



Metodologia Proposta para seleção de Filosofia de Modelos de Sistemas Espaciais Baseada em Risco com uso de Indicadores de Maturidade Tecnológica e Avaliação Inicial de Métrica.

SILVA, H.E.¹, PERONDI, L.F.²

¹Aluno de Doutorado do Curso Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais – ETE/CSE

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil

² Professor do Curso Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais – ETE/CSE

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil

hadler.silva@inpe.br

Resumo. O objetivo deste artigo é apresentar a metodologia para o desenvolvimento da tese de doutorado assim como expor os estudos iniciais de correlação entre modelos em um cenário de desenvolvimento completo de um sistema espacial sob a ótica dos índices de maturidade.

Palavras-chave: Filosofia de Modelos; Métrica; Maturidade; Ciclo de Vida.

1. Introdução

Os projetos espaciais, dada sua complexidade, custo e alta confiabilidade, possuem características não encontradas em outros tipos de projeto, seja pelo próprio ciclo de vida (muito específico) ou por aspectos ligados à filosofia de modelos, ou seja, a solução proposta para a verificação e validação do projeto, no nível preconizado pela engenharia de sistemas. Necessidades de redução de custo e cronograma cada vez mais prementes, levam, também, à necessidade de análises de trade-off cada vez mais eficientes e representativas de situações muito específicas, como estudos de causa e efeito na variabilidade do ciclo de vida ou a filosofia de modelos escolhida, não cobertas pelos métodos atualmente consagrados.

Com objetivo de auxiliar no processo de escolha da filosofia de modelos mais apropriada a dado projeto de sistema espacial foi proposto como tema de tese de doutorado, em desenvolvimento, metodologia que vinculasse os modelos construídos aos trade offs de interesse de projeto, adequados ao padrão de risco do projeto, utilizando-se como métrica índices de maturidade e seu desdobramento ao longo do projeto. De forma a viabilizar o



uso de tal da métrica faz-se necessário o entendimento do vínculo existente entre estas disciplinas.

O objetivo deste artigo é apresentar a metodologia para o desenvolvimento da tese de doutorado assim como expor os estudos iniciais de correlação entre modelos em um cenário de desenvolvimento completo de um sistema espacial sob a ótica dos índices de maturidade para posterior validação da métrica.

2. Conceitos Gerais

Segundo o padrão ECSS, “... um modelo é a representação física ou abstrata usada para cálculos, previsões ou avaliação adicional...” [ECSS 2012]. Já a ABNT, em consonância com a ECSS, define modelo como uma “... representação física ou abstrata de aspectos relevantes de um elemento, que serve de base para cálculos, previsões, ensaios e avaliações futuras...” [ABNT NBR ISO 2015]. Sua aplicabilidade se estende ao longo de todos os níveis do sistema

Segundo [Aguirre 2013] a filosofia do modelo será uma função da novidade do satélite, da aceitação do risco do projeto, e das restrições de custo e cronograma, sua seleção está intimamente relacionada com o processo de gerenciamento de risco e do status de prontidão tecnológica do programa. Segundo [Macdonald and Badescu. 2014] a forma de se auxiliar na obtenção de um projeto de futuro de baixo custo é a realização de uma abordagem de desenvolvimento evolutiva.

A definição da filosofia de modelos é fortemente influenciada, entre outros fatores, pelo tipo de projeto. No caso de projetos únicos, por exemplo, tipicamente missões científicas, a tendência é ir na direção de uma abordagem puramente protoflight apoiada por modelos virtuais (onde a campanha de qualificação é feita por análise ou diretamente no hardware de voo). Já no caso de uma série de satélites (ex. constelação), uma abordagem de protótipo puro é normalmente usada, quando um modelo de qualificação (QM) passa por uma campanha de testes de qualificação completa e os modelos de voo (FM) recorrentes são apenas submetidos a uma campanha de aceitação limitada (isso aumenta a frequência da produção). Para todos os casos o uso de uma métrica tem potencial de auxílio na tomada de decisão acerca da filosofia a ser adotada.

O conceito de Nível de Maturidade Tecnológica TRL (Technology Readiness Level), inicialmente proposto por [Mankins 1995], para avaliação da maturidade individual de uma dada tecnologia e comparação entre diferentes tecnologias, ganhou corpo, sendo atualmente aplicada, dada sua utilidade pragmática, como ferramenta obrigatória para decisão de investimentos em novos projetos de aquisição pelo DoD e na NASA como ferramenta de auxílio à avaliação de risco para projetos inovadores [Mankins 2009]. Segundo a NASA, tipicamente é requerido um TRL 6 para que a tecnologia possa ser integrada em um sistema de voo. [NASA 2014]. Já no ano de 2015, a norma de sistema espacial da ISO (International Organization for Standardization) adaptou as definições e critérios de avaliação da escala de Mankins, [ABNT NBR ISO 2015] estabelecendo, portanto, outro entendimento que posteriormente foi ratificado pelo padrão ECSS em 2017[ECSS 2017].



Motivado pela deficiência do método TRL em reproduzir o risco associado a interfaces dos elementos com tecnologias diferentes que compõem o sistema, foi proposta uma adaptação da abordagem de forma a criar um novo índice que incorpore os conceitos de TRL e IRL (Integration Readiness Level) de modo que com estas avaliações seja gerada um terceiro índice de maturidade, desta vez do sistema como um todo (System Readiness Level - SRL)

A obtenção do SRL se dá pela multiplicação das matrizes TRL e IRL. Na matriz IRL, são avaliados pares de elementos e sua interface em uma escala de 0 a 9 segundo critérios definidos.

$$\begin{bmatrix} IRL_{11} & IRL_{12} & \dots & IRL_{1n} \\ IRL_{21} & IRL_{22} & \dots & IRL_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ IRL_{n1} & IRL_{n2} & \dots & IRL_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} TRL_1 \\ TRL_2 \\ \dots \\ TRL_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} SRL_1 \\ SRL_2 \\ \dots \\ SRL_n \end{bmatrix}$$

Equação 1 - Obtenção do SRL

Os elementos do vetor [SRL]nx1 representam o nível de maturidade de cada tecnologia em relação ao restante do sistema. É possível, então, calcular a maturidade da arquitetura do sistema. O resultado de SRL é normalizado, em uma escala de 0 a 1, segundo critérios estabelecidos, para fins de comparação com outros projetos.

2. Metodologia

A natureza da pesquisa proposta na tese de doutorado deste autor é conceitual e teórica - no sentido de produzir um método - enquanto a característica experimental ou prática da pesquisa está voltada para a aplicação do método proposto em estudo de caso. A validação do método proposto se dará através de entrevistas com tomadores de decisão acerca da utilidade e abrangência do método proposto.

A metodologia planejada para a realização da pesquisa está estruturada nas seguintes etapas:

Etapa 1- exploração de publicações acadêmicas através das bases de pesquisa disponíveis e referências normativas;

Etapa 2- definir terminologia, conceitos, métricas de maturidade, identificar as fontes de incerteza e trade-offs de interesse;

Etapa 3 - desenvolver a metodologia abarcando e inter-relacionando conceitos, métricas e cenários para determinação de resultado quantitativo e qualitativo das soluções possíveis;

Etapa 4 - realização de entrevistas estruturadas com possíveis colaboradores (sistemistas, gerentes de programa espaciais e tomadores de decisão do projeto e da organização – INPE).

Etapa 5 - aplicar metodologia e processo utilizando um satélite como estudo de caso a fim de validá-la.



Dado que este artigo também visa apresentar uma pequena parte dos estudos iniciais relevantes para tese em andamento integrante, especificamente em relação ao uso dos índices de maturidade como métrica possível para inferir sobre cenários possíveis de filosofias de modelos (Etapa 2), apresenta-se a figura 1 tornando visual o entendimento sobre modelos, desenvolvimento de sistemas espaciais e fases de projeto.

Um estudo completo sobre as implicações em termos de: custos, sequência de testes, métodos de verificação e potencial de aumento da maturidade de integração ao longo do ciclo de vida de um projeto cujo desenvolvimento completo trará os subsídios necessários as simulações de cenários e trade-offs. O desenvolvimento da métrica e sua adequação a realidade do programa espacial é parte integrante da proposta de tese e necessária para a avaliação pretendida.

De forma a dar subsídio para o mapeamento dos índices de maturidade de cada elemento do sistema em diferentes fases, facilitando, portanto, a estruturação de uma análise de múltiplos cenários, faz-se necessário o entendimento do correto posicionamento dos modelos em um ciclo de desenvolvimento assim como também o entendimento das faixas de variação que podem ser obtidas em dado projeto.

O Estudo da variação do SRL será de fundamental importância na construção da tese uma vez levantados os fatores de influência e trade-offs de interesse ao longo do ciclo de vida, permitindo exercícios de abstração quanto à eliminação ou substituição de modelos do projeto por outros de maturidade distinta considerando as implicações na campanha de testes de projeto, custo e cronograma.

A decomposição da arquitetura de um sistema permite a representação deste sistema em diferentes níveis de profundidade, particularmente naqueles níveis em que ocorrem atividades de integração e verificação. Na figura a seguir, são indicadas diferentes revisões de projeto do ciclo em “V” e suas fases de ciclo de vida nos diferentes níveis da hierarquia do sistema.

3. Resultados e Discussão

O resultado do estudo a seguir considerou que todos os índices envolvidos no cálculo do SRL obtinham seus valores máximos após as revisões de projeto preconizadas pela ECSS.



X Workshop em Engenharia e Tecnologia Espaciais

7 a 9 de agosto de 2019

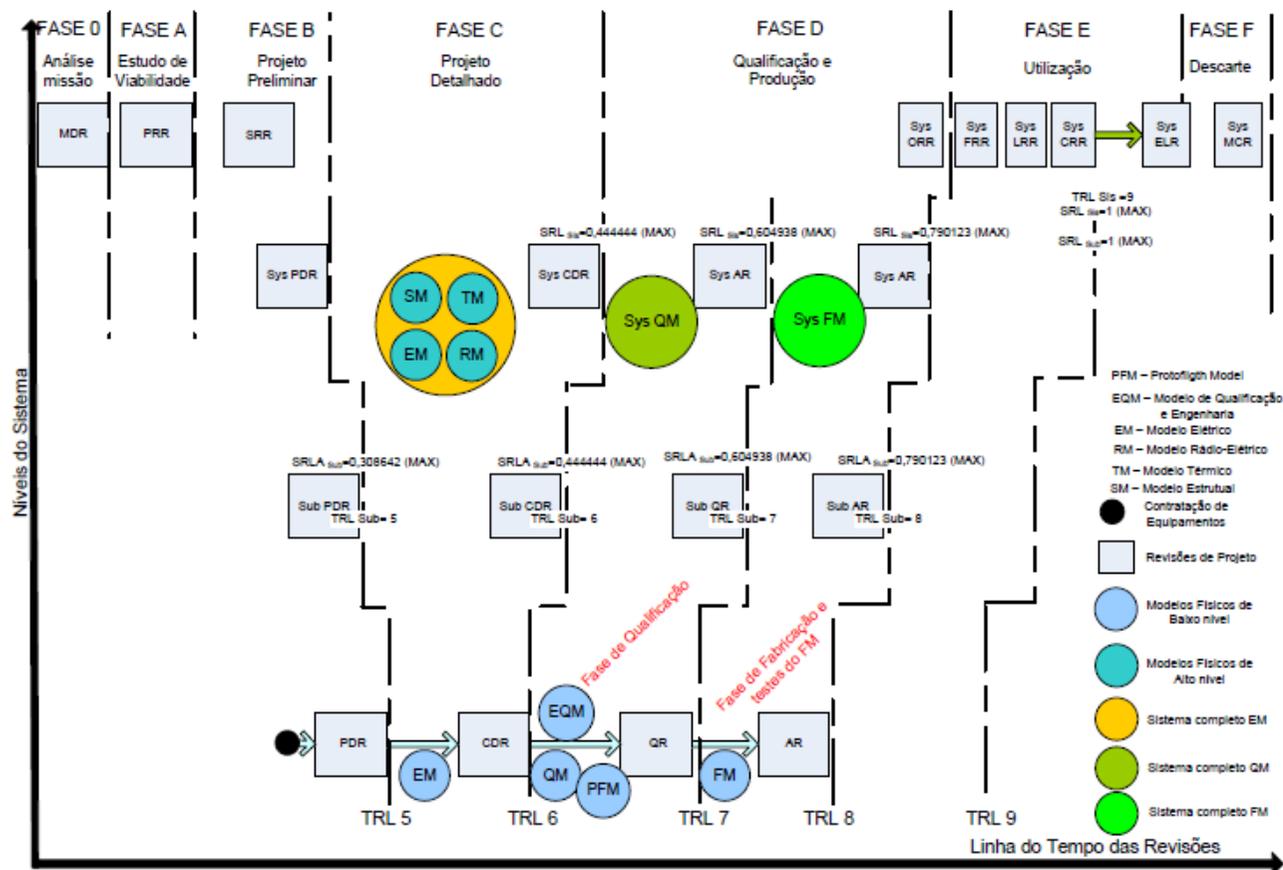


Figura 1. Evolução dos índices de maturidade no ciclo de vida espacial



A figura acima é resultado do estudo realizado para viabilização dos índices de maturidade como parte integrante da métrica a ser utilizada para realização da tese. Nela foram posicionado os diferentes modelo físicos utilizados em um desenvolvimento completo de um sistema espacial, em diferentes níveis do sistema e na diferentes fases do projeto de acordo com seus níveis de TRL máximos como preconizado pelo padrão ECSS e nível máximo de IRL atingido nas revisões de projeto, evidenciando quais seriam os valores máximos para SRL nos diferentes níveis e fases do ciclo de interesse.

O estudo realizado evidencia que, entre outros tópicos importantes carentes de desenvolvimento, encontra-se o fato do SRL dos subsistemas somente poder ser obtido apropriadamente pelo estudo dos IRLs de equipamentos enquanto que o SRL de sistemas pode ser obtido de forma direta se for desenvolvido encarando os subsistemas como equipamentos ou ainda pela iteração total do sistema em uma única matriz. A diferença de resultado possível para o SRL de sistema, a depender da abordagem escolhida para sua obtenção não foi evidenciada nos índices de sistema da figura apresentada, unicamente pelo fato de terem sido utilizados valos máximos para todos os índices para sua determinação. Assim sendo, o TRL de subsistema não sofreu distorções em função de um de seus elementos possuir TRL baixo não impactando portanto no SRL obtido.

Nos gráficos da figura abaixo pode-se observar o resultado da contribuição do TRL e do IRL, quando considerados em seus valores máximos, podem afetar o valor do SRL após sua normatização em cada fase do projeto.

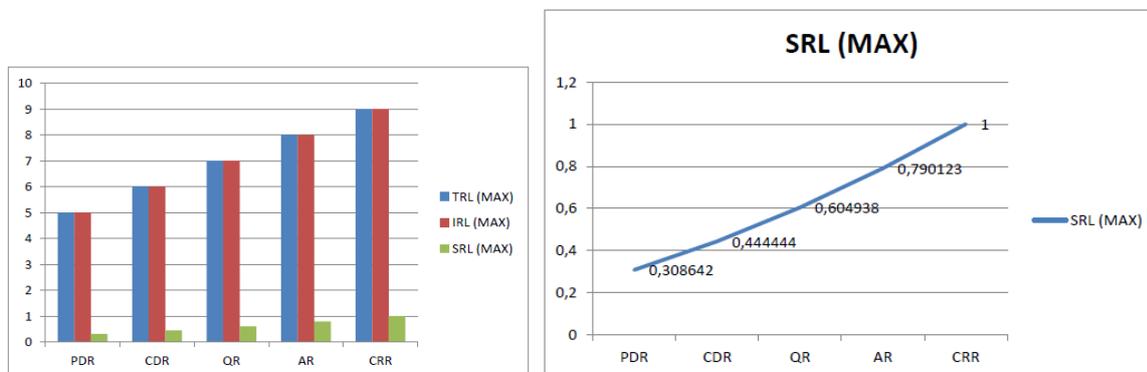


Figura 2. Ordem de grandeza comparativa entre índices nas fases

Evidentemente, os resultados obtidos neste estudo preliminar acerca do uso dos índices de maturidade como métrica a ser correlacionada com os trade-offs de interesse do trabalho de doutorado chama a atenção em relação a grandeza da variação possível do SRL para cada fase de projeto em relação a grandeza da variação dos índices TRL e IRL.

Dado o potencial de aplicabilidade de modelos de maturidade e sua relação com o ciclo de vida do projeto, este torna-se uma ferramenta útil para os propósitos da tese já que, por exemplo, o índice fornecido pela avaliação de TRL é válido para um determinado elemento, em um determinado ponto no tempo, e um determinado ambiente definido. Tal índice muda se as condições (ex: ambiente operacional) que prevaleciam no momento da avaliação não forem mais válidas. Tal situação leva à reavaliação do TRL, o que pode



X Workshop em Engenharia e Tecnologia Espaciais

7 a 9 de agosto de 2019

ocorrer, em particular, quando a reconstrução ou reutilização de um elemento é decidida e há variação no projeto, processo de desenvolvimento ou ambiente em que o elemento foi originalmente utilizado.

No campo da estimativa de maturidade de sistemas, existe um desafio particular à medida que sistemas complexos são afetados pelo desenvolvimento de tecnologias constituintes em vários pontos do ciclo de desenvolvimento. O desafio é entender a dependência ou a sensibilidade da tecnologia de interesse em termos de seu impacto na prontidão, no custo e no desempenho geral da tecnologia do sistema, ao longo do tempo. [Gove and Uzdziński 2013]

4. Conclusão

Considerando-se os entendimentos acima apontados até o momento, o conceito de se calcular o esforço para se mover o sistema até a maturidade desejada encontra grande aplicação e desafios no esforço de definição da filosofia de modelos.

A filosofia de modelos a ser implementada em dado projeto poderá ser realizada por meio de processo iterativo que deve levar em conta o estado de desenvolvimento atual do objeto de estudo específico e as soluções candidatas do projeto respeitando a tolerância ao risco admitida para o projeto.

O estudo realizado mostra que a abordagem para montagem das matrizes para obtenção da maturidade sistêmica apresentará resultado mais significativo quanto for possível inserir pesos coerentes nos intervalos entre as revisões para representar coerentemente a variação de SRL entre fases e o fluxo de trabalho embutido da evolução do IRL.

O uso dos índices de maturidade de um sistema e seu status dentro de um ciclo de vida como métrica para determinação de cenários possíveis de filosofia de modelo poderá ser utilizada no trabalho proposto ainda que careça de uma abordagem mais complexa do que a atual disponibilizada na literatura e viabilizará que seja realizada a necessária correlação destes índices aos trade-offs de interesse.

5. Referências

Boulic, R. and Renault, O. (1991) “3D Hierarchies for Animation”, In: New Trends in Animation and Visualization, Edited by Nadia Magnenat-Thalmann and Daniel Thalmann, John Wiley & Sons Ltd., England.

ABNT NBR ISO (2015) “Definição dos Níveis de maturidade da tecnologia (TRL) e seus critérios de avaliação”, Sistemas espaciais, Edited by Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT NBR ISO 16290.

Aguirre, M. (2013) “Introduction to Space Systems: Design and Synthesis”, Edited by James R. Wertz. Madrid, Springer - Space Technology Library, ISBN 97-1-4614-3757-4.

ECSS (2012) “Glossary of terms” ECSS System, Edited by Requirements & Standards Division, Noordwijk, The Netherlands, ECSS-S-ST-00-01C.



X Workshop em Engenharia e Tecnologia Espaciais

7 a 9 de agosto de 2019

- ECSS (2017). “Technology readiness level (TRL) guidelines”, Space engineering, Edited by ESA Requirements & Standards Division, Noordwijk, The Netherlands, ECSS-E-HB-11.
- Gove, R. and Uzdziński, J. (2013) “A Performance-Based System Maturity Assessment Framework” Edited by Conference on Systems Engineering Research (CSER’13), Atlanta, GA: Georgia Institute of Technology 16 (2013) 688 – 697.
- Macdonald, M. and Badescu, V. (2014) “The International Handbook of Space Technology” Edited by Springer Heidelberg, New York, ISBN 978-3-642-41100-7.
- Mankins, J.. (1995) “Thecnology Readiness Levels - A White Paper”, Office of Space Access and Technology- NASA.
- Mankins, J. (2002) “Approaches to Strategic Research and Technology (R&T) Analysis and Road”. Edited by Acta Astronautica. Geat Britain, Elsevier Science LTDA, Vol. 51, pp. 3-21.
- Mankins, J. (2009) “Technology readiness assessments: A retrospective”. Edited by Acta Astronautica. 65, 2009, 65(2009)1216–1223.
- NASA (2014) “NASA Space Flight Program and Project Management Handbook” Edited by Office of the Chief Engineer. Washington, D.C. 20546, National Aeronautics and Space Administration Headquarters, NASA/SP-2014-3705.