

AVALIAÇÃO DOS ATRASOS DOS CONTRATOS INDUSTRIAIS DOS PROGRAMAS CBERS E AMAZONIA E OS GRAUS DE MATURIDADE TECNOLÓGICA (TRL) E DE FABRICAÇÃO (MRL)

Bruno Vicente dos Santos¹, Paulo Mello Marshall², Vivian Tietze Daruiz³

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais,
Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE),

São José dos Campos, SP, Brasil, CEP 12227-010

¹bruno@dea.inpe.br, ²paulo.marshall@inpe.br, ³vivian.daruiz@inpe.br

Abstract: *O estudo apresenta a relação entre os acréscimos de prazo dos contratos industriais dos Programas CBERS e Amazonia e os graus de maturidade tecnológica (TRL) associados aos equipamentos contratados e os graus de maturidade de fabricação (MRL) destinada às aplicações espaciais das respectivas empresas contratadas. Para a classificação da maturidade da tecnologia foram adotados os níveis definidos nos padrões da ECSS. Para a classificação da maturidade de fabricação foram adotados os níveis definidos por grupo de trabalho envolvendo indústrias americanas e o Departamento de Defesa dos EUA (DoD) e buscou-se refletir a situação à época de cada contratação. Dos resultados apresentados foram extraídas análises comparativas do desempenho das contratadas com relação ao aspecto de prazos. Estas análises foram aprofundadas, excluindo-se fatores externos que influenciaram os contratos, tendo sido possível classificar os contratos e contratadas segundo quadrantes de desempenho (alto / baixo MRL e TRL e grande / pequeno atraso).*

Keywords: *Atrasos de projeto; Maturidade tecnológica; Maturidade de fabricação; TRL; MRL.*

1 Introdução

A maturidade de determinada tecnologia, assim como sua correspondente prontidão de fabricação, constituem importantes indicadores no planejamento, acompanhamento e gestão de projetos da área espacial.

Mundialmente difundidos, os padrões para o indicador Technology Readiness Level (TRL) adotados pela ECSS (1), e os níveis definidos para o indicador Manufacturing Readiness Level (MRL) pelo grupo de trabalho envolvendo indústrias norte americanas e o Departamento de Defesa dos EUA (DoD) (2), foram adotados pelo Escritório de Projetos (PMO) da ETE para avaliação da maturidade de determinada tecnologia e da correspondente prontidão de fabricação, nas etapas de planejamento de acompanhamento projetos (3).

O TRL é uma medida utilizada para avaliar a maturidade da evolução de tecnologia, compreendendo equipamentos, materiais, componentes, software, sistemas, processos de trabalho, etc, classificando, por exemplo, se a mesma está em estágio de pesquisa científica, de desenvolvimento, de validação, ou já industrializada, suficientemente comprovada, podendo ser incorporado com baixo risco a um sistema ou subsistema. Como indicado na Figura 1, são 9 os níveis definidos para classificação da TRL.

Já o MRL é utilizado para avaliar a prontidão da produção e respectivos riscos no que tange as tecnologias da produção, capacitação dos recursos humanos, ferramental e processos envolvidos, conforme apresentado na Figura 2. Da mesma forma, 9 níveis estão definidos para classificação da MRL.

Technology Readiness Levels (TRLs) Definition	
TRL1	Basic principles observed and reported
TRL2	Technology concept and/or application formulated
TRL3	Analytical and experimental critical function and/or characteristic proof-of-concept performed
TRL4	Component and/or breadboard validated in the laboratory environment
TRL5	Component and/or breadboard validated in the relevant environment
TRL6	System/subsystem model or prototype demonstrated in the relevant environment(ground or space)
TRL7	System prototype demonstrated in a space environment
TRL8	Actual system completed and flight-qualified through test and demonstrated (ground or flight)
TRL9	Actual system “flight-proven” through successful mission operations.

Figura 1 - Níveis de Prontidão de Maturidade Tecnológica. Fonte: ECSS-E-ST-10 C Space Engineering – System Engineering General Requirements

Manufacturing Readiness Level (MRL)		
Phase	MRL	State of Development
Phase 3: Production Implementation	9	Full production process qualified for full range of parts and full metrics achieved
	8	Full production process qualified for full range of parts
	7	Capability and rate confirmed
Phase 2: Pre production	6	Process optimised for production rate on production equipment
	5	Basic capability demonstrated
Phase 1: Technology assessment and proving	4	Production validated in lab environment
	3	Experimental proof of concept completed
	2	Application and validity of concept validated or demonstrated
	1	Concept proposed with scientific validation

Figura 2 - Níveis de Prontidão de Maturidade de Fabricação Fonte Manufacturing Readiness Level (MRL) Deskbook

A maturidade tecnológica progride em conjunto com a prontidão de fabricação, sendo muito comum o nível de prontidão de fabricação ser inferior ao nível da maturidade tecnológica, já que os processos de manufatura só tornam-se maduros e qualificados quando uma determinada tecnologia atinge sua estabilidade (4).

Observa-se que o tempo e o esforço para a mudança de um nível de maturidade tecnológica para outro depende da tecnologia em questão e apresenta evolução não-linear. Estudos da NASA mostram que a tentativa de aplicar tecnologias imaturas levou a problemas técnicos, de prazo e de custo durante o desenvolvimento dos sistemas. (5).

Quando o tamanho e a complexidade de um projeto são subestimados devido ao desconhecimento dos níveis de TRL das tecnologias envolvidas, ou dos correspondentes níveis de MRL, frequentemente ocorrem desvios prazo e custo, forçando a reprogramações no projeto. (5)

Os diversos atrasos observados nos contratos industriais dos Programas CBERS e Amazonia, vigentes no período de 2004 a 2012, motivaram a identificação de causas, e o estabelecimento

de comparativos de desempenho. O presente estudo está alinhado com esta motivação, buscando estabelecer uma associação entre os atrasos observados e os indicadores TRL e MRL associados aos equipamentos e empresas contratadas.

2. Avaliação TRL e MRL associados aos contratos dos Programas de Satélites do INPE

Com o término das atividades de contratos relativas ao CBERS 3, elaborou-se um estudo que buscou estabelecer uma relação entre os acréscimos de prazos dos contratos do Programa CBERS com a maturidade tecnológica (TRL) dos equipamentos e serviços contratados e a correspondente prontidão de fabricação espacial (MRL) das empresas contratadas. Para tanto, adotou-se a classificação TRL da ECCS (1) e MRL do DoD (2) para cada um dos contratos e que refletiu a situação à época de cada contratação. A classificação foi realizada pelos responsáveis técnicos dos contratos, sob a coordenação do PMO da ETE. O estudo foi estendido aos contratos do Programa Amazonia e LATTES. Os resultados estão indicados nas Figuras 3 e 4.

CONTRATADA / OBJETO	TRL	MRL
Empresa 1 - MUX	2	5
Empresa 2 -ANTENAS	9	9
Empresa 3 - DCS	9	5
Empresa 4 - EPSS	9	5
Empresa 5 - TTCS	9	5
Empresa 6 - CÂMERA WFI	4	5
Empresa 7 - MWT	4	5
Empresa 8 - DDR	4	5
Empresa 9 - Antena MWT	9	8
Empresa 10 - OBDH	7	5
Empresa 11 - Gerador Solar	8	8
Empresa 12 - Estrutura do Gerador Solar	4	4
Empresa 13 - Estrutura	5	7

Figura 3 – Avaliação de TRL e MRL - Contratos CBERS

CONTRATADA / OBJETO	TRL	MRL
Empresa 1 - SM LATTES	8	9
Empresa 2 - PM AMZ1	5	7
Empresa 3 - GRAVADOR AMZ1	7	4
Empresa 4 - AOCS	8	9
Empresa 5 - EGSE TT&C	7	7
Empresa 6 - EGSE PSS	7	7
Empresa 7 - AWDT AMZ1	7	8
Empresa 8 - Antena AWDT AMZ1	7	8

Empresa 9 - AWFI AMZ1	8	7
Empresa 10 - Sensor de Estrelas ACDH AMZ1	9	10
Empresa 11 - TWTA AWDT AMZ1	9	10
Empresa 12 - EGSE ACDH	8	10
Empresa 13 - IFACES OBDH	9	10

Figura4– Avaliação de TRL e MRL - Contratos Amazonia

Nas avaliações acima apresentadas, buscou-se refletir a situação à época dos contratos do CBERS 3 & 4(2004 – 2005), e do Amazonia 1 (2008 - 2011). Valores elevados de TRL e MRL estão associados a equipamentos já utilizados nas missões espaciais anteriores do INPE, como SCD1, SCD2, CBERS1 e CBERS2, e a empresas contratadas que participaram daqueles programas espaciais. Além desta herança tecnológica, foram levados em consideração alterações de tecnologia de processos produtivos exigidos em alguns editais dos contratos celebrados.

3. Avaliação dos atrasos associados aos contratos dos Programas de Satélites do INPE

Os primeiros resultados não permitiram estabelecer uma relação direta entre os acréscimos de prazos dos contratos e a TRL e MRL dos equipamentos e das respectivas empresas contratadas. Foram identificados grandes atrasos mesmos para contratações onde eram elevados o TRL e MRL associados. Nos contratos do CBERS isto pode ser explicado em grande parte em decorrência do embargo norte-americano à exportação de componentes qualificados para o Programa CBERS, que afetou tanto os contratos com tecnologias maduras e empresas com fabricação maduras, quanto àqueles com tecnologias e empresas com fabricação imaturas. Em decorrência destes embargos, foi necessário reprojetar equipamentos ou parte deles, com significativos impactos nos prazos. Isso já foi objeto de análise apresentação em relatórios do PMO da ETE (3).

Continuando a busca desta relação, foi excluído este motivador de atrasos no CBERS, através da apuração dos atrasos incorridos apenas a partir de Dezembro de 2010 (Fase de Qualificação), quando soluções alternativas para os referidos embargos já haviam sido desenhadas e implementadas. Em verdade, em Dezembro de 2010, todos os componentes eletrônicos necessários para a produção dos modelos de qualificação e de vôo dos equipamentos já haviam sido adquiridos e estavam à disposição das contratadas. Desta forma, os atrasos incorridos após esta data referem-se exclusivamente às dificuldades inerentes à tecnologia e principalmente as dificuldades de produção encontradas pelas contratadas nas fases de Qualificação e Produção de Modelos de Voo.

Os resultados finais obtidos neste estudo para os contratos do Programa CBERS são apresentados nas Figuras 5, 6 e 7. Para os contratos do Programa Amazonia, os resultados são mostrados nas Figuras 8, 9 e 10.

CONTRATADA / OBJETO	TRL	MRL	Acréscimo de Prazo (mês)
Empresa 1 - MUX	2	5	17
Empresa 2 -ANTENAS	9	9	19
Empresa 3 - DCS	9	5	15

Empresa 4 - EPSS	9	5	14
Empresa 5 - TTCS	9	5	23
Empresa 6 - CÂMERA WFI	4	5	16
Empresa 7 - MWT	4	5	19
Empresa 8 - DDR	4	5	15
Empresa 9 - Antena MWT	9	8	10
Empresa 10 - OBDH	7	5	23
Empresa 11 - Gerador Solar	8	8	16
Empresa 12 - Estrutura do Gerador Solar	4	4	16
Empresa 13 - Estrutura	5	7	0

Figura 5 – Avaliação dos Atrasos - Programa CBERS

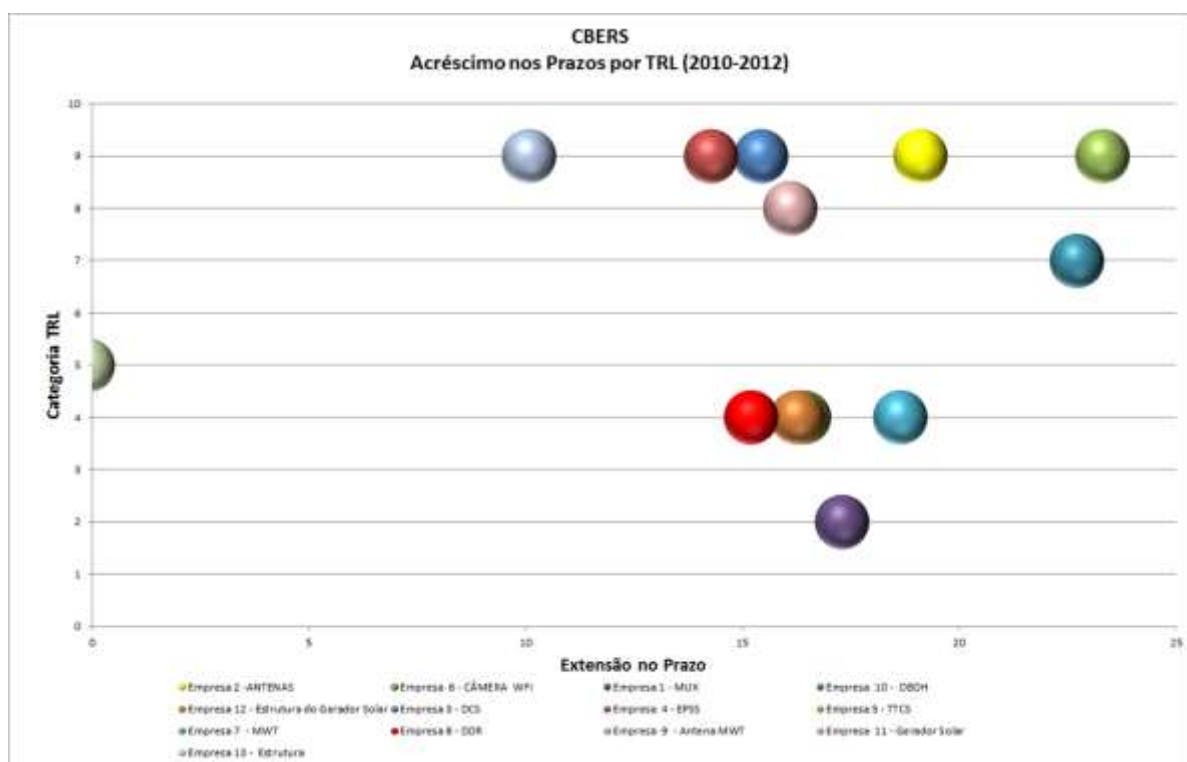


Figura 6 - Atrasos vs TRL – Programa CBERS

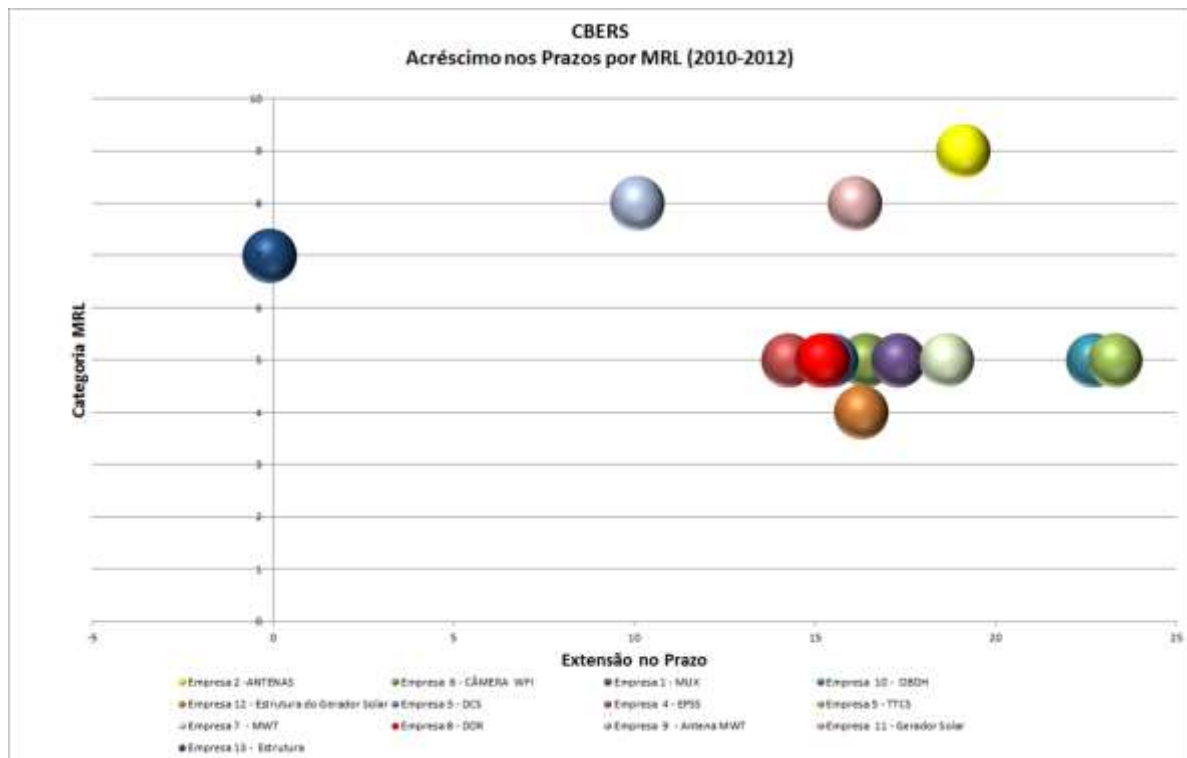


Figura 7 - Atrasos vs MRL - Programa CBERS

CONTRATADA / OBJETO	TRL	MRL	Acréscimo de Prazo (mês)
Empresa 1 - SM LATTES	8	9	1
Empresa 2 - PM AMZ1	5	7	12
Empresa 3 - GRAVADOR AMZ1	7	4	6
Empresa 4 - AOCS	8	9	0
Empresa 5 - EGSE TT&C	7	7	6
Empresa 6 - EGSE PSS	7	7	6
Empresa 7 - AWDT AMZ1	7	8	8
Empresa 8 - Antena AWDT AMZ1	7	8	17
Empresa 9 - AWFI AMZ1	8	7	16
Empresa 10 - Sensor de Estrelas ACDH AMZ1	9	10	0
Empresa 11 - TWTA AWDT AMZ1	9	10	0
Empresa 12 - EGSE ACDH	8	10	0
Empresa 13 - IFACES OBDH	9	10	9

Figura 8 – Avaliação dos Atrasos – Programa Amazonia 1 e LATTES

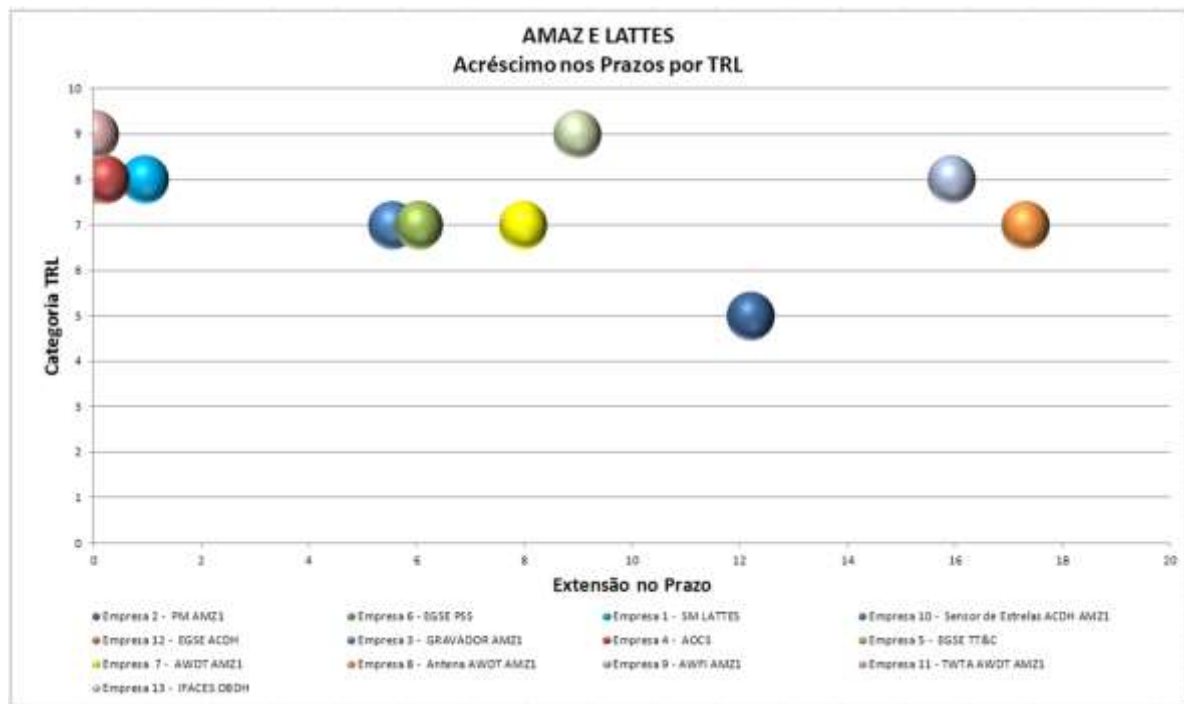


Figura 9 - Atrasos vs TRL – Programa Amazonia e LATTES

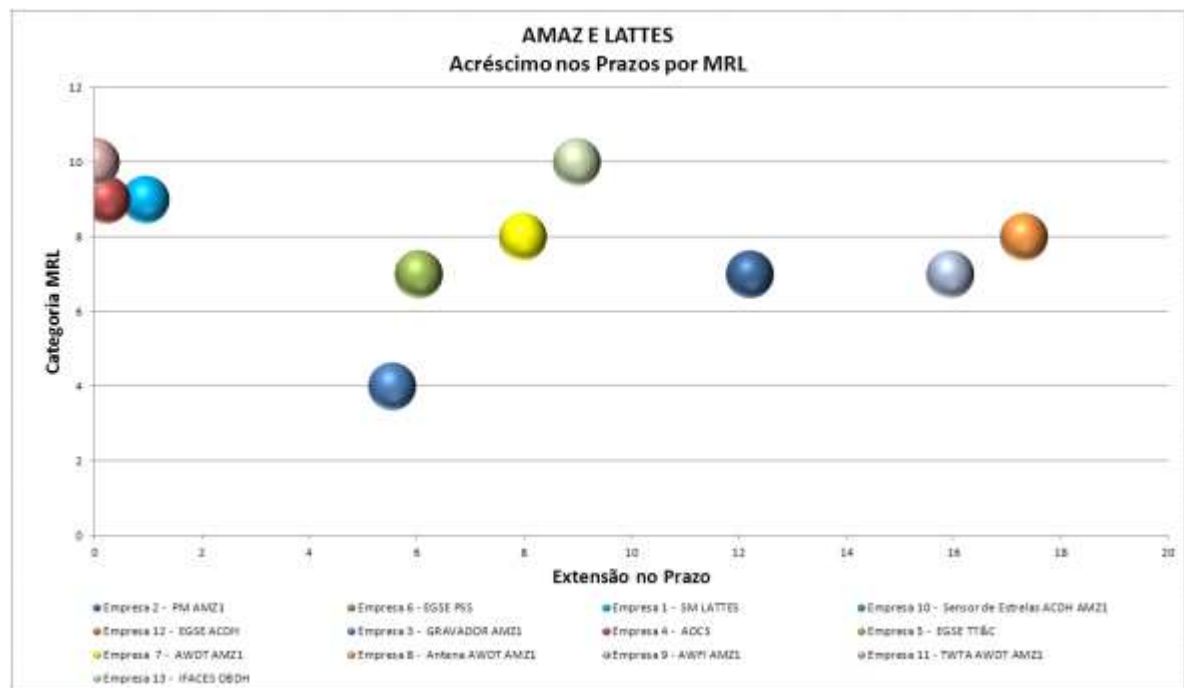


Figura 10 - Atrasos vs MRL – Programa Amazonia e LATTES

Nestas análises estão excluídas também, para os contratos de ambos Programas, as parcelas de atraso correspondentes a interrupções e alterações de escopo solicitadas pelo INPE, e que motivaram alguma paralização dos trabalhos pelas contratadas (novas avaliações, trâmite de termos aditivos, etc).

4. Conclusões

Para avaliações de elevados TRL e MRL, eram esperados posicionamento dos contratos no quadrante superior esquerdo (nenhum ou pequenos atrasos). Apenas 5 contratos apresentaram este resultado:

- ESTRUTURA do CBERS3 e CBERS4
- ESTRUTURA do MÓDULO SM do LATTES
- TWTAs do Amazonia
- SUBSISTEMA ACDH do Amazonia.
- EGSE do Amazonia

Por outro lado verificou-se em contratos nos quais foram atribuídos TRLs e MRLs elevados (equipamentos já com experiência de voo e razoável maturidade de fabricação da empresa) um resultado inesperado de grandes atrasos. Em particular tiveram este desempenho inesperado:

- ANTENAS TTCS e DCS do CBERS
- SUBSISTEMA OBDH do CBERS
- SUBSISTEMA MWT do CBERS
- SUBSISTEMA WFI do Amazonia
- SUBSISTEMA AWDT do Amazonia

As investigações do ocorrido ao longo destes contratos apontam as seguintes principais causas do desempenho negativo:

1. Perda da capacidade de execução (expertise) por parte da contratada ao longo do contrato, seja por perda ou envelhecimento ou aposentadoria de recursos humanos qualificados;
2. Erro de avaliação do risco tecnológico por parte da contratada à época das licitações, com grave impacto nos prazos;
3. Atuação da equipe da contratada em múltiplos contratos, não sendo capaz de alocar a equipe no projeto nos níveis de dedicação previstos à época da licitação;

Assim, conclui-se que apenas em poucos casos os indicadores de maturidade tecnológica e de prontidão de fabricação TRL e MRL, podem explicar os atrasos incorridos nos contratos dos Programas CBERS e Amazonia e LATTES.

Ainda como resultado deste estudo, recomenda-se a adoção de mecanismos de acompanhamento e cobrança da manutenção de equipe alocada pelas contratadas aos projetos, principalmente quando os níveis de dedicação e capacitação foram objeto de avaliação e pontuação técnica à época das licitações.

Finalmente, é importante destacar que a realidade do porte dos contratos e as dificuldades das empresas apontadas neste trabalho, associadas à imaturidade do parque industrial espacial nacional, devem ser consideradas conjuntamente com os indicadores TRL e MRL nas etapas de planejamento e na avaliação de riscos das missões espaciais.

4. Bibliografia

(1) ECSS - European Cooperation for Space Standardization. **ECSS-E-ST-10 C. Space engineering - System Engineering General Requirements**, 6 March 2009.

(2) DoD – DEPARTMENT OF DEFENSE: OSD Manufacturing Technology Program in collaboration with the Joint Service/ Industry MRL Working Group. **Manufacturing Readiness Level (MRL) Deskbook**, v.2, 2011. Disponível em http://www.dodmrl.com/MRL_Deskbook_V2.pdf

(3) INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **3º Relatório Gerencial ETE/PMO-RG-004: Contratos dos Programas CBERS, Amazônia e LATTES**, Maio de 2013.

(4) SAUSER, B.J.; RAMIREZ-MARQUES, J. E.; MAGNAYE, R. B.; TAN, W. (2008). **System Maturity Indices for Decision Support in the Defense Acquisition Process**. In: 5th Annual Acquisition Research Symposium of the Naval Postgraduate School: creating synergy for informed change, 2008. Monterey, CA, USA. Disponível em: < http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA528080&%3BLocation=U2&%3Bdoc=GetTRDoc.pdf&origin=publication_detail>

(5) TRENTIM, M. **Maturidade Tecnológica em Projetos**. 2012. Disponível em: <http://blog.mundopm.com.br/2012/05/30/maturidade-tecnologica-em-projetos/> >.

.