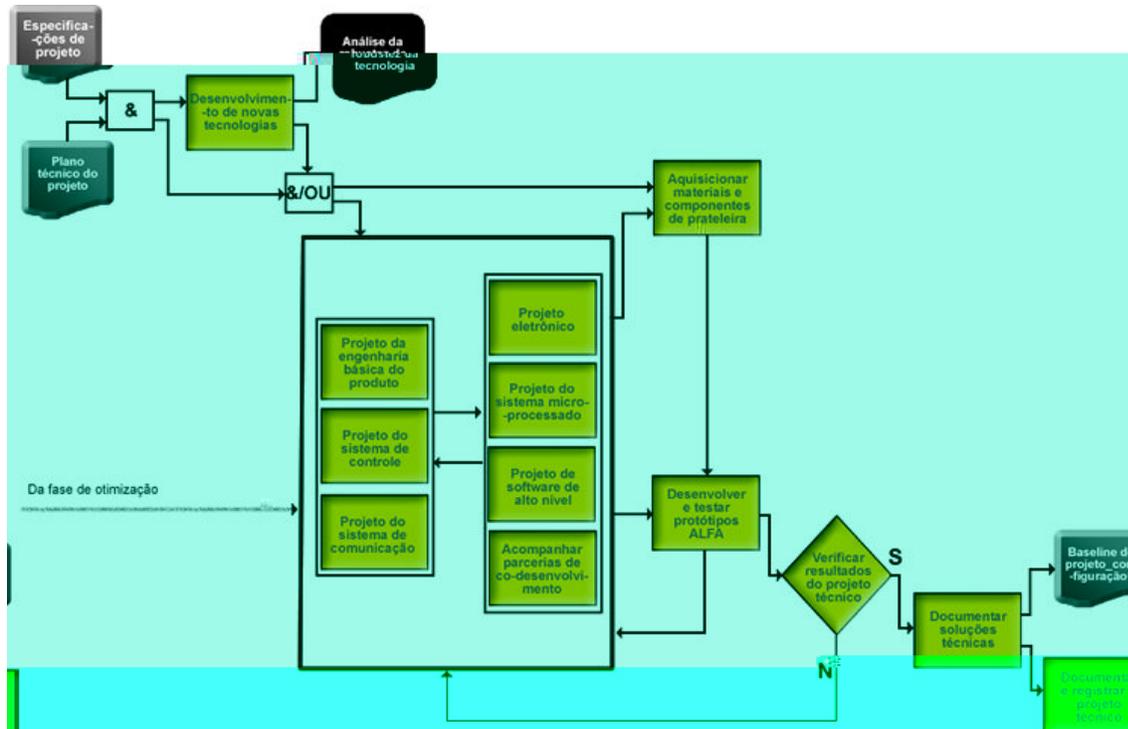


Figura 10 - Fase de projeto do produto. (Fonte: BARBALHO, 2006, p. 144)

- Desenvolver detalhes das interfaces entre os módulos eletrônicos;
- Escolher os componentes principais de cada módulo, conectores e cablagem;
- Detalhar e simular esquemáticos de cada módulo;
- Adquirir componentes principais de cada módulo;
- Detalhar *lay-out* de placas de circuito impresso;
- Desenvolver documentação preliminar de fabricação, montagem e testes da eletrônica.

A atividade de projeto do sistema microprocessado foi substituída pelo projeto do *software* de baixo nível do sistema, que consiste de uma camada de comunicação entre os *drivers* dos equipamentos e o *software* de alto nível, incluindo a programação de todas as tarefas que comandam a eletrônica do sistema. O projeto do *software* de alto nível não é abordado com ênfase nesta dissertação, pois foge do escopo deste trabalho. No entanto, será apresentado como as rotinas de baixo nível foram utilizadas para o desenvolvimento dos testes que o GSE deve ser capaz de realizar.

O acompanhamento de parceiros de desenvolvimento foi contínuo durante o projeto. Eles são divididos em três grupos: de óptica, de mecânica e de *software* de alto nível. O processo de aquisição

de componentes envolve também o Departamento de Compras da empresa. Os componentes são inicialmente especificados, seus principais fabricantes e revendedores são levantados, e em muitos casos, são feitas cotações e análise de prazo de entrega. Só então, todos os pontos levantados são passados para o pessoal de compras que fica responsável pelo processo até a chegada do componente, incluindo todo o processo de importação quando necessário. É necessário que parte da pesquisa de mercado seja feita pela equipe de desenvolvimento já que existem componentes integrados similares de diferentes fabricantes que podem ser utilizados, e que muitas vezes são mais fáceis de serem adquiridos. Em alguns casos, os componentes escolhidos já são itens de estoque da empresa, bastando apenas realizar uma requisição no *software* de gerenciamento utilizado.

Para a realização dos testes das interfaces eletrônicas, foram confeccionadas juntamente com as placas do GSE, placas de integração. Estas possuem todos os conectores para os cabos do GSE, simulando as conexões que seriam feitas na MUX, com contatos facilitando os testes de todas as interfaces de medida e geração de sinais do GSE. Foram necessários também instrumentos de bancada como osciloscópio, fontes, cabos, etc. Com as rotinas de baixo nível implementadas, foi possível testar todos os comandos lidos e gerados pelo GSE um a um, validando assim tanto a eletrônica quanto o *software* desenvolvido. Os procedimentos e relatórios de teste de cada placa foram submetidos à aprovação do cliente.

Para o desenvolvimento do protótipo, foram gerados documentos de montagem e integração. O ciclo de projeto, montagem e testes de validação, foi realizado até os resultados serem satisfatórios. A partir de então, prosseguiu-se com a montagem de mais duas unidades, conforme era solicitado na especificação.

Capítulo 3

Fundamentação Teórica

Neste capítulo, são apresentadas algumas das tecnologias cujo entendimento foi essencial para o desenvolvimento do projeto. O capítulo está dividido em três abrangentes tópicos que são: instrumentação virtual, interfaces de comunicação e interfaces de vídeo.

3.1 Instrumentação virtual

Instrumentação virtual é um método de instrumentação que combina um computador equipado com *softwares* e *hardwares* de aquisição e geração de sinais. Com ela, usuários podem criar sistemas personalizados que atendam exatamente aos requisitos de suas aplicações, com desenvolvimento a um menor custo, menor prazo e de maior qualidade. O sucesso dessa tecnologia pode ser atribuído aos avanços dos microcomputadores, à facilidade de desenvolvimento de *softwares*, à diminuição do custo de conversores analógico-digital e digital-analógico de alto desempenho e ao impacto das recentes tecnologias de alta resolução em interfaces homem-máquina (NATIONAL INSTRUMENTS, 2006a).

Suas principais vantagens em relação aos equipamentos tradicionais são: a flexibilidade, interfaces melhoradas e a possibilidade de elevado nível de automatismo. É possível, através de bibliotecas de processamento e análise em *software*, programar funções avançadas, presentes apenas em equipamentos de maior custo. Interfaces de equipamentos podem ser fielmente simuladas ou até melhoradas com a utilização de teclado, mouse e monitor. Com as avançadas opções de conectividade,

processamento, análise e armazenamento dos microcomputadores podem ser construídos relatórios, gráficos e planilhas automaticamente.

Com a divisão dos sistemas em *software* e *hardwares* modulares, uma mesma aplicação desenvolvida pode operar em diferentes plataformas como PCI (*Peripheral Component Interconnect*), PXI (*Peripheral Component Interconnect Extensions for Instrumentation*) ou USB (*Universal Serial Bus*)

3.2.1 LVDS

LVDS - *Low Voltage Differential Signalling*, ou Sinalização Diferencial de Baixa Tensão, padronizado como ANSI/TIA/EIA-644-A, é uma tecnologia que visa atender a atual demanda por aplicações de transmissão de dados com grande desempenho (NATIONAL SEMICONDUCTOR, 2004). As principais características desse modo de transmissão são: baixa tensão, baixa geração e alta rejeição a ruído, robustez e a capacidade de ser integrada em nível de componentes.

O padrão LVDS utiliza duas linhas de sinal para a transmissão, assim como o RS-422 e o RS-485, mas excede a velocidade desses padrões podendo chegar a *Gigabit/s*. Outros padrões concorrentes como ECL (*Emitter Coupled Logic*

3.2.2 GPIB

GPIB – *General Purpose Interface Bus*, ou Barramento de Interface de Propósito Geral, padronizado como ANSI/IEEE 488.1, é um sistema de interface para conexão entre computadores e instrumentos programáveis. O padrão ANSI/IEEE 488.2 fornece os códigos, formatos, protocolos e comandos comuns a serem utilizados na aplicação do GPIB.

Essa interface é paralela de 8-bit com taxa de transferência de até 1Mbyte/s. O barramento suporta um sistema controlador e até 15 instrumentos conectados em seqüência (os cabos de conexão possuem em uma das pontas um extensor para outro cabo). São empregadas 8 linhas de terra para retorno e 16 linhas de sinais, sendo 8 bidirecionais para transferência de dados, 3 para *handshake* e 5 para gerenciamento do barramento.

Além da compatibilidade com os padrões 488.1 e 488.2, um maior nível de padronização é alcançado quando os instrumentos são compatíveis com a especificação SCPI (*Standard Commands for Programmable Instrumentation*). A SCPI define uma estrutura e uma sintaxe de comandos para instrumentos programáveis, independentes da camada física de comunicação. Na Figura 12, pode ser vista a estruturação dos padrões GPIB e SCPI que, segundo NI (2006d), levam ao aumento da produtividade, pois o foco do desenvolvimento passa a ser a solução dos problemas de medição e não o aprendizado de um novo conjunto de comandos.

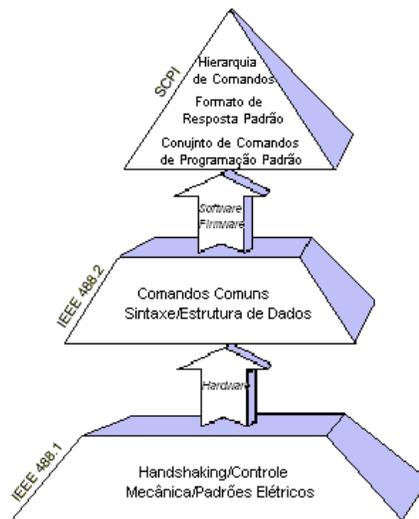


Figura 12 - Estrutura de padrões GPIB. (Fonte: NATIONAL INSTRUMENTS, 2006d)

3.2.3 Ethernet e Wi-fi

Ethernet compreende um conjunto de tecnologias de rede de computadores que define os padrões de fiação e sinalização para acesso à camada física. A topologia em estrela, com pares trançados, definida no padrão ANSI/IEEE 802.3 com taxas de transmissão de 10 Mb/s, 100Mb/s e 1Gb/s se tornaram as mais comuns implementações de LANs (*Local Area Network*). Recentemente, o padrão sem fio (Wi-Fi) ANSI/IEEE 802.11 também tem sido amplamente utilizado em adição ou substituição ao padrão com fio. As redes *Wi-fi* também podem ser implementadas ponto-a-ponto ou de forma estruturada. Esta última, em que cada dispositivo cliente se comunica apenas com um dispositivo servidor, é a mais utilizada em WLANs (*Wireless LANs*). Suas taxas de transmissão estão em torno de 11, 54 ou 108 Mb/s dependendo do padrão adotado (TANENBAUM, 2002).

Ethernet é freqüentemente utilizado em aplicações de instrumentação virtual para controle de testes remotos, distribuição de dispositivos de E/S e transmissão de dados. Sua arquitetura baseada em pacotes de dados a torna não determinística e com relativa alta latência, características muitas vezes proibitivas para a integração de módulos de E/S. Com isso, ela é utilizada como meio de comunicação entre *clusters* de E/S, sendo que estes funcionam em outros tipos de barramentos dedicados como pode ser visto na Figura 13 (NATIONAL INSTRUMENTS, 2006e).

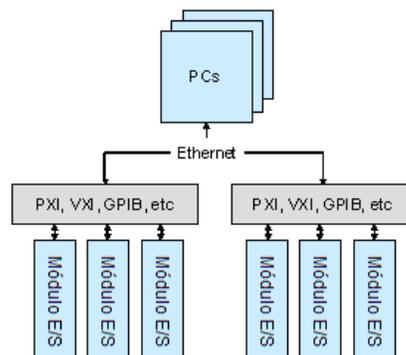


Figura 13 - Exemplo de *Ethernet*/LAN baseada em sistema de instrumentação virtual. (Fonte: NATIONAL INSTRUMENTS, 2006e)

3.2.4 *Jitter* de sinais

Jitter é definido como desvio ou deslocamento de algum aspecto dos pulsos de um sinal digital de sua posição ideal (TEKTRONIX, 2006). Ele é indesejado já que pode acarretar em erros nas comunicações, principalmente considerando as altas taxas de velocidade de transmissão que vêm sendo utilizadas.

Existem diferentes medidas para caracterização de *jitter* em uma forma de onda. Alguns desses procedimentos não exigem nenhum conhecimento a respeito da posição ideal das bordas do sinal (geralmente de *clock*), como é o caso do *jitter* periódico e do *jitter* ciclo-a-ciclo. O *jitter* periódico consiste na medida do período de cada ciclo do sinal, levando ao cálculo das maiores discrepâncias entre essas medidas, através do desvio padrão entre as amostras. O *jitter* ciclo-a-ciclo é uma medida instantânea entre dois períodos de ciclos adjacentes. Já para a medida do TIE (*Time Interval Error*) considera-se a distância de cada borda em relação à sua posição ideal, o que é importante para a avaliação do erro acumulativo.

A medição e a visualização do *jitter* podem ser realizadas com diferentes técnicas. Uma delas é o uso de cálculo estatístico, já que todo sinal pode apresentar ruído com componentes randômicas. Dessa forma, as medidas de média, mínimo, máximo e desvio padrão são muito empregadas. O levantamento do histograma (gráfico dos valores medidos pela frequência de ocorrência) é também uma importante ferramenta para se estimar a função da densidade de probabilidade, podendo revelar, por exemplo, uma distribuição gaussiana.

A análise do *jitter* em relação à escala de tempo pode ser muito útil na observação de uma eventual correlação com alguma fonte de ruído. A análise espectral, isto é, o gráfico da amplitude da modulação pela frequência, pode detectar componentes periódicas de ruído muitas vezes não perceptíveis na avaliação temporal.

A técnica do diagrama de olho é uma abordagem que fornece além do comportamento temporal, o impacto da variação na amplitude do sinal. Ela é feita através da superposição de segmentos do sinal como sugerido na Figura 14(a). Isso pode ser feito com um osciloscópio no modo de longa persistência do *display*, com a utilização do *trigger* não apenas em uma borda, e sim em

relação a um sinal de *clock*. Alguns osciloscópios digitais utilizam cores para mostrar a densidade de amostras do sinal em cada ponto do *display*, resultando numa imagem semelhante à da Figura 14(b), sendo que quanto maior o *jitter* do sinal, mais fechado ficará o olho. Transformando o diagrama numa imagem tridimensional pode ser visto o equivalente ao histograma do sinal, como ilustrado em rosa na Figura 14(c), no primeiro dos dois cruzamentos entre amostras.

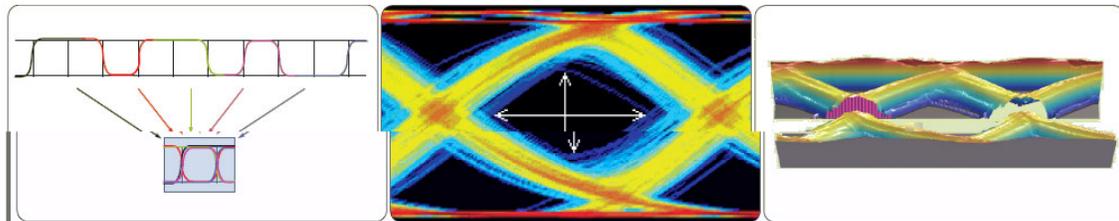


Figura 14 - Técnica do diagrama de olho para análise de *jitter*. (a) Superposição das amostras, (b) Diagrama de Olho, (c) Relação do diagrama com o histograma. (Fonte: TEKTRONIX, 2006)

Entre os diversos instrumentos que podem ser utilizados para a medição de *jitter*, tais como: analisadores de espectro, *bit error rate testers* (BERT), osciloscópios analógicos, osciloscópios digitais de tempo equivalente ou de tempo real e *time interval analyzers* (TIA); O'SHEA (2006), também ressalta a eficácia dos freqüencímetros/contadores, destacando a grande capacidade destes equipamentos na medição de intervalos de tempo e na precisão dos seus circuitos de *trigger*.

3.3 Interfaces de vídeo

A captação de imagem por satélites de sensoriamento remoto é feita através de dispositivos CCD. A geração de imagens em um CCD pode ser dividida em estágios: geração de carga através da excitação da região foto-sensível, captação, armazenamento, transferência e medição (NIKON, 2006).

Este tipo de componente consiste de um grande número de elementos sensíveis à luz arranjados sobre um substrato de silício. Esses elementos são capacitores MOS (*Metal Oxide Semiconductor*), estruturas que operam como foto diodos gerando carga através da excitação da região foto-sensível e que armazenam a energia absorvida com a incidência luminosa no intervalo de exposição. Eletrodos posicionados sobre os capacitores são utilizados no processo de transferência de carga entre os capacitores adjacentes até o elemento de saída do sensor. Neste último ponto, as cargas

armazenadas em cada *pixel* são convertidas em um sinal de tensão por um amplificador de detecção de cargas (DAVIDSON, 2005).

A arquitetura do arranjo dos *pixels* pode ser bidimensional ou linear, neste último caso é necessário um processo de varredura para a aquisição de uma imagem completa, como acontece no sensoriamento com o satélite CBERS, em que a imagem detectada é gerada com o acúmulo de várias linhas obtidas através do movimento do satélite ao redor da Terra.

Eventualmente, os *pixels* podem saturar se a incidência luminosa levar a um acúmulo de cargas acima do que a estrutura de cada capacitor MOS suporta. Em decorrência disso, pode ocorrer o efeito indesejado conhecido como *blooming*, em que o excesso de carga compromete as estruturas dos *pixels* adjacentes, levando a valores irreais nos *pixels*, ou até faixas de *pixels* saturados (FELLERS; DAVIDSON, 2005). Técnicas construtivas *anti-blooming* buscam viabilizar um caminho de potencial para fluir o excesso de cargas, entretanto elas levam a uma diminuição da sensibilidade e da área do *pixel*. Métodos alternativos a esta técnica buscam utilizar o tempo de exposição, ou tempo de integração reduzido e, quando necessário, a imagem pode ser adquirida mais de uma vez e processada posteriormente para alcançar o nível de exposição requerido (APOGEE INSTRUMENTS INC., 2006).

Fellers e Davidson (2004) e Medeiros (2005) descrevem os principais fatores de ruído deste tipo de sensor, sendo eles: ruído de fótons, ruído de escuro e ruído de leitura. O ruído de fótons é resultado da inerente variação aleatória da taxa de fótons que incidem sobre o sensor. O ruído de escuro é relacionado com a taxa de elétrons acumulados na estrutura de silício, devido, não à incidência luminosa, e sim à temperatura. O ruído de leitura é uma combinação das componentes de ruído inerentes ao processo de conversão de cargas em um sinal de tensão realizado no amplificador do CCD.

As imperfeições da rede cristalina podem provocar o ruído de cintilação que apresenta uma relação aproximadamente linear com o inverso da frequência, podendo, em geral, ser desprezado em sensores com altas taxas de leitura. Essas imperfeições na rede cristalina também levam ao acúmulo de carga em regiões do dispositivo, de forma que isto ocorre para cada *pixel*, mesmo sem a presença de uma fonte luminosa, gerando uma “corrente de escuro”. Este fenômeno gera um ruído com padrão fixo, isto é, com uma imagem de fundo independente da aquisição, e, devido à natureza aleatória da

geração térmica de portadores ao longo do tempo, também gera um ruído com variação temporal. A corrente de escuro apresenta forte dependência com a temperatura, podendo ser consideravelmente reduzida com o resfriamento do dispositivo.

Um período de *reset* leva a tensão do amplificador do CCD a um nível conhecido, no entanto a resistência do canal MOS provoca a introdução de ruído térmico e uma conseqüente incerteza do nível de tensão presente no amplificador antes do início do acúmulo de cargas do próximo *pixel*. A técnica de CDS (*Correlated Double Sampling*) é empregada para minimizar os efeitos desse ruído. Com essa técnica, obtém-se o valor de um *pixel* através da subtração dos valores amostrados no sinal em dois momentos: durante o período do sinal do *pixel* disponível e no período anterior de *reset* do amplificador. Na Figura 15, é apresentado um gráfico de um sinal de vídeo com os períodos para amostragem com a técnica CDS identificados.

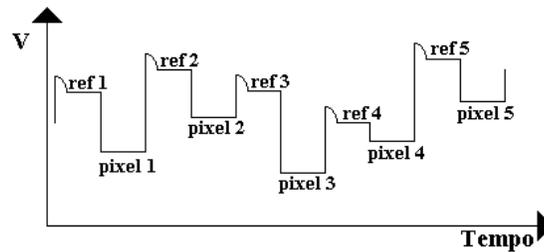


Figura 15 - Períodos de amostragem de sinal de vídeo com a técnica CDS

Capítulo 4

Arquitetura do Sistema

Neste capítulo, é apresentado todo o sistema seguindo as etapas de seu desenvolvimento. Como visto no Capítulo 2, essas etapas se embasaram num modelo de referência de desenvolvimento apropriado a esse tipo de equipamento que envolve pesquisa nas áreas de eletrônica e programação além de suas partes mecânicas e ópticas.

4.1 Especificação

Nesta seção são definidas as especificações do produto, incluindo: as necessidades de clientes, necessidades relativas ao produto, requisitos normativos, métricas de qualidade, conceito do produto e a matriz de verificação. As especificações aqui apresentadas estão resumidas a partir do documento de especificação do GSE, além de partes dos documentos de especificação, construção e interfaces do subsistema MUX.

4.1.1 Conceito do produto

A função do GSE é testar todos os equipamentos da câmera MUX em nível de subsistema e integrada ao satélite. Como já apresentado no item 1.5, seus requisitos funcionais são controlar o banco óptico, simular os subsistemas espaciais que possuam interface com a câmera (DDR, OBDH e

EPSS), e ainda, analisar sinais enviados especificamente para o GSE com informações adicionais do funcionamento.

Dessa forma, substituindo o EPSS, passa-se a fornecer a alimentação controlada para os sistemas elétricos. Com a simulação das interfaces com o DDR, o sistema é capaz de adquirir, armazenar, checar a formatação e mostrar imagens das quatro bandas espectrais. Simulando as interfaces com o OBDH, pode-se checar a operação das telemetrias e dos telecomandos, verificando com isso a configuração de ganho, o controle térmico, o sistema de calibração interna, as interfaces seriais, assim como a operação de toda a eletrônica. Os equipamentos ópticos possibilitam a realização de testes como: processar a calibração, checar o plano focal e o mecanismo de ajuste de foco, checar a qualidade de imagem, checar e analisar o MTF (*Modulation Transfer Function*), checar a radiância, gerar campo de luz uniforme e alvos de teste, e analisar a resolução da imagem.

O sistema de testes deve operar de três formas: manual, local e remota. Na operação manual, o GSE deve prover acesso a todos seus equipamentos por controles diretos, na operação local através de *software* específico com todas as operações de testes e na operação remota através de *softwares* remotos instalados em outros computadores, capazes de monitorar as operações locais e dados já armazenados.

O GSE consiste das seguintes partes conforme pode ser visto na Figura 16:

- Controlador GSE (tratado a partir de agora como CONTGSE): bastidor padrão de 19'' contendo computador compatível com IBM-PC e todos os equipamentos de controle: simulador TM (telemetrias) /TC (telecomandos), fonte, equipamentos de medida; além das interfaces entre esses equipamentos, interface de controle do banco óptico e interface LAN para comunicação com o sistema de exibição de imagens e computadores remotos;
- Sistema de exibição de imagens (tratado a partir daqui como SEIGSE): bastidor padrão de 19'' contendo computador compatível com IBM-PC, com monitor de grande resolução, disco rígido de grande capacidade de armazenamento, impressora, interface de alta velocidade para adquirir os dados de imagem e interface LAN para comunicação;
- Banco óptico: esfera integradora, colimador (composto por motores, fonte de luz radiométrica e sensores de temperatura e pressão);

- Cabeamento: cabos apropriados para todas as interfaces entre a MUX e o GSE;
- *Software*: sistema de controle de todos os equipamentos e com rotinas de todos os testes especificados;
- Fonte de alimentação;
- Monitor TM;
- Simulador TC;
- Equipamentos de medição elétrica: equipamentos de auxílio para testes excepcionais, sendo eles: multímetro digital, osciloscópio digital e analisador lógico;
- Simulador de cena portátil: equipamento de testes ópticos auxiliar para medições composto por roda de filtros, motores, fonte de luz radiométrica e sensor de pressão.

4.1.2 Requisitos de desempenho

pt

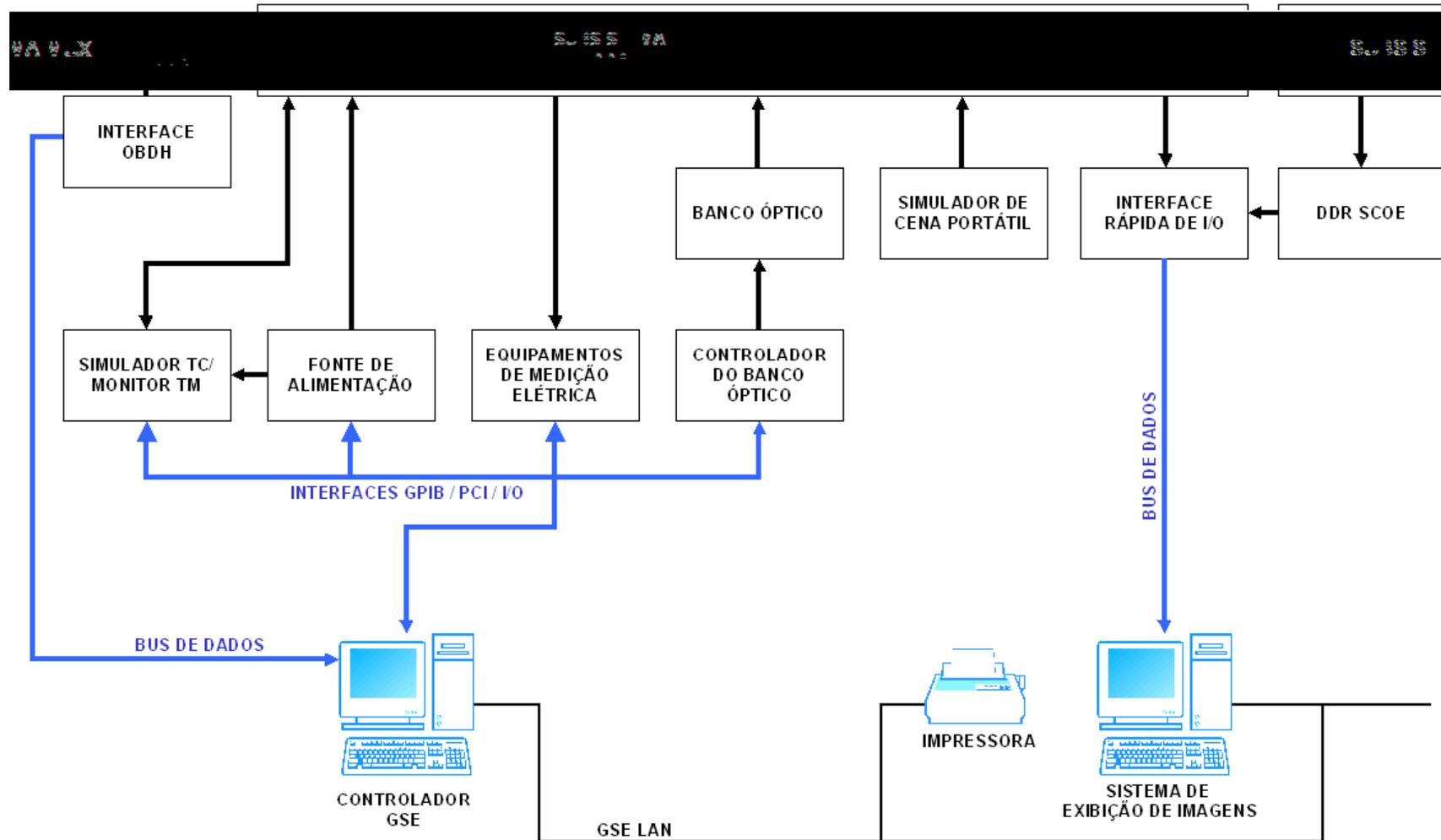


Figura 16 - Diagrama de blocos do GSE

4.1.2.1 Especificações do simulador TC

Telecomandos são usados para ligar ou desligar algum equipamento específico, reconfigurar o subsistema, ultrapassar automatismos e requisitar dados. Eles podem ser de dois tipos: OO – *On/Off* e MLC – *Memory Load Command*.

Comandos *On/Off* são dados através de duas linhas dedicadas, uma de 28V \pm 1V e a outra de retorno que deve ser conectada num circuito coletor aberto. Quando o comando é acionado, o circuito coletor aberto deve apresentar baixa impedância e baixa tensão entre o retorno e a linha de terra durante um intervalo de 80ms \pm 10ms. Os tempos de subida e descida de borda devem estar entre 50 e 500 μ s. O circuito deve possuir capacidade de corrente de 200mA.

Comandos MLC são utilizados para transferir dados seriais de 8-bit. Três sinais são utilizados: endereço, *clock* e dados; cada um composto por duas linhas conectadas a uma carga através de um resistor *pull-up*. O circuito deve operar como chave nos pares de linhas. O sinal de *clock* deve ser de 40KHz, a linha de dados deve manter o *bit* estável nas descidas do *clock* e o sinal de endereço deve permanecer em nível baixo todo o tempo durante a transmissão de um *byte* e em nível alto quando não houver transmissão. Os dados devem ser transmitidos do *bit* mais significativo (MSB) para o menos significativo (LSB).

4.1.2.2 Especificações do simulador TM

Telemetrias são utilizadas para verificação de execução de comando, verificação de modos de operação e de configuração, medição de dados em sensores específicos, informar dados para a missão, reparação e análise de falhas. Elas podem ser de quatro tipos: AN – analógica, TH – térmica, BL – bilevel, e DS – digital serial.

As telemetrias analógicas são fornecidas através de duas linhas flutuantes em relação ao terra que devem ser lidas de forma diferencial e convertidas para uma dado digital de 8-bit. A diferença de potencial entre as linhas pode variar de 0 a 5V, a linha de potencial menor pode variar de -5 a +5V em

relação ao terra e de potencial maior de 0 a +5.1V em relação ao terra. Os dados devem ser lidos com uma impedância de entrada em modo comum e em modo diferencial de no mínimo 10M Ω .

As telemetrias térmicas são semelhantes às analógicas. A diferença está em que a linha de potencial maior deve ser conectada a um resistor de *pull-up* de 10K Ω para 5V com $\pm 0,1\%$ de precisão e a de potencial menor é aterrada.

As telemetrias do tipo bilevel são também formadas por duas linhas diferenciais, fornecendo níveis discretos: nível alto ou nível baixo. Deve ser recebida com uma impedância de entrada mínima de 100K Ω durante a aquisição e 1M Ω fora da aquisição.

A telemetria *digital serial* é semelhante aos telecomandos MLC explicados no item 4.1.2.1. A única diferença é que o sinal de dados não é enviado, e sim, lido com as mesmas características da telemetria BL.

4.1.2.3 Especificações dos pontos de teste

Além das telemetrias e dos telecomandos, o GSE deve possuir interface com os conectores de testes disponibilizados pela MUX. Os tipos de sinais existentes nesses conectores são:

- Pares LVDS para recepção e transmissão com frequência de amostragem de até 65MHz;
- Sinais analógicos da saída do CCD da MUX das quatro bandas espectrais com frequências mínimas para amostragem de 5MHz;
- Sinais TTL de comando por nível para funções especiais de teste.

4.1.2.4 Características de *software*

Três aplicativos devem ser desenvolvidos. O primeiro deve ser o aplicativo do CONTGSE, que deve possuir rotinas para a realização de todos os testes especificados, portanto deve comandar todos os equipamentos do bastidor. Os testes devem ser automáticos ou semi-automáticos (para os casos em que a intervenção do usuário é necessária como para troca de conexões), mas sempre permitindo a realização do teste passo a passo.

Outro aplicativo é o do SEIGSE que deve ser capaz de receber, armazenar e exibir os dados de imagem das quatro bandas espectrais transmitidos pela MUX. Ele deve se comunicar com o aplicativo do CONTGSE para enviar os dados recebidos, permitindo assim, que este obtenha os dados para processar e fazer os cálculos necessários dos testes.

O terceiro aplicativo é o cliente, que deve ser capaz de acompanhar remotamente os testes realizados, receber os dados de imagem transmitidos pela MUX e exibir resultados de testes anteriores.

4.1.2.5 Capacidade de autoteste

O equipamento deve prover métodos para se testar. Todas as conexões com a MUX devem ser verificadas em todos os seus pinos de contato antes de serem conectadas, de forma que esses pontos estejam dentro da faixa de tensão especificada. Os sistemas de medição e geração devem também prover métodos de se calibrarem.

4.1.3 Requisitos de construção e desenvolvimento

O GSE deve ser de fácil manutenção e desenvolvido com equipamentos que possam ser substituídos com facilidade e segurança sem nunca causar danos ao satélite ou aos equipamentos do subsistema MUX.

Deve ser assegurado um tempo de vida estimado de dez anos, com uma média de utilização de duzentas horas por mês com ciclos de operações contínuas de até vinte e quatro horas, sendo permitido tempo de manutenção preventiva desde que esteja disponível para testes pelo menos 90% do tempo.

4.1.4 Requisitos elétricos

Fase	Tensão (Vac)	Frequência
Monofásico	110 ± 10%	60Hz ± 2%
Monofásico	220 ± 10%	50Hz ± 2%
Monofásico	220 ± 10%	60Hz ± 2%
Bifásico	220 ± 10%	50Hz ± 2%
Bifásico	220 ± 10%	60Hz ± 2%

Tabela 1 - Requisitos de alimentação elétrica

Todos os equipamentos devem operar independentemente ou juntos, sem perda de desempenho. Devem ser aplicadas técnicas de aterramento e ligações que previnam contra descargas eletrostáticas, contra perigos de diferença de potencial entre as carcaças dos equipamentos e que reduzam fontes de interferência eletromagnética.

4.1.5 Verificação

A conformidade do GSE com suas especificações deve ser demonstrada por análise, inspeção, similaridade e testes de aceitação de acordo com uma matriz de verificação de desenvolvimento (DVM - *Design Verification Matrix*).

A verificação por análise (A) é obtida por avaliação teórica. Verificação por revisão de projeto (R) se dá nos casos em que a validação é decorrente de evidências constatadas em registros. Verificação por inspeção (I) é realizada por determinação visual das características. E, por teste (T), são realizadas medidas sobre o desempenho ou funções do item em questão.

A DVM gerada no projeto possui 78 itens, todos referenciados com a seção da qual foi extraído no documento de especificação do GSE e nos outros documentos gerados, além de estarem relacionados temporalmente com cada modelo do subsistema MUX. Limitando-se ao escopo definido neste trabalho, na Tabela 2 é apresentada uma DVM simplificada, contendo apenas os itens diretamente relacionados e os seguintes testes:

- Testes relacionados com telemetrias e telecomandos: controle de temperatura, temperatura de operação, modos de operação e interface OBDH;
- Testes relacionados com medições temporais: tempo de integração, taxa de saída de dados, período de amostragem, tempo de subida e descida, e *jitter*;

- Testes relacionados com a fonte de alimentação: consumo de potência, aterramento e contato, e linha principal de alimentação;
- Testes relacionados com recepção de imagens: sinal de saída, relação sinal/ruído e pontos de teste.

Descrição do requisito	Tipo de verificação			
	A	R	I	T
Itens relativos à definição do equipamento				
Funções do equipamento	X		X	
Modos de operação	X		X	
Descrição das partes do equipamento	X		X	
Definição das interfaces do equipamento	X		X	
Itens relativos ao desempenho				
Teste de estabilidade do <i>clock</i> de dados / Tempo de subida / descida / <i>Jitter</i>	X			X
Teste de codificação e formato de transmissão dos dados	X			X
Teste do aterramento e impedância do terra	X			X
Teste do estado elétrico inicial	X			X
Teste do tempo de integração	X			X
Teste da interface com o OBDH	X			X
Teste da temperatura de operação	X			X
Teste da taxa de saída de dados / taxa de <i>bits</i>	X			X
Teste do consumo de potência	X			X
Teste da linha principal de alimentação	X			X
Teste do tempo de amostragem	X			X
Teste do controle de temperatura	X			X
Teste dos pontos de teste	X			X
Teste das interfaces TM & TC / Modos de operação	X			X
Teste de ligação	X			X
Teste de características elétricas próprias do sistema	X			X
Teste do sinal de saída	X			X
Teste da relação sinal-ruído	X			X
Itens relativos aos blocos do equipamento				
Características e funções do CONTGSE	X		X	
Características e funções do SEIGSE	X		X	
Características e funções do banco óptico	X			X
Características e funções do simulador de cena portátil	X			X
Características e funções do <i>software</i>	X		X	X
Características e funções dos equipamentos mecânicos do GSE	X		X	
Funções de autoteste e autocalibração	X		X	
Requisitos referentes ao projeto e construção				
Requisitos gerais	X		X	
Confiabilidade e tempo de vida	X		X	
Manutenibilidade	X		X	
Identificação e marcação	X		X	
Requisitos elétricos				
Requisitos elétricos gerais	X		X	
Requisitos de alimentação	X		X	
Aterramento e impedância de terra	X			X
Cabeamento e conectores	X		X	

Tabela 2 - Matriz de Verificação de Desenvolvimento

4.2 Planejamento do projeto

A primeira etapa realizada nessa fase foi a elaboração da estrutura analítica de projeto de nível 1, que pode ser vista na Figura 17. Nela o GSE é subdividido em partes que devem ser desenvolvidas: *software* de controle, bastidores com toda eletrônica, equipamentos do banco óptico, pacotes de documentação e acompanhamento do produto.

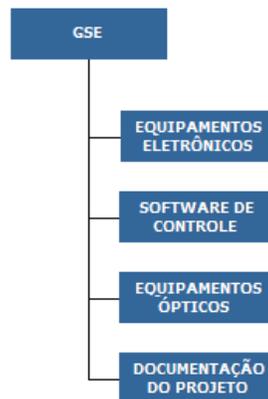


Figura 17 - Estrutura Analítica do Projeto

As atividades necessárias para o desenvolvimento dos blocos da EAP foram listadas, obtendo-se a estrutura de divisão do trabalho (WBS) e gerado um cronograma macro para o projeto, através do qual a gerência monitorava o andamento. Em reuniões próximas às datas de entrega, eram gerados cronogramas pontuais conforme pode ser visto na Figura 18.

4.3 Concepção do produto

Seguindo a estrutura dos blocos da EAP, foram consideradas algumas alternativas tecnológicas e escolhidas as mais apropriadas para cada uma das áreas técnicas, conforme descrito nos próximos itens. Por fim, foram geradas uma revisão do documento de especificações e uma primeira versão do documento de projeto do GSE com as justificativas técnicas da linha de desenvolvimento adotada.

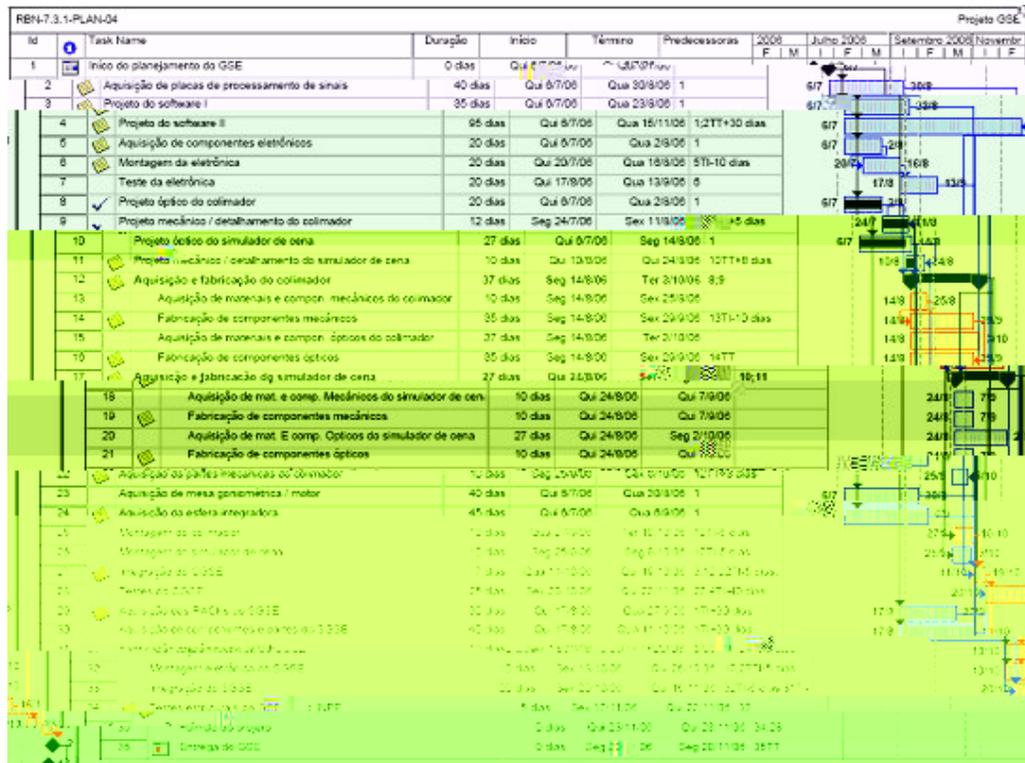


Figura 18 - WBS e cronograma de projeto

4.3.1 Equipamentos eletrônicos

Devido à grande quantidade de telemetrias, telecomandos e de sinais da interface de alta velocidade que deveriam ser tratados e analisados com interfaces ligadas a um computador, optou-se pela aquisição de placas de entrada e saída de dados de barramento PCI.

Os instrumentos de medida do GSE - multímetro digital, osciloscópio digital e analisador lógico, são emulados através da tecnologia da instrumentação virtual, juntamente com placas programáveis de E/S de dados devido às vantagens apontadas na seção 3.1 e à possibilidade de desenvolvimento de rotinas específicas para os teste a serem realizados. Como fornecedor destas placas, foi escolhido o maior e mais tradicional fabricante desse tipo de tecnologia, a *National Instruments* (NI). Já para outros instrumentos, optou-se pelo controle através da interface GPIB e *Ethernet*, utilizando placas PCI instaladas no computador. Para as ligações entre o GSE e o subsistema MUX foram desenvolvidas interfaces elétricas com a função de condicionar os diferentes sinais existentes no subsistema (sinais analógicos, digitais e seriais com diferentes níveis de tensão) para

níveis compatíveis com as placas adquiridas. Além disso, circuitos multiplexadores foram implementados para que diversos sinais pudessem ser tratados por um conjunto menor de portas, evitando a necessidade de um número ainda maior de placas E/S.

Com o acompanhamento da evolução das interfaces do projeto MUX, verificou-se que o CONTGSE deveria se comunicar com o subsistema através de 14 conexões, cada uma podendo ter de 15 a 50 contatos, envolvendo sinais de telemetria, telecomando, pontos de teste e alimentação. Como a distribuição das conexões da MUX com o GSE levava em conta a separação dos tipos de sinais, isto é, determinada conexão, era composta, por exemplo, apenas por telemetrias, definiu-se que para cada uma destas conexões haveria uma placa de circuito impresso para o condicionamento e multiplexação dos sinais. Os sinais multiplexados são levados por um duto para as conexões com as placas da NI instaladas no barramento PCI do computador. A Figura 19 mostra a concepção da placa duto, enquanto a Figura 20 mostra o desenho de placas de condicionamento.

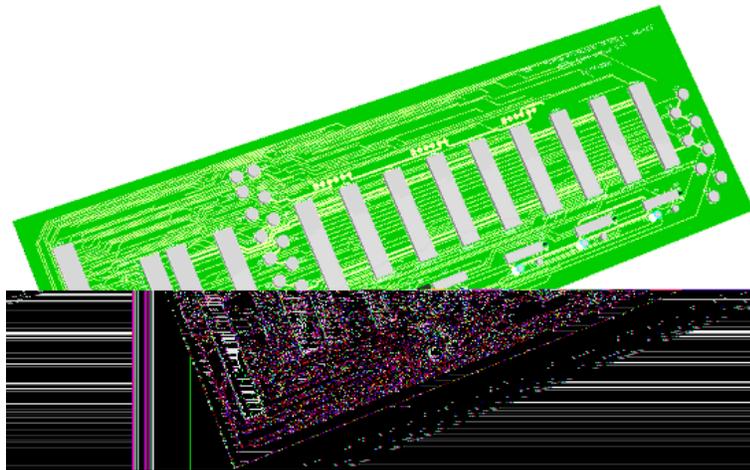
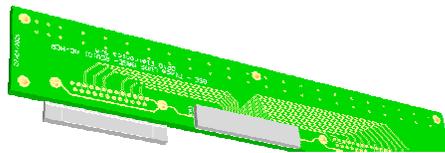


Figura 19 - Desenho da placa base do Controlador GSE



O SEIGSE se comunica com a MUX através de duas conexões, e estas por sua vez, são roteadas para uma placa da NI instalada no barramento do computador deste bastidor. A Figura 21 mostra a concepção desta placa.



A estrutura da Figura 22 fica numa gaveta de 4U (U é medida padrão do bastidor que possui 16U, sendo que cada U equivale a 4,45 cm), com espaço traseiro para as fontes de alimentação dos circuitos. As placas tiveram suas dimensões padronizadas segundo o padrão EUROCARD VME 3U (10x16 cm) com conectores de 46 pinos com a placa principal.

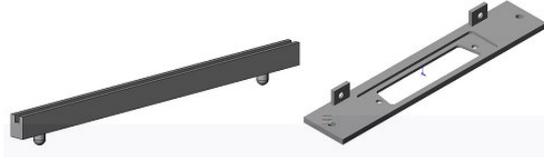


Figura 23 - Desenhos mecânicos do trilho e do espelho do conector das placas de circuito impresso

O bastidor do sistema de exibição de imagens, possui apenas duas conexões de recepção de dados de imagem. Dessa forma, projetou-se um sistema mais simples com apenas uma placa de circuito impresso suportada pela chapa trabalhada conforme pode ser visto na Figura 24.

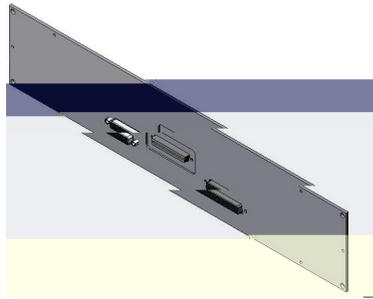


Figura 24 - Traseira da gaveta eletrônica do sistema de exibição de imagens

Definiu-se que os cabos de interconexão do GSE com a MUX deveriam ter 10m de comprimento, já que a distância entre esses equipamentos será grande na fase de integração com o satélite. Portanto, optou-se por utilizar um tubo flexível com revestimento metálico como proteção mecânica e de isolamento para os cabos. Dessa forma, foi necessário que a equipe mecânica desenvolvesse um adaptador entre esse tubo cilíndrico e os conectores chatos, cujo desenho pode ser visto na Figura 25.

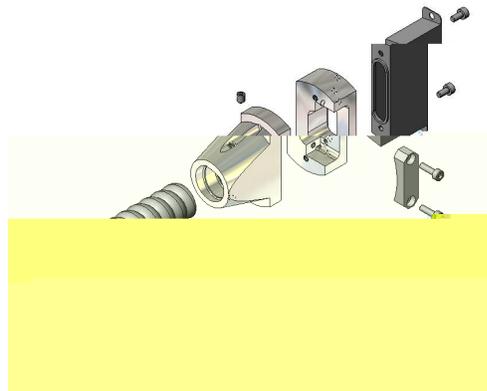


Figura 25 - Adaptador para conectores e tubo cilíndrico

4.3.3 Equipamentos ópticos

O banco óptico e o simulador de cena possuem variáveis que devem ser controladas pelo controlador GSE: ângulo e posição dos espelhos posicionados automaticamente com motores, radiância das fontes de luz, radiância e fator de ganho relativo da esfera integradora. Um fator importante para a escolha destes equipamentos controladores dos aparatos ópticos foi a interface disponibilizada para controle, obtendo preferência os que pudessem ser mais facilmente incorporados ao CONTGSE, como serial, GPIB e *Ethernet*.

4.3.4 Software de testes

Três plataformas para o desenvolvimento dos *softwares* de testes foram consideradas: *Borland C++ Builder*, *Microsoft Visual C++* e *LabVIEW* da *National Instruments*.

O *C++ Builder*, além de ser uma ferramenta mundialmente reconhecida pelo seu ótimo desempenho e confiabilidade, já era utilizado na empresa em produtos anteriores. Apesar da experiência no produto, o que poderia acelerar o processo de desenvolvimento, a NI não oferecia todos os *drivers* entre suas placas de aquisição para esta plataforma. Com *Visual C++* ocorreu o oposto, as

placas da NI ofereciam *drivers* para esta linguagem, mas os integrantes do projeto não possuíam experiência e empresa nunca havia utilizado este produto.

Sendo assim, a opção escolhida para o desenvolvimento dos *softwares* de testes do GSE foi o LabVIEW. Tendo já sido utilizado em projetos anteriores na empresa, o LabVIEW é reconhecido pela velocidade para desenvolver novas aplicações e é a ferramenta do próprio fabricante das placas de E/S, contando com rotinas otimizadas para estes dispositivos e fazendo com que se obtenha máximo desempenho.

4.4 Planejamento técnico

Nesta fase, foram especificadas todas as interfaces do projeto e a maior parte dos equipamentos necessários foi escolhida, restando apenas os componentes integrados para as gavetas de eletrônica do GSE. Esse procedimento, além da análise dos parâmetros críticos, da análise dos requisitos de *software* e da geração da árvore de produtos permitiu a evolução do documento Projeto do GSE, iniciado na fase de concepção do produto, para sua segunda versão.

4.4.1 Interfaces e controle

Conforme descrito no item 1.3, o subsistema MUX é dividido em três equipamentos: RBNA, RBNB e RBNC. Cada um destes equipamentos possui uma série de conexões com outros sistemas. Com a análise dos documentos de interfaces da MUX, foram definidas todas as suas conexões com o GSE e os tipos de sinais transportados em cada conexão. O passo seguinte foi a consolidação de todas as interfaces do GSE, definidas a seguir. Os equipamentos utilizados para a construção destas interfaces são especificados no item 4.4.2.

- Interface GSE LAN: Rede local para a comunicação entre o CONTGSE, o SEIGSE e outros computadores clientes. É uma rede integrada que utiliza o protocolo TCP/IP nos padrões *Ethernet*, *Gigabit Ethernet* (IEEE 802.3) e *Wi-fi* (IEEE 802.11g), possibilitando a comunicação via cabo de

rede nas velocidades de 1Gb/s ou 100 Mb/s, ou sem fio numa velocidade de até 54Mb/s. Demanda placas de rede de padrão compatível e um roteador que trabalhe em todos esses padrões.

- Interfaces I/O de alta velocidade: Placa PCI de aquisição de sinais LVDS de alta velocidade que recebe os dados de imagens vindos da MUX para o SEIGSE.
- Interfaces OBDH: interfaces de telemetria e telecomandos. Este sistema é composto por circuitos eletrônicos de condicionamento de sinais, circuitos de multiplexação (TM) ou demultiplexação (TC) e duas placas PCI de E/S de dados, conectadas ao barramento PCI do CONTGSE.
- Interface de alimentação: fonte controlada por interface GPIB, conectada à MUX de acordo com os cabos especificados em seus documentos de interface. Além do controle da própria fonte, o sistema é protegido por um circuito malha fechada para garantir precisão, relé de chaveamento, leitura de corrente e tensão externa.
- Interface com o banco óptico: sensores de pressão e temperatura via *Ethernet*, controlador da fonte de luz radiométrica via RS232, controlador da roda de filtros via GPIB, controlador dos motores do colimador principal via *Ethernet*, controlador dos motores do simulador de cena via GPIB, controlador da esfera integradora comandado por GPIB e *Ethernet*.

4.4.2 Equipamentos adquiridos

- Microcomputadores industriais para os dois bastidores padrão 19'': Gabinete IPC-610BP-00EB com placa mãe PCA-6186LV-00A1 da *Advantech* que é instalada em *backplane* passivo, permitindo a instalação de grande número de placas periféricas. Monitor e teclado com dispositivo *track ball* retráteis em gaveta.
- Interface GPIB: Placa NI PCI-GPIB (Figura 26), que permite transmissão de dados a uma velocidade de até 1.5MB/s. Esta placa é completamente compatível com IEEE 488.1/488.2 e possui *buffers* que desacoplam as transferências GPIB das transferências PCI. É responsável pela comunicação entre o CONTGSE e, a fonte de alimentação, o frequencímetro, o controlador dos motores e da roda de filtros do simulador de cena portátil, e a esfera integradora.

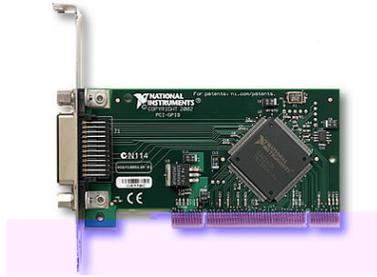


Figura 26 - Placa NI PCI-GPIB

- Placa de osciloscópio NI PCI-5112 (Figura 27): possui dois canais de entrada para emulação de osciloscópio, conversores A/D com resolução de 8-bit. Ambos os canais são amostrados simultaneamente a uma taxa de 100MS/s em tempo real, permitindo que os sinais de vídeo provindos da MUX (5 MHz) sejam reconstruídos. Possui também três entradas de *trigger*: analógica, digital e via *software*. Opera em faixas de tensão de $\pm 25\text{mV}$ até $\pm 25\text{V}$.



Figura 27 - Placa NI PCI-5112

- Placa de multímetro NI PCI-4060 (Figura 28): 5 $\frac{1}{2}$ dígitos, capaz de medir tensões de até 250V DC e 250V AC (*true-rms*). Além disso, é possível medir correntes de até 10A DC e AC (com a utilização do acessório CSM-10A, que também foi adquirido). Possibilita medir resistências em escalas que vão de 200 Ω a 200M Ω , além de realizar testes de diodos.



Figura 28 - Placa de multímetro NI PCI-4060

- Placa NI PCI-6541 (Figura 29): equipada com 32 portas E/S digitais, foi utilizada para emular um analisador lógico. Permite taxas de *clock* de até 50MHz, bem acima da frequência encontrada nos módulos do subsistema MUX, e seleção de nível de tensão lógico entre 5, 3.3, 2.5 e 1.8 V via *software*. Essa placa é também utilizada como gerador de sinais para casos específicos dos testes a serem realizados.



Figura 29 - Placa NI PCI-6541 e conjunto de conectores de distribuição dos canais do gerador/analisador digital

- Frequencímetro/contador modelo 53132A da *Agilent* (Figura 30): mede características de *clock*. Este equipamento possui funções para medição do tempo de subida/descida de um sinal, além de permitir a medição do *jitter* com precisão suficiente para garantir o cumprimento das especificações do subsistema MUX.



Figura 30 - Frequencímetro 53132A

- Fonte N5746A, da *Agilent* (Figura 31): controlada por interface GPIB, padronizada para montagem em bastidores de 19'' com 1U de altura, possui saída única DC de até 760W (19A e 40V), programável com limites de tensão e/ou corrente, possui controle automático de tensão em malha fechada.



Figura 31 - Fonte controlada N5746A

- Placa NI PCI-6254 (Figura 32): possui 48 portas digitais bidirecionais (10MHz) e 32 entradas analógicas (1.25MS/s). É responsável pela simulação e monitoramento de todos os telecomandos e telemetrias.



Figura 32 - Placa NI PCI-6254

- Placa NI PCI-6503 (Figura 33): possui 24 portas digitais bidirecionais, com taxa máxima de 100KHz. É responsável pelo endereçamento de todos os multiplexadores do sistema.

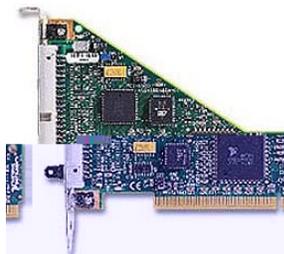


Figura 33 - Placa NI PCI-6503

- Placa NI PCI-6561 (Figura 34): Esta placa está em concordância com a EIA-644 (LVDS), possui 16 canais e taxa de transmissão de dados de 200 Mbps. Está instalada no computador do SEIGSE, realizando a recepção dos dados de imagens enviados pelo subsistema MUX.

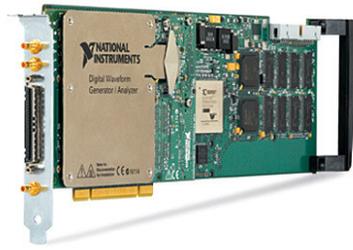


Figura 34 - Placa NI PCI-6561 – Gerador/analizador lógico LVDS

- Controladores da *Newport* (Figura 35): 1) Modelo XPS-C4 que controla quatro motores do colimador principal comandado via *Ethernet*; 2) Modelo ESP300 que controla dois motores do simulador de cena comandado via GPIB; 3) controlador da fonte de luz radiométrica do simulador de cena e do colimador principal comandado via RS232; e 4) controlador da roda de filtros do simulador de cena comandado via GPIB.



Figura 35 - Controladores ESP300 dos motores e controlador da fonte de luz radiométrica

- Sensores de temperatura e pressão da *Omega* (Figura 36): são comandados via *Ethernet*, instalados dentro dos equipamentos do banco óptico informando valores locais de temperatura e pressão, influenciando nos cálculos dos testes.



Figura 36 - Sensor de pressão Omega

- Impressora laser monocromática, modelo *Laserjet 1320n* da HP (Figura 37): instalada em uma gaveta padrão para rack de 19", permite ser ligada diretamente à rede *Ethernet*, de forma que qualquer um dos computadores da GSE-LAN possa utilizá-la. Como a impressora possui entrada apenas para 110V, sua alimentação provém de um estabilizador de 500W com seletor automático de tensão de entrada, modelo Isotrafo da empresa NHS.



Figura 37 - Impressora HP Laserjet 1320

- Roteador *Wireless*, modelo DGL-4300 da *D-Link* (Figura 38): instalado com a ajuda de um suporte mecânico desenvolvido no bastidor do CONTGSE. Possui 4 portas *Ethernet* autoconfiguráveis, que funcionam a 10Mb/s, 100Mb/s ou 1Gb/s, e uma interface *Wi-fi* padrão 802.11g. É responsável pela implementação da GSE-LAN, realizando a comunicação entre as placas de rede padrão *Gigabit Ethernet* instaladas em barramentos PCI no CONTGSE e no SEIGSE, além de interligar outros PCs com placas de rede convencionais ou dispositivos *Wi-fi*.



Figura 38 - Roteador *Wireless* DGL-4300

- Conectores: tipo D sub-miniatura da *ITT Cannon*, em todos os cabos foram utilizados conectores equivalentes com polaridade invertidas em cada ponta, variando o número de contatos (de 15 a 50), tipo (placa ou cabo) e acessórios (capas de proteção, parafusos de acoplamento, etc). Para conexões auxiliares entre as placas e outros equipamentos como o osciloscópio, o frequencímetro

e o gerador de ondas, foram utilizados conectores SMB (sub-miniatura tipo B) de 50Ω (Figura 39).



Figura 39 - Conectores padrão D subminiatura e SMB

- Cablagem: foram adquiridos quatro tipos diferentes de cabos a serem utilizados, de acordo com o tipo de sinal transportado, conforme a Tabela 3.

Tipo de sinal	Cabo
LVDS	Rede UTP CAT5E
Alimentação	Metazel múltiplo 2x20AWG 600V
Seriais	Metazel múltiplo 2x24AWG 600V
Comuns	Metazel 1x24AWG 600V
Vídeo	Metazel múltiplo blindado 2x24AWG
Leitura de alimentação	Metazel múltiplo blindado 2x24AWG

Tabela 3 - Cablagem utilizada

4.4.3 Parâmetros críticos

Os pontos considerados críticos foram refinados com o aprofundamento teórico apresentado no Capítulo 3. Alguns dos procedimentos realizados com certa antecedência em torno das atividades críticas foram:

- Desenvolvimento dos algoritmos de recepção do vídeo codificado com dados de prova antes mesmo da interface estar funcional;
- Testes em placas padrão de conversão de sinais CMOS-LVDS e vice-versa com as frequências mais altas que seriam utilizadas;
- Algoritmos de acesso remoto em tempo real por *Ethernet* com rede estruturada e rede *Wireless* na linguagem LabVIEW;
- Utilização do frequencímetro especificado juntamente com geradores de ondas para medição de *jitter*.

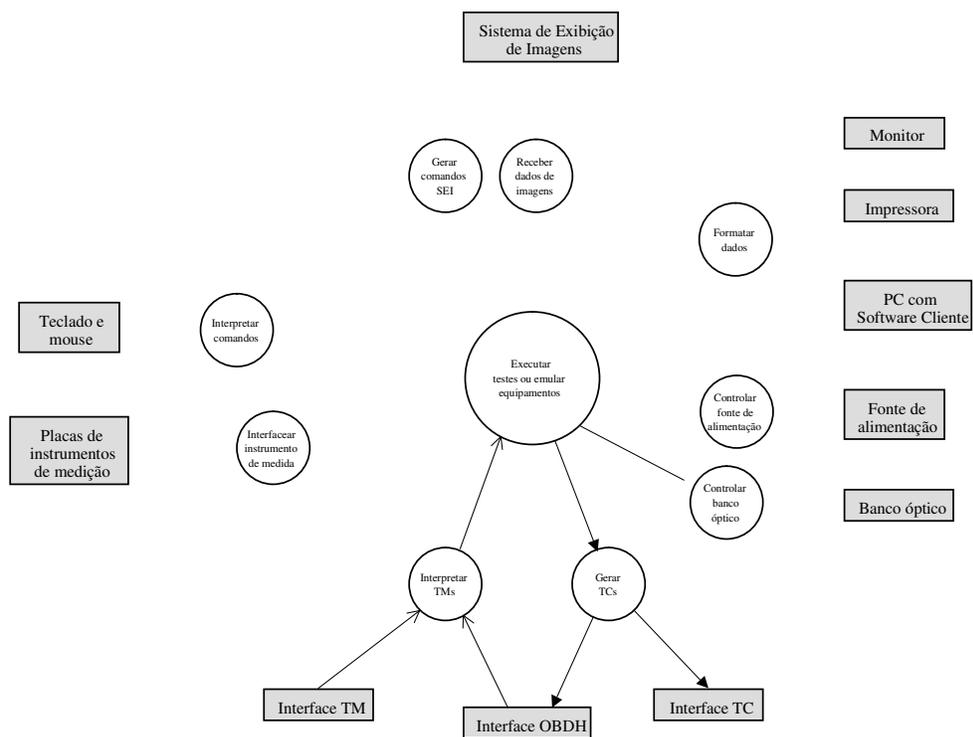
4.4.4 Requisitos de *software*

Os requisitos de *software* foram analisados, pois implicavam em especificações também para o sistema de *hardware*. Com base nas características do *software* levantadas no item 4.1.2.4 detectou-se que os aplicativos diretamente relacionados com os sistemas eletrônicos dos bastidores são: o do CONTGSE e o do SEIGSE. Sendo assim, seus diagramas de fluxo de dados (DFD) nível 1 são apresentados na Figura 40 e na Figura 41.

Conforme definido no item 1.6, esse trabalho só trata de *software* nos níveis necessários para interface dos equipamentos e para a realização dos testes. Dessa forma, as atividades de implementação de *software* realizadas podem se dividir em: baixo e alto nível. Os pontos relacionados ao alto nível de implementação são a construção de meios de testes com o manuseio das rotinas de baixo nível, cujos principais pontos observados nas DFDs são:

- Interfacear instrumentos de medida;
- Controlar fonte de alimentação;
- Controlar banco óptico;
- Interpretar TMs;
- Gerar TCs;
- Decodificar dados de imagens.

A escolha da plataforma de desenvolvimento LabVIEW (conforme descrito no item 4.3.4) simplifica a implementação das interfaces com os instrumentos de medida, com a fonte de alimentação e com o banco óptico. Com isso, as atividades de tratamento de TM e TC e a decodificação dos dados de imagem passam a ser as únicas de baixo nível que demandam maior tempo de trabalho.



4.4.5 Árvore de produtos

Projetos especiais devem possuir todos os seus detalhes bem documentados, de forma que qualquer falha possa ser rastreada e sanada. É parte integrante do equipamento GSE uma densa documentação dividida em várias etapas.

A árvore de produtos foi desenhada para estruturar toda essa documentação, servindo como um índice nas pastas de documentos, subdividindo o produto em partes constituintes. Além disso, qualquer placa eletrônica, peça mecânica, ou equipamento comprado passa pelo Departamento de Qualidade da empresa, que utiliza essa estrutura para fins de nomenclatura e organização. Na Figura 42, pode ser observada a árvore de produtos desenvolvida.

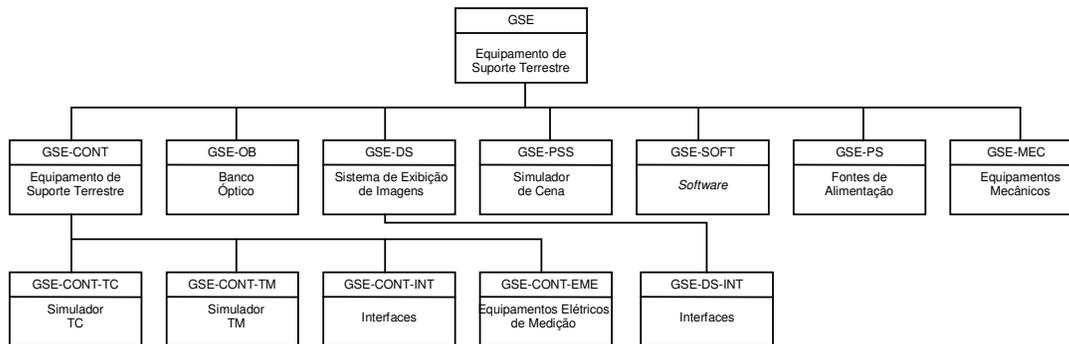


Figura 42 - Árvore de Produtos

4.5 Projeto do produto

Nesta fase foram finalizados todos os processos de desenvolvimento já iniciados, com a implementação e montagem do sistema. Os testes locais realizados garantiram o funcionamento de todos os processos do sistema, permitindo o desenvolvimento dos processos de teste do subsistema MUX. Os itens subsequentes apresentam o projeto de cada parte do sistema final.

4.5.1 Engenharia básica do produto

Com a chegada dos equipamentos, finalizou-se o desenho de acomodação dos bastidores, conforme apresentado na Figura 43.

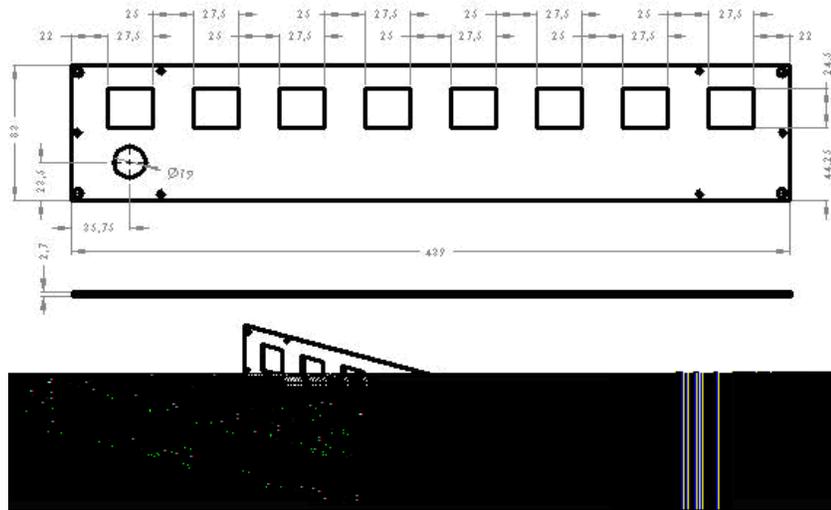


Figura 45 - Desenho da traseira da gaveta de tomadas



Figura 46 - Bastidores do GSE, à direita CONTGSE e à esquerda SEIGSE



Figura 47 - Conector e cabo de interligação do GSE com a MUX

4.5.2 Comunicação e controle

Nos itens subseqüentes é apresentada a implementação das redes de comunicação planejadas na seção 4.4.1.

4.5.2.1 GSE-LAN

Para a implementação da GSE-LAN foi utilizado o roteador *Wireless* DGL-4300, da *D-Link*, conforme definido na seção 4.4.2. Em duas de suas quatro portas que funcionam em até 1Gbit/s foram conectados os cabos de rede dos computadores dos bastidores, e as outras ficaram disponíveis para a conexão de cabos de computadores clientes.

O roteador foi configurado com o serviço de DHCP, atribuindo um endereço IP automaticamente ao micro que se conectar. A rede *Wi-fi* foi protegida pelo método de criptografia WEP com uma chave de 128-bit. No *firewall*, foi habilitada a opção DMZ, permitindo a ligação entre a rede corporativa local e a GSE-LAN.

Foram ainda instaladas mais duas placas de rede operando em sub-redes distintas, uma em cada computador do GSE. No CONTGSE, a placa ficou responsável por controlar todos os instrumentos do banco óptico que utilizam interface *Ethernet* (todos conectados em um *Fast Ethernet Hub*), e no SEIGSE, por controlar a impressora.

4.5.2.2 Interface de alimentação

A alimentação do subsistema MUX é fornecida pela fonte N5746A, conforme visto na seção 4.4.2, através de cabos com 10m de comprimento. Para compensar a queda de tensão até a ligação da carga é utilizado um sistema de sensoriamento remoto da própria fonte. A tensão é monitorada no ponto final da conexão, isto é, no conector da MUX, através de dois canais de leitura que são levados até o ponto de medida por um cabo par trançado blindado. Com a malha fechada, a fonte faz o controle automaticamente. O esquema de ligação pode ser visto na Figura 48.

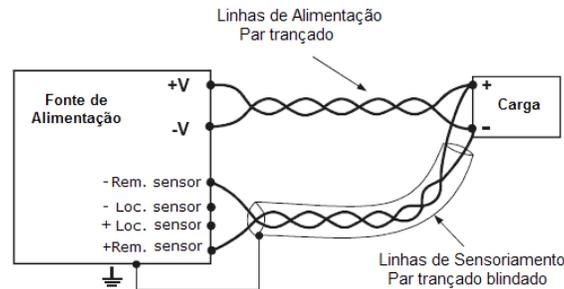


Figura 48 - Sensoriamento remoto da alimentação. (Fonte: AGILENT TECHNOLOGIES, 2006, p. 26)

4.5.3 Projeto eletrônico

Para o desenvolvimento do projeto eletrônico, foram seguidas as concepções apresentadas na seção 4.3.1. Para a escolha dos componentes, foram priorizados os já utilizados em outros projetos da empresa, pela facilidade de aquisição. Quanto ao restante, pesquisou-se os principais fabricantes como *Texas Instruments*, *Analog Devices*, entre outros.

As simulações, os esquemas elétricos e *lay-out* das placas foram desenvolvidos com o auxílio do *software Altium Designer 2004*. Depois de projetadas, elas foram fabricadas por empresa especializada. Para cada placa desenvolvida foram gerados os seguintes documentos: esquema elétrico, *lay-out*, *gerber*, mapa de montagem, lista de montagem, *checklist* de montagem, fluxograma de montagem, procedimento de teste, *checklist* de inspeção, procedimento de inspeção e relatório de teste.

A montagem das placas foi realizada por técnicos especializados da Opto Eletrônica S.A. Conforme os circuitos foram testados, pequenas alterações foram necessárias decorrentes de equívocos no desenvolvimento. Estas alterações foram inicialmente adaptadas no próprio circuito impresso e posteriormente as placas foram revisadas e re-manufaturadas chegando em sua segunda versão totalmente funcionais.

4.5.3.1 Controlador GSE

A distribuição da eletrônica do bastidor consiste de uma placa duto, na qual se conectam todas as placas padrão EUROCARD VME. Cada uma destas placas se conecta por cabos ao subsistema

MUX e são responsáveis por condicionar e multiplexar os sinais dessa conexão. Os dados são encaminhados através da placa duto para as placas de roteamento desenvolvida, chamadas de NI6254 e NI6503. Estas, por sua vez, são conectadas às placas NI PCI-6254 e NI PCI-6503 da *National Instruments* instaladas no computador via cabo próprio. Na Figura 49, é apresentado o suporte de sustentação da placa duto com algumas placas conectadas.

A placa duto, que pode ser vista na Figura 50, também direciona alguns sinais para duas placas de suporte que possuem conectores SMB. Assim esses

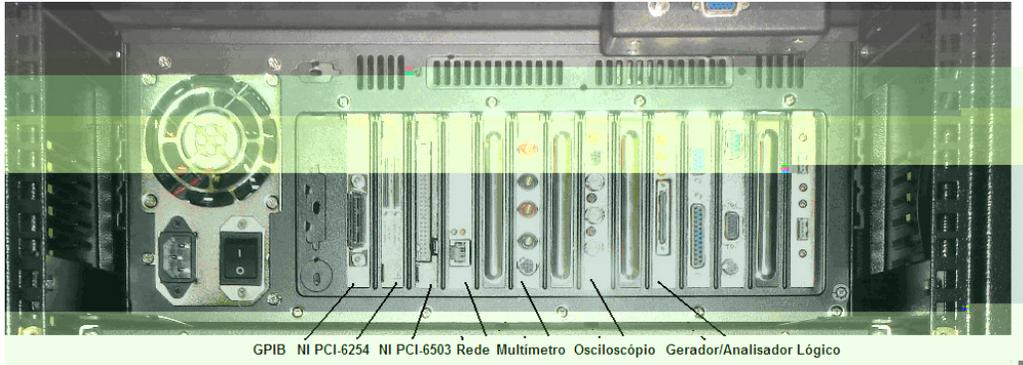


Figura 51 - Traseira do computador do CONTGSE



Figura 52 - Traseira da gaveta de interfaces eletrônicas

Conforme as especificações apresentadas na seção 4.1.2, foram desenvolvidos os circuitos de condicionamento dos sinais de telemetrias, telecomandos e de testes, apresentados a seguir.

4.5.3.1.1 Condicionamento de telemetrias

Para o condicionamento dos sinais térmicos, isto é, as telemetrias provenientes dos termistores, é utilizado um resistor de *pull-up* de $10K\Omega$ com precisão de 1/1000 conforme o esquema da Figura 53.

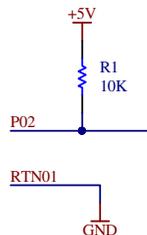


Figura 53 - Condicionamento de sinal térmico

Para o recebimento das telemetrias analógicas, devido à necessidade de isolamento de referência entre o GSE e o subsistema MUX, são utilizados amplificadores de instrumentação que possuem alta impedância de entrada (SEDRA; SMITH, 2000) para prover a isolamento necessária. O amplificador utilizado é o AD623 da *Analog Devices*, conforme pode ser visto no esquema da Figura 54. Ele possui impedância de entrada de $2\text{ G}\Omega$, evitando assim efeito de carregamento. Em sua saída é feito um divisor resistivo tal que a saída máxima que seria $+12\text{V}$ fica limitada em aproximadamente $+5\text{V}$. Na entrada não diferencial (positiva) é utilizado um resistor de 100Ω , já que, como pode ser visto no esquema da Figura 55, foi utilizado um resistor de igual valor na entrada do pino de retorno (negativo). Esse circuito auxiliar foi necessário para referenciar o terra dos amplificadores utilizados através de uma impedância de $25\text{K}\Omega$ e 470nF e ainda para impedir que a diferença de tensão entre o terra do GSE e o retorno da MUX fosse maior que $+10\text{V}$ e menor que -10V com a utilização de um diodo e um *tranzorb*, limitando assim, a circulação de corrente entre os terras.

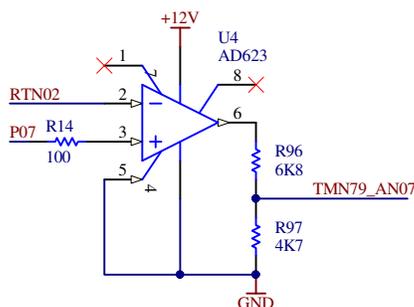


Figura 54 - Condicionamento de sinal analógico

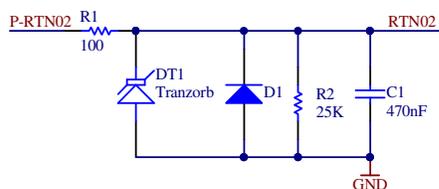


Figura 55 - Proteção no aterramento

As telemetrias do tipo *Digital Serial* são compostas pelos sinais de endereço, *clock* e dados. Os dois primeiros são enviados pelo CONTSGSE, com uma velocidade de transferência de 40 KHz com chaveamento isolado. Para isso foi utilizado fotoacoplamento dos sinais e conversores DC/DC para a alimentação dos fotoacopladores. Os pinos de acionamento dos fotoacopladores são ligados

através de resistores de $2,2K\Omega$ à placa NI PCI-6254, permitindo que o CONTGSE processe o sinal. O resistor escolhido limita a corrente em $2,27mA$, bem abaixo de $16mA$ que é a máxima corrente fornecida pela placa NI PCI-6254 no pior caso.

O sinal de dados é lido como uma telemetria digital, semelhante ao circuito de uma telemetria analógica, mas em sua saída possui, ao invés de um divisor resistivo, um diodo zener de $4,7V$ para proteção. Essa topologia foi adotada, pois era necessário limitar a tensão de saída em $5V$ para proteger os circuitos posteriores, mas o divisor resistivo levaria a tensão de limiar de nível 0 para 1 para um valor abaixo do que esses circuitos poderiam reconhecer. Na Figura 56, é apresentado o esquema de ligação de uma telemetria Digital Serial.

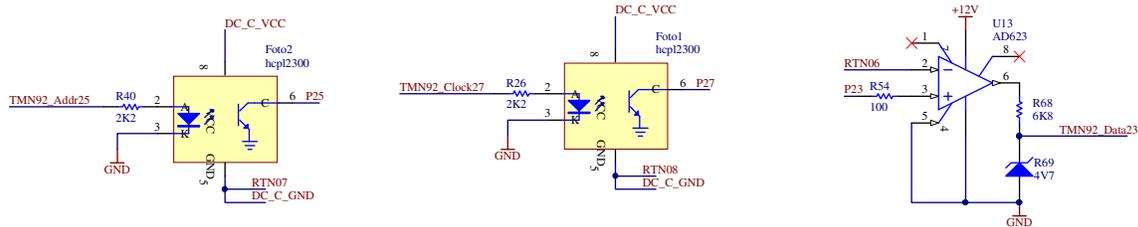


Figura 56 - Condicionamento de sinal Digital Serial

4.5.3.1.2 Condicionamento de telecomandos

Os telecomandos de tipo *On/Off* são acionados pelo *software* do CONTGSE. O acionamento do pulso de $80ms$ utiliza transistores ligados na configuração de coletor aberto. O transistor escolhido foi o 2N2222 por possuir uma corrente de coletor elevada ($0,8A$ contínuo) e tensão de coletor-emissor máxima de $50V$. Seus tempos de *turn-on* e *turn-off* são de $35ns$ e $300ns$ respectivamente, que são suficientemente pequenos para o pulso de $80ms$. A base de cada transistor é ligada ao demultiplexador através de um resistor de $2,2K\Omega$ como no esquema da Figura 57.

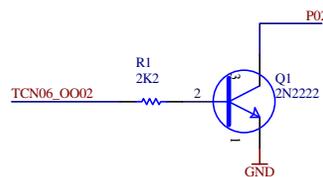


Figura 57 - Condicionamento de sinal *On/Off*

O pulso que caracteriza o telecomando ocorre entre a linha do telecomando e o comum, sendo que esta linha comum é de +28V. O CONTGSE, além de fazer o chaveamento da linha do telecomando como visto anteriormente, faz também o da linha comum de +28V através do transistor bipolar 2N2222 NPN e do MOSFET IRF9530, como visto na Figura 58. Através desse circuito o comando de +5V da placa NI PCI-6503 é transmitido como +28V. Dessa forma o Controlador GSE está habilitado a testar todos os contatos de telecomando, podendo detectar uma eventual falha em algum pino comum.

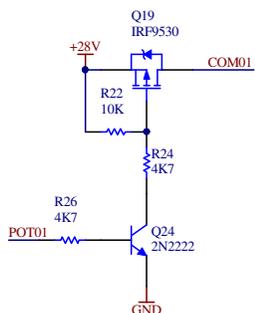


Figura 58 - Condicionamento da linha +28V comum

Os telecomandos do tipo *Memory Load* exigem uma velocidade de transferência de dados de 40 KHz com chaveamento isolado. Para isso foi utilizado fotoacoplamento dos sinais e conversores DC-DC para a alimentação dos fotoacopladores. Os pinos de acionamento dos fotoacopladores são ligados através de resistores de 2,2K Ω à placa NI PCI-6254, permitindo que o CONTGSE acione o telecomando. Cada telecomando *Memory Load* possui seis sinais: endereço, *clock*, dado e seus redundantes, como no esquema da Figura 59.

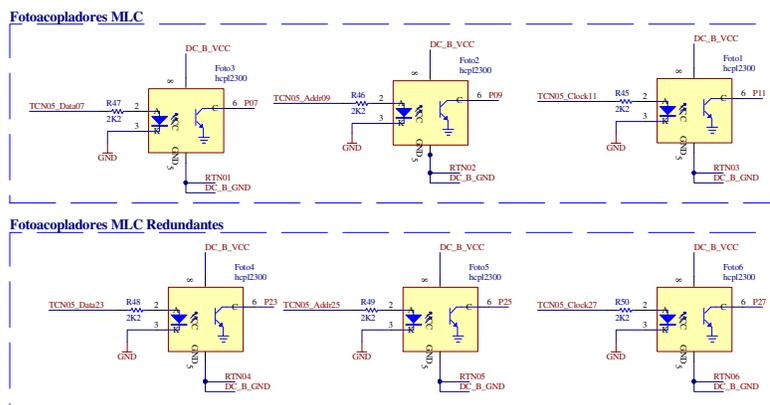


Figura 59 - Condicionamento de sinais *Memory Load*

4.5.3.1.3 Condicionamento de sinais de testes

Alguns sinais de testes devem ser enviados pelo CONTGSE em forma de nível e não de pulso como os telecomandos. Suas interfaces são semelhantes às de cada sinal dos telecomandos MLC, com isolamento por fotoacopladores alimentados por conversores DC-DC situados na placa de duto, e ainda com saídas com resistores de *pull-up* conforme pode ser visto no esquema da Figura 60.

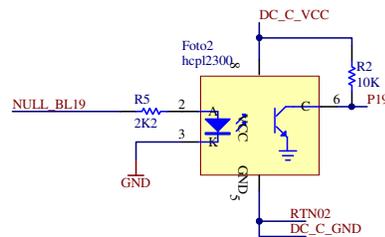


Figura 60 - Condicionamento de sinais de nível

Em outros casos, sinais LVDS precisaram ser gerados. Estes foram gerados em TTL pelo gerador de ondas (mesmo equipamento do analisador lógico), recebidos por conectores SMB, convertidos para LVDS, conforme pode ser visto na Figura 61, e enviados ao conector pertinente.

Outros sinais de testes que devem ser lidos pelo GSE são do tipo LVDS. Neste caso foram utilizados conversores LVDS-CMOS e depois de convertidos foram disponibilizados na traseira da gaveta de interfaces através de conectores SMB para que eles pudessem ser lidos pelo freqüencímetro, osciloscópio ou analisador lógico. Da mesma forma, sinais de vídeo analógico (saída do CCD da MUX) de freqüência superior a 5MHz também foram disponibilizados através de conectores SMB. O esquema apresentado na Figura 62 mostra essas interfaces de sinais de testes.

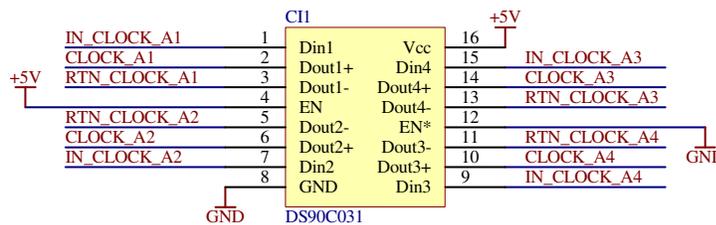


Figura 61 - Interface para geração de sinais LVDS

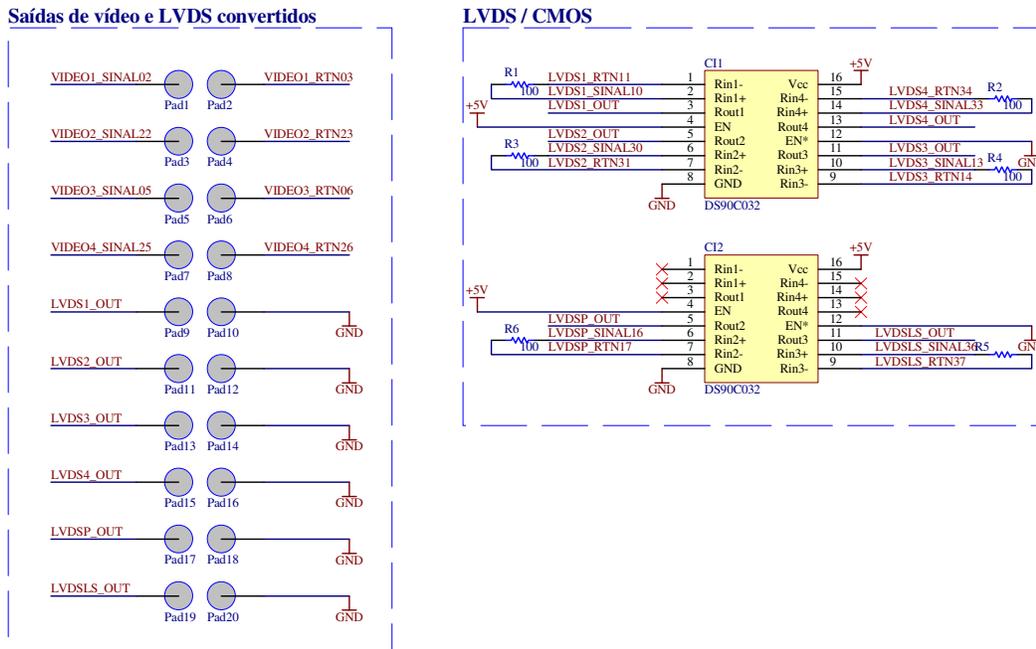


Figura 62 - Interface de leitura de sinais de teste

4.5.3.1.4 Multiplexação e demultiplexação

As telemetrias analógicas e dos termistores, depois das respectivas etapas de condicionamento, são multiplexadas de forma a reduzir o número de pinos necessários da placa NI PCI-6254 para o processamento dos sinais. O multiplexador analógico utilizado é o CD4051, capaz de multiplexar oito entradas em uma saída através de três linhas de endereçamento. A saída de cada multiplexador é ligada a um pino de entrada analógica da placa NI PCI-6254. As três linhas de endereço são comuns entre todos os multiplexadores e controladas por pinos digitais de E/S configurados como saída da placa NI PCI-6503. O esquema de ligação pode ser visto na Figura 63.

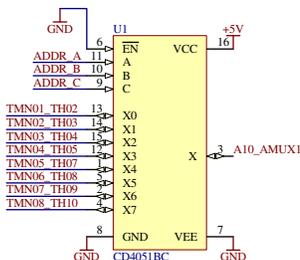


Figura 63 - Multiplexação Analógica

As telemetrias bilevel, depois da etapa de condicionamento, são multiplexadas pelo integrado 74251 capaz de multiplexar oito entradas em uma saída através de três linhas de endereçamento. As saídas são ligadas em canais de E/S configuradas como entradas na placa NI PCI-6503. As linhas de endereço são as mesmas dos multiplexadores analógicos. O esquema de ligação pode ser visto na Figura 64, e na Figura 65 é apresentada uma das placas de condicionamento de telemetrias.

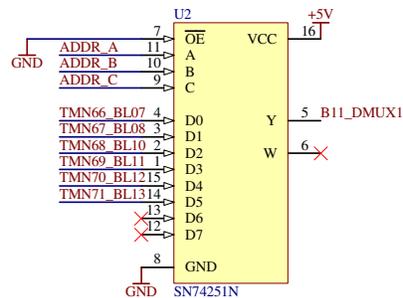


Figura 64 - Multiplexação Digital

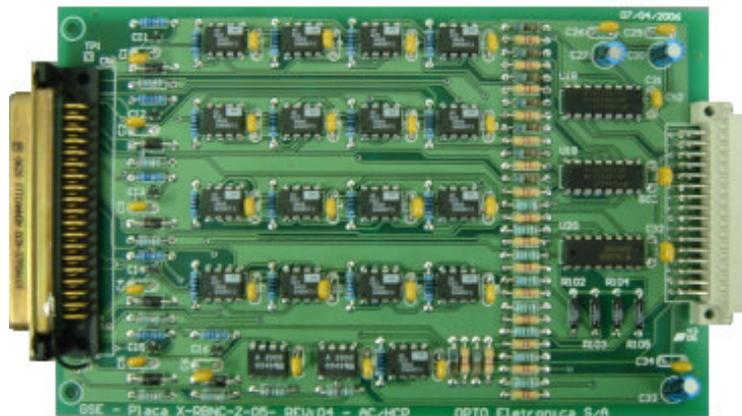


Figura 65 - Placa de interface de telemetrias

Os canais de E/S, configurados como saída da placa NI PCI-6254, que acionam os telecomandos são antes demultiplexados possibilitando acionar um maior número de comandos com o mesmo canal. Para isso é utilizado o integrado HCC4514 que a partir de uma saída (para cada integrado) da placa NI PCI-6254, quatro saídas de endereçamento e uma de *strobe* (comuns a todos os integrados) da placa NI PCI-6503, demultiplexa 16 linhas de acionamento de telecomandos. O esquema de ligação pode ser visto na Figura 66.

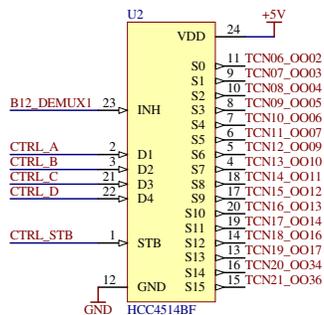


Figura 66 - Demultiplexação Digital

As linhas comuns de +28V dos telecomandos são demultiplexadas com o integrado 74LS259, que possui um *latch* de saída possibilitando que mais de uma saída seja acionada ao mesmo tempo. Os pinos de controle de endereçamento e habilitação de demultiplexação das linhas comuns são as mesmas em todos os demultiplexadores usados para este fim, mas cada um possui uma entrada exclusiva de dado (sendo todos estes comandos provenientes da placa NI PCI-6503). Com isso, é possível verificar se determinada linha comum está falha e por qual telecomando está sendo acionado. Na Figura 67, pode ser visto o esquema de demultiplexação das linhas +28V, e na Figura 68 é apresentada uma das placas de condicionamento de telecomandos.

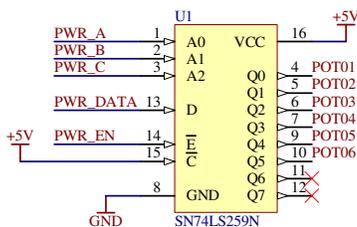


Figura 67 - Demultiplexação das linha +28V comum



Figura 68 - Placa de interface de telecomandos

4.5.3.1.5 Circuitos para autoteste

Para detectar possíveis defeitos nas linhas que se conectam ao subsistema MUX, evitando danificá-lo, foi desenvolvida uma placa que se encaixa ao duto do CONTGSE. Assim, antes de ser feita uma conexão entre as placas do GSE e a MUX, cada placa de condicionamento do GSE deve ser separadamente conectada à placa de autoteste através de cabo específico.

Esta interface condiciona e multiplexa os pinos conectados que são levados através da placa duto e da NI6254 a canais analógicos da placa NI PCI-6254 instalada no computador. Para a verificação dos níveis de tensão presentes em cada pino, o sinal que seria enviado para o subsistema MUX passa por um divisor de tensão e entra em um multiplexador analógico, como o esquema da Figura 69. Os sinais do multiplexador são selecionados através de linhas digitais da placa NI PCI-6254. A leitura dos sinais é feita em canais analógicos da mesma placa. No total foram utilizados sete multiplexadores e são avaliados cinquenta sinais. Este teste não garante o funcionamento do GSE, mas assegura que não haverá danos ao subsistema MUX.

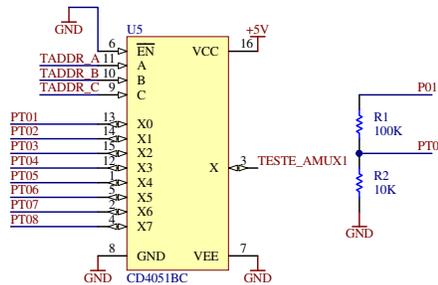


Figura 69 - Circuitos de interface para o autoteste

4.5.3.1.6 Interface de alimentação

A alimentação elétrica do subsistema MUX é fornecida pela fonte N5746A, apresentada na seção 4.4.2, e controlada pela interface GPIB. Uma placa de circuito impresso foi desenvolvida para: disponibilizar a saída da fonte aos conectores adequados para a interface com os cabos de alimentação da MUX; levar os sinais de sensoriamento da própria fonte aos conectores de alimentação da MUX; obter através de dois resistores de $0,2\Omega$ de 5W em paralelo, um valor de tensão proporcional à corrente e disponibilizar em um conector BNC para análise da corrente *in rush* do sistema com o osciloscópio emulado; chavear um relé para trocar a saída da alimentação com uma saída para testes com fonte de

corrente; e monitorar a saída de tensão. Esse placa recebe os comandos de chaveamento e os canais de leitura da placa duto através de um cabo com conector DB9, seu esquema e foto podem ser vistos na Figura 70.

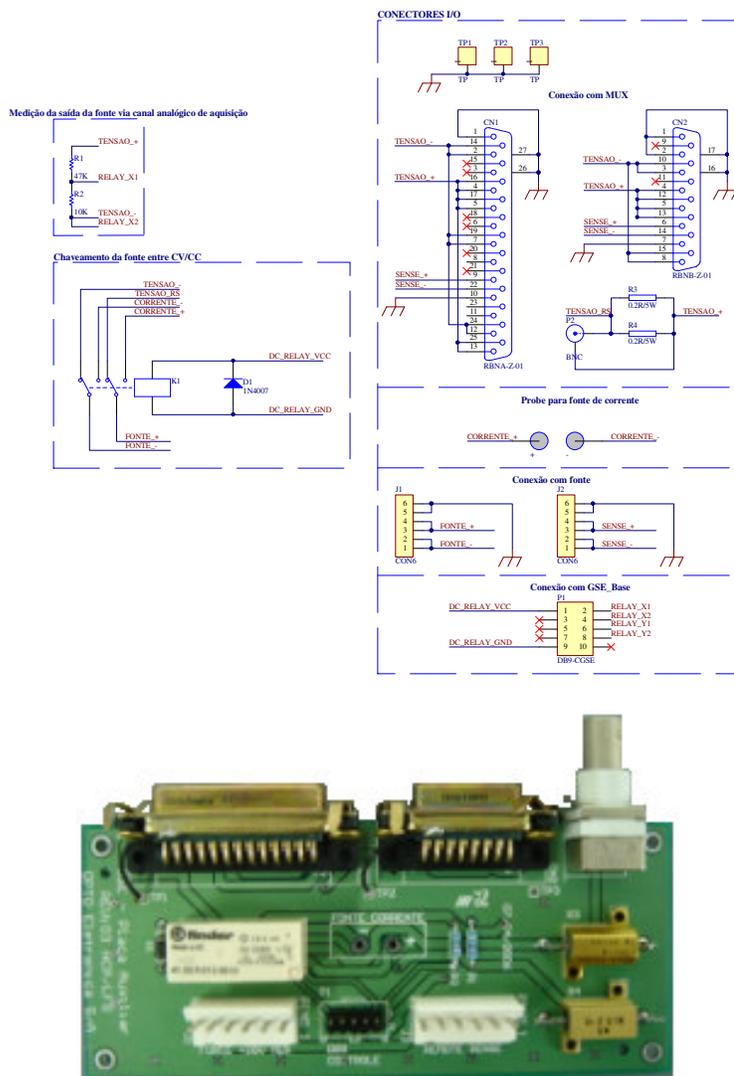


Figura 70 - Esquema e placa de interface de alimentação

4.5.3.2 Sistema de exibição de imagens

A gaveta de interface eletrônica do SEIGSE possui uma placa passiva com três conectores. Os sinais de dois deles, que devem ser conectados à MUX, são trilhados para o conector que leva os sinais à placa NI PCI-6561 instalada no barramento PCI do computador deste bastidor. Como se tratam de

sinais LVDS, esta placa foi roteada seguindo os principais procedimentos de NATIONAL (2004). A placa NI PCI-6561 faz a leitura de dezesseis canais simultaneamente. Entretanto, como os dados provenientes da MUX são seriais, essa característica não é aproveitada.

Uma alternativa levantada foi que a interface eletrônica do SEIGSE deixasse de ser um simples roteador de sinais e nela fossem implementados circuitos conversores LVDS-CMOS e vice-versa juntamente com um CPLD. Este, por sua vez, seria responsável por implementar além de um seletor de sinais de *clock* de entrada, um *buffer* que armazenasse dezesseis amostras de sinais antes de enviar para a placa NI PCI-6561. Com esta funcionalidade, a quantidade de amostras de sinais que a placa instalada no computador captaria seria maior, o que melhoraria o desempenho do sistema para exibição de imagens em tempo real, já que a transferência de dados da memória da placa para o computador é relativamente lenta, então a memória da placa deve ser totalmente aproveitada.

Esta placa foi projetada e fabricada, mas ainda não foi montada nem programada porque a interface mais simples apresenta um desempenho relativamente satisfatório para a exibição constante de linhas de imagem e é totalmente capaz de fornecer dados para todos os testes, uma vez que eles geralmente precisam apenas de uma linha de imagem do CCD.

4.5.3.3 Gaveta de alimentação

Nos dois bastidores foram instaladas gavetas equipadas com disjuntores de 20A, varistores para proteção contra picos de tensão, lâmpada indicativa do estado de alimentação do equipamento, *pluques* de tomadas e ponto de aterramento de todas as carcaças dos equipamentos dos bastidores. Este ponto de aterramento é externo e se conecta ao terra da tomada principal, com isso servindo de malha de terra para o equipamento.

Os equipamentos utilizados nos dois bastidores podem ser alimentados com tensão AC de 110 ou 220V, conforme especificado. A única exceção é a impressora do SEIGSE que só admite entrada de 110V, e exigiu a instalação de um estabilizador com transformador isolador de 500W com circuito automático de seleção de tensão de entrada.

4.5.4 *Software* de baixo nível

Nesta etapa foi desenvolvida uma camada de *software* responsável por efetuar os comandos de mais baixo nível do CONTGSE e do SEIGSE. Estes comandos foram desenvolvidos como sub-rotinas que são utilizadas em todo o *software* para a execução das tarefas básicas de acesso ao *hardware* do sistema.

Foram, inicialmente, mapeadas através dos esquemas elétricos do sistema, as conexões de cada pino das placas NI PCI-6254 e NI PCI-6503. Em seguida, com o auxílio do aplicativo *Measurement & Automation* da NI, foram criadas tarefas que associam cada um desses pinos a sua determinada configuração, por exemplo como pino de entrada ou saída, excursão máxima de tensão, associado a um sinal de amostragem ou não, etc. Posteriormente, estas tarefas passaram a ser criadas dinamicamente dentro do próprio *software* desenvolvido.

O LabVIEW oferece através do *driver* de comunicação com as placas, sub-rotinas de leitura e escrita de dados. Foram criados programas que utilizam essas sub-rotinas e acessam as placas de dados através das tarefas de mapeamento criadas. Na Figura 71, pode ser vista a hierarquia de programas de telecomandos e telemetrias. Cada bloco representa uma rotina com entradas e saídas, sendo que os blocos no nível mais baixo são as funções que acessam o *hardware*.

Nos casos de telecomandos, por exemplo, algum programa de teste de alto nível faz uma chamada à rotina de telecomando informando apenas seu número. O bloco TCN é responsável por verificar em suas tabelas se o telecomando requisitado é do tipo *On/Off* ou *Memory Load* e fazer a chamada correta.

No caso de TCN *On/Off*, identifica-se através de tabelas qual o multiplexador associado e qual o endereço que o identifica, para então dar um pulso de 80ms de acordo com as especificações da seção 4.1.2.1. Já no caso de TCN MLC, identifica-se qual sinal MLC foi requisitado, é acessada uma tarefa já programada que associa os pinos de endereço, *clock* e dados gerando um sinal sincronizado com uma referência de 40KHz (extraída de um sinal do gerador de ondas emulado pela placa NI PCI-6541).

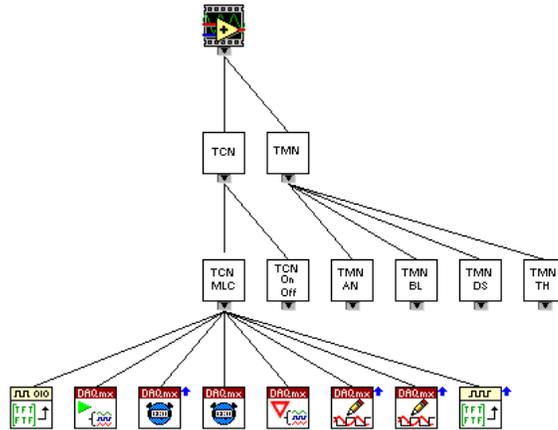


Figura 71 - Hierarquia de programas de TC e TM

As rotinas desenvolvidas para telemetrias são similares às de telecomandos. A rotina TMN verifica qual o tipo de telemetria requisitada e chama as sub-rotinas TMN AN, TMN BL, TMN TH, ou TMN DS. As três primeiras operam endereçando os multiplexadores, chamando a tarefa adequada e retornando o valor lido. A sub-rotina TMN DS acessa a tarefa que associa os pinos de endereço e *clock* sincronizados com uma referência de 40KHz (extraída de um sinal do gerador de ondas emulado pela placa NI PCI-6541) e faz as leituras dos dados na borda de descida do sinal de *clock*.

Outras sub-rotinas de baixo nível relevantes ao contexto deste trabalho são:

- Acionamento de sinal em nível para executar sinais de testes;
- Acionamento de sinal em nível para chavear relé da interface de alimentação;
- Endereçamento dos multiplexadores com *latch* das linhas de +28V;
- Interface GPIB para ler e enviar comandos para equipamentos com esta interface;
- Interface *Ethernet* para ler e enviar comandos para equipamentos com esta interface e trocar dados entre os sistemas dos dois bastidores;
- Sub-rotina de autoteste para endereçar os multiplexadores e ler os níveis de tensão em todos os conectores do sistema.

Utilizando todas essas sub-rotinas foram criados subprogramas que controlam os equipamentos constituintes do colimador principal e do simulador de cena. De forma que apenas um programa para o colimador principal e um programa para o simulador de cena pudesse posteriormente concatenar todos eles:

- Subprograma do controlador de motores ESP300;
- Subprograma do controlador de motores XPS-C4;
- Subprograma da roda de filtros;
- Subprograma da fonte de luz radiométrica;
- Subprograma dos sensores de pressão e temperatura.

As subrotinas de recepção de imagens desenvolvidas, que operam no SEIGSE, utilizaram diretamente os *drivers* de acesso à placa NI 6561. Os dados digitais de vídeo são enviados pela MUX juntamente com um sinal de *clock* que se conecta ao canal de *trigger* da placa. Foi necessário desenvolver algumas subrotinas de desembaralhamento e decodificação dos dados recebidos seguindo os requisitos do subsistema MUX. Estas rotinas foram desenvolvidas inicialmente em LabVIEW, mas depois foram desenvolvidas em Borland Builder C++ e compiladas como DLLs que passaram a ser utilizadas pelo resto do programa em LabVIEW, o que levou a uma melhora considerável no desempenho do sistema.

4.5.5 Co-desenvolvimento

Conforme visto nas seções 4.3.2 e 4.3.3, o acompanhamento das atividades das equipes de óptica e mecânica foi necessário para o desenvolvimento do sistema, uma vez que todas as partes interagiam desde suas especificações até o projeto final do produto.

Os aplicativos de *softwares* foram desenvolvidos pela mesma equipe responsável pelo sistema eletrônico, o que levou à evolução concomitante das duas frentes de acordo com o andamento do projeto. As atividades de implementação do *software* podem ser resumidamente divididas em quatro partes: camada de comunicação com o *hardware*, conforme descrito na seção 4.5.4; interfaces dos equipamentos auxiliares; testes do subsistema MUX; e engenharia do *software*.

Os tópicos referentes à engenharia do *software* envolvem funções extras dos *softwares*, como: salvamento em arquivos, log de erros, configurações, impressão, etc, mas fogem do escopo deste trabalho. Para parte dos equipamentos auxiliares emulados, o *software* utilizado foi a interface

fornecida pela NI, como a do multímetro e do osciloscópio, cuja janela principal pode ser vista na Figura 72.

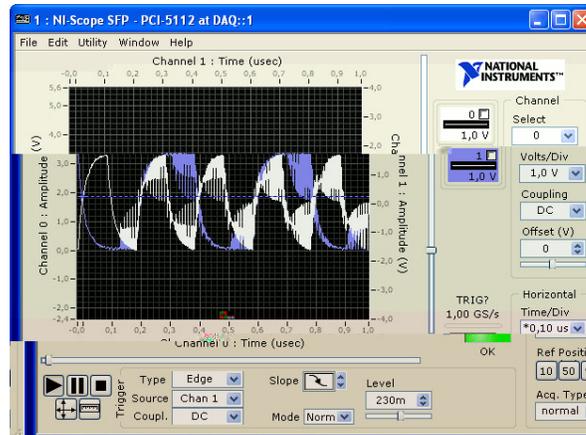


Figura 72 - Interface gráfica para controle do osciloscópio virtual

Para o analisador lógico e o gerador de formas de onda, as interfaces tiveram de ser construídas. Elas utilizam a placa NI PCI-6541 que é equipada com 32 entradas/saídas digitais e taxas de *clock* de até 50MHz. Na Figura 73, pode ser vista a janela do gerador de formas de onda.

Foram desenvolvidas interfaces de *software* para controle do frequencímetro e da fonte de alimentação, e ambos se comunicam com os instrumentos reais através das interfaces GPIB. Dessa forma, os instrumentos podem ser configurados para operar em modo remoto, evitando modificações inadvertidamente por parte do usuário. Foram desenvolvidas também as interfaces para os equipamentos ópticos construídos: o colimador principal (Figura 74) e o simulador de cena (Figura 75). Estes programas por sua vez reuniam todos os subprogramas dos equipamentos ópticos constituintes, conforme explicado na seção 4.5.4

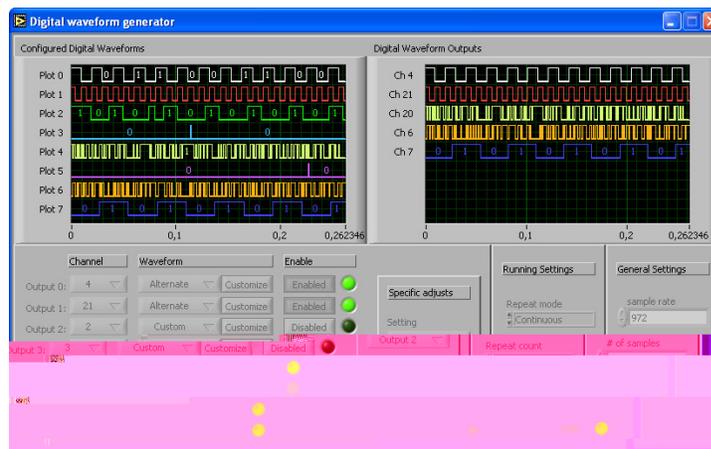


Figura 73 - Interface gráfica para controle do gerador de formas de onda digitais virtual

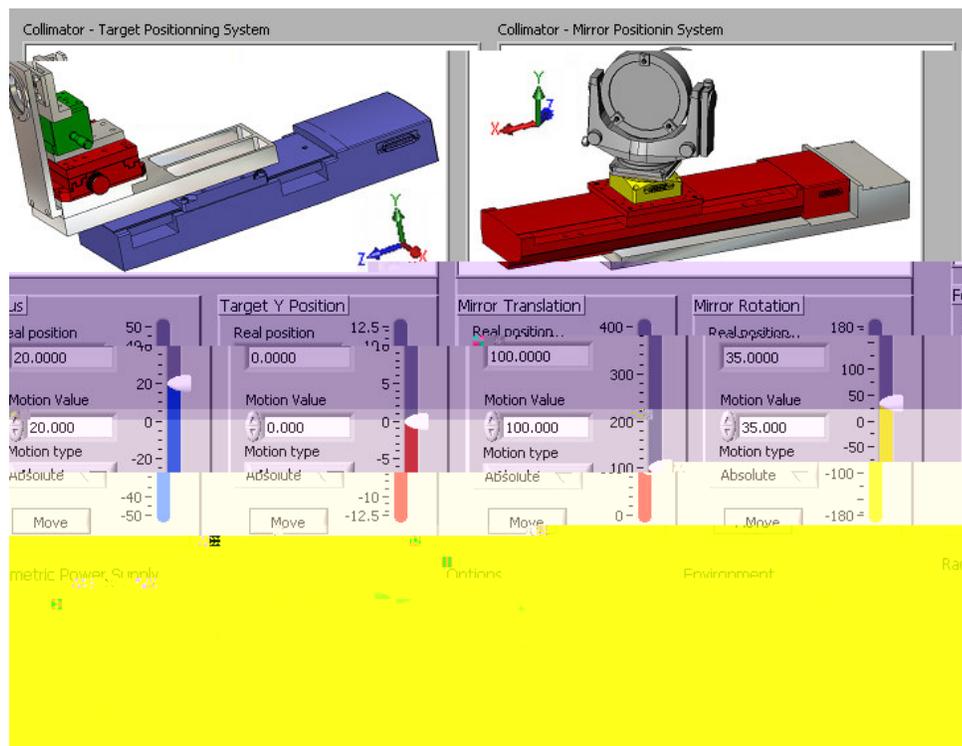


Figura 74 - Tela de controle do colimador principal

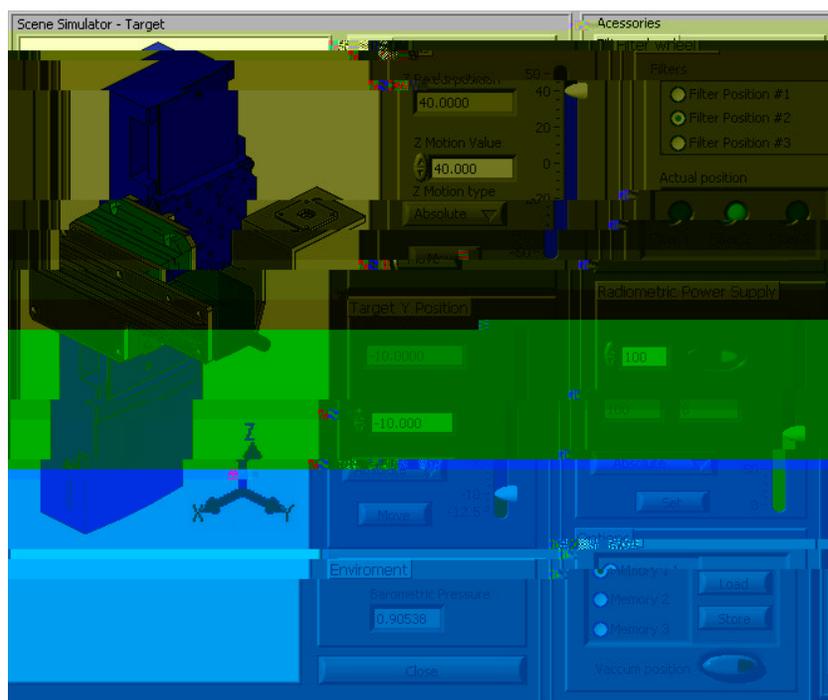


Figura 75 - Tela de controle do simulador de cena

Capítulo 5

Resultados

No capítulo anterior, foi visto como o sistema foi desenvolvido e a maneira como ele foi construído para cumprir todos os requisitos especificados (vide Tabela 2): itens relativos à definição do equipamento, itens relativos aos blocos do equipamento, itens referentes ao projeto e construção e os requisitos elétricos. Neste capítulo são apresentados os principais resultados do GSE. São relatados os itens relativos ao desempenho, isto é, os testes que ele é capaz de aplicar no subsistema espacial, e detalhes de como foram implementados.

5.1 Características

Cada um dos testes abrigados possui um documento de especificação e procedimento que salienta suas características, cujas principais são:

- objetivos: requisito do subsistema que está sendo testado;
- configuração do produto: equipamentos que devem estar integrados e o esquema de conexões;
- infra-estrutura necessária: condições de temperatura, ambiente, materiais de segurança, participantes requeridos, artigos e ferramentas;
- abordagem adotada: resumo teórico comprovando como o teste será capaz de alcançar seu objetivo;

- critério de sucesso: faixa de resultados que os testes devem apresentar para validação;
- procedimento passo-a-passo: operação detalhada para a realização do teste.

Parte importante da configuração do sistema é a necessidade de se fazer um autoteste, conforme visto no item 4.5.3.1.5, antes de se realizar qualquer conexão entre o GSE e a câmera MUX. Dessa forma, fica assegurado que o subsistema não sofrerá nenhum dano. Na Figura 76, é apresentado um fluxograma com as atividades para a interconexão segura entre os aparelhos.

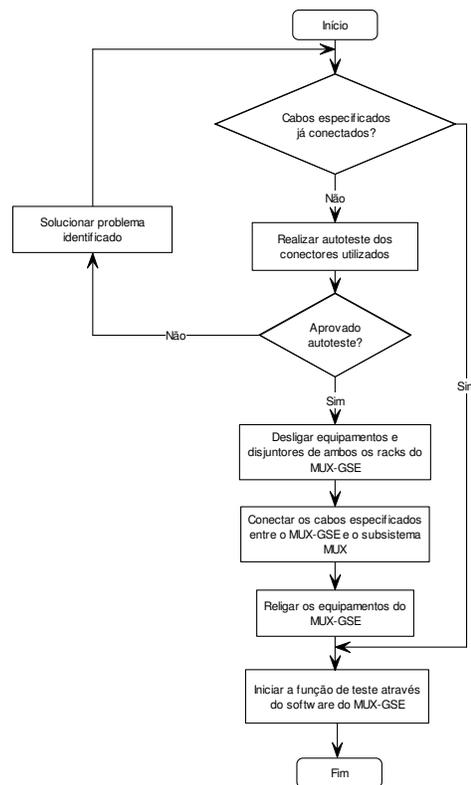


Figura 76 - Fluxograma de configuração para testes

5.2 Codificação

Alguns dos testes realizados são totalmente automáticos, o GSE realiza o teste sem que nenhuma intervenção do usuário seja necessária após o sistema estar configurado (cabearamento e software ligado). Em outros testes, intervenções como troca de conectores são necessárias no decorrer do procedimento, bastando seguir as orientações do software.

Os testes podem ser realizados de forma manual, isto é, com o usuário executando os comandos da forma que achar mais conveniente, mas sempre amparado pelo software que deve orientar qual seria o próximo passo a seguir no procedimento padrão, e ainda, fornecendo as opções de seqüência passo a passo ou prosseguimento de forma automática. Para isso, todas as janelas de testes foram padronizadas com uma barra de botões como pode ser visto na Figura 77, cujas funções são descritas na Tabela 4.



Figura 77 - Barra de comandos dos testes

Botão	Função
	Abrir arquivos de teste já salvos
	Salvar arquivo do teste
	Imprimir teste atual
	Próximo passo no teste
	Executar todo o teste
	Parar a execução da gravação ou da execução do teste
	Executar e salvar o arquivo de teste

Tabela 4 - Funções da barra de comandos

Para a implementação desta estrutura de automatização e instruções ao usuário é necessário conhecer todos as possibilidades de estado do programa. Foi então desenvolvida para cada teste uma máquina de estados, como pode ser vista na Figura 78. O estado representa uma situação com uma instrução ao usuário, como no caso da Figura 78, o terceiro estado “Plano Focal” apresenta a mensagem explicando como prosseguir para o estado de “Calibração Relativa”. Os eventos (setas) representam os comandos que podem ser executados dentro dos estados. Cada estado possui um evento principal (setas em vermelho) que representa o evento que será acionado caso seja pressionado o botão “Próximo passo” da barra de comandos ou o botão “Executar” que executa todos os eventos principais a partir do estado atual até o último estado.

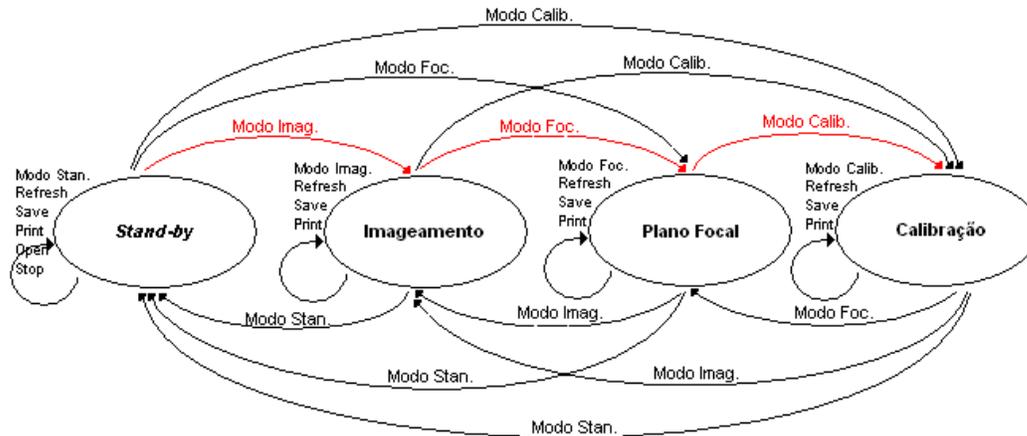


Figura 78 - Máquina de estados do teste de modos de operação

5.3 Apresentação

A seguir são apresentados os testes realizados e como eles são medidos e interpretados de forma a avaliar os requisitos do subsistema MUX. Eles foram agrupados em cinco grupos de acordo com a similaridade de seus procedimentos

5.3.1 Relacionados com telemetrias e a telecomandos

Estes testes envolvem, principalmente, leituras de telemetrias do subsistema, sejam elas do tipo analógica, digital, térmica ou *serial*; e o envio de telecomandos *on/off* ou *memory load command*: controle de temperatura, temperatura de operação, modos de operação e interface OBDH.

Para a verificação do controle de temperatura são monitoradas através de telemetrias as correntes dos atuadores que aquecem o subsistema e são enviados telecomandos de acionamento, desligamento dos atuadores, além dos telecomandos de permutação entre os aquecedores principais e redundantes. Para cada telecomando acionado são medidas as telemetrias relacionadas e verificado se o controle responde como o esperado.

Para o teste de temperatura de operação são analisadas as telemetrias térmicas. Elas representam os sinais de tensão dos termistores (sensores de temperatura) instalados e condicionados com uma resistência de *pull-up* de 10kΩ e uma tensão de +5V. O valor é calculado da seguinte forma:

$$R_{th} = \frac{10^4 Vin}{(5 - Vin)},$$

onde Vin é a leitura analógica de cada uma das telemetrias de temperatura. O valor de resistência calculado é comparado à sua curva de calibração e a temperatura é determinada.

Para os modos de operação são enviados telecomandos que alternam entre os quatro modos de operação do subsistema (*stand-by*, imageamento normal, calibração relativa e ajuste da distância focal) e verificadas as telemetrias associadas.

Para o teste da interface OBDH, cuja tela pode ser vista na Figura 79, são disponibilizados todos os telecomandos que o subsistema OBDH pode enviar para a MUX e a recepção de todas as telemetrias que o subsistema OBDH recebe da MUX. Os telecomandos são relacionados com telemetrias que indicam modificações de *status* causadas por eles, então, antes e depois do envio de cada telecomando é analisado o estado das telemetrias envolvidas, e estas devem estar dentro da faixa de valores esperada.

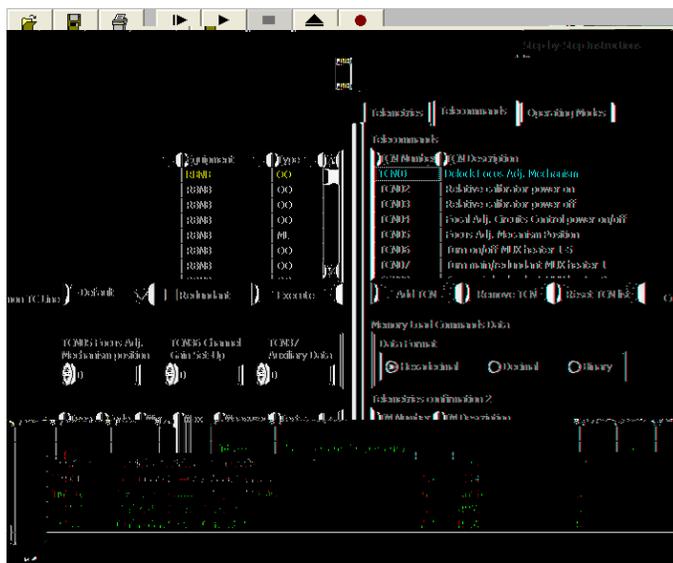


Figura 79 - Tela do teste da interface OBDH

5.3.2 Relacionados com medições temporais

Todos os testes que envolvem a medição de alguma característica temporal de sinais são realizados com funções específicas do frequencímetro ou opcionalmente com o osciloscópio virtual.

São eles: tempo de integração, período de amostragem, taxa de saída de dados, tempo de subida, tempo de descida e *jitter*. Todos os sinais de interesse são recebidos pelos conectores do subsistema e disponibilizados em conectores SMB que podem ser ligados ao frequencímetro com cabos SMB-BNC, conforme explicado no item 4.5.3.1.3.

Tempo de integração (T_i) é o período em que o sinal de tempo de integração (enviado ao CCD) está em nível baixo (Figura 80). Todos os níveis possíveis são configurados um a um através de telecomando. O período e *duty-cycle* do sinal são medidos em cada condição e o T_i pode ser determinado através da seguinte equação:

$$T_i = \frac{\text{período} * \text{duty cycle}(\text{low})}{100}$$

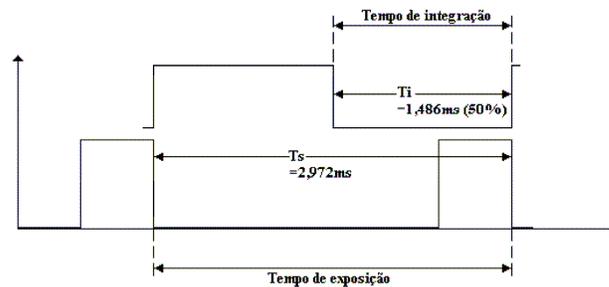


Figura 80 - Tempo de integração e exposição

Para os testes da taxa de saída de dados, período de amostragem, tempo de subida, tempo de descida, e *jitter*, os sinais apropriados são configurados por telecomandos e medidos diretamente através do frequencímetro através das medidas de frequência, período, tempo de subida e tempo de descida respectivamente.

Para o *jitter* dos sinais de *clock* são utilizadas as medidas estatísticas de máximo e mínimo do período e do *duty cycle*. Para a validação neste teste, o sinal deve possuir uma medida máxima de extremos de variação do período menor que a porcentagem permitida de *jitter* (conforme a especificação da MUX) multiplicada pelo período especificado do sinal. E ainda, que o extremo máximo de *duty-cycle* medido seja menor que a diferença (ou soma) do *jitter* (%) com 50%.

5.3.3 Relacionados com alimentação

Nesse conjunto são destacados os testes que utilizam propriedades da fonte de alimentação controlada do GSE ou da sua placa auxiliar, são eles: consumo de potência, corrente *in-rush*, contato e aterramento e linha principal de alimentação.

Para a medição do consumo de potência do subsistema MUX verifica-se qual a corrente demandada pela sua fonte de alimentação configurada como fonte de tensão no valor especificado e multiplica-se os valores. Este procedimento é realizado em todos os modos de operação do subsistema com os aquecedores ligados e desligados, configurando o sistema através dos telecomandos específicos. Na Figura 81 pode ser vista a tela do teste de consumo de potência.

A corrente *in-rush* é o maior valor de corrente instantânea que se dá quando o subsistema é alimentado. Para realizar esta medição, o GSE utiliza uma placa auxiliar com dois resistores de $0,2\Omega/5W$, em paralelo entre si, em série com a linha de alimentação. O valor de tensão sobre estes resistores representa 0,1 vezes o valor da corrente que está sendo consumida. Esse sinal é levado para o osciloscópio emulado configurado para aquisição instantânea. Dessa forma, é levantada toda a curva da tensão, que é diretamente proporcional à curva da corrente. Então, calcula-se o máximo valor alcançado e a taxa de subida da corrente, do instante em que a alimentação é ligada até o máximo valor atingido.

O teste de aterramento e contato objetiva medir a resistência de aterramento de determinados pontos do subsistema. Para isso, a fonte de alimentação é configurada como fonte de corrente e a placa auxiliar permuta a saída da alimentação para conectores ligados a cabos com terminais. Esses terminais são acoplados aos terminais do multímetro emulado e são posicionados nos pontos de interesse. É, então, injetada uma corrente e verificada a diferença de potencial gerada entre os dois pontos. A resistência de aterramento se dá pela razão entre a tensão e a corrente observadas.

Para o teste da linha principal de alimentação, a fonte é configurada para a máxima e mínima tensão especificada para o funcionamento do subsistema. Nas duas situações são verificadas as telemetrias relacionadas com os conversores de tensão internos dos circuitos da MUX.

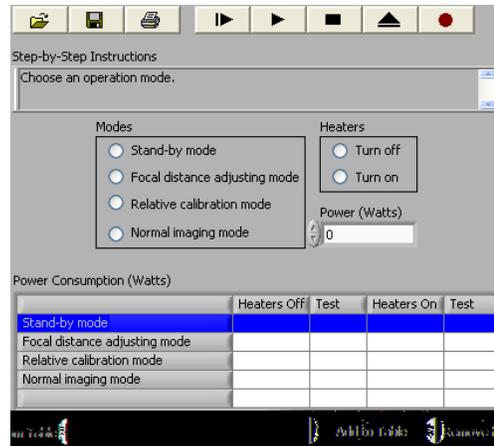


Figura 81 - Tela do teste de consumo de potência

5.3.4 Relacionados com recepção de imagens

O processo de aquisição das imagens da câmera espacial pode ocorrer de três maneiras. A primeira é através da saída principal que, após a integração de todos os subsistemas do satélite, será utilizada pelo subsistema DDR para a aquisição de imagens. Nesta saída digital, os dados estão codificados e devem ser decodificados para a apresentação dos dados para o usuário, como pode ser visto na Figura 82.

A outra maneira é através dos sinais analógicos de cada banda obtidos antes de passarem pelo conversor analógico-digital da MUX. Eles são disponibilizados pelo GSE em seus conectores SMB que podem ser ligados um a um no osciloscópio emulado. Sendo que o segundo canal e o canal externo de *trigger* do osciloscópio devem ser conectados aos sinais de *clock* com os quais a aquisição é sincronizada.

A última maneira é através da saída digital (de cada banda) obtida diretamente após o conversor AD, antes da fase de codificação.

Nas duas últimas formas de aquisição é necessário se fazer os cálculos relativos a CDS e compensação da corrente de escuro que são feitos segundo instruções do fabricante do CCD. Estas formas de aquisição podem ser muito úteis na detecção de eventuais problemas no tratamento de sinais de imagens já que o sistema pode ser analisado em diferentes etapas do circuito.

O teste de relação sinal ruído pode ser feito com dados obtidos de qualquer uma das maneiras de aquisição mencionadas. Utiliza-se o colimador principal ou o simulador de cena para projetar luz com características conhecidas, se faz uma aquisição de “n” linhas do CCD e calcula-se a relação para cada banda utilizando a expressão:

$$\frac{S}{N} (dB) = 20 \log \left(\frac{X_M}{r} \right),$$

com:

$$X_M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad \text{e} \quad r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_M - X_i)^2}{n}}$$

sendo X_i a média do valor do pixel para cada linha.

Na Figura 82, pode ser vista a tela do software do SEIGSE. As quatro primeiras linhas coloridas mostram para o usuário as linhas completas de imagem adquiridas do CCD, as seguintes mostram um *zoom* na região de interesse e o gráfico mostra os dados da banda selecionada.

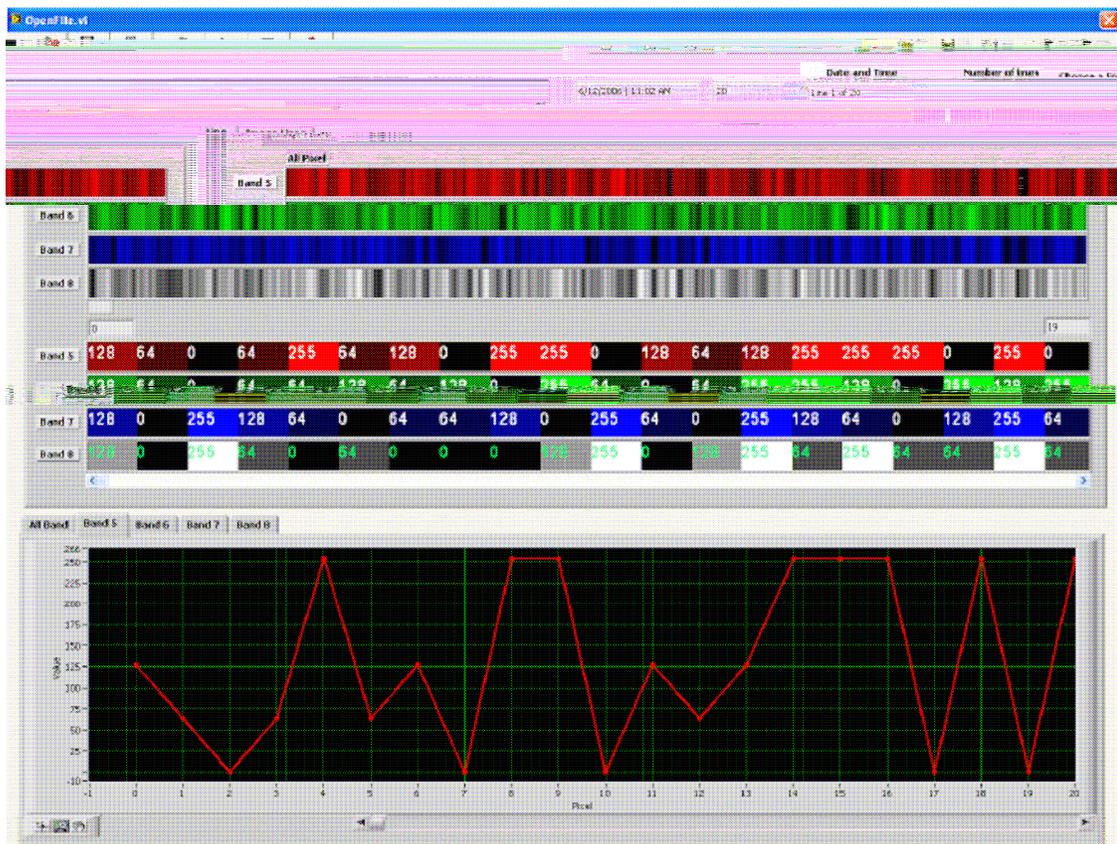


Figura 82 - Tela de aquisição de imagens

5.3.5 Testes ópticos

Os testes ópticos compreendem uma série de testes que objetivam medir o desempenho do sistema óptico da câmera, tais como MTF, luz espalhada, alinhamento, etc. Seus procedimentos envolvem o controle dos equipamentos esfera integradora, colimador principal e simulador de cena; a aquisição de imagem pelo SEIGSE; transmissão de dados para o CONTGSE; e a realização dos cálculos necessários sobre os dados adquiridos. A discussão sobre os procedimentos destes testes foge do escopo deste trabalho conforme comentado no item 1.6.

Capítulo 6

Conclusão

Neste trabalho, foi apresentado o desenvolvimento do equipamento de testes eletrônicos para a câmera multiespectral do satélite CBERS3&4 (GSE). O projeto foi realizado com base no Modelo de Referência para o desenvolvimento de produtos Mecatrônicos (MRM), apresentado em BARBALHO (2006). Todo o sistema foi testado e validado para executar os testes nas fases de desenvolvimento da câmera, de verificação do subsistema e de integração no satélite.

O projeto dos satélites CBERS trouxe significativos avanços científicos ao Brasil, que caminha em uma trajetória ascendente na exploração de tecnologia espacial. Estas aplicações buscam o limite da tecnologia existente e exigem um elevado nível de segurança e confiabilidade. Engenharia de sistemas e outras áreas de estudo que buscam tais características em projetos complexos mostram-se cada vez mais necessárias.

O desenvolvimento do GSE foi uma pesquisa aplicada possuindo, além do compromisso com a investigação científica, características típicas de produto como prazo de entregas e requisitos de construção. O estudo previamente realizado em engenharia de sistemas e em técnicas de processo de desenvolvimento de produtos (PDP) foi essencial para a percepção da necessidade de um plano bem definido, com as atividades que deviam ser executadas.

A utilização de uma metodologia que visasse apenas a pesquisa ou um planejamento de projeto que não contemplasse as características e requisitos de um produto relacionado a um

subsistema espacial, certamente dificultaria o bom andamento do trabalho. A adoção de um modelo bem estruturado como o MRM proporcionou aos desenvolvedores uma clara visão do estado do projeto, guiando-os com as melhores práticas observadas tanto nas pesquisas acadêmicas quanto nas empresas. E ainda, o embasamento no modelo de referência contribuiu para o andamento do projeto de forma rápida e consistente, auxiliando nas especificações, na organização do cronograma, na escolha das tecnologias empregadas, na divisão das atividades e na elaboração de toda a documentação necessária.

As tecnologias de comunicação adotadas: RS232, GPIB, *Ethernet* e *Wi-Fi*, se mostraram adequadas no controle dos equipamentos. A utilização da instrumentação virtual e de placas de entrada/saída de dados configuráveis, no lugar de equipamentos comuns, facilitou o desenvolvimento do projeto, permitindo que grande parte da lógica e das conexões fossem realizadas em *software*, aumentando a flexibilidade e diminuindo a necessidade de re-trabalhos em *hardware*.

O uso de interfaces e tecnologias padrões, empregadas rotineiramente em ambientes industriais, simplificou a implementação das funcionalidades necessárias. As soluções já eram certificadas e bem documentadas. Com isso, a eletrônica desenvolvida reduziu-se à adaptação e ao condicionamento de sinais. A arquitetura de placas modulares ligadas a um duto de dados foi vantajosa, pois eventuais modificações e manutenções podem ser feitas localmente, sem grandes impactos no resto do sistema.

Mesmo com o subsistema MUX ainda em desenvolvimento, o GSE já está sendo utilizado para realizar testes eletrônicos e ópticos, auxiliando na qualificação dos diversos modelos que a câmera espacial deve passar até chegar ao modelo de voo. Portanto, o GSE está apto a testar todos os requisitos funcionais do subsistema MUX, cumprindo todas as suas especificações. E ainda, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais aprovou todas as entregas exigidas até o momento.

Por fim, este trabalho envolveu diversas tecnologias que podem ser aplicadas no desenvolvimento de equipamentos industriais, médicos e comerciais; e ainda, está inserido num contexto de desenvolvimento de tecnologia espacial pioneiro no país, propiciando assim grande crescimento profissional ao mestrando.

6.1 Trabalhos futuros

O desenvolvimento de todo o GSE envolveu diferentes experiências e resultados que não foram abordadas nessa dissertação, mas cujo estudo mais aprofundado pode produzir outras contribuições científicas.

O processo de desenvolvimento de *software* adotado possui características mistas de modelos tradicionais e métodos ágeis. Uma comparação analítica, entre a abordagem usada e os modelos já publicados, pode levantar importantes aspectos para essa área.

Pesquisas relacionadas com os testes aplicados pelo GSE, enfatizando seus métodos e os resultados obtidos do subsistema MUX são importantes para os próximos equipamentos de sensoriamento remoto a serem construídos.

Outros processos de desenvolvimento de produtos devem ser analisados, observando suas aptidões para produtos da área espacial, que geralmente possuem requisitos distintos dos convencionais. Neste contexto, novas técnicas de engenharia de sistemas, como a linguagem de modelagem SysML, que agreguem características de tolerância, confiabilidade, testabilidade e geração automática de padrões devem ser buscadas.

Referências *

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA. Ministério da Ciência e Tecnologia. Centro de Lançamento da Barreira do Inferno. Disponível em: <<http://www.aeb.gov.br/conteudo.php?ida=27&idc=111>>. Acesso em: 20 jul. 2006.

AGILENT TECHNOLOGIES. **System DC Power Supply Series N5700: User's Guide**. New Jersey, 2006. 132 p.

APOGEE INSTRUMENTS INC. High performance cooled CCD imaging solutions. Blooming vs. Anti-Blooming. Disponível em: <<http://www.ccd.com/ccd102.html>>. Acesso em: 12 nov. 2006.

BARBALHO, S.C.M. **Modelo de referência para o desenvolvimento de produtos mecatrônicos: proposta e aplicações**. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006. 257 p.

BRADLEY, D.A. *et al.*. **Mechatronics and the design of intelligent machines and systems**. Cheltenham, United Kingdom: Stanley Thornes, 2000. 348 p.

CBERS. **Satélite Sino Brasileiro de Recursos Terrestres**. Disponível em: <http://www.cbbers.inpe.br/pt/index_pt.htm>. Acesso em: 22 jul. 2006.

DAVIDSON, M. W. Electronic Imaging Detectors, 2005. Molecular Expressions™. Optical Microscopy Primer. Digital Imaging in Optical Microscopy. Disponível em: <<http://micro.magnet.fsu.edu/primer/digitalimaging/digitalimagingdetectors.html>>. Acesso em: 15 nov. 2006.

FELLERS, T. J.; DAVIDSON, M. W. CCD Noise Sources and Signal-to-Noise Ratio, 2004. Molecular Expressions™. Optical Microscopy Primer. Digital Imaging in Optical Microscopy. Disponível em: <<http://micro.magnet.fsu.edu/primer/digitalimaging/concepts/ccdsnr.html>>. Acesso em: 12 nov. 2006.

_____. CCD Saturation and Blooming. Molecular, 2005. Expressions™. Optical Microscopy Primer. Digital Imaging in Optical Microscopy. Concepts in Digital Imaging Technology. Disponível

* De acordo com:

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023: informação e documentação: referências: elaboração**. Rio de Janeiro, 2002.

em: <<http://micro.magnet.fsu.edu/primer/digitalimaging/concepts/ccdsatandblooming.html>>. Acesso em: 11 nov. 2006.

INCOSE. Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge -- G2SEBoK: A comprehensive guide and a singular resource for understanding the extent of the practice of Systems Engineering. Disponível em: <<http://g2sebok.incose.org/>>. Acesso em: 20 ago. 2006.

LABORATÓRIO DE INTEGRAÇÃO E TESTES. Qualificação de Sistemas Espaciais. Montagem, Integração e Teste de Satélites. Disponível em: <http://www.lit.inpe.br/qualificacao_sistemas_espaciais_montagem.htm>. Acesso em: 22 jul. 2006.

MEDEIROS, H. P. **Sistema Integrado de Aquisição e Processamento de Imagens**. Dissertação (Mestrado). Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2005. 95 p.

MECB. Missão Espacial Completa Brasileira. Disponível em: <<http://www.inpe.br/programas/mecb/default.htm>>. Acesso em: 23 jul. 2006.

NATIONAL SEMICONDUCTOR. **LVDS Owner's Manual: Low Voltage Differential Signalling**. 3rd Edition. 94 p.

NATIONAL INSTRUMENTS. Virtual Instrumentation and Traditional Instruments. Disponível em: <<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/4757>>. Acesso em: 18 nov. 2006a.

_____. Virtual Instrumentation for Test, Control, and Design. Disponível em: <<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/4762>>. Acesso em: 18 nov. 2006b.

_____. PACs for Industrial Control, the Future of Control. Disponível em: <<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/3755>>. Acesso em: 20 nov. 2006c.

_____. GPIB Hardware and Software Specifications. Disponível em: <<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/3388>>. Acesso em: 20 nov. 2006d.

_____. Hardware's Role in Virtual Instrumentation. Disponível em: <<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/3397>>. Acesso em: 23 nov. 2006e.

NIKON. Introduction to Charge-Coupled Devices (CCDs). Nikon MicroscopyU. The Digital Imaging in Optical Microscopy. Disponível em: <<http://www.microscopyu.com/articles/digitalimaging/ccdintro.html>>. Acesso em: 10 nov. 2006.

O'SHEA, P. Counters Uncover Jitter in Communications Systems. Evaluation Engineering. Disponível em: <<http://www.evaluationengineering.com/archive/articles/0696coun.htm>>. Acesso em: 12 nov. 2006.

SEDRA, A. S.; SMITH, K. C. **Microelectronic Circuits**. Fourth Edition. São Paulo: MAKRON Books, 2000. 1270 p.

SYXML PARTNERS. SysML Open Source Specification Project. Disponível em: <<http://www.sysml.org/>>. Acesso em 20 ago. 2006.

TANENBAUM, A. S. (2002). **Computer Networks**. 4th Edition. Indiana: Prentice Hall, 2002. 912 p.

TEKTRONIX. Understanding and Characterizing Timing Jitter. Disponível em: <<http://www.tek.com/jitter>>. Acesso em: 07 out. 2006.

INOVAÇÃO UNICAMP. História do Programa Espacial Brasileiro, 2003. Disponível em: <<http://www.inovacao.unicamp.br/politicact/politicact-alchistoria.shtml>>. Acesso em: 20 jul. 2006.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)