

Estudo de Caso

Custo da Não Qualidade entre os satélites CBERS-1&2 **Jônatas Campos de Oliveira e Petrônio Noronha de Souza**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais,
Coordenação de Engenharia e Tecnologia Espacial,
Curso de Engenharia e Gerencia./ de Sistemas Espaciais (CSE), São José dos Campos, SP, 12227-010
jonatas@dss.inpe.br e petronio.souza@lit.inpe.br

***Resumo:** Este trabalho apresenta resultados sobre Custo da Qualidade com foco na Não Qualidade entre os satélites CBERS-1&2. Ele foi elaborado com base numa pesquisa no banco de dados da Garantia do Produto para o programa CBERS considerando como Não Qualidade as falhas aqui tratadas como Não-Conformidades e as modificações de engenharia ocorridas durante a fase de desenvolvimento.*

***Palavras-chaves:** custo, custo da qualidade, sistema da qualidade, CBERS1&2*

1 Introdução

Faremos um estudo comparativo entre os satélites CBERS-1 e CBERS-2 no que se refere à Não-Qualidade observando as particularidades de cada projeto de acordo com o contrato estabelecido entre INPE e a CAST e contemplando somente os equipamentos configurados e fornecidos pelo INPE. Com isso, apontaremos tendências relativas à melhoria ou não do sistema da qualidade implantado para o programa CBERS, tendo como parâmetro o custo da qualidade com enfoque nas falhas (Não-Conformidades) e nas modificações de engenharia (ECR's).

2 Processos de Controle de Modificação de Engenharia e de Não-Conformidade

1) ECR

Esse processo tem a finalidade de controlar as modificações de projeto que ocorram durante o desenvolvimento do satélite.

Sua utilização se pronuncia com maior intensidade no início dos projetos, na fase de concepção e projeto preliminar, diminuindo ao longo do desenvolvimento.

É natural que essas modificações ocorram e sejam processadas a tempo para que o projeto atinja os requisitos técnicos estabelecidos, porém seu impacto em custo & prazo também devem ser medidos e controlados do ponto de vista de gerenciamento.

O custo dessas modificações recai sobre os custos das falhas internas, ou seja, dentro do gerenciamento do projeto e seus fornecedores, uma vez que as falhas externas estão relacionadas com defeitos que ocorram após o lançamento do satélite.

Portanto, saber quanto custa essas modificações e seus impactos na configuração do produto é dever do gerente de qualidade dentro do conceito de custo de prevenção e avaliação, e também obrigação informar ao gerente do projeto.

Posteriormente, apresentaremos um tratamento diferenciado para as modificações de engenharia de acordo com duas categorias estabelecidas para análise dos pedidos:

- Pedido de modificação de *Ciclo Curto*, ou seja, modificações relacionadas a erros de digitação, formatação e composição do documento.
- Pedido de modificação de *Ciclo Longo*, ou seja, com impacto em requisitos/especificação e seus desdobramentos.

2) RNC

Esse processo tem grande importância na qualidade do produto e nos processos de fabricação, pois além de apontar falhas e defeitos de natureza técnica, ele deve também ser o instrumento iniciador de um processo de melhoria do tipo PDCA, uma vez constatada a reincidência do problema.

Como se trata de falhas e correções internas, no caso específico dos satélites seus custos devem ser medidos e controlados pelo gerente da qualidade, não só para informar o gerente do projeto como também para medir o desempenho do sistema da qualidade implantado.

A classificação de uma Não-Conformidade tem demonstrado ser o ponto crucial para o seu tratamento, pois definida como sendo maior, sua consequência poderá ser impactante no projeto. Portanto, a definição do que é maior é extremamente importante para que não haja dúvida pelo fornecedor. As demais Não-Conformidades serão classificadas como menores e passíveis de serem solucionadas pelo fornecedor do produto sem interferência do *prime contractor*, mantendo apenas seus registros para uma conferência futura.

Entendemos como maiores as Não-Conformidades relativas a desempenho funcional, peso e volume, pois afetarão a configuração final do satélite e, também, sua interface com o veículo lançador.

De acordo com a norma ECSS-Q-20-09B (2002), as Não-Conformidades maiores são classificadas como sendo:

- Segurança das pessoas ou equipamentos;
- Qualquer requisito técnico operacional imposto pelo contrato;
- Confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade;
- Tempo de vida do produto;
- Intercambiabilidade dimensional e funcional;
- Interfaces com Hardware e Software reguladas por acordos do negócio;
- Testes de aceitação e qualificação aprovados por desvios e mudanças;
- Itens específicos de projetos os quais são propostos para serem sucateados;
- Rejeição de lote de componentes durante fabricação, screening e testes no caso de: usar como está o lote rejeitado, continuar o processo, retrabalho ou teste embora o lote não esteja conforme o especificado e Não-Conformidades detectadas após a entrega pelo fabricante:

Uma vez classificadas as Não-Conformidades como maiores ou menores segundo a sua severidade e consequências técnicas, inicia-se um processo de correção e prevenção, que implicará num impacto em custo&prazo, daí a necessidade de haver uma conexão com o planejamento do projeto para controle e medição dos índices de desempenho do fornecedor.

- Fluxograma ECR

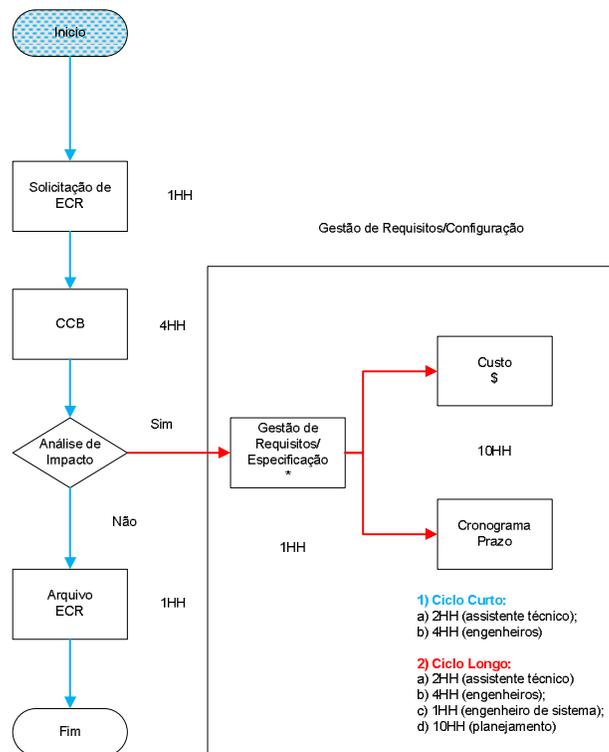


Figura 1. Fluxograma do processo ECR.

De acordo com as atividades identificadas no processo ECR na Figura 1, temos dois ciclos:

- Ciclo Curto (caminho azul): Correções e alterações de texto.
- Ciclo Longo (caminho vermelho): Modificações de requisitos/especificações.

Mostramos na Figura 2 o fator positivo do esforço da engenharia de sistema em controlar custo e prazo e reduzir as incertezas do projeto.

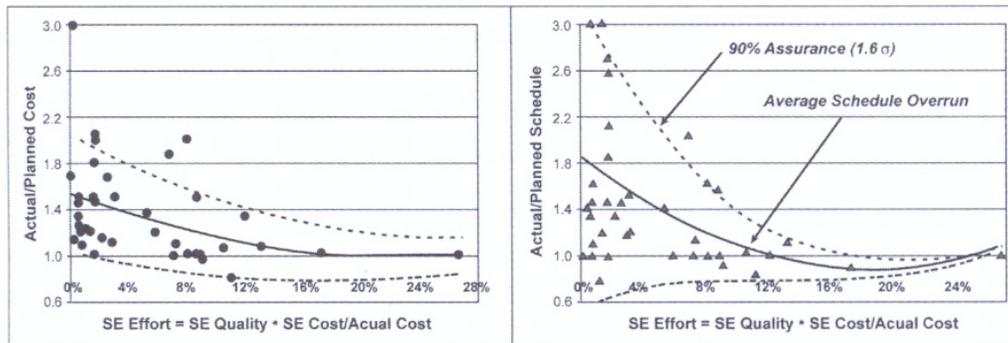


Figura 2. Custo e Cronograma correlacionados com o esforço da engenharia de sistema (Fonte: INCOSE Systems Engineering Handbook v.3.2, January 2010).

O fluxograma do processo ECR enfatiza a proposta desse trabalho que é demonstrar o impacto em custo&prazo em termos de planejamento, decorrentes das modificações de engenharia com impacto nos requisitos/especificações e seus desdobramentos.

- Fluxograma RNC/Waiver e Desvio

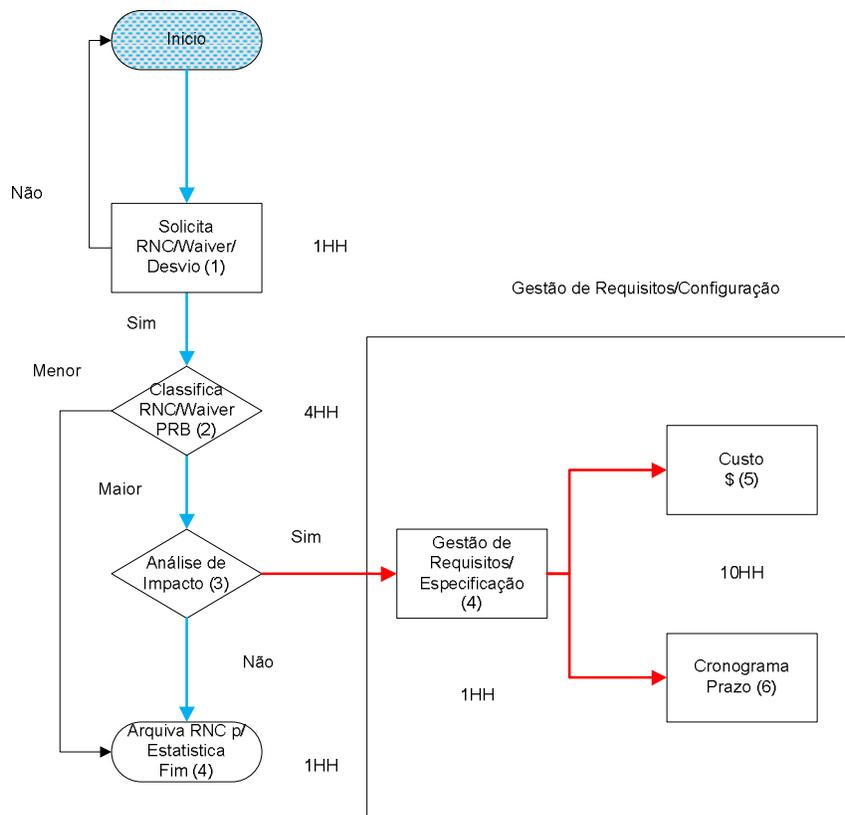


Figura 3. Fluxograma do processo RNC/Desvio/Waiver.

De acordo com as atividades identificadas no processo na Figura 3, temos dois ciclos:

- c) Ciclo Curto (caminho azul): Não-Conformidades menores.
- d) Ciclo Longo (caminho vermelho): Não-Conformidades Maiores com impacto em requisitos/especificações.

O fluxograma do processo RNC/Waiver/Desvio enfatiza também a proposta desse trabalho que é demonstrar o impacto em custo&prazo em termos de planejamento decorrentes das correções das falhas (RNC's) e seus desdobramentos na gestão de requisitos/especificações.

Os subsistemas considerados na análise de custo da não qualidade segundo a configuração dos satélites CBERS-1&2 seguem na tabela 1, nesse estudo daremos ênfase nos custos relativos as ECR's e RNC's, considerando suas quantidades:

CBERS-1&2:

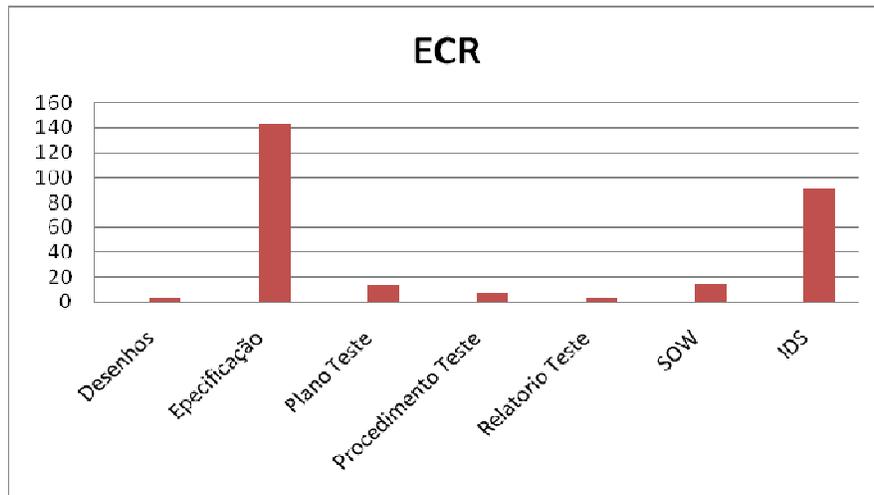


Figura 4. Natureza ECR (CBERS1&2)

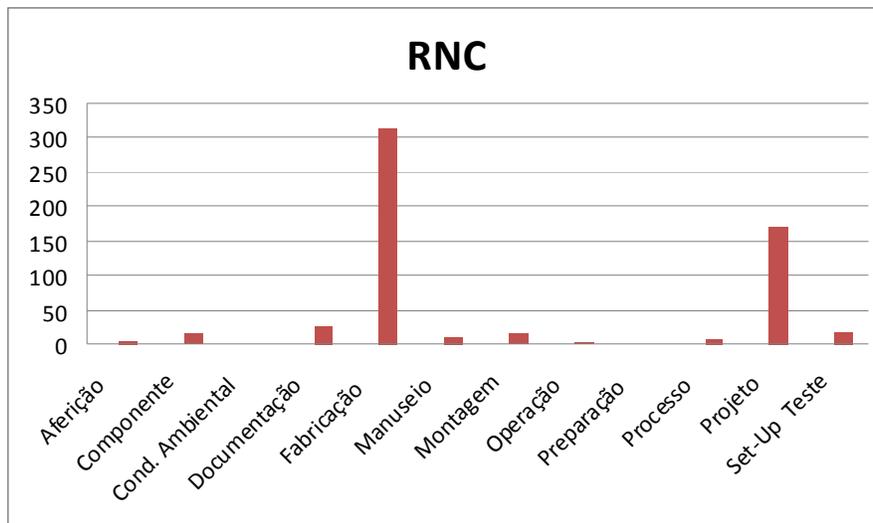


Figura 5. Natureza das RNC (CBERS-1&2).

CBERS-1

Tabela 1. Custo estimado da Não-Qualidade CBERS-1.

PN	NOME	CONC (Custo da Não Qualidade)				TOTAL
		ECR	RNC	WAIVER	DESVIO	
CBA	Structure	05	214	1	1	
CBD	Power Supply (PSS)	84	596	17	58	
CBN	S-BAND TT&C	31	025	54	8	
CBL	Data Collection Subsystem (DCS)	40	023	20	8	
CBS	Wide Field Imager (WFI)	23	018	0	0	
Total Σ		183	876	92	70	
Custo USD\$?*	?*			

***Nota:** Os valores estimados em dólares fazem parte de um trabalho que está sendo levantado com base em alguns elementos de custo necessários para correção das não-conformidades e modificações de engenharia (p.ex.:HH, Material, Testes Funcionais em laboratórios e Ambientais, Miscelânea, etc.)

a) ECR

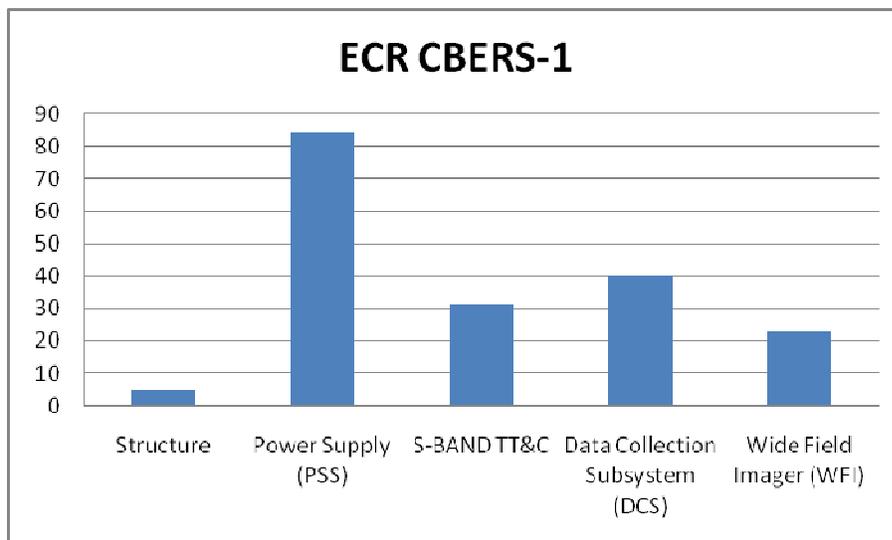


Figura 6. ECR dos Subsistemas CBERS-1

Foram emitidas 203 ECR's para o CBERS-1, compostas em Ciclos Curtos e Ciclos Longos.

b) Custo ECR

Tabela 2. CBERS1 ECR's (Ciclo Curto e Ciclo Longo)

<i>PN</i>	<i>NOME</i>	<i>CC(Ciclo Curto)</i>	<i>CL(Ciclo Longo)</i>
CBA	Structure	01	04
CBD	Power Supply (PSS)	12	72
CBN	S-BAND TT&C	07	24
CBL	Data Collection Subsystem (DCS)	08	32
CBS	Wide Field Imager (WFI)	02	21
	Total Σ	30	153
	Custo USD\$?*	?*

***Nota:** Os valores estimados em dólares farão parte de um trabalho que está sendo levantado com base em alguns elementos de custo necessários para correção das não-conformidades e modificações de engenharia (p.ex.:HH, Material, Testes Funcionais em laboratórios e Ambientais, Miscelânea, etc.)

CBERS-2

Tabela 3. Estimativa do custo da Não-Qualidade do CBERS-2

PN	NOME	CONC (Custo da Não Qualidade)			
		ECR	RNC	WAIVER	DESVIO
CBA	Structure	0			
CBD	Power Supply (PSS)	2			
CBN	S-BAND TT&C	1			
CBL	Data Collection Subsystem (DCS)	1			
CBS	Wide Field Imager (WFI)	0			
	Total Σ	4			
Custo USD\$?*			

***Nota:** Os valores estimados em dólares farão parte de um trabalho que está sendo levantado com base em alguns elementos de custo necessários para correção das não-conformidades e modificações de engenharia (p.ex.:HH, Material, Testes Funcionais em laboratórios e Ambientais, Miscelânea, etc.)

Foram emitidas 4 ECR's para o CBERS-2 compostas em *Ciclos Curtos e Ciclos Longos*.

a) ECR

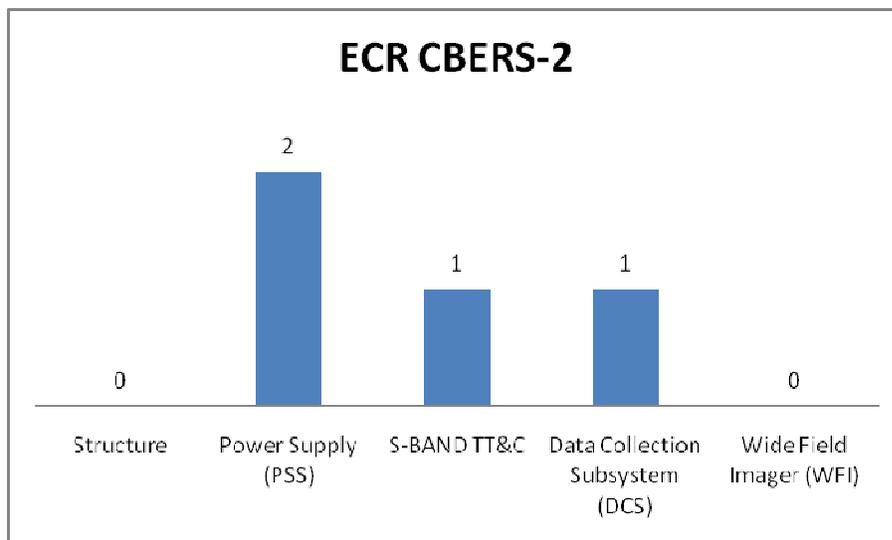


Figura 7. ECR CBERS2 Subsistemas

a) Custo ECR

Tabela 4. Estimativa do custo das ECR's CBERS-2.

PN	NOME	CC(Ciclo Curto)	CL(Ciclo Longo)
CBA	Structure	0	0
CBD	Power Supply (PSS)	1	1
CBN	S-BAND TT&C	0	1
CBL	Data Collection Subsystem (DCS)	0	1
CBS	Wide Field Imager (WFI)	0	0
Total Σ		1	3
Custo USD\$?*	?*

***Nota:** Os valores estimados em dólares farão parte de um trabalho que está sendo levantado com base em alguns elementos de custo necessários para correção das não-conformidades e modificações de engenharia (p.ex.:HH, Material, Testes Funcionais em laboratórios e Ambientais, Miscelânea, etc.)

a) RNC

Tabela 5. Estimativa do custo da Não-Qualidade CBERS-1.

PN	NOME	CONC (Custo da Não Qualidade)			
		ECR	RNC	WAIVER	DESVIO
CBA	Structure		214		
CBD	Power Supply (PSS)		492		
CBN	S-BAND TT&C		19		
CBL	Data Collection Subsystem (DCS)		23		
CBS	Wide Field Imager (WFI)		18		
Total Σ			766		
Custo USD\$?*		

***Nota:** Os valores estimados em dólares farão parte de um trabalho que está sendo levantado com base em alguns elementos de custo necessários para correção das não-conformidades e modificações de engenharia (p.ex.:HH, Material, Testes Funcionais em laboratórios e Ambientais, Miscelânea, etc.)

Tabela 6. Estimativa do custo das RNC's CBERS-1 (Majores e Menores).

PN	NOME	RNC (Maior)	RNC (Menor)
CBA	Structure	010	204
CBD	Power Supply (PSS)	102	390
CBN	S-BAND TT&C	010	009
CBL	Data Collection Subsystem (DCS)	009	014
CBS	Wide Field Imager (WFI)	010	008
Total Σ		141	625
Custo USD\$?*	?*

***Nota:** Os valores estimados em dólares farão parte de um trabalho que está sendo levantado com base em alguns elementos de custo necessários para correção das não-conformidades e modificações de engenharia (p.ex.:HH, Material, Testes Funcionais em laboratórios e Ambientais, Miscelânea, etc.)

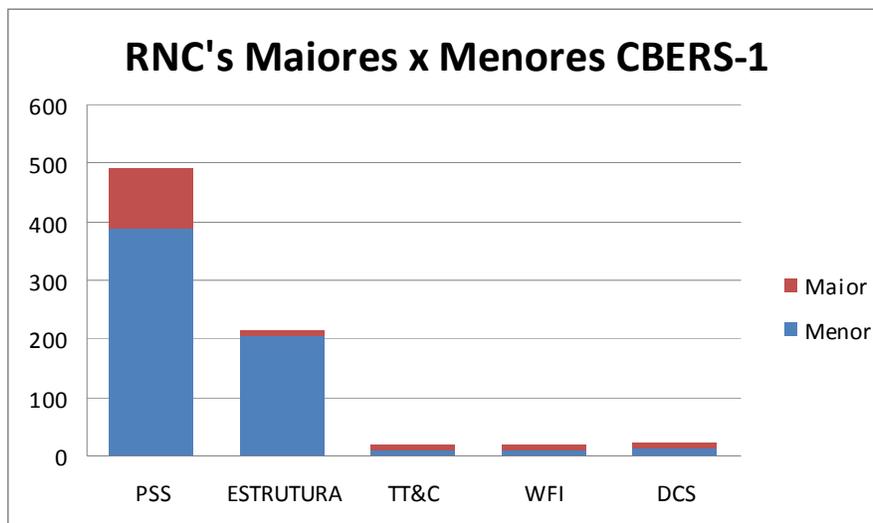


Figura 8. RNC CBERS-1 Maiores *versus* Menores.

Tabela 7. Estimativa do custo da Não-Qualidade CBERS-2.

PN	NOME	CONC (Custo da Não Qualidade)			
		ECR	RNC	WAIVER	DESVIO
CBA	Structure		000		
CBD	Power Supply (PSS)		104		
CBN	S-BAND TT&C		006		
CBL	Data Collection Subsystem (DCS)		000		
CBS	Wide Field Imager (WFI)		000		
Total Σ			110		
Custo USD\$?*		

a) Custo RNC

Tabela 8. Estimativa do custo das RNC's CBERS-2 (Maiores e Menores)

PN	NOME	NC (Maior)	NC (Menor)
CBA	Structure	0	0
CBD	Power Supply (PSS)	1	103
CBN	S-BAND TT&C	6	0
CBL	Data Collection Subsystem (DCS)	0	0
CBS	Wide Field Imager (WFI)	0	0
Total Σ		7	103
Custo USD\$?*	?*

***Nota:** Os valores estimados em dólares farão parte de um trabalho que está sendo levantado com base em alguns elementos de custo necessários para correção das não-conformidades e modificações de engenharia (p.ex.:HH, Material, Testes Funcionais em laboratórios e Ambientais, Miscelânea, etc.)

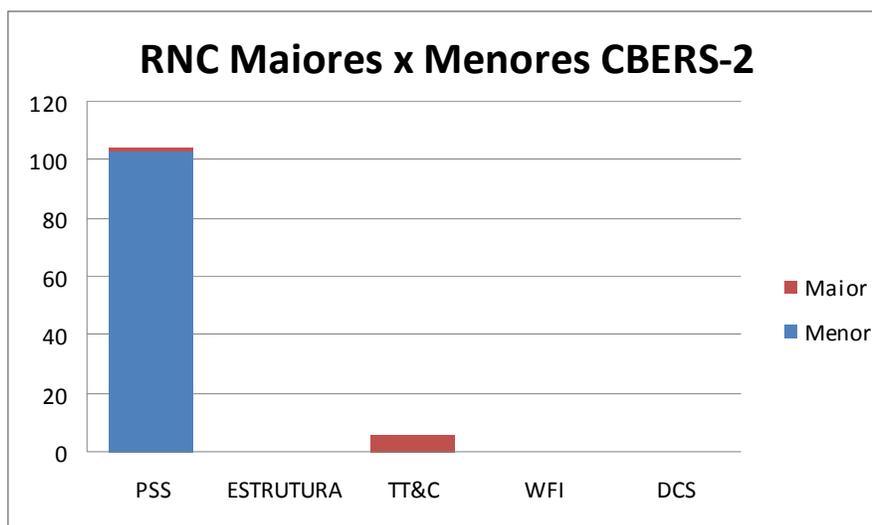


Figura 9. Relação entre as RNC's Maiores e Menores no CBERS-2.

Com base nos gráficos podemos fazer algumas inferências:

- 1) Notamos uma grande quantidade de RNC's dos subsistemas PSS e Estrutura no CBERS-1, decorrentes de um projeto novo e conseqüentemente com muitas melhorias a serem implementadas tanto no projeto, quanto nos processos de fabricação;
- 2) Observamos no CBERS-1 uma quantidade de Não-Conformidades maiores significativas, conseqüentemente com custos maiores considerando seu tratamento de *Ciclo Longo*, e com implicações em Configuração, Custo e Cronograma;
- 3) Para os subsistemas OBDH, TT&C, DCS e WFI os números são bem menores, talvez pelo tamanho, ou menor complexidade do projeto;
- 4) No CBERS-2 observamos uma diminuição significativa das RNC's, portanto percebe-se uma melhoria dos projetos de maneira geral, embora existam Não-Conformidades maiores de alto impacto, portanto de *Ciclo Longo*. Como exemplo, citamos o caso dos filtros capacitivos EMI que apresentaram baixa isolamento nos conversores DCDC do subsistema PSS e tiveram que ser substituídos. Outro exemplo de grande impacto foi à troca da cinta de conexão entre o satélite e o lançador, que apresentou problemas de falha no material durante os testes de vibração.

Temos então:

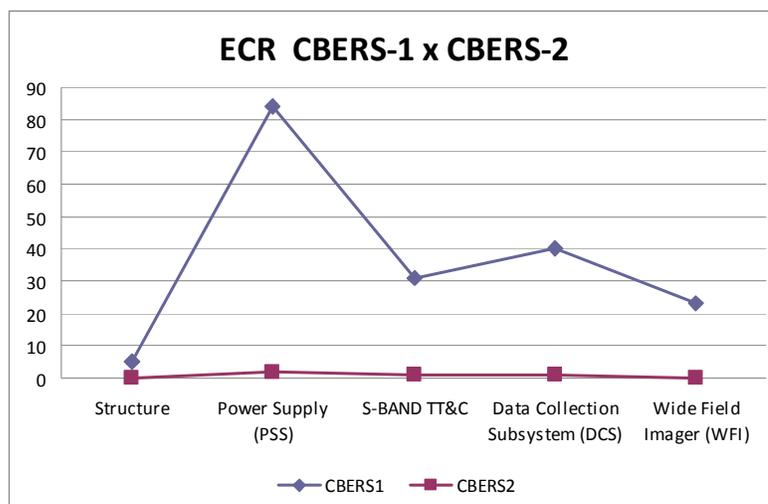


Figura 10. ECR CBERS-1 versus CBERS-2.

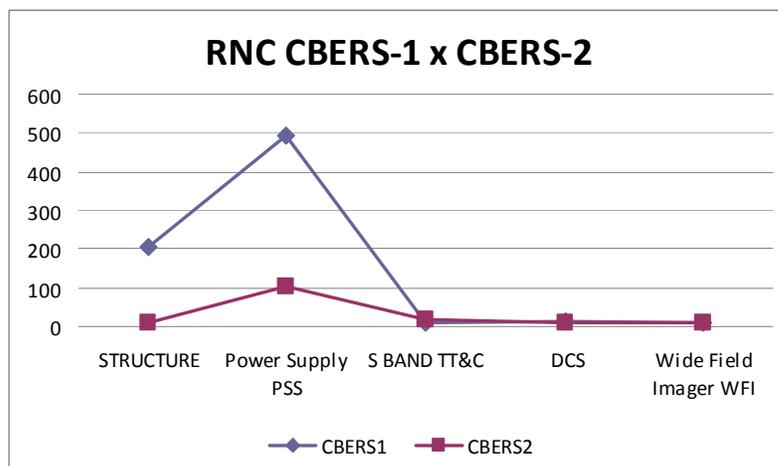


Figura 11. RNC CBERS-1 *versus* CBERS-2.

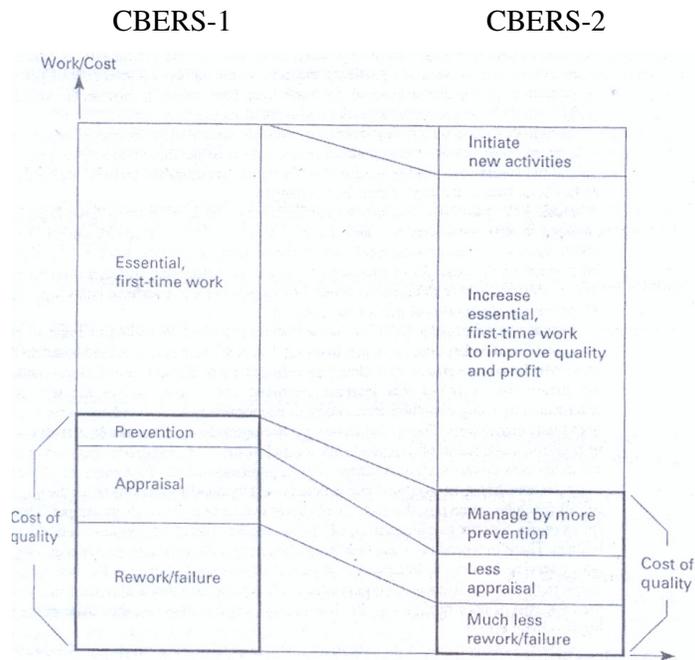


Figura 12. Custo da Qualidade CBERS-1 *versus* CBERS-2

(Adaptada de Juran's Quality Handbook 5th Edition, section eight, page 16)

A Figura 12 confirma a idéia sobre o melhoramento dos processos e a consequente diminuição da ocorrência de falhas e dos custos incorridos na correção. Óbviamente, que nessa avaliação usamos apenas o dado referente ao custo das falhas através de estimação e consultas com especialistas das áreas estudadas, mas essa correlação entre ECR/RNC e Custo fica clara nos gráficos das Figuras 5, 6, 8, 9, 10, 11.

3. Conclusão

Considerando os custos de reparo relativos às falhas (Não-Conformidades) e os custos para o cumprimento dos requisitos técnicos através das modificações de engenharia, como sendo apenas um dos elementos de custo baseado no modelo PAF (Prevenção,

Avaliação e Falhas) ainda assim podemos perceber uma melhora significativa em termos de custo da qualidade quando se compara o satélite CBERS-1 com o CBERS-2.

Esses custos, ainda em fase de levantamento já se pode estimar um valor considerável em relação ao custo total do respectivo subsistema.

Portanto, um trabalho de melhoramento com base nos processos deficientes, fontes geradoras das Não-Conformidades e dos pedidos de modificações de engenharia poderia ser realizado, completando-se dessa forma um ciclo PDCA, e aprendendo com os erros “Lessons Learned” para os satélites futuros e em construção para o programa CBERS.

Outra questão importante observada é a necessidade de um tratamento mais refinado com relação às modificações de engenharia, conseqüentemente com a configuração do satélite e seus impactos em custo&prazo, principalmente na fase preliminar e de concepção do satélite.

4 LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CAST	-“China Academy Space Technologie”
CBERS	-“China Brazil Earth Resource Satellite”
CONC	-“ Cost of Non Conformance”
CRON	- Cronograma
DC/DC	- “Direct Current/Direct Current”
DCS	-“Data Collecting System”
ECR	-“Engineering Change Request”
EMI	-“Eletromagnetic Interference”
GER	- Gerenciamento
IDS	-“Interface Data Sheet”
INPE	- Instituto de Pesquisas Espaciais
OBDH	- “On Board Data Handling”
PAF	- Prevenção, Avaliação e Falha
PSS	-“Power Supplier Subsystem”
RNC	- Relatório de Não-Conformidade
SCD	- Satélite de Coleta de Dados
SOW	-“Statement of Work”

TT&C -Transponder de Telemetria e Telecomando
WFI -“Wide Field Imager”

4. REFERÊNCIAS

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION **Space product assurance/Nonconformance control system-** ECSS-Q-20-09B.Noordwijk, NL, 2002.

JURAM, J.M., GRYNA, F.M. **Quality control handbook**. 5. ed. New York: Mc Graw-Hill, 1988. 1808p.

INCOSE **Systems Engineering Handbook** v.3.2 January 2010