NIT-TRL-01

15 de abril de 2026

Manual de Avaliação de Maturidade Tecnológica da UFJF

Critt ufjf | PRÓ-REITORIA DE INOVAÇÃO ufjf

Manual de Avaliação de

Maturidade Tecnológica

da UFJF

Revisão	Motivo da Revisão	Publicação	Data de Vigência
0	Primeira versão	15/04/2026	31/12/2026

REITORA
Girlene Alves da Silva

PRÓ-REITORIA DE INOVAÇÃO DA UFJF
Fabrício Pablo Virgínio de Campos

CENTRO REGIONAL DE INOVAÇÃO E TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA - CRITT
Fabrício Pablo Virgínio de Campos

NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA - NIT
Ana Carolina Antunes Vidon
Gerente do Núcleo de Inovação Tecnológica

Débora Frederico Salles
Administradora

Lucas Gabriel de Carvalho Neves
Bolsista de Iniciação Tecnológica

Marcelo Pereira Franco
Bolsista de Desenvolvimento em Ciência, Tecnologia e Inovação- FAPEMIG BDCTI II

PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
Priscila de Faria Pinto

DESIGN E DIAGRAMAÇÃO
Júlia Ferreira Campbell da Costa
Bolsista de Desenvolvimento em Ciência, Tecnologia e Inovação- FAPEMIG BDCTI VI

ÍNDICE

Introdução — 5

Princípios Básicos para Avaliação no Nível de Maturidade Tecnológica — 6

Quadro de Nível de Maturidade Tecnológica da UFJF — 7

Quadro 1 - Escala de Maturidade Tecnológica da UFJF — 9

Representação ilustrativa dos critérios de avanço do TRL — 12

Considerações Finais — 14

Referências Bibliográficas — 15

1. INTRODUÇÃO

O Manual de Avaliação de Maturidade Tecnológica da UFJF tem como objetivo guiar os pesquisadores da Universidade no processo de mensurar e avaliar o nível de maturidade das tecnologias desenvolvidas no âmbito da UFJF conforme uma escala que representa os níveis de maturação tecnológica.

Além de ser um instrumento para apoiar o acompanhamento da evolução da maturidade dos projetos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação - PD&I da UFJF, é finalidade, ainda, ser um orientador na estruturação de projetos orientados ao mercado, à captação de recursos financeiros e à oportunidades de investimentos.

A escala da UFJF é fundamentada na tabela desenvolvida pela *National Aeronautic and Space Administration - NASA*, agência dos Estados Unidos da América - EUA. Elaborada inicialmente com sete níveis, em 1974, e formalmente definida em 1989, a Escala *Technology Readiness Levels - TRL* foi reelaborada, na década de 1990, com nove níveis, sendo referência para avaliar o nível de maturidade de uma tecnologia (ANEEL, 2024; ECSS-E-HB-11A, 2017).

Segundo a *European Cooperation for Space Standardization - ECSS*, organização europeia para a normalização espacial, TRL se parametriza como:

> Uma escala que avalia a maturidade tecnológica e que não se configura como método de engenharia ou desenvolvimento tecnológico.
> Uma forma de impulsionar tecnologias em programas de desenvolvimento tecnológico.
> Uma forma de determinar a evolução do TRL e possibilitar a elaboração de roteiros e otimizar oportunidades de financiamento, fornecendo uma estrutura para a avaliação de riscos associados à tecnologia (ECSS-E-HB-11A, 2017).

A partir de 2000, instituições diversas têm adotada a escala TRL elaborada pela NASA: i) Departamento de Defesa e Departamento de Energia dos EUA (2000); ii) Agência Espacial Europeia - ESA (2008); iii) Comissão Europeia (2010) e iv) Agência Nacional de Energia Elétrica (2024) (ANEEL, 2024).

Em 2013, a escala é formalizada pela Organização Internacional para Padronização - ISO (ISO 16290/2013), o que permitiu a recomendação da adoção da escala TRL como ferramenta de pesquisa e inovação pela Associação Europeia de Organizações de Pesquisa e Tecnologia - EARTO. Ainda como referência, a escala TRL elaborada pela NASA foi adotada no Programa *Horizont* (2020), programa de pesquisa e inovação da União Europeia - EU, e no seu sucessor, o *Horizont Europe* (2021 a 2027) (ANEEL, 2024; ECSS-E-HB-11A, 2017).

Em 2022, a Portaria nº 6.449/2022 do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) dispõe sobre a utilização de métricas para aferição da maturidade tecnológica dos projetos de Ciência, Tecnologia e Inovação - CT&I fomentados pelo MCTI, consolidando, portanto, a necessidade de se aplicar e utilizar estrategicamente a Escala TRL (MCTI, 2022).

O Manual NIT-TRL-01 constitui a primeira versão do Manual de Avaliação de Maturidade Tecnológica da UFJF, elaborado pela equipe do Núcleo de Inovação Tecnológica (NIT). O documento deverá ser utilizado e validado por docentes de diferentes áreas do conhecimento visando a sua aplicação em projetos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) no âmbito da Universidade.

2. PRINCÍPIOS BÁSICOS PARA AVALIAÇÃO NO NÍVEL DE MATURIDADE TECNOLÓGICA

A avaliação do Nível de Maturidade Tecnológica não consiste em método para desenvolver tecnologias, testar, qualificar ou verificar o ciclo de desenvolvimento de produtos e processos, os quais são disciplinados por normas específicas (ECSS-E-HB-11A, 2017).

Durante a execução das atividades de PD&I , o TRL pode ser usado pelos pesquisadores que desenvolvem as tecnologias para apresentarem seus planos de desenvolvimento e comunicarem ao coordenador do projeto os custos ou riscos envolvidos na tomada de decisões tecnológicas específicas com diferentes TRL's (ECSS-E-HB-11A, 2017).

A medida fornecida pela avaliação TRL é válida para um determinado elemento, em um determinado momento e em um determinado ambiente definido. Ela muda se as condições, como o ambiente operacional, prevalecentes no momento da avaliação não são mais válidos (ECSS-E-HB-11A, 2017).

Aspectos na aplicação

a) O TRL não é intrínseco a uma tecnologia: se um novo ambiente de destino tiver restrições ou requisitos de desempenho diferentes, um TRL precisa ser reavaliado (ECSS-E-HB-11A, 2017).

b) O TRL não leva em consideração as capacidades industriais de produção ou restrições de acesso à tecnologia (ECSS-E-HB-11A, 2017).

c) O TRL não substitui o ciclo de desenvolvimento ou as regras de qualidade (ECSS-E-HB-11A, 2017).

d) Não é obrigatório passar sistematicamente por todos os níveis de TRL: por exemplo, não é obrigatório atingir o nível 5 antes de prosseguir para o nível 6 (ECSS-E-HB-11A, 2017).

e) O tempo ou esforço para passar de um TRL para outro depende da tecnologia e não pode ser projetado linearmente ao longo da escala TRL (ECSS-E-HB-11A, 2017).

3. QUADRO DE NÍVEL DE MATURIDADE TECNOLÓGICA DA UFJF

O Quadro de Nível de Maturidade Tecnológica da UFJF foi desenvolvido a partir da identificação, pelo Núcleo de Inovação Tecnológica (NIT/UFJF), da necessidade de um maior detalhamento dos níveis de maturidade tecnológica da Escala TRL/NASA. Tal necessidade decorre da complexidade em determinar com precisão o estágio de desenvolvimento de uma tecnologia, especialmente no momento de sua transferência ao mercado e à sociedade.

Observou-se que, embora algumas áreas de pesquisa - como as engenharias - apresentem maior afinidade com o sistema original de Nível de Maturidade Tecnológica TRL/NASA, outras áreas encontram-se parcialmente desalinhadas em relação a essa escala. Esses desalinhamentos ocorrem, sobretudo, nos níveis intermediários de maturidade tecnológica.

Nesse contexto, foi identificada a existência de uma verdadeira “zona cinzenta” nesses níveis intermediários, na qual tecnologias distintas, em estágios significativamente diferentes de desenvolvimento, acabam recebendo a mesma classificação de maturidade. Um exemplo disso é o nível 4 do TRL/NASA, definido como teste de laboratório dos componentes do protótipo ou processo, que abrange diversas etapas de ensaios e validações em ambiente laboratorial até que se possa avançar ao nível 5.

Assim, a Escala de Maturidade Tecnológica da UFJF é equivalente à Escala *Technology Readiness Levels - TRL/NASA* e teve como objetivo criar classificações mais detalhadas dentro dos níveis intermediários de maturidade tecnológica. Conforme descrito, a seguir, e demonstrado no Quadro 1, as definições dos estágios de desenvolvimento entre os níveis 1 a 9 do TRL/NASA são equivalentes aos níveis 1 a 6 da UFJF.

Pesquisa de tecnologia básica e aplicada

O nível **1** da Nasa é equivalente ao nível **1A** da UFJF
O nível **2** da Nasa é equivalente ao nível **1B** da UFJF

Pesquisa para Teste de Viabilidade

O nível **3** da Nasa é equivalente ao nível **1C** da UFJF

Desenvolvimento

O nível **4** da Nasa é equivalente aos níveis **2A, 2B** e **2C** da UFJF
O nível **5** da Nasa é equivalente aos níveis **3A, 3B** e **3C** da UFJF

Demonstração

O nível **6** da Nasa é equivalente ao nível **4** da UFJF

Comissionamento

O nível **7** da Nasa é equivalente ao nível **5** da UFJF
O nível **8** da Nasa é equivalente ao nível **6A** da UFJF

Operação

O nível **9** da Nasa é equivalente ao nível **6B** da UFJF

Dessa forma, ao analisar uma tecnologia, tanto os profissionais do NIT quanto os docentes pesquisadores poderão identificar com maior precisão o estágio de desenvolvimento em que ela se encontra, bem como compreender claramente os critérios necessários para seu avanço aos níveis subsequentes.

3.1. Quadro 1 – Escala de Maturidade Tecnológica da UFJF

Estágio de desenvolvimento	TRL NASA	TRL UFJF		Definição	Descrição	Critério de avanço	Marcos de desenvolvimento	Resultados atingidos
Operação	9	6	B	Tecnologia (agora produto) em opreção e pronta para exploração conforme o esperado em um ambiente real.	• O desenvolvimento da tecnologia está concluído. • Operação em um ambiente real, sob todas as condições realizadas e finalizadas. • Tecnologia (produto) pronta para ser explorada.	Produto.	• A tecnologia atingiu a maturidade. • O produto está funcionando com êxito para a missão atribuída.	• Comissionamento na fase final e início da operação. • Relatório de operação em período temporal relevante.
Comissionamento	8		A	Tecnologia concluída (pré-produto) e qualificada por meio de testes.	• Foi comprovado que a tecnologia funciona conforme as condições esperadas, em um ambiente de testes e operações.	Pré-produto.	• O pré-produto é qualificado ou certificado e integrado para a operação no ambiente real.	• Pré-produto construído e integrado. • Aceitação do pré-produto para operação no setor correspondente.
	7	5		Escala completa, demonstração de projeto piloto (protótipo) em ambiente relevante.	• Foi comprovado que o pré-protótipo da tecnologia funciona conforme as condições esperadas em um ambiente relevante, convertendo-se em projeto piloto (protótipo).	Protótipo.	• O desempenho do protótipo é demonstrado no ambiente operacional. • Um modelo representativo (protótipo) refletindo integralmente todos os aspectos do produto é construído e testado para demonstrar o desempenho operacional.	• Definição dos requisitos de desempenho, para concluir o protótipo em produto. • Definição e realização do protótipo. • Plano de teste do protótipo. • Resultados dos testes do protótipo.
Demonstração	6	4		Validação de pré-protótipo em ambiente relevante.	• Modelo representativo (pré-protótipo) testado em ambiente relevante.	Pré-protótipo.	• Funções críticas do pré-protótipo são verificadas. • Desempenho do pré-protótipo é demonstrado no ambiente relevante.	• Definição dos requisitos de desempenho do pré-protótipo e do ambiente relevante. • Identificação e análise das funções críticas do pré-rpotótipo. • Plano de teste de funções críticas. • Definição de moidelo para as verificações de funções críticas. • Relatórios de teste do pré-protótipo.
Desenvolvimento	5	3	C	Escala de laboratório, validação de elemento semelhante em ambiente relevante.	• Validação dos testes do elemento em ambiente relevante. • Preparação para o pré-protótipo.	Elemento validado.	• Elemento constituído, mas não prototipado, para testes em ambiente relevante considerando os efeitos de escala.	• Análise de efeitos de escala. • Relatórios de teste para idealização do pré-protótipo.
			B		• Inicia-se o teste do elemento em ambiente relevantes. • Intensificação dos testes. • Preparação do elemento para validação dos testes em ambiente relevante.	Elemento testado.	• Elemento integrado pronto para validação.	• Resultado dos testes do elemento em ambiente relevante. • Identificação e análise das funções críticas do elemento.
			A		• Criação do elemento integrado. • Preparação do elemento para testes em ambiente relevante.	Elemento criado.	• Integração do elemento para teste. • As funções críticas do elemento são identificadas e o ambiente relevante associado é definido.	• Definição preliminar dos requisitos de desempenho do elemento e do ambiente relevante. • Plano de teste de funções críticas.

Estágio de desenvolvimento	TRL NASA	TRL UFJF		Definição	Descrição	Critério de avanço	Marcos de desenvolvimento	Resultados atingidos
Desenvolvimento	4	2	C	Validação de componentes em ambiente laboratorial.	• Validação dos testes em ambientes laboratoriais. • Preparação dos componentes para criar o sistema integrado.	Subconjunto validado.	• O desempenho dos componentes é demonstrado por testes de ensaio em ambiente de laboratório. • Validação de componentes.	• Relatórios dos testes de desempenho funcionais.
			B		• Inicia-se os testes dos componentes em ambientes laboratoriais. • Intensificação dos testes. • Preparação para validação dos testes laboratoriais.	Subconjunto testado.	• Testes laboratoriais realizados. • Componentes prontos para validação.	• Resultado dos testes laboratoriais. • Definição de requerimentos funcionais para validação.
			A		• Materialização do conceito em seus componentes.	Subconjunto definido.	• Componentes identificados para teste. • Ideação dos testes laboratoriais. • Validação de conceito.	• Definição de requerimentos de desempenhos preliminares. • Projeto conceitual dos componentes. • Plano funcional para testes.
Pesquisa para Teste de Viabilidade	3	1	C	Estudos analíticos e experimentais e/ou prova de conceito.	• Inicia-se o P&D (Pesquisa e Desenvolvimento). • Estudos analíticos e em escala laboratorial para validar as previsões de componentes fragmentados da tecnologia.	Prova de conceito.	• Através dos estudos analíticos que incorporam dados experimentais e características relevantes obtem-se o conceito. • O desempenho esperado é demonstrado por meio desses estudos. • Conceito provado.	• Requerimentos de desempenho preliminares. • Dados experimentais, definições de experimentos em laboratório e resultados. • Projeto conceitual do componente. • Estudos analíticos do componente para ensaios de validação de conceito no nível acima (Nível 2A).
Pesquisa de Tecnologia Básica e Aplicada	2		B	Conceito e/ou aplicação de tecnologia formulada.	• Aplicações práticas podem ser elaboradas. • As aplicações são dedutivas e pode não haver prova ou análise detalhada para apoiar as suposições.	Concepção de componente.	• Concepção inicial do componente. • Ainda não há conceito.	• Formulação de aplicações potenciais. • Projeto conceitual preliminar do componente. • Emprego dos principios básicos.
	1		A	Princípios básicos observados e relatados.	• O nível mais baixo de maturidade tecnológica. • A investigação científica começa a se traduzir em P&D (Pesquisa e Desenvolvimento).	Concepção de princípio.	• Inicio da enumeração das aplicações. • Ainda não há conceito.	• Identificação de aplicações potenciais. • Concepção dos princípios básicos orientados à aplicação.

ANEL 2024; ECSS-E-HB-11A, 2017)

Legenda

Ambiente Operacional

Conjunto de condições naturais e induzidas que restringem o elemento desde sua definição de projeto até sua operação. Foco no uso, regras, atores e interação com o sistema (ECSS-E-HB-11A, 2017; ISO 16290:2013).

Exemplo: Infraestrutura física (máquinas, instalações, layout);
Recursos humanos (operadores, gestores);
Sistemas tecnológicos (software, automação, redes);
Condições ambientais (temperatura, iluminação, ruído);
Regras e restrições operacionais (normas, procedimentos).

Ambiente Real

Ambiente real é o conjunto de condições e fenômenos existentes no mundo físico, externos ao sistema de interesse, que podem influenciar seu comportamento ou com os quais o sistema pode interagir durante sua existência.

É o mundo físico externo ao sistema, composto por elementos e fenômenos reais que podem influenciá-lo. Foco no mundo físico e nas condições externas (ISO 16290:2013).

Exemplo: Clima, terreno, objetos, sinais físicos.

Ambiente Relevante

Ambiente que simula aspectos-chave do ambiente operacional esperado de um sistema espacial ou de seus elementos. Mínimo do ambiente operacional que é necessário para demonstrar funcões críticas do desempenho do elemento em seu ambiente operacional (ECSS-E-HB-11A, 2017; ISO 16290:2013).

Exemplo: Testes de radiação ou vibração.

Ciência

Estudo sistemático da estrutura e do comportamento do mundo físico e natural por meio da observação e da experimentação (Oxford, 1989).

Exemplo: Física, química, biologia, etc.

Inovação

É a implementação de uma solução nova ou significativamente aprimorada — seja um produto, processo, método organizacional ou modelo de negócio — que gera valor real, seja econômico, social, ambiental ou estratégico (ISO 56000:2020; OCDE, 2018).

Exemplo: Uso de materiais mais leves em tecnologias.

Tecnologia

Aplicação do conhecimento científico, ferramentas, técnicas, ofícios, sistemas ou métodos de organização, com o objetivo de resolver um problema ou atingir um objetivo (ISO 16290:2013).

Exemplo: Robótica, inteligência artificial, etc.

Princípio

Fundamento básico ou lei científica que rege o funcionamento ou a operação de um sistema ou componente, sendo a fundação para o desenvolvimento e operação de sistemas, subsistemas ou componentes (ISO 16290:2013).

Exemplo: O princípio da ação e reação para propulsão de foguetes.

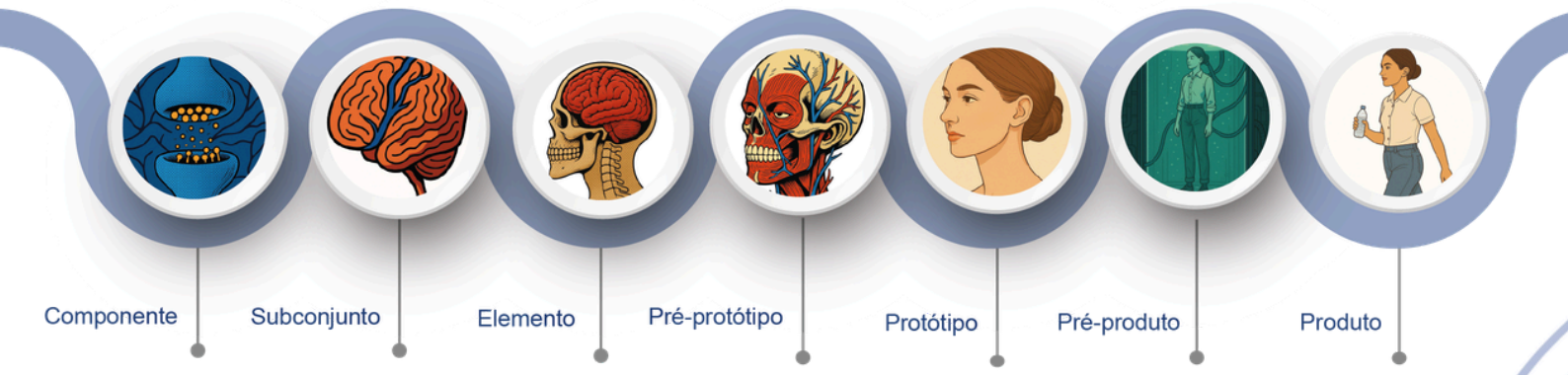
Conceito

Ideia, teoria ou imagem mental que é usada para desenvolver uma solução técnica. Define requisitos gerais do sistema, explora diferentes soluções, analisa as viabilidades técnicas e econômicas (ISO 16290:2013).

Exemplo: o conceito de uma missão espacial, que define sua finalidade, órbita, carga útil e requisitos operacionais.

4. REPRESENTAÇÃO ILUSTRATIVA DOS CRITÉRIOS DE AVANÇO DO TRL

Neste recorte, apresenta-se de forma lúdica e ilustrativa a correspondência entre os termos associados aos critérios de avanço na escala TRL e processos específicos. Para essa analogia, o corpo humano é utilizado como referência: a sinapse representa o componente inicial em desenvolvimento, que evolui progressivamente até culminar em um corpo humano plenamente ativo, o qual simboliza o produto final.



Legenda

Componente
Uma parte modular, encapsulada e substituível de um sistema que realiza uma função específica e interage com outros componentes por meio de interfaces bem definidas. Estágio inicial de todo o processo que se desdobrará ao longo do desenvolvimento.

Subconjunto
União entre diferentes componentes.

Elemento
Item ou objeto em consideração para a avaliação de prontidão tecnológica (ISO 16290:2013). União de seus subconjuntos, formando um único elemento.

Pré-protótipo
O elemento já se encontra incorporado e revestido.

Protótipo
A camada externa é adicionada, estabelecendo-se, assim, a semelhança com o corpo final (produto). Desse modo, o protótipo passa a apresentar características condizentes com aquelas pretendidas para o produto final.

Pré-produto
O protótipo já foi testado e aprovado. Encontra-se validado, restando apenas sua efetiva introdução no mercado como produto.

Produto
Todos os processos foram cumpridos, e a tecnologia se encontra completamente funcional e pronta para o mercado, assim como o corpo humano é capaz de executar suas atividades.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como ponto de partida para a elaboração deste Manual, considerou-se a necessidade, identificada pelo Núcleo de Inovação Tecnológica (NIT/UFJF), de traduzir a Tabela TRL/NASA em uma ferramenta prática e aplicável ao cotidiano dos pesquisadores, permitindo a avaliação mais precisa da evolução da maturidade tecnológica.

Originalmente desenvolvida para a engenharia aeroespacial, a Tabela TRL/NASA apresenta limitações quando aplicada a outras áreas do conhecimento, como biotecnologia e ciências sociais, nas quais os níveis nem sempre se ajustam adequadamente, exigindo adaptações nos critérios de avaliação.

Adicionalmente, pesquisadores enfrentam dificuldades na aplicação da escala, especialmente em função da ambiguidade presente nos níveis intermediários (TRL 4 a 6), bem como no detalhamento de cada nível e interpretação de conceitos. Essa falta de clareza pode levar à classificação equivocada de tecnologias em fases superiores a que se encontram.

Com o objetivo de reduzir a subjetividade dessas avaliações e promover maior padronização, foi elaborado o Manual de Avaliação de Maturidade Tecnológica da UFJF, buscando tornar a aplicação da escala TRL mais clara, consistente e alinhada às diferentes áreas de pesquisa.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL, 2024. G**uia de Avaliação da Maturidade Tecnológica da ANEEL**/ Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília: ANEEL, 2024. Disponível em: file:///D:/MANUAL%20TRL/MANUAL%20SIMPLIFICADO%20DE%20MATURIDADE%20TECNOLOGICA/GuiaTRL%20ANEEL.pdf

ECSS Secretariat. **Space engineering: Technology readiness level (TRL) guidelines. ECSS-E-HB-11A(esa.int).** European cooperation for Space Standardization. 1 March 2017. Disponivel em: https://connectivity.esa.int/sites/ default/files/ECSS-E-HB-11A(1March2017).pdf

ISO. Space systems - Definition of the Technology Readiness Levels (TRLs) and their criteria of assessment. **ISO 16290:2013(en).** International Organization for Standardization, 2019. Disponível em: https://www.iso.org/obp/ui/ en/#iso:std:iso:16290:ed-1:v1:en.

ISO. Sistemas de gestão da qualidade — Fundamentos e vocabulário. **ISO 9000:2015**. International Organization for Standardization Rio de Janeiro: ABNT, 2015. Disponível em: https://tecnologia.qualidade.faccat.br/moodle/pluginfile.php/1386/mod_folder/content/0/NORMA%20ISO%2090002015.pdf?forcedownload=1.

ISO. Innovation management — Fundamentals and vocabulary. **ISO 56000:2020.** International Organization for Standardization. Geneva, 2020.

MCTI. Portaria nº 6449, de 17 de outubro de 2022. Dispõe sobre o uso do Sistema de Medição e Identificação do Nível de Maturidade Tecnológica dos projetos desenvolvidos no âmbito do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações e de suas unidades vinculadas. [2022]. Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/legislacao/portarias/Portaria_MCTI_n_6449_de_17102022. html

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **NASA/SP-2007- 6105 Rev1.** Washington, D.C.: NASA, 2016.

ORGANIZAÇÃO PARA COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE). **Manual de Oslo: diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação.** 4. ed. Paris: OCDE, 2018. Disponível em: https://www.gov.br/agu/ptbr/composicao/cgu/cgu/modelos/cti/consulta/manual-de-oslo-ocde-4aedicao-2018.pdf/view.

OXFORD ENGLISH DICTIONARY. **Oxford English Dictionary**. 2. ed. Oxford: Oxford University Press, 1989.

ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. **Product design and development.** 6. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2015.