



## An adaptation of the TRL methodology

**ABSTRACT:** The present paper aimed to increase the knowledge of Technology Readiness Levels (TRL) providing an adaptation on TRL evaluation process in the technologies. For this study were used the ESA, NASA, DoD and AFRL methodologies framed in the NBR ISO 16290: 2015. The validation of the methodology adaptation was applied in three technologies of the aerospace sector and as confirmation test a technology in the defense area. The adapted methodology produced two final results: from NBR ISO 16290: 2015 and another based on the above mentioned methodologies and in the Brazilian aerospace context. When analyzing the data, 75% of the responses obtained in the NBR ISO 16290: 2015 TRL was greater than the methodology proposed in the research. The results demonstrated a subjectivity of the Norm.

**Keywords:** Maturity Technology. Strategic management. TRL.

## 1 INTRODUÇÃO

Desde a criação do Technology Readiness Levels (TRL), Nível de Maturidade Tecnológica, na década de 1960, a metodologia vem se adaptando e se aprimorando para atender o mercado de gestão aeroespacial. Inúmeras foram as adaptações e modificações já realizadas, difundindo-se em 12 diferentes setores e gerando 58 Readiness Levels, dos quais 20 estão relacionados à maturidade tecnológica (NOLTE, 2011).

Dentre tantas adaptações realizadas, em 2013, a ISO lançou a norma ISO 16290:2013 que define os critérios básicos para cada um dos 9 níveis de TRL e que foi traduzida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas em 2015.

Segundo Olechowski *et al.* (2015) a norma ISO 16290:2013 tem o intuito de padronizar os princípios básicos para aplicação e avaliação da maturidade de uma tecnologia, entretanto, pesquisadores do Massachusetts Institute of Technology (MIT) levantaram algumas falhas na norma como: não avalia Know-How, apenas dados documentais; não avalia meios de transferência de conhecimento; não aborda aspectos político-legais (neste caso, aspectos do Brasil); não padroniza a avaliação; não aborda aspectos econômicos e documentais; não realiza análise quantitativa.

Analisando economicamente o setor aeroespacial, observa-se um setor com constante investimento e evolução, crescendo, em média, 6% ao ano e movimentando em sua cadeia total, em média, US\$ 310 bilhões no mundo (PNAE 2012-2021). Quando comparado com os outros segmentos de produtos, obtém o maior valor agregado e na relação preço/kg da matéria, a do setor espacial vale US\$ 50.000,00 e o setor agrícola, não menos importante, vale US\$ 0,50 (AIAB, 2007). Além disso, esse setor é um importante spin-off tecnológico para os demais setores (AAB, 2010).

Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo ampliar o conhecimento de TRL, fornecendo uma adaptação no processo de sua avaliação nas tecnologias. Para este estudo foram utilizadas as metodologias da ESA, NASA, DoD e AFRL e enquadradas na NBR ISO 16290:2015.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

TRL é uma ferramenta de demonstração que avalia a maturidade de uma tecnologia, produto ou projeto. Viabiliza aos interessados um entendimento comum aos gestores, técnicos e pesquisadores, definindo o *status* em que se encontra a tecnologia, facilitando *feedbacks*, comparações de tecnologias e futuras tomadas de decisões (CALCULADORA TRL IAE/ITA-2016-1).

A metodologia de TRL foi criada por Stan Sadin, pesquisador da NASA, nas décadas de 1960-1970 e consiste em uma métrica de 9 níveis para a definição do *status* de prontidão do item avaliado. A avaliação do projeto dá-se desde pesquisa básica até sistema real demonstrado em missão bem-sucedida, conforme ilustra a Figura 1.



Figura 1- Termômetro de representação dos níveis de TRL (NASA, 2016).

Auxiliando na gestão de projetos tecnológicos, a metodologia de TRL, tem sua relevância indicada no PNAE (2012), que destaca a importância de impulsionar o avanço industrial no setor espacial, enfatizando que a indústria espacial oferece cada vez mais e melhor, soluções, produtos e serviços, que contribuem para o desenvolvimento de projetos de tecnologias denominadas críticas para o setor espacial (SALGADO, 2016).

De acordo com DoD (2011), na tríade custo, cronograma e esforços desempenhados, a metodologia de TRL mantém a tecnologia dentro da tríade pré-estipulada em projetos complexos. Segundo Almeida (2008), especialistas norte-americanos abordam que resolver problemas tecnológicos separadamente, ou seja, antes da inserção das tecnologias nos projetos, pode reduzir em até dez vezes os prazos e custos totais de um projeto.

Freire (2006) relatando estudos realizados pelo Escritório de Responsabilidade do Governo dos EUA (GAO) a respeito da metodologia de TRL, aborda que a utilização de tecnologias não maduras em um projeto acarretam atrasos no cronograma e estouros no orçamento. Nos projetos avaliados em que se inseriram tecnologias com TRL abaixo de 6 tiveram até 101% de crescimento no orçamento previsto e até 120% de atraso no

cronograma pré-estipulado. Em contrapartida, nos projetos em que foram utilizados somente tecnologias com TRL acima de 6, não houve atrasos no cronograma e tão pouco crescimento no orçamento pré-estipulados.

Os benefícios da aplicação da metodologia de TRL são relevantes, porém, são inúmeras as adaptações existentes.

### 3 MATERIALE MÉTODOS

A adaptação da aplicação da metodologia de TRL, realizada no presente trabalho, buscou mitigar os aspectos levantados por Olechowski *et al.* (2015) e enquadrar a metodologia na NBR ISO 16290:2015. Dentre os inúmeros Readiness Levels existentes, a pesquisa se embasou nas metodologias de TRL das agências espaciais Europeia (ESA) e Norte Americana (NASA), do Laboratório de Pesquisa da Força Aérea dos EUA (AFRL) e do Departamento de Defesa Americano (DoD).

A metodologia adaptada com base nas metodologias existentes iniciou-se na decisão da aplicação e seguiu até o processo de avaliação, como mostra a Figura 2, que resulta em dois TRLs, sendo um TRL enquadrado somente na NBR ISO 16290:2015 e outro com aspectos econômicos, sociais, documentais e político-legais levantados nas metodologias existentes.

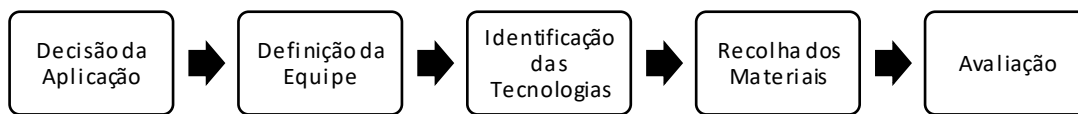


Figura 2- Etapas de aplicação da metodologia de TRL desenvolvida.

De acordo com a Figura 2 a etapa de Decisão da aplicação consiste na identificação de quando realizar uma avaliação (DOD, 2011). A frequência da avaliação pode ocorrer de duas formas: ter uma frequência pré-estabelecida ou somente quando algo for mudado no projeto.

Quanto à Definição da equipe, esta deve ser composta pelo pesquisador, conhecedor da tecnologia avaliada; pelo gestor, responsável pela missão do projeto; e pelo conhecedor do ambiente operacional (NBR ISO 16290, 2015; HANDBOOK, 2008).

No processo de Identificação das tecnologias a serem analisadas sugere-se o processo de avaliação completa, ou seja, dentro de um projeto deve-se realizar a avaliação em todas as tecnologias (NASA, 2007).

Na Recolha dos materiais, para avaliação, faz-se necessário o aporte total da documentação do projeto (tecnologia) a ser avaliado, para realização do *check-list*, conforme NBR ISO 16290:2015.

A Avaliação TRL foi realizada no *software Microsoft Excel*, em que foi desenvolvido um aplicativo denominado Calculadora TRL IAE-ITA 2016-1. O processo de avaliação ocorre em 3 passos, sendo eles: demonstração da metodologia de avaliação TRL, dados da tecnologia a ser avaliada e avaliação TRL.

A Figura 3 mostra os dados da tecnologia. A identificação da tecnologia na Calculadora TRL IAE/ITA-2016-1 é composta por: identificação do nome da tecnologia, identificação do responsável por responder as questões da avaliação, além da data da avaliação.

**Nível de Maturidade Tecnológica- TRL**

**Tecnologia:**  
Aqui você colocará somente uma breve descrição da avaliação contendo o nome da tecnologia, a pessoa que realizará a avaliação e a data da avaliação.

**Nome da** Blindagem Mista para Aeronave **Responsável pela** Francisco Pires

**Data da Avaliação:** 05/set/16

**Definição do grupo:**  
A definição do grupo delimita até qual TRL irá responder, estipulando que TRL deseja alcançar. Tendo sempre que completar a resposta do grupo.

TRL 1 a 3: Pesquisa e Desenvolvimento (P & D): Atividades de pesquisa e exploração da tecnologia, descobrimento e formulação do conceito da tecnologia a ser desenvolvida.

TRL 4 a 6: Construção da Tecnologia: Desenvolvimento do conceito da tecnologia e aplicação (protótipo), prova experimental da tecnologia realizada em ambiente laboratorial relevante.

TRL 7 a 9: Validação e Produção: Demonstração em ambiente aeroespacial, sistema qualificado e missão alcançada, possibilidade de reprodução em escala, processo de parceria e transferência tecnológica para indústria.

**Tolerância:**  
Aqui você pode alterar os valores padrões que a planilha usa para determinar a conclusão da pergunta na avaliação de TRL do Setor Espacial.

**Tolerância:** 85%

**INICIAR AVALIAÇÃO**

Figura 3 - Dados da Tecnologia.

Em segundo passo faz-se necessária a identificação do grupo em que a tecnologia se encaixa, conforme Tabela 1.

Por fim, tem-se a identificação do grau de tolerância da avaliação, que consiste no percentual aceito para conclusão de um TRL na avaliação das questões desenvolvidas. A tolerância pode ser modificada, caso haja necessidade identificada pelo gestor responsável pela avaliação. Assim como no AFRL, utilizou-se na presente pesquisa a tolerância de 85% de cumprimento dos requisitos. Para poder passar para o próximo nível de TRL, a tecnologia pode não cumprir 15% dos requisitos estipulados pelo TRL analisado, sucessivamente do TRL 1 ao TRL 9.

O processo de avaliação ocorre por meio de um questionário com 89 questões, sendo questões pertinentes a NBR ISO 16290:2015, questões técnicas, questões econômicas, questões político-legais e questões documentais, como mostrado na Figura 4.

As questões buscam enquadrar a avaliação no *check-list* da NBR ISO 16290:2015 e mitigar os aspectos levantados por Olechowski *et al.* (2015) nos

quatro quesitos: 1) tecnológicas: as questões tecnológicas são pertinentes à confirmação da descrição da NBR ISO 16290:2015; 2) econômicas: as questões econômicas abordam análise de risco e desenvolvimento do projeto (cronograma, orçamento); 3) político-legais: as questões político-legais são relacionadas à viabilidade de desenvolvimento, possibilidade de embargos de desenvolvimento e questões legais e 4) documentais: as questões documentais são relacionadas à gestão do conhecimento, que deve ser documentado, para possível reprodução.

Tabela 1 - Grupo de TRL.

Nível de TRL	Grupo de TRL	Descrição do Grupo de TRL
1 a 3	Pesquisa e Desenvolvimento (P & D)	Atividades de pesquisa e exploração da tecnologia, descobrimento e formulação do conceito da tecnologia a ser desenvolvida.
4 a 6	Construção da Tecnologia	Desenvolvimento do conceito da tecnologia e aplicação (protótipo), prova experimental da tecnologia realizada em ambiente laboratorial relevante.
7 a 9	Validação e Produção	Demonstração em ambiente aeroespacial, sistema qualificado e missão alcançada, possibilidade de reprodução em escala, processo de parceria e transferência tecnológica para indústria.






TIPO DE QUESTÃO						
NÍVEL DE TRL						Nº TOTAL DE QUESTÕES
1	2	0	2	2	4	10
2	1	3	2	1	2	9
3	3	4	1	1	1	10
4	2	3	2	1	2	10
5	5	3	0	1	1	10
6	2	5	0	0	0	7
7	3	4	1	0	1	9
8	1	5	3	1	2	12
9	2	6	2	1	1	12

Figura 4 - Número de questões desenvolvidas em cada tema.

O processo de resolução do questionário, como demonstrado na Figura 5, ocorre seguindo o processo: na coluna 1 há dois tipos de questões assinaladas com as letras I e E. As marcadas com a letra I são referentes ao *check-list* da NBR ISO 16290:2015 e somente são respondidas se atendem ou não ao critério estipulado, selecionando o quadrado na coluna 4.

As questões marcadas com a letra E são respondidas em percentual já realizado, que pode ser estipulado de 0 a 100, sempre múltiplo de 5. Para responder e marcar o percentual já realizado, rola-se a barra com o auxílio das setas na coluna 2 de '% completo', e o valor do percentual desejado aparece na coluna 3.

Esse processo de avaliação acontece em todas as questões desenvolvidas. Cada nível de TRL apresenta um conjunto de questões que foram desenvolvidas na metodologia proposta, aqui chamada de questionário de TRL.

ISO ESP	% Compl	
I		<input type="checkbox"/> Foram identificados os princípios básicos?
I		<input checked="" type="checkbox"/> Foram identificadas potenciais aplicações para a tecnologia?
E	90	<input checked="" type="checkbox"/> Foram documentados os estudos que confirmam os princípios básicos?
E	100	<input checked="" type="checkbox"/> Foram identificadas leis e pressupostos utilizados na nova tecnologia e não proíbem o desenvolvimento?
E	100	<input checked="" type="checkbox"/> Foi levantada e documentada a ideia dos riscos, custos e cronograma para desenvolvimento da pesquisa tecnológica?
E	100	<input checked="" type="checkbox"/> Foi identificado quem e onde será realizada as pesquisas da tecnologia?
E	100	<input checked="" type="checkbox"/> Existe fonte monetária ou interessados, stakeholders (patrocinadores) na concretização da tecnologia?
E	100	<input checked="" type="checkbox"/> Foi levantado se alguma outra instituição de pesquisa ou empresa está pesquisando a tecnologia no país?
E	100	<input checked="" type="checkbox"/> Foi realizada pesquisa em ambiente exploratório?
E	100	<input checked="" type="checkbox"/> Existem publicações científicas em revistas/ anais/ congressos a respeito da tecnologia?

Figura 5- Avaliação TRL.

Após a resolução do questionário é possível uma comparação dos resultados. A comparação pode ser feita com questões somente da NBR ISO 16290:2015 e com o total das questões desenvolvidas, conforme Figura 6.

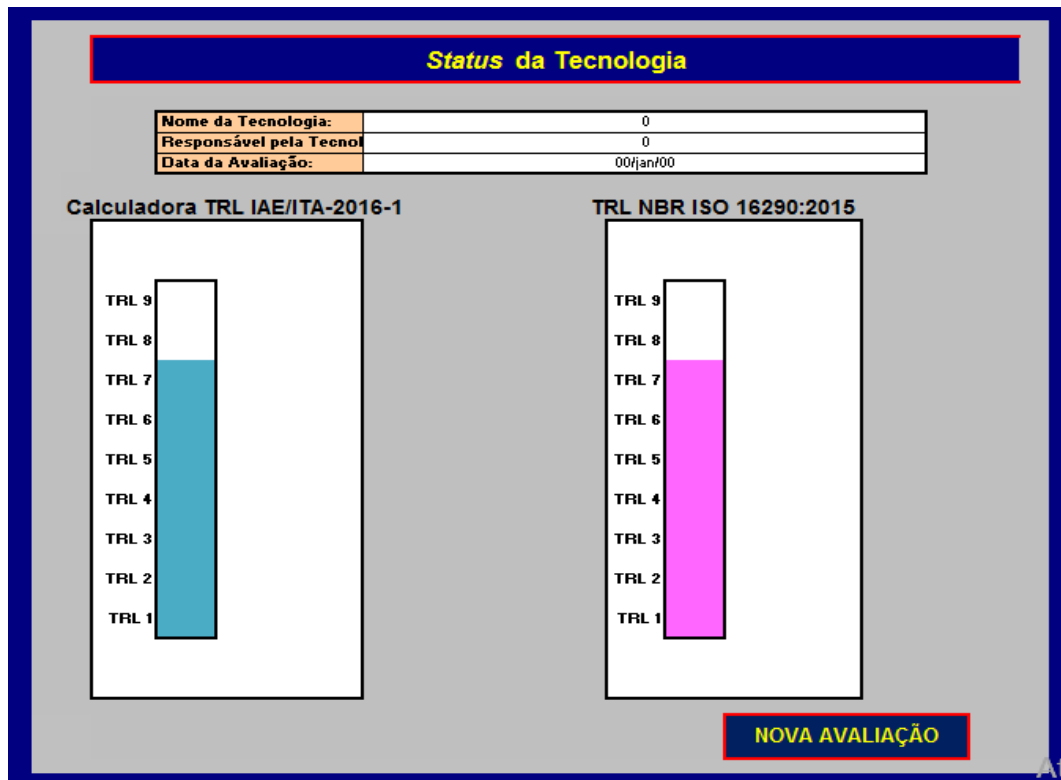


Figura 6 - Status da Tecnologia.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A metodologia proposta, no presente estudo, não abordou apenas os pilares tecnológicos, mas também, enquadrou em suas questões os pilares econômicos, documentais e políticos-legais. Foram inclusas questões do ambiente interno e externo quantitativa e qualitativamente.

A aplicação para validação da metodologia desenvolvida deu-se em 4 tecnologias do setor aeroespacial.

As tecnologias foram escolhidas para analisar comparativamente vários aspectos: 1) aplicação em diferentes setores (uma tecnologia da área de Defesa, MARIMBA, e outras de três tecnologias da área espacial: Compósitos termoestruturais de carbono reforçado com fibras de carbono, Motor L75 e VSB 30); 2) projetos concluídos (MARIMBA e VSB 30) e projetos em andamento (Compósitos termoestruturais de carbono reforçado com fibras de carbono e Motor L75) e 3) tecnologias em visão sistêmica (VSB 30, Motor L75 e MARIMBA) e tecnologia de base (Compósitos termoestruturais de carbono reforçado com fibras de carbono).

Como descrição das tecnologias avaliadas, MARIMBA consiste em um projeto do Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), do setor de Materiais/Defesa pesquisado durante 11 anos e concluído em 2011. O projeto desenvolveu materiais resistentes ao impacto balístico, para uso em aeronaves, helicópteros e veículos militares (IAE, 2011). Segundo o gerente do projeto, em entrevista para avaliação desta tecnologia na Calculadora TRL IAE/ITA-2016-



1, essa tecnologia objetiva TRL 9, porém o processo de transferência para a indústria não foi concretizado em razão de problemas de ordem burocrática.

Já, a tecnologia CARBONO consiste em compósitos termoestruturais de carbono reforçado com fibras de carbono usando hidroclaves. A simples compactação de fibras de reforço, sejam naturais ou sintéticas, aglomeradas com um material ligante na forma de uma resina termorrígida formulada com endurecedores, forma materiais leves e estruturalmente adequados para uma variedade de aplicações, trazendo benefícios para vários segmentos industriais que se estendem da área médica até a área aeroespacial.

A tecnologia MOTOR L75 consiste em projetar, fabricar, testar e operar um motor foguete à propulsão líquida (oxigênio líquido e querosene). É uma tecnologia de interesse do país, como descrito no PNAE (2012), que visa capacitá-lo na área de propulsão líquida, objetivando o crescimento da capacidade dos veículos lançadores para disputar mercado internacional de transporte espacial (ALMEIDA, 2012). Em entrevista para avaliação dessa tecnologia na Calculadora TRL IAE/ITA-2016-1, o gestor responsável pela tecnologia objetiva o desenvolvimento do protótipo da tecnologia que, ainda, está em testes laboratoriais e processo de pesquisa, e pretende alcançar o TRL 5.

A tecnologia VSB 30 é um foguete de sondagem, resultado de uma parceria entre o IAE e o Centro Aeroespacial Alemão (DLR) que financiou parte do seu desenvolvimento. É um veículo certificado. O processo de qualificação do foguete contou com a avaliação da Agência Espacial Europeia (ESA), do DLR e da Agência Espacial Sueca (SSC), além das empresas Kayser-Threde e EADS. O foguete já teve sete lançamentos bem sucedidos: dois no Brasil e cinco na Suécia (AEB, 2009). O VSB-30 objetiva transferência para a indústria, uma vez que é necessário e de interesse político para a produção em escala e viabilização de investimento para a indústria, já que é um produto certificado, com garantia de qualidade conforme a AEB (2009).

O processo de avaliação deu-se por entrevistas com os especialistas, com duração de aproximadamente uma hora. A aplicação da metodologia seguiu os passos apresentados na Figura 2 e a avaliação foi realizada utilizando o aplicativo Calculadora TRL IAE/ITA-2016-1.

Em três das quatro avaliações realizadas, a Norma NBR ISO 16290:2015 obteve um TRL mais avançado que o TRL com requisitos criados para a Calculadora TRL IAE/ITA-2016-1, ademais a tecnologia de VSB 30 obteve o TRL máximo em ambas as avaliações, conforme Figura 7.

Com exceção da tecnologia de VSB 30 que se demonstrou neutra na representação da subjetividade da Norma NBR ISO 16290:2015, as demais tecnologias avaliadas confirmaram os aspectos levantados por Olechowski *et al.* (2015) e demonstraram a subjetividade em 75% das avaliações.

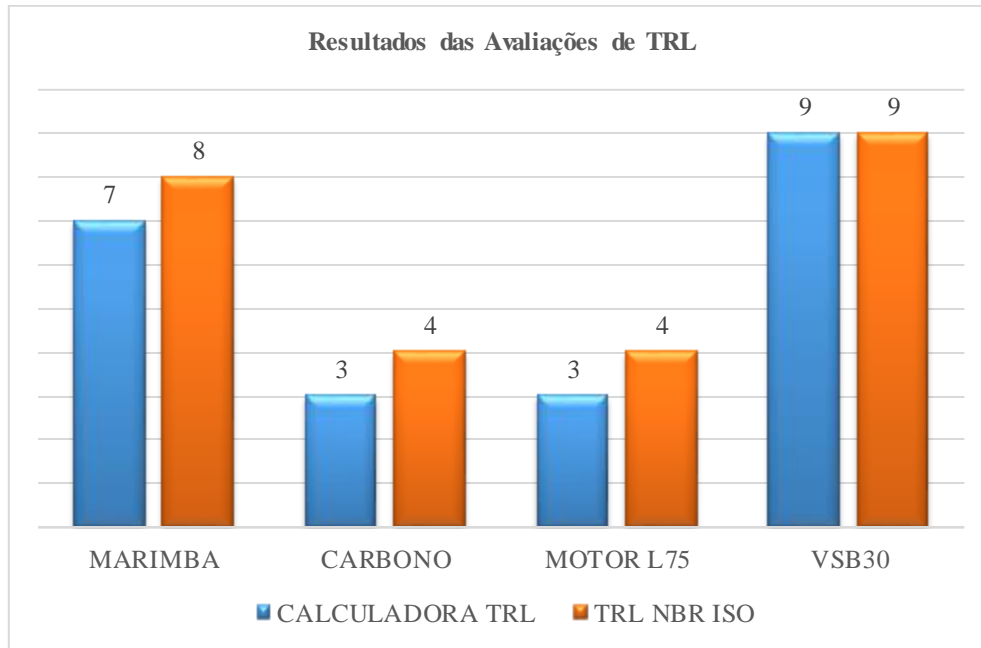


Figura 7 – Resultado das avaliações TRL.

As relevâncias da inclusão dos aspectos adicionados foram confirmadas pelos pesquisadores e gestores entrevistados. A preocupação documental mitiga a transferência do conhecimento, uma vez que fica documentado todos os passos e o know-how para o desenvolvimento tecnológica.

A transferência para a indústria adicionada nos últimos TRLs mostrou-se relevante para possível produção em escala, já que a inclusão de questões econômicas e desenvolvimento de plano de negócio, viabiliza essa transferência.

A inclusão dos aspectos político-legais para questões de embargos mostrou-se relevante por viabilizar o desenvolvimento. A utilização de dados quantitativos e qualitativos permitiu ao gestor uma avaliação pormenorizada dos aspectos do desenvolvimento do projeto, para possível tomada de decisão estratégica.

O processo de avaliação desenvolvido padronizou a avaliação, auxiliando em uma comparação de tecnologias similares e tecnologias em projetos diferenciados, além da comparação projeto/projeto.

Atualmente, a metodologia vem sendo utilizada como ferramenta para monitorar e auxiliar a inclusão de uma tecnologia em um projeto, porém o processo de identificação de quando realizar a avaliação deve ser levantado pela instituição competente.

Embora a facilidade de utilização do aplicativo Calculadora TRL IAE/ITA-2016-1 no *software Excel* disponibilize a qualquer conhecedor da tecnologia a realização da aplicação dessa metodologia, a presença do facilitador e conhecedor da metodologia mostrou-se relevante, uma vez que, possibilitou a agilidade e objetividade nas respostas das questões levantadas.

A norma NBR ISO 16290:2015 foi criada para aplicação em hardware, contudo os problemas de interface de maturidade e de integração de sistemas, em sua maioria software, são relevantes em um projeto e os que mais

acarretam atrasos em cronogramas e estouros orçamentários (OLECHOWSKI et al., 2015). A metodologia proposta não teve ênfase em software ou hardware, podendo ser aplicada em ambos.

A elaboração de um relatório da avaliação, identificando o passo a passo torna a Calculadora TRL IAE/ITA-2016-1 mais prática e rápida, uma vez que a utilização do *software Excel* disponibiliza o compartilhamento da informação e da avaliação completa pelos gestores, tornando dispensável a realização de um relatório extenso.

Nesta pesquisa, identificou-se a necessidade de avaliação nas demais tecnologias fora do contexto aeroespacial e em *software*, contudo a metodologia proposta adaptada à realidade brasileira e enquadrada aos requisitos da NBR ISO 16290:2015 foi validada com a avaliação das tecnologias escolhidas no presente estudo.

O objetivo de facilitar, padronizar e viabilizar a aplicação da avaliação TRL foi conquistado com as análises realizadas e disponibilização do *software Excel* e confirmação das respostas pelos pesquisadores entrevistados, que citaram a facilidade, agilidade e rapidez da avaliação e dos resultados.

## 5 CONCLUSÕES

A realização da adaptação mitigou os aspectos levantados na problemática da pesquisa, com a inclusão das questões pertinentes aos assuntos tecnológicos, econômicos, documentais e político-legais.

A aplicação das etapas dadas na Calculadora TRL IAE/ITA-2016-1, no *Microsoft Excel*, permitiram padronizar, viabilizar e agilizar o processo de avaliação das tecnologias escolhidas.

A validação da metodologia nas quatro tecnologias possibilitou análise e adaptação dessa metodologia em diferentes contextos, do setor espacial e de defesa, em projetos concluídos e em andamento, em tecnologias com visão sistêmica e em tecnologia de base.

Dessa forma, a presente pesquisa atingiu seu objetivo de ampliar o conhecimento de TRL e fornecer uma adaptação no processo de avaliar TRL nas tecnologias.

## Referências Bibliográficas

- AAB. Associação Aeroespacial Brasileira. **A visão da AAB para o Programa Espacial Brasileiro**. São José dos Campos, SP, 2010. Disponível em: [http://www.aeroespacial.org.br/downloads/AAB\\_VisaoProgramaEspacial\\_Brasileiro\\_vFinal\(201011\).pdf](http://www.aeroespacial.org.br/downloads/AAB_VisaoProgramaEspacial_Brasileiro_vFinal(201011).pdf). Acesso em: 12 fev. 2016.
- AEB. Agência Espacial Brasileira. **Foguete brasileiro recebe certificação**, 2009. Disponível em: < <http://www.aeb.gov.br/foguete-brasileiro-recebe-certificacao>. Acesso em: set. 2016.
- AIAB. Associação das Indústrias Aeroespaciais do Brasil. **Plano de Desenvolvimento do Polo Aeroespacial da Região de São José dos Campos, SP**, 2007. Disponível em: [http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivos/dwnl\\_1248288458.pdf](http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivos/dwnl_1248288458.pdf). Acesso em: fev. 2016.

- ALMEIDA, V. R. **Sensores Iniciais Fotônicos para aplicações aeroespaciais:** nível de maturidade tecnológica. Monografia. CCEM 2008.
- ALMEIDA, D. S. **Motor Foguete a Propelente Líquido L75.** In: 6º SEMINÁRIO DE PROJETOS E DESENVOLVIMENTO EM VEÍCULOS ESPACIAIS E TECNOLOGIAS ASSOCIADAS - SePP&D. Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores, IAE, São José dos Campos, ago. 2012. Disponível em: [http://servidor.demec.ufpr.br/CFD/bibliografia/IAE/Palestra%20L75%20Daniel%20S%20de%20Almeida\\_6%20SePPeD.pdf](http://servidor.demec.ufpr.br/CFD/bibliografia/IAE/Palestra%20L75%20Daniel%20S%20de%20Almeida_6%20SePPeD.pdf). Acesso em: 15 set. 2016.
- DOD. **Technology Readiness Assessment (TRA) Guidance.** Departamento de Defesa dos Estados Unidos, 2011. Disponível em: <http://www.acq.osd.mil/chieftechnologist/publications/docs/TRA2011.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2016.
- FREIRE, A. P. B. B. **Metodologia de Avaliação de Nível de Maturidade Tecnológica para o Ciclo de Vida dos Materiais.** Rio de Janeiro, 2006.
- HANDBOOK. **Technology Readiness Levels Handbook for Space Applications,** 2008. Disponível em: [https://artes.esa.int/sites/default/files/TRL\\_Handbook.pdf](https://artes.esa.int/sites/default/files/TRL_Handbook.pdf). Acesso em: 08 mar. 2015.
- IAE. Instituto de Aeronáutica e Espaço. **Relatório de atividades,** 2011. Disponível em: [http://www.iae.cta.br/Arquivos/Relatorio\\_de\\_atividades\\_2011.pdf](http://www.iae.cta.br/Arquivos/Relatorio_de_atividades_2011.pdf). Acesso em: 15 set. 2016.
- NASA. **Systems Engineering Handbook.** Washington DC: NASA, 2007. Disponível em: <http://www.acq.osd.mil/se/docs/NASA-SP-2007-6105-Rev-1-Final-31Dec2007.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2016.
- NASA. **Termômetro de representação dos níveis de TRL.** Disponível em: <http://www.hq.nasa.gov/office/codeq/trl/trlchrt.pdf>. Acesso em: 05 mai. 2016.
- NOLTE, W. **Readiness Level Proliferation.** AFRL/XPQ. Dtic. mil. EUA, 2011. Disponível em: [http://www.dtic.mil/ndia/2011system/13132\\_Nolte\\_Wednesday.pdf](http://www.dtic.mil/ndia/2011system/13132_Nolte_Wednesday.pdf). Acesso em: 20 jul. 2016.
- NBR ISO 16290:2015. Sistemas espaciais- Definição dos níveis de maturidade da tecnologia (TRL) e de seus critérios de avaliação. **Norma Brasileira.** 1ª. ed. 2015.
- OLECHOWSKI, A.; EPPINGER, S. D.; JOGLEKAR, N. **Technology Readiness Levels at 40:** a study of state-of-the-art use challenges, and opportunities. MIT Sloan School of Management, MIT Sloan School Working Paper 5127-15. 2015. Disponível em: [https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/96307/MITSloanWP5127-15\\_Eppinger\\_PICMET.pdf?sequence=1](https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/96307/MITSloanWP5127-15_Eppinger_PICMET.pdf?sequence=1). Acesso em: 15 jul. 2015.
- PNAE. **Programa Nacional de Atividades Espaciais:** PNAE: 2012-2021/Agência Espacial Brasileira. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, Agência Espacial Brasileira, 2012.
- SALGADO, M. C. V. **Estudo sobre tecnologias críticas de veículos espaciais aplicado ao Instituto de Aeronáutica e Espaço – IAE,** 2016. Tese (Doutorado em Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aeronáutica e Mecânica. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.