

# ELECTRICAL GROUND SUPPORT EQUIPMENT (EGSE) PARA UM ON-BOARD COMPUTER (OBC)

Jonas Bianchini Fulindi<sup>1,2</sup>, Geilson Loureiro<sup>1,3</sup>, Alessandro Gerlinger Romero<sup>1,4</sup>, Fabrício de Novaes Kucinskis<sup>1,5</sup>, Carlos Eduardo Andrade Lemonge<sup>1,6</sup>, Renan Fernandes Vazquez<sup>1,7</sup>, Magda Aparecida Silverio Miyashiro<sup>1,8</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
12227-010, São José dos Campos, SP, Brasil

<sup>2</sup>jonas.bianchini@yahoo.com.br, <sup>3</sup>geilson@lit.inpe.br, <sup>4</sup>romgerale@yahoo.com.br, <sup>5</sup>fabricio@dea.inpe.br, <sup>6</sup>carloveduardo@adm.inpe.br, <sup>7</sup>renan.vazquez@gmail.com, <sup>8</sup>magda.silverio@metodista.br

**Resumo:** Este trabalho apresenta uma abordagem de engenharia de sistemas para o processo de desenvolvimento de um equipamento de suporte elétrico (EGSE) para um computador de bordo (OBC) de um satélite. Este trabalho foi desenvolvido como complemento da disciplina de introdução à engenharia de sistemas, do curso de pós graduação do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. O processo de engenharia de sistemas começa com a análise de stakeholders e seus interesses no sistema. Após elicitação dos requisitos de stakeholders, os requisitos são derivados para requisitos de sistema. Através da análise funcional é demonstrado a funcionalidade do produto, e a sua organização que implementa os processos, descrito nos diagramas, o que responde o que o sistema é requerido para fazer. Aspectos comportamentais e físicos são modelados para produto e organização. A modelagem da análise de arquitetura mostra os fluxos entre os elementos do ambiente e a arquitetura interna do EGSE. Uma matriz de referências cruzadas mostra a alocação funcional do subsistema.

**Palavras - chave:** engenharia de sistemas, análise funcional, análise de arquitetura

## 1 Introdução

Todo equipamento a ser utilizado no segmento espacial, deve passar por uma série de testes ambientais e funcionais em diferentes etapas do desenvolvimento de um satélite.

Para a realização dos testes funcionais, é necessário o uso de um equipamento de testes (Electrical Ground Support Equipment, EGSE), que tenha a capacidade de verificar se todas as funções do equipamento sob teste (Equipment Under Test, EUT) estão sendo realizadas apropriadamente.

Entre os subsistemas de um satélite, talvez o que demande maior cuidado na realização dos testes funcionais seja o computador de bordo (On-Board Computer, OBC). Todos os telecomandos (TC) devem ser executados, todas as telemetrias (TM) adquiridas, e todos os sinais enviados do OBC a outros subsistemas ou adquiridos deles, devem ser monitorados para verificar se o OBC atende a todos os seus requisitos. Tendo em vista que usualmente existem dezenas de TCs e centenas de TMs, o projeto do EGSE de um OBC pode ser tão ou mais complexo que o do próprio OBC.

O EGSE do OBC também é um caso à parte pelo fato de ser possível utilizá-lo para simular a operação do satélite durante o seu desenvolvimento e integração, e mesmo durante a execução da missão, com o satélite em órbita.

## 2 Análise do ciclo de vida

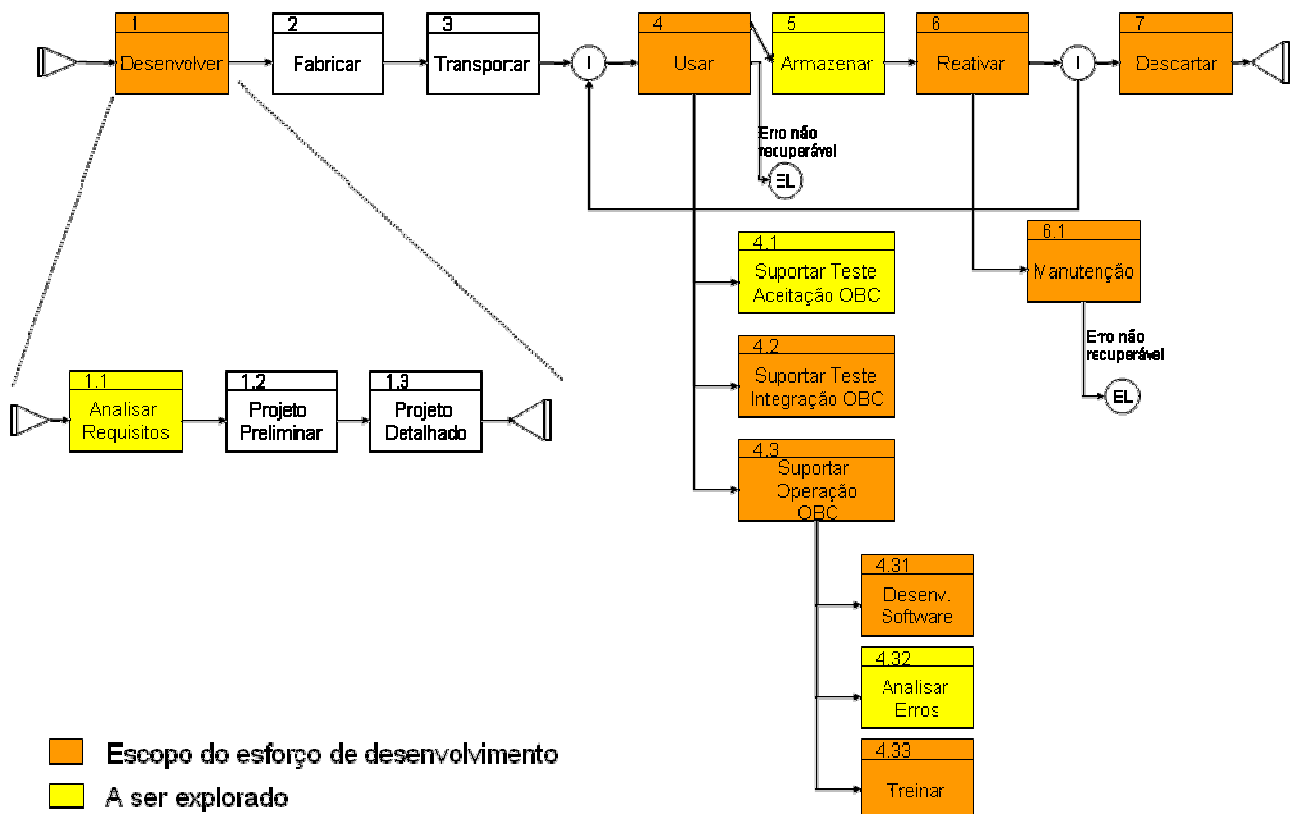
A análise do ciclo de vida é um processo para desenvolver o sistema incluindo os requisitos, a validação, o treinamento e os stakeholders. Neste trabalho são identificados os potenciais processos do ciclo de vida, são eles:

- Desenvolvimento
- Fabricação
- Operação
  - Teste de aceitação do OBC
  - Testes durante a integração do OBC
  - Operação do OBC através do EGSE
- Transporte entre diferentes instalações
- Armazenagem durante a missão
- Reativação do EGSE (para análise de erros do OBC em vôo)
- Descarte

## 2.1 Escopo do esforço de desenvolvimento

No escopo do esforço de desenvolvimento são escolhidos alguns processos, nos quais serão analisados “Analisar Requisitos” e “Armazenar” para organização, e “Suportar Teste Aceitação OBC” e “Analisar Erros” de produto, Figura 1.

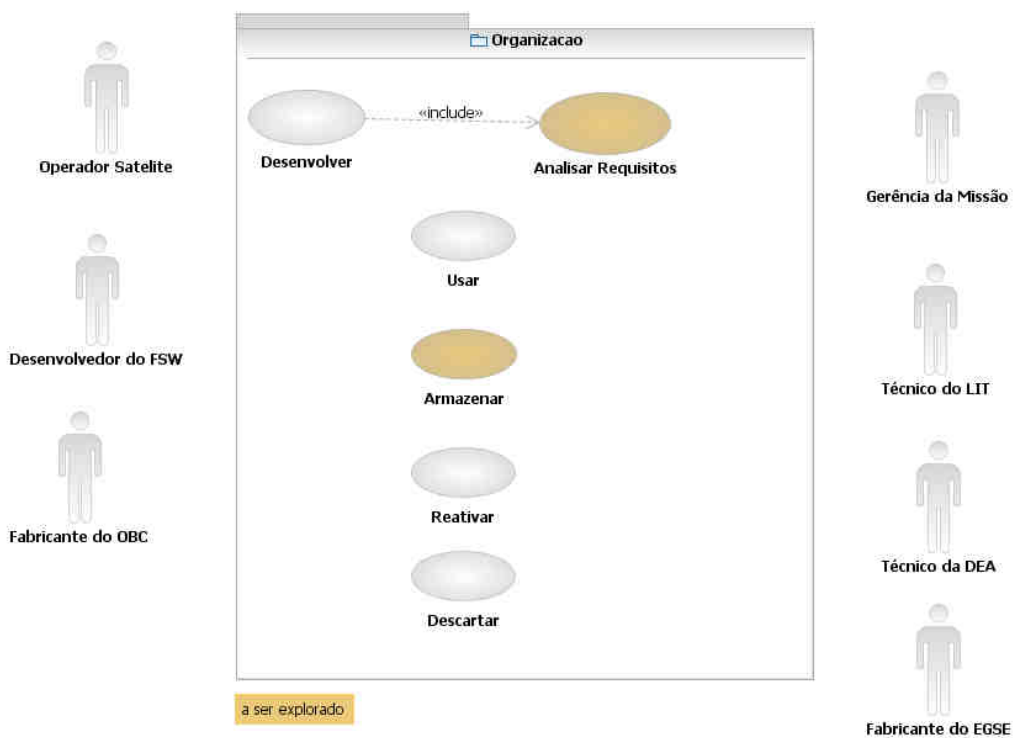
A atividade de engenharia de sistemas atravessa todo o ciclo de vida do programa, desde análise de sistemas, definição de requisitos e projeto conceitual até o resultado do programa, através da produção, suporte operacional, planejamento de substituição, e o descarte no fim do programa.



**Figura 1. Escopo do Esforço de Desenvolvimento.**

Na Figura 2 são apresentados os processos que serão analisados na organização de desenvolvimento, e os stakeholders que interagem com a organização durante o ciclo de vida do produto.

Na Tabela 1 são listadas as unidades organizacionais que participam do esforço de desenvolvimento, e suas participações no ciclo de vida do produto.



**Figura 2. Escopo do Esforço do Desenvolvimento da Organização.**

**Tabela 1. Organizações envolvidas no ciclo de vida.**

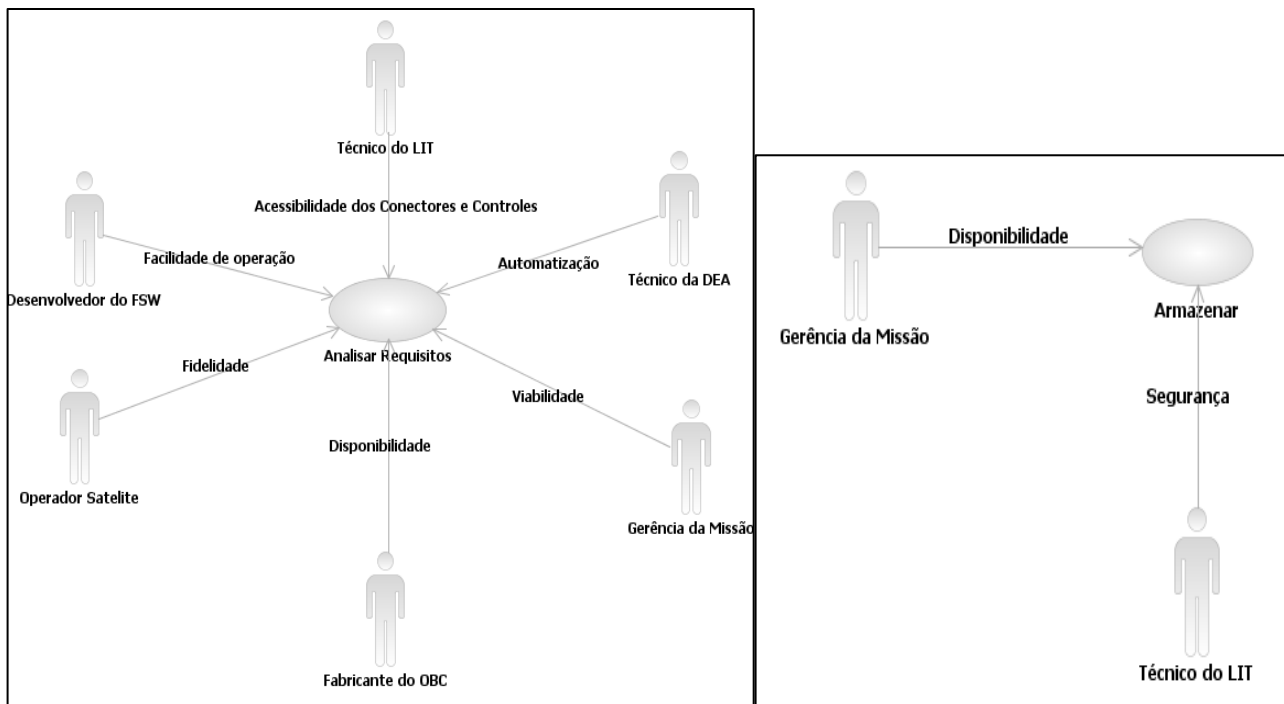
Organização	Participação no ciclo de vida
Gerência do Programa	Órgão financiador e supervisor de todos os processos do ciclo de vida.
Divisão de Eletrônica Aeroespacial (DEA)	Executa o desenvolvimento, testes durante a integração do OBC, operação, armazenagem, reativação e descarte, além de participar, como entidade supervisora, do gerenciamento da fabricação.
Empresa Contrata para a Fabricação do EGSE	Executa o processo de fabricação.
Empresa Contratada para a Fabricação do OBC	Participa do processo de teste de aceitação do OBC e da análise de erros.
Laboratório de Integração e Testes (LIT)	Executa o processo de testes durante a integração do OBC junto à DEA.
Centro de Controle de Satélites (CCS)	Pode executar o processo de operação do OBC com o EGSE dentro da malha simulada do satélite, para o treinamento dos operadores.

### 3 Análise de stakeholders e requisitos

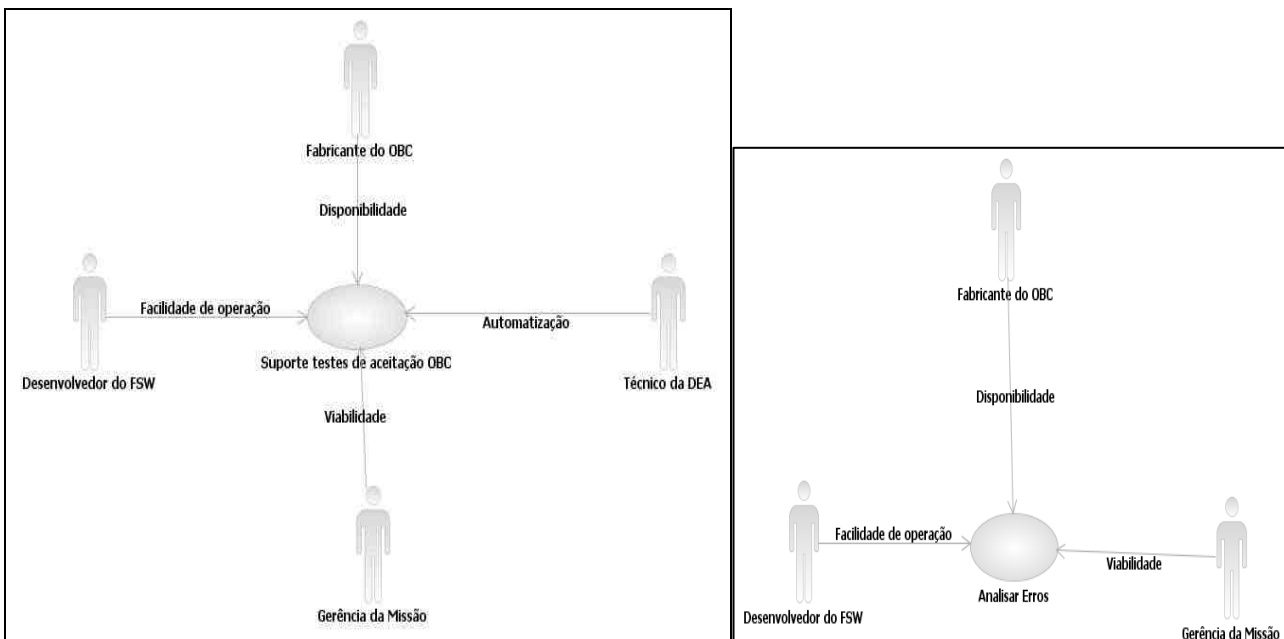
Stakeholders incluem quaisquer pessoas ou grupos que tenham interesses ou que tenham alguma necessidade em particular no sistema, eles afetam ou são afetados por um produto durante o seu ciclo de vida.

Requisito é uma declaração que identifica a capacidade, característica ou o fator de qualidade de um sistema de forma a ter valor e utilidade para o usuário ou o cliente, (Young, 2004).

Na Figura 3 e na Figura 4 são mostrados os interesses dos stakeholders para organização e produto respectivamente.



**Figura 3. Stakeholders e Interesses para o Processo de “Analisar Requisitos” e “Armazenar” para Organização.**



**Figura 4. Stakeholders e Interesses para o Processo de “Suporte ao Teste de Aceitação do OBC” e “Analisar Erros” para Produto.**

Na Tabela 2 são destacadas as “Measures of Effectiveness” (MoEs) do sistema. MoEs medem a satisfação dos stakeholders como sistema, na qual responde a questão de como será a efetividade ou a eficiência que o sistema deve desempenhar em sua missão. Na Tabela 3 são declarados os requisitos de Stakeholders.

Na Tabela 4 os requisitos de sistema estabelecem o que, quão bem e sob que condições o sistema deve cumprir os seus processos do ciclo de vida, satisfazendo os requisitos dos stakeholders anteriormente declarados.

O requisito é seguido de seu tipo (se é ‘Functional’, ‘Performance’ ou ‘Constraint’) como será verificado (se por Teste, Análise, Inspeção ou Demonstração) e a quem serão alocados (a Produto, Processo ou Organização).

**Tabela 2. MoEs dos Stakeholders.**

Stakeholders	Interesse	Métricas	Medidas
Operadores do satélite	Fidelidade	Manual de operação	Similaridade com o sistema de operação do satélite
Desenvolvedores do FSW	Facilidade de operação	Esforço para a operação	Tempo para a composição e envio de TCs e acesso a TM
Desenvolvedores do OBC	Disponibilidade	Produto completo	Data de entrega do EGSE
Desenvolvedores do EGSE	Estabilidade dos requisitos	Histórico dos requisitos	Número de modificações nos requisitos
Técnicos da DEA	Automatização	Procedimento de testes	Número de operações por item de teste
Técnicos do LIT	Acessibilidade dos Conectores e Controles	Esforço para a conexão e comando	Tempo para efetuar a conexão e controle
Gerência da missão	Viabilidade	Custo e tempo	Orçamento e cronograma

**Tabela 3. Requisitos de Stakeholders.**

Código	Solicitante	Requisito do Stakeholder
EGSE-STK-001	Oper. do Satélite	“Preciso que todas as combinações possíveis de TCs sejam enviadas, e seu resultado averiguado.”
EGSE-STK-002	Desenv. do FSW	“Preciso ter acesso a todas as TMs adquiridas durante as sessões de teste, para posterior análise.”
EGSE-STK-003	Desenv. do FSW	“Quero operar o OBC através deste equipamento para testar o FSW.”
EGSE-STK-004	Desenv. do FSW	“Preciso usar o EGSE para testar novas versões do SW antes de enviá-las ao satélite.”
EGSE-STK-005	Desenv. do FSW	“Preciso de uma interface Windows amigável que me permita operar o OBC através do EGSE (enviar TCs e receber TM).”
EGSE-STK-006	Desenv. do OBC	“Preciso que o EGSE esteja pronto antes do OBC.”
EGSE-STK-007	Desenv. do OBC	“O EGSE deverá fornecer energia para o OBC durante os testes.”
EGSE-STK-008	Técnicos da DEA	“Os procedimentos de teste devem ser realizados de forma automática, só pedindo minha intervenção quando necessário.”
EGSE-STK-009	Técnicos do LIT	“Deve haver um botão de pânico de fácil acesso, para interromper imediatamente e de forma segura a operação do EGSE.”
EGSE-STK-010	Técnicos do LIT	“Os conectores do EGSE com o OBC devem ser posicionados de forma a propiciar fácil acesso, e identificados unicamente para evitar conexões erradas.”
EGSE-STK-011	Gerência Missão	“Preciso ter relatórios para analisar e registrar os resultados dos testes realizados.”
EGSE-STK-012	Gerência Missão	“Preciso que o EGSE possua uma caixa, ou rack, adequado para o armazenamento por longos períodos e para o transporte, por vias aérea, terrestre e marítima.”

**Tabela 4. Requisitos de Sistema.**

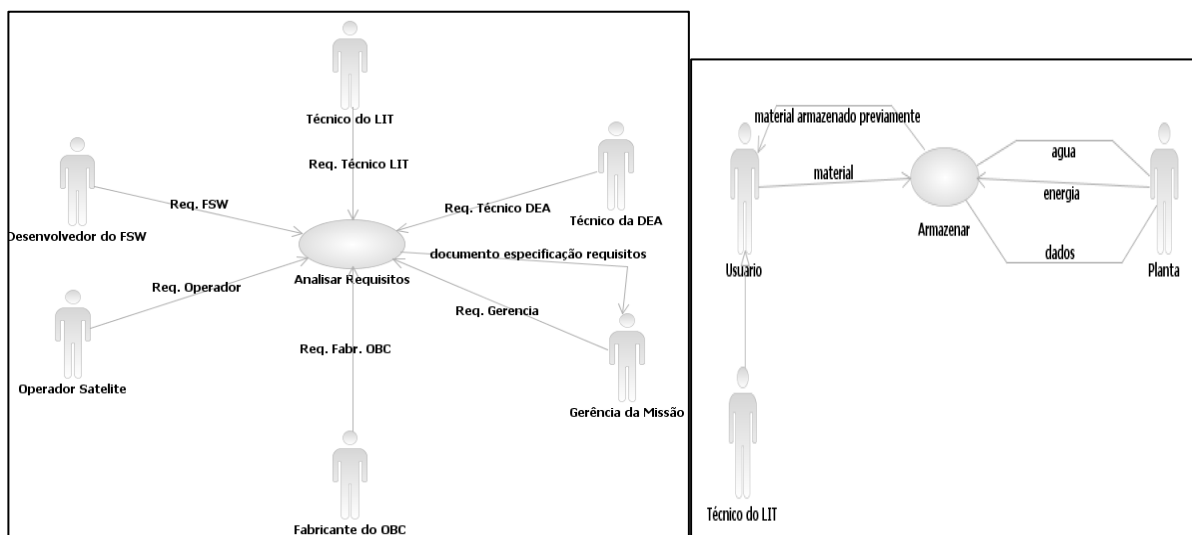
Código	Descrição do Requisito	Interesse	Tipo	PPO	Verif
EGSE-SIS-004	O sistema deve receber telecomandos para o OBC em uma interface gráfica, Windows, quando o OBC estiver conectado e operando em um de seus modos, o tempo máximo para receber um telecomando é 2 segundos, conforme descrito no documento XYZ.	Facilidade de operação	C	Prod.	D
EGSE-SIS-005	A organização deve entregar o equipamento antes da data de entrega do OBC, conforme descrito no documento XYZ.	Disponibilidade	C	Org.	I
EGSE-SIS-010	O EGSE deve prover conectores visíveis e que evitem conexões equivocadas, só pode permitir alterações em seus conectores quando o mesmo estiver desligado, o tempo máximo para a conexão do EGSE ao OBC é de no máximo 30 minutos.	Acessibilidade	C	Prod.	I

#### 4 Análise funcional

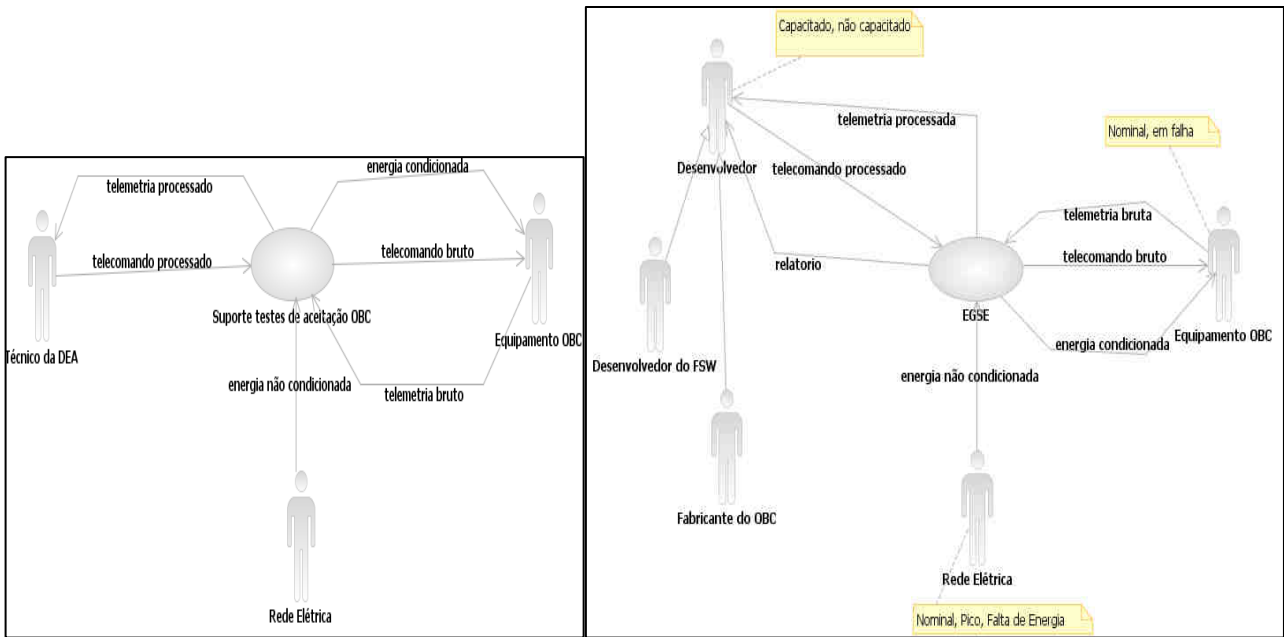
Figuras 5 a 9 demonstram a decomposição dos processos através da análise funcional, utilizando análise estruturada, cujo objetivo é identificar o sistema, ambiente, as interfaces lógicas externas e internas, e as funções, analisando os modos de falhas para as funções, exemplo Figura 12, para demonstrar o que o sistema deve fazer.

As Tabelas 5 e 6 constituem listas de eventos. Uma lista de eventos possui duas colunas, estímulo e resposta. Estímulo é o que um elemento do ambiente faz. Resposta é o que um elemento do sistema faz. As respostas representam assim algumas funções do sistema. A partir dessas funções inicialmente identificadas, outras funções são derivadas.

Os diagramas passaporte ressaltam as interfaces lógicas externas do sistema. Essas interfaces são representadas pelos fluxos entre o sistema e o ambiente. A cada um desses fluxos podem ser associadas funções. A não realização ou a realização parcial ou a realização com desempenho abaixo do esperado dessas funções, constituem-se em falhas que devem ser adicionalmente analisadas, Figura 10 e 11.



**Figura 5. Análise de Contexto para “Analisar Requisitos” e “Armazenar”.**



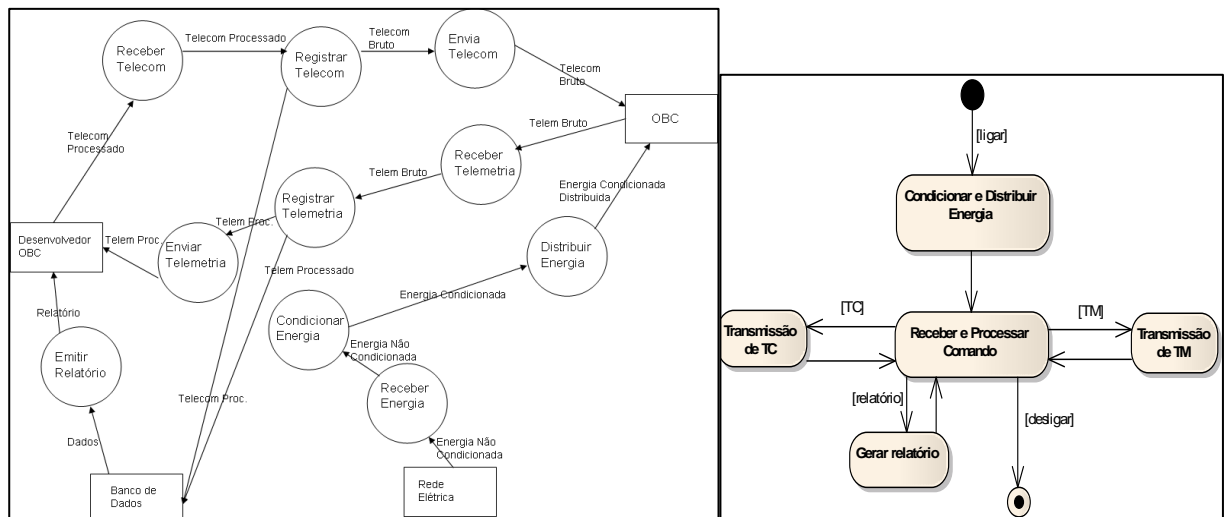
**Figura 6. Análise de Contexto para “Suporte ao Teste de Aceitação do OBC” e “Analisar Erros”.**

**Tabela 5. Lista de Eventos para “Armazenar”.**

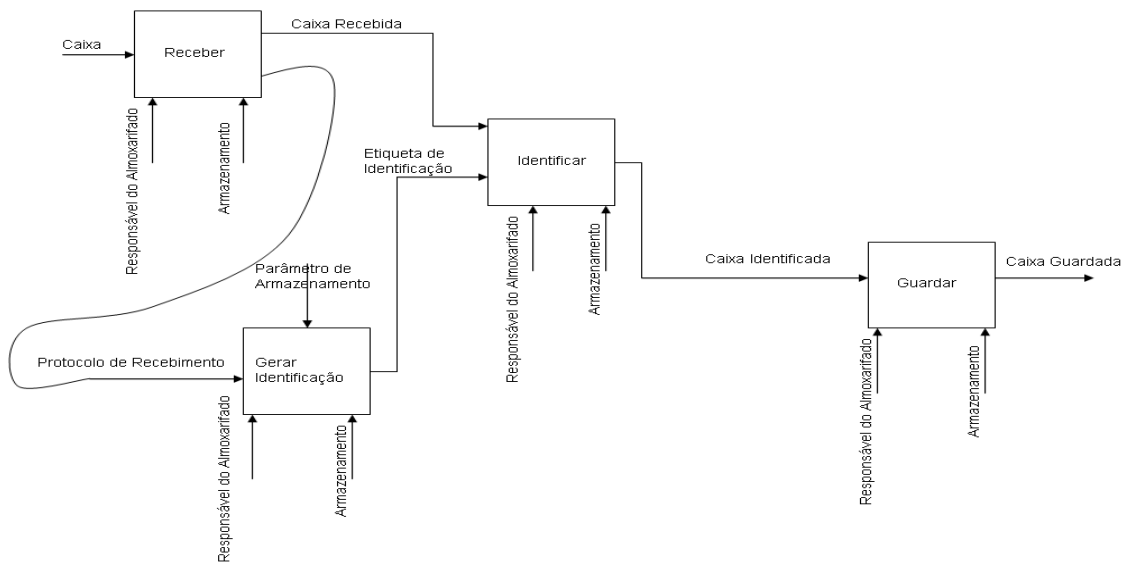
Estímulo	Resposta
Técnico do LIT entrega EGSE	Sistema recebe EGSE
Responsável almoxarifado requisita identificação do EGSE	Sistema gera identificação para o EGSE
Responsável almoxarifado identifica EGSE	Sistema recebe EGSE identificado
Responsável almoxarifado guarda EGSE	Sistema propicia condições ambientais pré-estabelecidas

**Tabela 6. Lista de Eventos para “Analisar Erros”.**

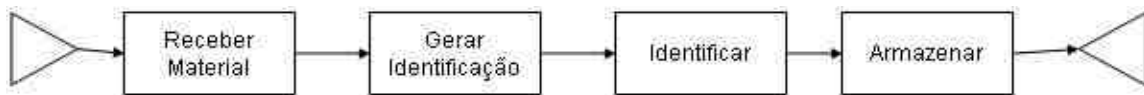
Estímulo	Resposta
Desenvolvedor envia telecomando	Sistema recebe telecomando
Desenvolvedor recebe telemetria	Sistema envia telemetria
Equipamento OBC recebe telecomando	Sistema envia telecomando
Equipamento OBC envia telemetria	Sistema recebe telemetria
Equipamento OBC recebe energia	Sistema distribui energia
Rede elétrica envia energia	Sistema recebe energia



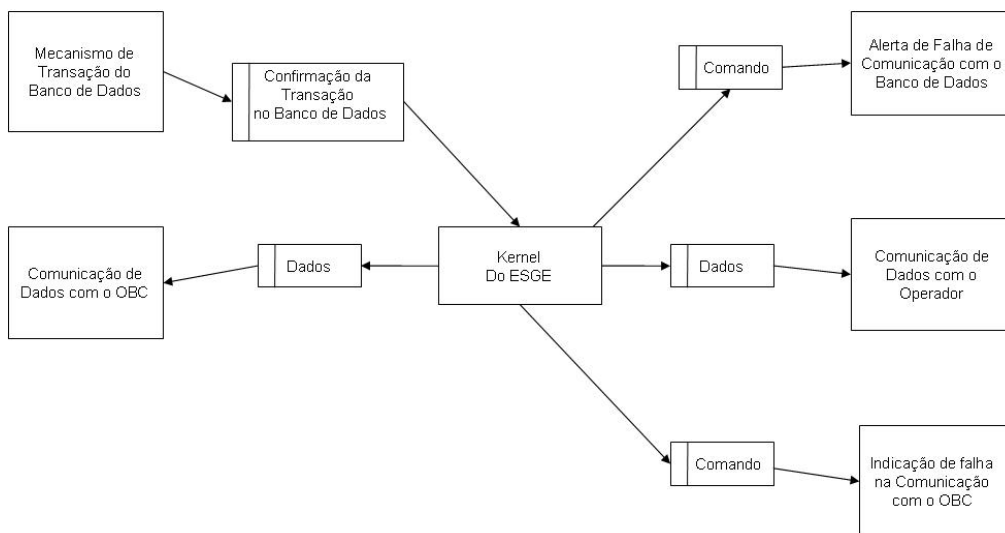
**Figura 7. DFD e Activity Diagram para “Analisar Erros”.**



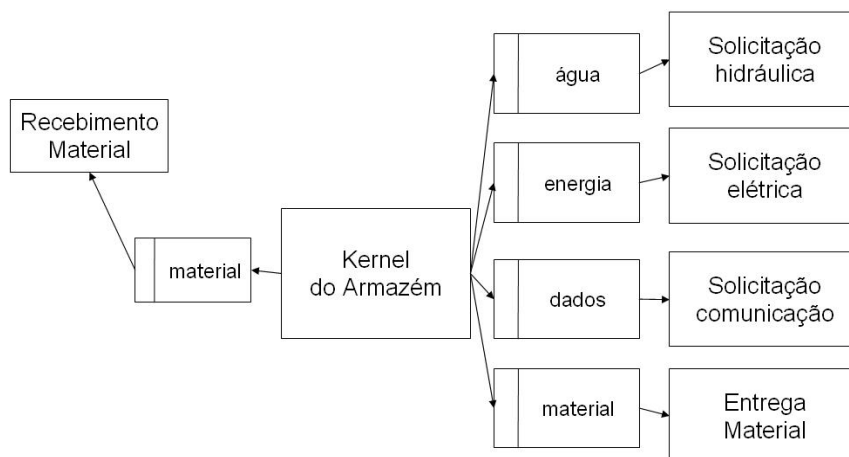
**Figura 8. IDEF0 para “Armazenar”.**



**Figura 9. Behavior Diagram para “Armazenar”.**



**Figura 10. Diagrama Passaporte para “Analisar Erros”.**



**Figura 11. Diagrama Passaporte para “Armazenar”.**



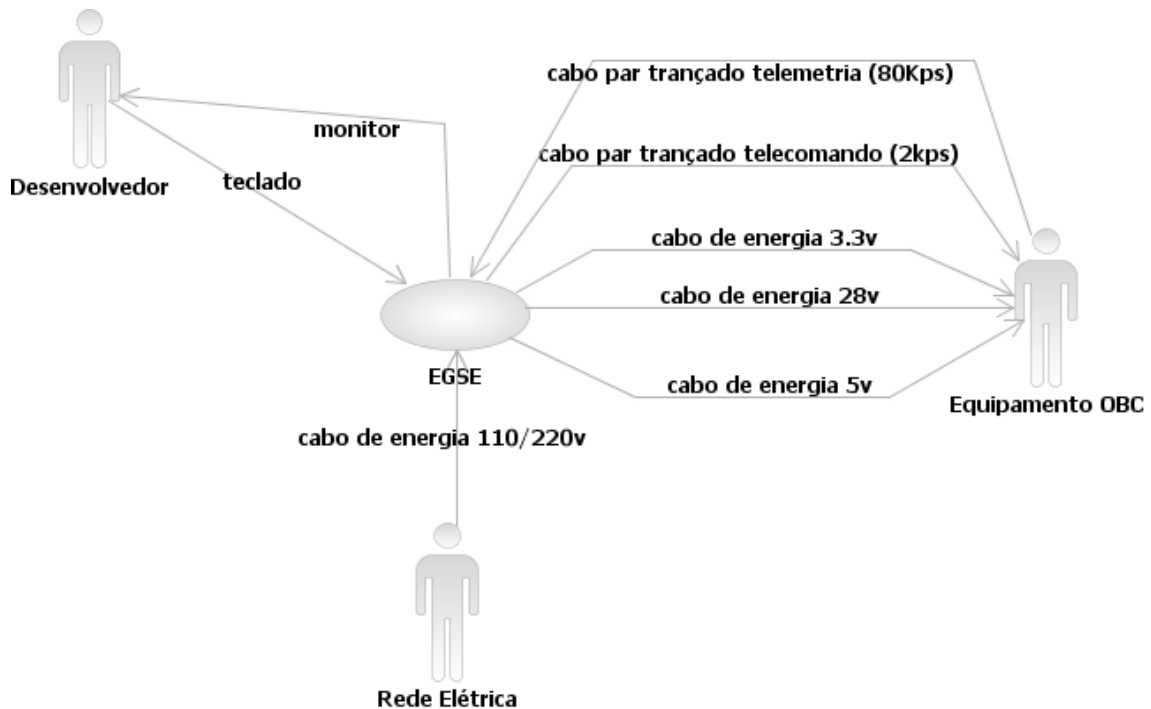
Circunstância	Tipo	Falha	Perigo	Consequencia	Grav.	Causa	Deteccão	Prob.	Risco	Funções	Verificação
Pico Rede Elétrica	Circunstancia	Sobretensão Equipamento	Queimar OBC	Perder OBC	5	Pico Rede Elétrica	4	3	15	Estabilizacão / Prevenção	Inspeção
Comunicacão de Dados com o OBC	Passaporte	Ausencia de comunicacão entre o OBC e EGSE	Perda do Teste	Registro Teste Inconsistente	1	Rompimento dos cabos, queima de conectores, falta de conexão.	5	1	1	Sinalizacão de conexão ok (leds)	Demonstracão
Registrar Telecomando	Não-funcao	Não Registrar Completamente	Falta Informacão	Registro Teste Inconsistente	3	Indisponibilidade do BD	3	2	6	Mecanismo de Transacão / Protecão	Teste

**Figura 12. Análise de Falhas.**

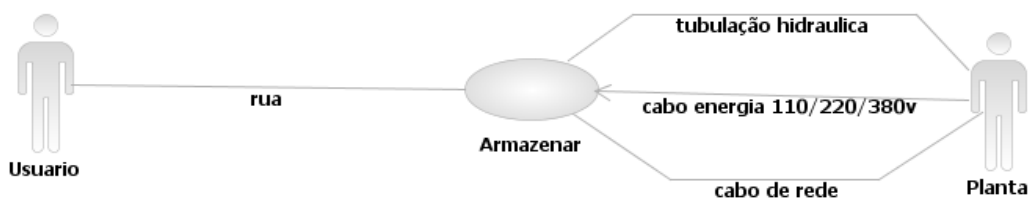
## 5 Análise de arquitetura

Após análise funcional, a análise da arquitetura objetiva identificar as interfaces físicas externas por onde fluem o fluxo de energia, material e informação (Figura 13), entre os elementos do ambiente e o sistema (Figura 14, Figura 15), os elementos da implementação, e identificar as interfaces físicas internas (Figura 16). Esses elementos físicos identificados têm funções alocadas a eles, através da matriz de alocação (Figura 17).

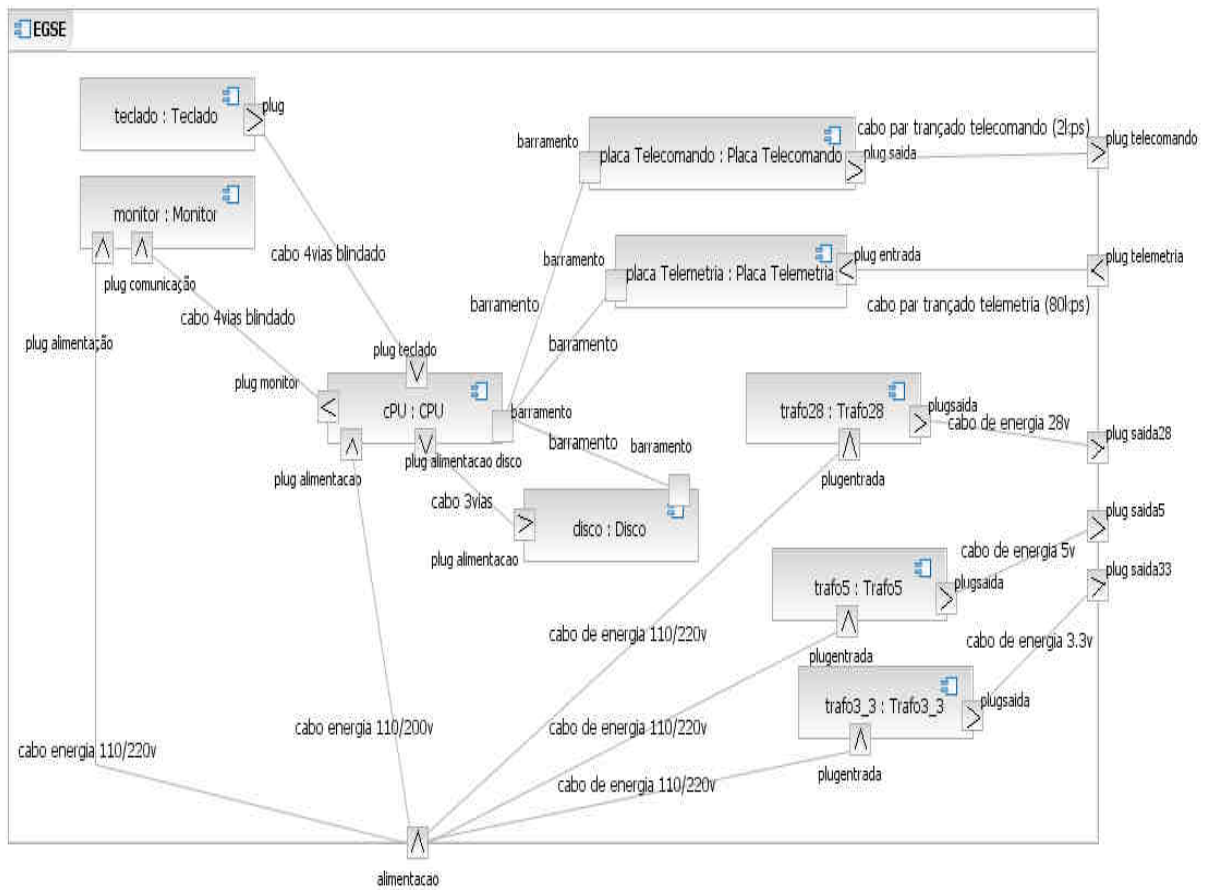
É o momento quando a função toma forma, levando em conta as interfaces e as restrições físicas do projeto.



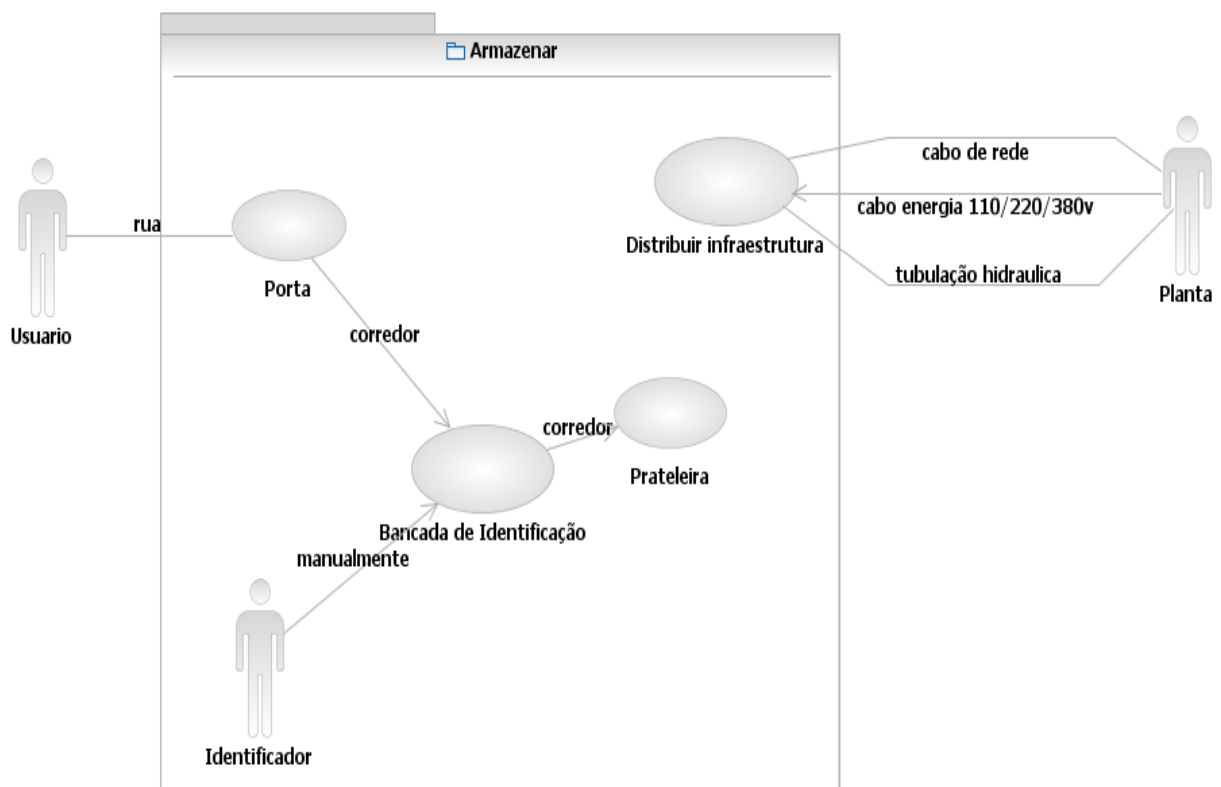
**Figura 13. Análise de Contexto Físico para “Analisar Erro” de Produto.**



**Figura 14. Análise de Contexto Físico para “Armazenar” de Organização.**



**Figura 15. Análise da Arquitetura Interna para “Analisar Erro” de Produto.**



**Figura 16. Análise da Arquitetura para “Armazenar” de Organização.**

		Subsistemas								
		Monitor	Teclado	Disco	CPU	Placa Telemetria	Placa Telecomando	Trafo 28	Trafo 5	Trafo 3.3
Funções	Prover Recebimento de Telecomando	■					■			
	Registrar Telecomando			■	■					
	Prover envio de Telecomando		■				■			
	Prover envio de Telemetria		■			■				
	Registrar Telemetria			■	■					
	Prover recebimento de Telemetria	■				■				
	Prover Relatorio	■		■	■					
	Receber Energia	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Prover Energia Condicionada							■	■	■
	Distribuir Energia Condicionada							■	■	■

**Figura 17. Matriz de Alocação Funcional de Subsistemas.**

## 6 Conclusões

Este trabalho foi realizado como parte da disciplina de Engenharia de Sistemas, ministrado no primeiro período de 2009 no curso de pós-graduação do INPE. As práticas exercitadas durante a realização deste trabalho mostraram-se consistentes, com a passagem de uma etapa para outra ocorrendo de forma bastante natural demonstrando a visão das necessidades dos stakeholders, os requisitos de sistema e no desdobramento das funções. Este tipo de análise permitiu uma visão do processo e do produto ao longo do ciclo de vida, contribuindo para que os resultados sejam mais efetivos que os da engenharia voltada para componentes ou para montagem.

## 7 Referências

Curso de Introdução à Engenharia de Sistemas Espaciais, CSE-201-4. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Material de Aula. 2009.

Systems Engineering Handbook. International Council on Systems Engineering (INCOSE). Version 2A, 1 June 2004.

Young, R. R., “The Requirements Engineering Handbook”. Artech House, Inc., 2004.

Yourdon, E., “Análise Estruturada Moderna”. Ed.Campus, 1990.