

Technology Readiness Levels (TRL) Aplicada à Análise do Nível de Maturidade Tecnológica de Projetos: Uma Revisão Sistemática e Bibliográfica de Literatura

REINALDO BORSATO RODRIGUES

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ - UNIFEI (UNIFEI)

SANDRA MIRANDA NEVES

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ - UNIFEI (UNIFEI)

ANDRÉA APARECIDA DA COSTA MINEIRO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ - UNIFEI (UNIFEI)

ISABEL CRISTINA DA SILVA ARANTES

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ - UNIFEI (UNIFEI)

Technology Readiness Levels (TRL) Aplicada à Análise do Nível de Maturidade Tecnológica de Projetos: Uma Revisão Sistemática e Bibliográfica de Literatura

Resumo

A metodologia *Technology Readiness Levels (TRL)* vem sendo utilizada em projetos tecnológicos de elevada complexidade, principalmente em contextos em que o domínio da tecnologia ainda é incipiente. Considerando a potencialidade da TRL, este estudo objetiva analisar, por meio de uma revisão sistemática da literatura, a produção científica mundial atinente à utilização da TRL e relacionada ao desenvolvimento de produtos/tecnologias inovadoras. Especificamente buscou-se: i) verificar a quantidade de publicações na literatura internacional e nacional no período de 2011/2020, enumerando os países mais interessados no assunto; ii) identificar os principais autores citados e os trabalhos mais relevantes em consonância com o objetivo deste artigo; iii) levantar as principais palavras-chave utilizadas; e iv) apresentar as lacunas na literatura que embasem o desenvolvimento de pesquisas futuras. Para as buscas, foram utilizadas as bases *Web of Science* e ANPAD SPELL, sendo identificadas e analisadas 293 publicações. O contexto de utilização da metodologia abrange políticas de fomento à pesquisa, desenvolvimento e inovação tecnológica brasileira, assim como fundamentos, contextualização e desdobramento de aplicações a nível mundial. Como resultados da análise, foi possível identificar ferramentas associadas a TRL e à análise do nível de maturidade tecnológica, assim como delimitar uma agenda de estudos futuros relacionados ao tema.

Palavras-chave: *Technology Readiness Levels (TRL)*; Projetos de Inovação; Desenvolvimento.

1 Introdução

Na contemporaneidade, considerando o contexto hipercompetitivo, tem-se que o desenvolvimento e a difusão de novas tecnologias são essenciais para o crescimento dos negócios e da sociedade. Reconhece-se que quanto mais inovadora uma organização for, maior será sua competitividade e melhor sua posição e proposta de valor no mercado em que atua. E nessa perspectiva, Carvalho e Reis (2011) demarcam que a alta capacidade para inovar transforma ideias em produtos, serviços e processos inovadores de forma rápida e eficiente. Todavia, é sabido que o entendimento acerca do processo de inovação e o seu impacto econômico é deficitário (OECD, 2018), apesar da constatação de que para terem sucesso as organizações necessitam encontrar formas de inovar, pois, caso contrário, se tornarão obsoletas (CHRISTENSEN *et al.*, 2015).

Importa destacar que a tecnologia e a inovação caminham juntas, especialmente porque a tecnologia representa um conjunto organizado de conhecimentos científicos, empíricos e intuitivos, empregados na produção e comercialização de bens e serviços (LONGO, 1996), e a inovação configura a ação de inovar por intermédio de métodos e técnicas constituídos de tecnologia, numa relação de forte imbricação e correlação teórico-prática. Tem-se que, desde a sua concepção, a tecnologia perpassa por diferentes estágios de evolução até atingir a maturidade necessária à sua comercialização, emprego e utilização estratégica. Tais estágios ao serem estudados pela *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*, passaram a representar uma sistemática métrica denominada de Escala/Nível de Maturidade de Tecnologia, ou *Technology Readiness Levels (TRL)*, desenvolvida para permitir a avaliação acerca do processo de desenvolvimento de cada condicionante tecnológico (ou seja, seu nível de maturidade) e ordenação e comparação das tecnologias que sustentem e fomentem inovações e transições tecnológicas das mais variadas modalidades, vislumbrando dar suporte à tomada de decisão (MANKINS, 1995; ANPEI, 2017). As escalas de nível tecnológico que compõem a

TRL variam, originalmente, em nove subníveis, onde os níveis mais baixos estão ligados à pesquisa básica da tecnologia e os níveis mais altos estão ligados ao desenvolvimento de sistemas e subsistemas de maior complexidade.

Atualmente, no contexto brasileiro, há uma tendência de que as agências de fomento utilizem o TRL para identificar o nível de maturidade tecnológica dos projetos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) inscritos em um determinado instrumento de fomento. A Lei 11.196/2005, também chamada de Lei do Bem, regulamentou os incentivos fiscais para a inovação tecnológica, assim como sobre outras questões tributárias e outros regimes especiais de tributação (OLIVEIRA; ZABA; FORTE, 2017). Em seu Capítulo III, a Lei do Bem aborda que podem ser beneficiadas as fases de um projeto com TRL variando entre os níveis 1 a 7, com exceção de atividades de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) retroativo, que se enquadram em uma escala de TRL 8. De acordo com o manual de operações da Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPII), que apoia projetos de PD&I com recurso não-reembolsável, os projetos fomentados devem, necessariamente, estar classificados entre 3 e 6 pontos na escala de TRL, de forma que se assume que os mesmos não possuem nível de maturidade tecnológica suficiente para serem diretamente implantados, comercializados ou utilizados fora do âmbito dos seus projetos (EMBRAPII, 2020). Outras agências de fomento como a Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP e o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) também fazem referência ao nível de maturidade tecnológica em diferentes editais, conforme a natureza e o tipo do fomento.

Diante desse contexto, surgem questões de pesquisa que motivam a execução do presente estudo: O que vem sendo pesquisado atualmente sobre TRL? A partir da análise das publicações é possível evidenciar a importância de novas pesquisas referentes à utilização dessa metodologia para auxiliar a medir com eficiência a maturidade das tecnologias presentes no desenvolvimento de um produto inovador em uma empresa de base tecnológica?

Partindo-se dessas questões problematizadoras, objetivou-se analisar, por meio de uma revisão sistemática de literatura, a produção científica mundial ligada à utilização da metodologia TRL que esteja relacionada ao desenvolvimento de produtos/tecnologias inovadoras, tomando como referência para a busca as bases de dados *Web of Science* e ANPAD SPELL. Como objetivos específicos buscou-se efetuar a análise descritiva, considerado os principais países, autores e palavras-chaves bem como apresentar as lacunas na literatura que embasem o desenvolvimento de pesquisas futuras.

Além desta introdução, que apresentou as justificativas para a pesquisa, as questões norteadoras e os objetivos, o artigo está estruturado em outras quatro seções. Na segunda seção são abordadas algumas questões ligadas ao contexto da criação e evolução da TRL. A terceira seção trata dos procedimentos metodológicos utilizados na pesquisa. Já na quarta seção são apresentados e discutidos os resultados encontrados ao longo do estudo e, por fim, na última seção tem-se as considerações finais da pesquisa, suas limitações e propostas para estudos futuros.

2 Avaliação de Maturidade Tecnológica e a TRL

A Maturidade pode ser definida, no contexto de gerenciamento de projetos, como sendo a capacidade de responder ao meio ambiente da forma apropriada com as melhores práticas, sendo essa resposta fruto do aprendizado adquirido pelo conhecimento e não por uma manifestação instintiva (ANDERSEN, 2019). Com relação à avaliação da maturidade de novas tecnologias, a TRL é um dos métodos de avaliação de preparação tecnológica que independe de disciplinas científicas para permitir a avaliação e a comunicação mais eficazes (OLECHOWSKI; EPPINGER; JOGLEKAR, 2015). Desenvolvida pela NASA na década de 1970, inicialmente para aplicação em materiais relativos aos sistemas espaciais e, posteriormente, em domínios mais abrangentes, a TRL passou a constituir uma poderosa

ferramenta para gerir os riscos tecnológicos que podem levar ao fracasso do desenvolvimento de um novo produto ou de uma nova tecnologia (NOLTE, 2011). Em 1991, a NASA lança o primeiro Plano Integrado Tecnológico para o Programa Espacial Civil, no qual foi empregada a metodologia TRL para estudos e previsões, bem como para avaliações tecnológicas (NASA, 2007).

Uma melhor explicação e validação da metodologia surge em 6 de abril de 1995, quando John Mankins, pesquisador da NASA, apresentou pela primeira vez os nove níveis de maturidade tecnológica com suas definições detalhadas, além de exemplos que são utilizados até os dias de hoje e que foram descritos no artigo *Technology Readiness Levels – A White Paper* (MANKINS, 2005). Visando trazer as definições originais de Mankins (1995) sobre os nove níveis da TRL ligado ao desenvolvimento de tecnologia espacial, o Quadro 1 foi elaborado.

Quadro 1. Definições originais da TRL.

TRL	Definição	Estágio do Desenvolvimento	
1	Princípios básicos observados e reportados	Pesquisa básica da tecnologia	Estudo de viabilidade
2	Conceito tecnológico e/ou aplicação formulada		
3	Prova de conceito analítica e experimental de características e/ou funções críticas	Desenvolvimento tecnológico	Demonstração tecnológica
4	Verificação funcional de componente e/ou placa de ensaios em ambiente laboratorial		
5	Verificação da função crítica de componente e/ou placa de ensaios em ambiente relevante		
6	Demonstração do protótipo do sistema e/ou subsistema em um ambiente relevante na terra	Desenvolvimento de sistemas e subsistemas	Sistemas testados, aprovados e prontos para lançamento
7	Demonstração do protótipo do sistema em um ambiente espacial		
8	Sistema real concluído e qualificado para voo por meio de teste e demonstração (solo ou espaço)		
9	Sistema real comprovado em voo por meio de operações de missão bem-sucedidas		

Fonte: Adaptado de Mankins (1995).

Conforme visualizado, cada nível compreende a um estágio de desenvolvimento da tecnologia, que vai desde o estudo preliminar de viabilidade até sistemas testados e comprovados tecno-cientificamente, considerando que a passagem de um nível para outro depende da evolução tecnológica do escopo de cada projeto/sistema. Conjuntamente à TRL, Mankins (1995) apresenta o conceito de *Manufacturing Readiness Levels* (MRL), usualmente empregado para designar e avaliar os níveis de maturidade de cada processo. Em 2003, o pesquisador da *Air Force Research Laboratory* (AFRL), Nolte W., desenvolveu a *TRL Calculator*. Posteriormente, em 2013, foi criada a norma de certificação da metodologia para o setor espacial denominada *Space Systems – Definition of the Technology Readiness Levels (TRLs) and their criteria of assessment* - ISO 16290 (2013). Agências como a Agência Espacial

Europeia (ESA) e o Departamento de Defesa dos EUA (DoD) adotaram as escalas definidas pela TRL para as iniciativas de desenvolvimento tecnológico. Em 2010 o TRL foi referenciado pela Comissão Europeia para que fosse adotado nos projetos de PD&I (DE ROSE *et al.*, 2017). A própria Associação Brasileira de Normas Técnica (ABNT) adotou a norma americana ISO 16290 (2013), traduzindo seu conteúdo, e disponibilizando então a norma NBR ISO 16290 (2015), Sistemas Espaciais - Definição dos níveis de maturidade da tecnologia (TRL) e de seus critérios de avaliação.

Segundo a *European Association of Research And Technology Organisations* (EARTO, 2014) a transição entre os níveis, ou seja, a fronteira entre eles, muitas vezes não está bem definida e pode variar, principalmente em setores onde as etapas de certificação de produto e o seu desenvolvimento não estão ainda bem definidos. Existe a possibilidade de recuo nos níveis, pois eventualmente mesmo os mais altos podem requerer pesquisa adicional. De tal modo que um TRL mais alto significa que a tecnologia está mais próxima da aplicação, enquanto um TRL mais baixo significa que a tecnologia está mais distante de poder ser utilizada (ANDERSEN, 2019). A literatura aponta, pela experiência, que a transição entre os níveis pode variar muito de acordo com o produto ou sistema a ser considerado/validado.

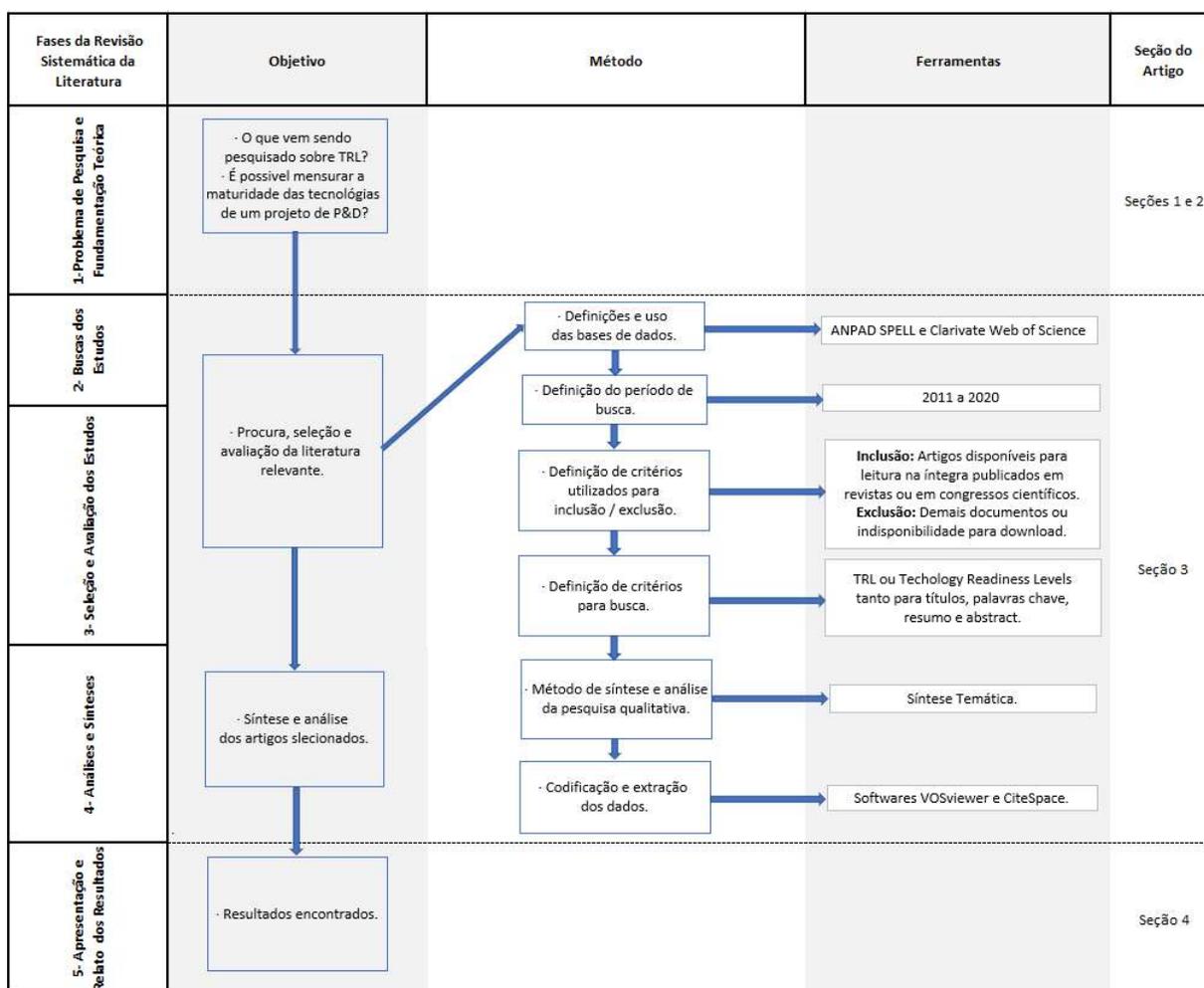
Já em relação a aplicação da metodologia a TRL pode representar valores quantitativos e qualitativos, sendo também uma ferramenta útil para auxiliar a gestão do programa de desenvolvimento de uma tecnologia, pois envolve elementos críticos, por meio de pesquisas ou estudos de literatura que apoiarão a avaliação da gestão atual, estabelecendo assim ações para melhoria contínua (SUZIANI *et al.*, 2020). Ademais, infere-se que a TRL é uma ferramenta que tem seus benefícios comprovados na análise comparativa de tecnologias e seus respectivos estágios de maturidade, bem como sua utilidade validada quando aplicada por órgãos de fomento e apoio a projetos inovadores. Portanto, pode ser considerada um instrumento de inovação que atua positivamente no impulsionamento competitivo de produtos, processos, ideias, sistemas e negócios.

3 Procedimentos Metodológicos

As revisões sistemáticas são consideradas estudos secundários, que têm nos estudos primários sua fonte de dados. Entende-se por estudos primários os artigos científicos que relatam os resultados de pesquisa em primeira mão (GALVÃO; PEREIRA, 2014). Uma revisão sistemática da literatura pode ser, basicamente, de quatro tipos: meta análise, sistemática, qualitativa e integrativa (SOUZA; SILVA; CARVALHO, 2010). Já as fases que compõem uma revisão sistemática são respectivamente: levantamento do problema de pesquisa e fundamentação teórica, busca dos estudos, seleção e avaliação dos estudos, análises e sínteses e por fim, apresentação e relato dos resultados (GARZA-REYES, 2015). De posse dessas informações, realizou-se no referido estudo uma revisão de literatura do tipo sistemática, a qual se deu por meio da definição da problemática, fundamentação teórica, levantamento dos estudos, análises e sínteses, seguindo as etapas elencadas por Garza-Reyes (2015). Fez-se também uma análise bibliométrica e sistemática, que possibilitou mensurar os índices de produção e disseminação do conhecimento acerca da *Technology Readiness Levels*, de modo a acompanhar o desenvolvimento das pesquisas científicas e os padrões de autoria e publicação (VANTI, 2002; LOPES *et al.*, 2012), cumprindo com os objetivos (geral e específicos). Para tanto, foram utilizadas as bases de conhecimento *Web of Science* (WoS) e *Scientific Periodicals Electronic Library* (SPELL), com o intuito de se efetuar o levantamento dos dados em consonância e alinhamento aos objetivos supracitados neste trabalho. Os descritores usados para a seleção dos estudos foram “*Technology Readiness Levels*” e “TRL”. O intervalo de pesquisa das publicações foi limitado aos anos de 2011 até 2020, de forma a evidenciar a atualidade das pesquisas, nos idiomas português e inglês. Destaca-se que na base WoS foram encontrados 290 estudos com acesso aberto, enquanto na SPELL, 3 estudos estavam

disponíveis para download, totalizando então 293 artigos para análise. Para a construção da codificação e extração dos dados os softwares CiteSpace® e VOSviewer® foram utilizados com o intuito de sintetizar graficamente os procedimentos seguidos, foi construída a Figura 1.

Figura 1 - Fases da revisão sistemática da literatura, ferramentas e localização dentro do artigo.



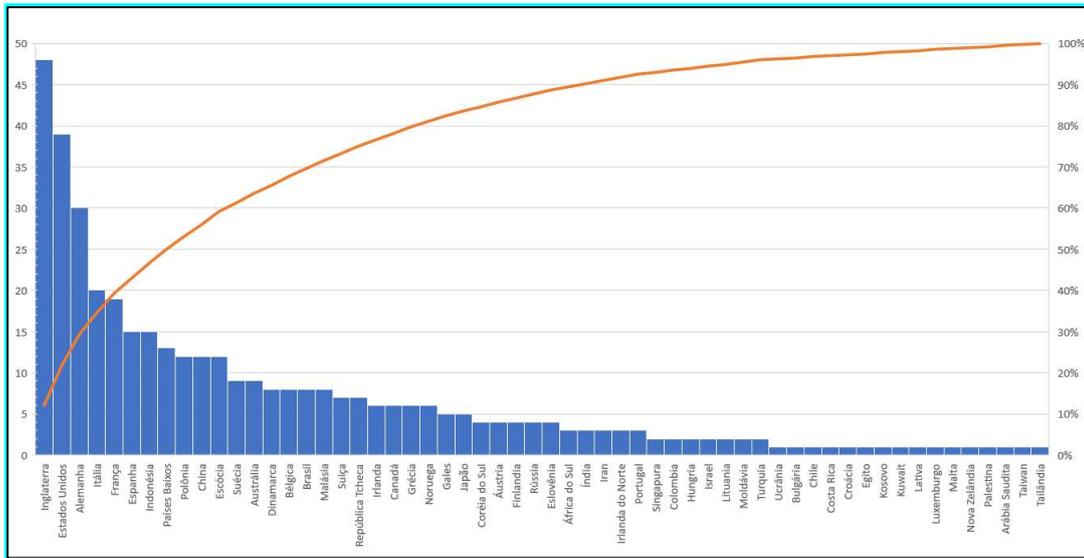
Fonte: Adaptado de Garza-Reyes (2015).

Conforme elucidado na Figura 1, as etapas foram subdivididas em seções, sendo os resultados apresentados na seção 4.

4 Resultados

Ao empreender a pesquisa sobre a TRL e centrar esforços na análise da produção científica envolvendo essa temática, compreendeu-se que essa discussão tem grande potencial de exploração e que parte significativa dos estudos teóricos advém da literatura internacional e que no Brasil as pesquisas ainda são incipientes e carecem de análises mais profícuas e aprofundadas. Com o intuito de compreender quais os países que mais publicam na temática *TRL*, e considerando-se as publicações entre os anos de 2011 e 2020, as Figuras 2 e 3 foram elaboradas. A Figura 2 apresenta a quantidade de publicações na literatura internacional e nacional, conforme pesquisado nas bases do conhecimento que compõem este estudo, enumerando os países mais interessados. Já a Figura 3 ilustra as publicações referentes ao tema ano a ano.

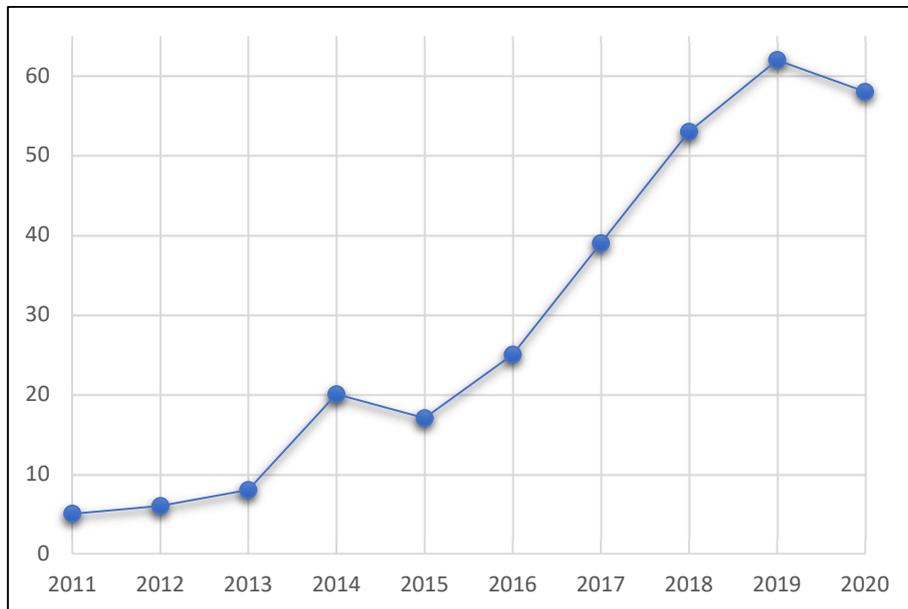
Figura 2 - Países mais interessados no assunto e número de publicações entre 2011 e 2020



Fonte: Elaborado pelos autores

Ao se analisar os dados presentes na Figura 2 é possível verificar que os 5 países com maior número de publicações sobre a TRL são Inglaterra (48), Estados Unidos (38), Alemanha (30), Itália (20) e França (18). O Brasil possui apenas 8 publicações catalogadas nas bases pesquisadas, indicando o potencial de exploração dessa temática na realidade dos estudos brasileiros.

Figura 3 - Quantidade de publicações entre 2011 e 2020



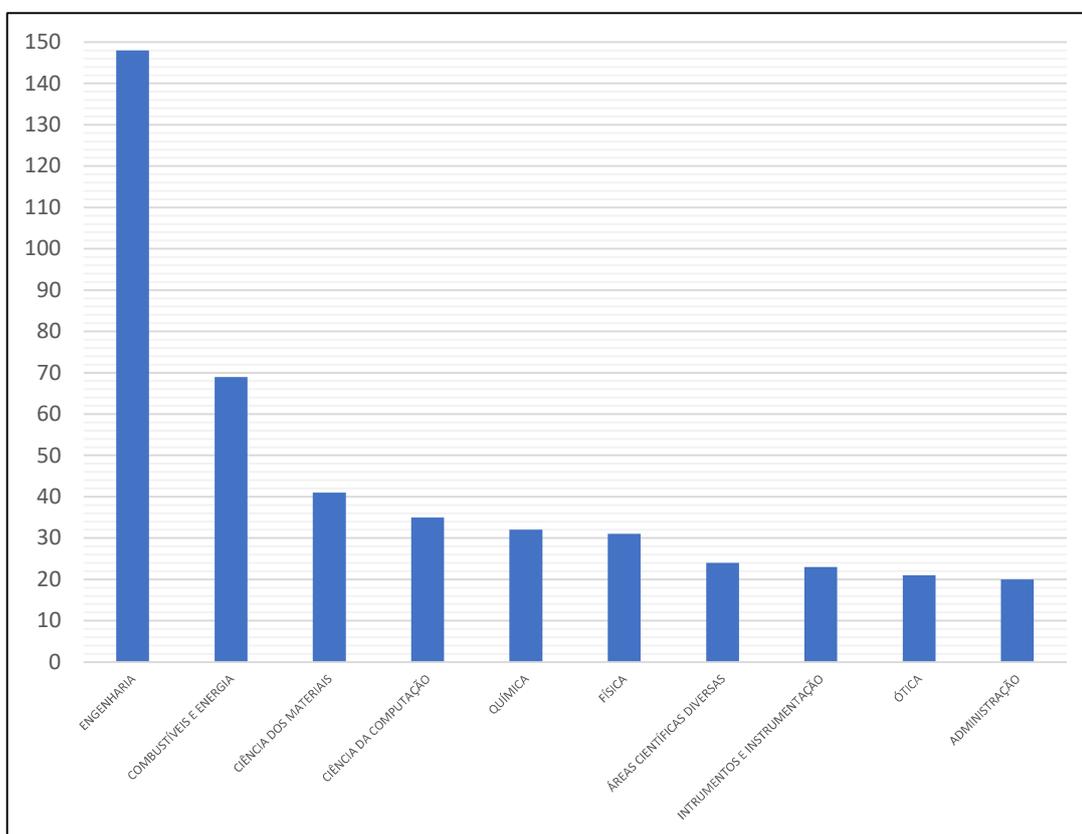
Fonte: Elaborado pelos autores

Em relação à Figura 3, é possível perceber uma tendência de alta no que tange ao interesse sobre o tema, evidenciando a sua importância. Durante o período analisado, somente no ano de 2015 e em 2020 houve queda no número de publicações referentes ao ano anterior. O gráfico aponta a ascendência dos estudos, ratificando a importância das pesquisas e das análises envolvendo essa metodologia, o que sugere um crescimento acelerado no interesse sobre o tema, entretanto ainda existe um aspecto vanguardista nas pesquisas, pois

quantitativamente seu número ainda pode ser considerado bastante limitado, principalmente a nível de produção científica nacional.

De acordo com Nolte (2011), inúmeras revisões e modificações já foram realizadas na TRL, difundindo-se para 12 diferentes setores e gerando 58 níveis de prontidão (*Readiness Levels*), dos quais 20 estão relacionados à maturidade tecnológica. Os setores listados por Nolte (2011) são os de Sistemas Biomédicos; Sistemas sobre Sistemas; Tecnologias de Modelamento e Simulação; Sistemas de Aprendizagem; Tecnologias Automatizadas para Manufatura; Cuidados de Saúde; Tecnologias Baseadas na Prática; Famílias de Sistemas; Sistemas Intensivos de Software; Processos Químicos; Tecnologias de Combustíveis Alternativos/Certificação; Tecnologias de Plataforma. Ainda que tenham sido geradas extensões do conhecimento em TRL, as produções decorrentes em escala mundial parecem não acompanhar a imensidão de possibilidades de exploração desse construto teórico. Visando verificar as dez principais áreas do conhecimento, bem como quantificar o número de trabalhos no qual as pesquisas sobre a TRL vêm sendo conduzidas, a Figura 4 foi elaborada.

Figura 4 - Principais áreas do conhecimento dos estudos ligados a TRL e número de trabalhos publicados



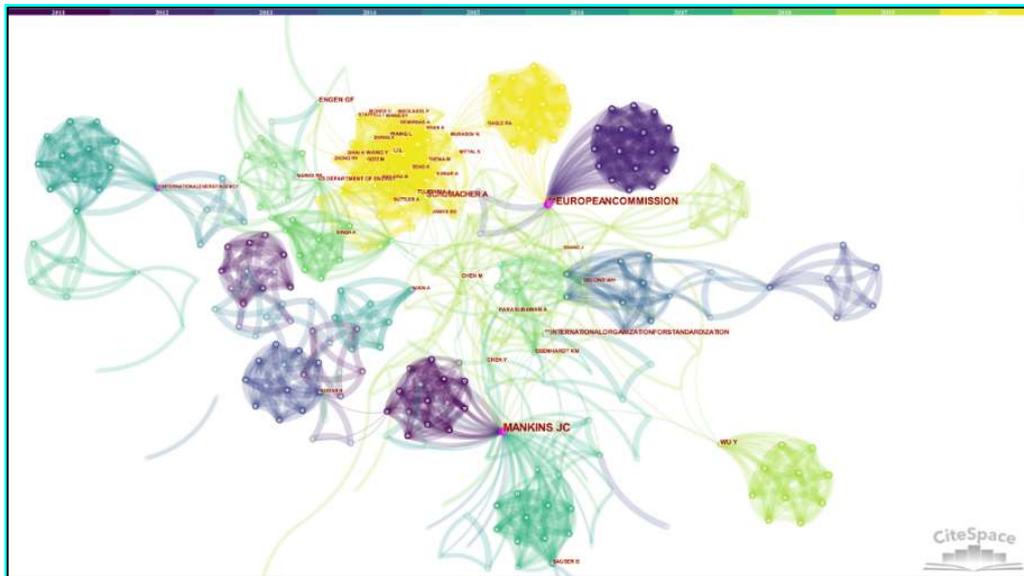
Fonte: Elaborado pelos autores

Em consonância com as alegações já tecidas, percebe-se que a macroárea de Engenharia condensa parte significativa dos estudos e pesquisas envolvendo a TRL e que outras áreas, como a Administração, poderiam estar se apropriando mais intensamente dessa perspectiva teórica, especialmente nos estudos atinentes a tecnologias, estratégias, inovações e modelo de negócio tecnologicamente inovativos.

Para compreender quais os principais autores citados, dentre os trabalhos que fazem parte do universo do estudo contemplado por esta pesquisa, uma análise foi efetuada de tal forma a se estabelecer a inter-relação entre os principais autores citados e os trabalhos gerados

a partir deles. A nuvem de pontos, e seu relacionamento temporal, é apresentada na Figura 5, em que autores citados ao menos 3 vezes tiveram sua referência explicitada.

Figura 5 - Principais Autores Citados



Fonte: Elaborado pelos autores

Dois autores se destacam no que diz respeito a número de citações. No caso de Mankins, o autor foi um dos propulsores da metodologia, logo trabalhos que apresentam a contextualização de uso da TRL têm grande tendência em citá-lo. Já a *European Commission* é outro autor citado com destaque. Ela é a instituição politicamente independente que representa e defende os interesses da União Europeia na sua globalidade, propondo legislação, política e programas de ação e sendo responsável por aplicar as decisões do Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia (EUROPEAN COMMISSION, 2021). O Quadro 2 foi elaborado com o intuito de apresentar os principais autores citados e sua centralidade no que diz respeito ao inter-relacionamento com as obras.

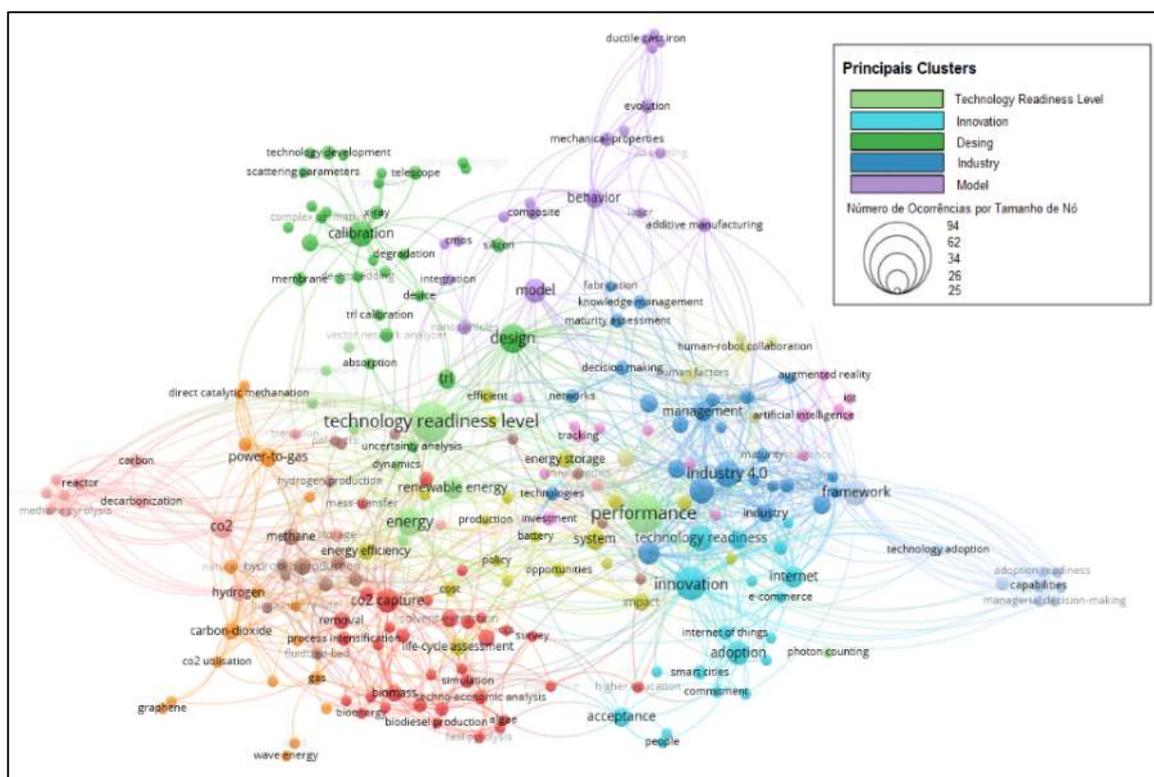
Quadro 2. Principais autores citados.

Citações	Centralidade	Primeira data de citação	Autor Citado
22	0.31	2011	MANKINS JC
15	0.29	2012	EUROPEAN COMMISSION
7	0.02	2018	SCHUMACHER A
6	0.01	2017	ENGEN GF
5	0.10	2018	WU Y
5	0.02	2016	INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION
4	0.10	2014	DELONE WH
4	0.04	2017	EISENHARDT KM
4	0.03	2018	CHEN M
4	0.01	2018	US DEPARTMENT OF ENERGY

Fonte: Elaborado pelos autores

Ao se analisar o Quadro 2, observa-se que os trabalhos citados, com exceção das obras de Mankins e da *European Commission*, possuem baixa centralidade. Deve se levar em conta que os nós que interconectam os clusters de rede têm alta centralidade de intermediação (BÖRNER, 2012). Assim, o nó que serve de intermediação acaba tendo uma centralidade mais alta, ligando dois ou mais grupos de nós. O que significa que palavras-chave com alta centralidade correspondem àquelas que são mais compartilhadas entre os autores. Enquanto palavras-chave com baixa centralidade podem designar trabalhos potencialmente inovadores ou não tão explorados/alinhados ao tema em questão. Uma hipótese para esse fato diz respeito à aplicabilidade da TRL em diversas áreas, o que pode, por um lado, dificultar a autoridade científica atrelada a um grupo de pesquisadores em específico, mas que evidencia a possibilidade de aplicação em diferentes áreas do conhecimento. Com o propósito de avançar nessas análises, foram avaliadas as principais palavras-chave utilizadas pelos autores e seu inter-relacionamento (Figura 6).

Figura 6 - Mapa de palavras-chave e seu inter-relacionamento.



Fonte: Elaborado pelos autores por meio do software VOSViewer

Após analisar percebe-se que os artigos que tiveram em suas palavras-chave os termos “*design*” ou “*technology*” ou “*performance*” ou “*management*” ou “*framework*”, termos identificados qualitativamente como tendo relação direta com o objetivo da pesquisa, obteve-se como resultado 10 trabalhos. A seleção se justifica por tratarem de ferramentas para análise, um dos eixos que compõem a aplicação do nível de prontidão tecnológica ou do estudo do desenvolvimento de novas tecnologias tendo como base a TRL, de forma a se buscar as respostas para as questões de pesquisa estabelecidas. O Quadro 3 apresenta os artigos selecionados.

Quadro 3 - Artigos com relação direta às questões de pesquisa estabelecida

Artigos Selecionados	
1	XAVIER JUNIOR, A. <i>et al.</i> AEB Online Calculator for Assessing Technology Maturity : imatec. Journal Of Aerospace Technology And Management, [S.L.], n. 12, p. 1-17, 4 abr. 2020. FapUNIFESP (SciELO).
2	SUZIANI, A. <i>et al.</i> Technology readiness level assessment of lithium battery in Indonesia for national electric vehicle program. Recent Progress On. MECHANICAL, INFRASTRUCTURE AND INDUSTRIAL ENGINEERING , [S.L.], v. 5, n. 3, p. 1-9, 2020. AIP Publishing.
3	PETROVIC, S.; HOSSAIN, E. Development of a Novel Technological Readiness Assessment Tool for Fuel Cell Technology . Ieee Access, [S.L.], v. 8, p. 132237-132252, 2020. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).
4	PETRESCU, T. <i>et al.</i> Developing a TRL-oriented roadmap for the adoption of biocomposite materials in the construction industry . Frontiers Of Engineering Management, [S.L.], v. 5, n. 1, p. 1-14, 13 mar. 2021. Springer Science and Business Media LLC.
5	FICO, M. <i>et al.</i> High technology readiness level techniques for brushless direct current motors failures detection: A systematic review . <i>Energies</i> , v.13, n.7, 2020.
6	RIORDAN, J. <i>et al.</i> Interdisciplinary Methodology to Extend Technology Readiness Levels in SONAR Simulation from Laboratory Validation to Hydrography Demonstrator . Journal Of Marine Science And Engineering, [S.L.], v. 7, n. 5, p. 159, 23 maio 2019. MDPI AG.
7	LAVOIE, J.; DAIM, U. Technology readiness levels improving R & D management: A grounded theory analysis. PICMET 2017 - Portland International Conference on Management of Engineering and Technology: Technology Management for the Interconnected World, Proceedings , p. 1-9, 2017.
8	CARMACK, W. <i>et al.</i> Technology readiness levels for advanced nuclear fuels and materials development . <i>Nuclear Engineering and Design</i> , p. 177-184, 2017.
9	EL-KHOURY, B.; KENLEY, C. An Assumptions-Based Framework for TRL-Based Cost and Schedule Models . Journal Of Cost Analysis And Parametrics, [S.L.], v. 7, n. 3, p. 160-179, 2 set. 2014.
10	TAN, W. <i>et al.</i> A probabilistic approach to system maturity assessment . Systems Engineering, [S.L.], v. 14, n. 3, p. 279-293, 7 out. 2010. Wiley. http://dx.doi.org/10.1002/sys.20179 .

Fonte: Elaborado pelos autores

Cumprindo aludir que a fundamentação teórica que trata das bases da TRL é bastante similar em todas as obras, mas sua aplicação e contextualização divergem completamente de publicação para publicação. Tem-se que Camark *et al.* (2017), Fico *et al.* (2020) e Suzianti *et al.* (2020) adotaram uma abordagem teórica de aplicação da TRL para atingir os objetivos de análise do nível de maturidade propostos para cada um dos estudos. Petrovic e Hossain (2020) também fizeram uso de uma abordagem teórica para análise do nível de maturidade, mas seu estudo foi baseado em um modelo de análise de maturidade especificamente desenvolvido pelos autores, tendo como alicerce teórico a TRL. Petrescu *et al.* (2020) seguiram a mesma abordagem, mas em sua obra construíram uma ferramenta de *roadmap* para corroborar os resultados da pesquisa apresentados.

Em relação ao processo metodológico utilizado, os autores Tan *et al.* (2010), Camark *et al.* (2017), Fico *et al.* (2020), Suzianti *et al.* (2020), Xavier Junior *et al.* (2020) e Petrescu *et al.* (2020), abordaram em suas obras, ainda que não exclusivamente, um estudo de caso. Dentre as obras pesquisadas, alguns autores tiveram o objeto de estudo diretamente ligado ao desenvolvimento de produtos ou tecnologias que compõem produtos inovadores. Camark *et al.* (2017), adotaram uma abordagem da aplicação da TRL para o desenvolvimento de materiais e combustíveis nucleares avançados. Já Fico *et al.* (2020) apresentaram a aplicação da metodologia para a análise de falhas durante o desenvolvimento de motores de corrente contínua sem escova (*bushless*). Suzianti *et al.* (2020) trataram do desenvolvimento da tecnologia de baterias de lítio para aplicações em carros elétricos, enquanto Petrescu *et al.* (2020) utilizaram a TRL para avaliar o desenvolvimento de materiais biocompósitos sustentáveis, de baixo impacto ambiental e com aplicação direta na indústria da construção civil. Curiosa a constatação de que outros autores que também trabalharam com o estudo de casos, criaram suas próprias ferramentas para a avaliação do nível de maturidade tecnológica, baseados na TRL.

Em relação à sistematização dos resultados, cada uma das obras apresenta, em linhas gerais, um alinhamento específico ao objeto do estudo proposto. Tan *et al.* (2010) elaboraram

um modelo probabilístico baseado em funções de densidade de probabilidade para validar os níveis de prontidão tecnológica (TRL) e os Níveis de Prontidão de Sistema (SRL) – modelo no qual o caso estudado vem de um exemplo ilustrativo para utilização no processo de reparação do telescópio espacial Hubble, da NASA. Tan et al. (2010) abordam que sua adaptação da metodologia pode ser utilizada como referência para a tomada de decisões, considerando que as métricas podem ser uma parte integrante das atividades de gestão para indicar desempenho ou eficácia de risco, qualidade e maturidade, bem como identificar parâmetros críticos, estabelecendo marcos para avaliar o progresso e fornecer orientação para gestão de risco/mitigação. Segundo os autores, existe a necessidade de se diminuir o impacto subjetivo humano na estimativa dos níveis de prontidão. Já Xavier Junior *et al.* (2020) criaram a “AEB Online Calculator for Assessing Technology Maturity (IMATEC)”. Essa calculadora foi feita em parceria com a Agência Espacial Brasileira (AEB) e se mostra adequada para a utilização em qualquer projeto de pesquisa e desenvolvimento de produtos ligados ao desenvolvimento tecnológico e inovação, sua validação foi feita em um projeto de nano satélite. Os pesquisadores Lavoie e Daim (2017) realizaram um estudo no qual buscaram classificar a importância da metodologia TRL por meio de uma pesquisa tipo *survey*. Foi solicitado aos entrevistados que classificassem o nível de importância dos TRLs para as atividades de P&D, os respondentes da pesquisa, em sua maioria, consideraram como "muito importante". El-Khoury e Kenley (2014), apresentaram a criação de um modelo preditivo probabilístico para estimar custos e prazos de um projeto baseado na TRL, onde os resultados das análises feitas pelos pesquisadores influenciavam diretamente no objeto da pesquisa. O método teoricamente gera uma distribuição conjunta de custo e cronograma que responde pelo processo de decisão do gerente de portfólio, entretanto mais dados são necessários para testar e avaliar o poder preditivo do modelo (EL-KHOURY; KENLEY, 2014). Riordan *et al.* (2019) fizeram uma abordagem de aplicação da TRL em uma validação laboratorial do projeto de um SONAR hidrográfico, onde a gestão desse projeto e as ações tomadas foram readequadas com base nos resultados obtidos pela mensuração da TRL da etapa do desenvolvimento do projeto em questão. O desenvolvimento foi conduzido em três fases mapeadas para marcos de avanço na escala TRL 3 até TRL 7. A mesma metodologia foi adotada por Petrovic e Hossain (2020), ainda que os autores tenham desenvolvido sua própria ferramenta para a avaliação do nível de maturidade, para utilização específica em tecnologia de células de combustível.

Abordagem similar é feita também por Fico *et al.* (2020), Xavier Junior *et al.* (2020) e Suzianti *et al.* (2020), em que cada um dos trabalhos analisa a aplicação em projetos e desenvolvimento de tecnologias específicas.

Visando sintetizar os resultados, ferramentas e análises foi elaborado o Quadro 4.

Quadro 4: Síntese do uso da TRL, ferramentas ou análises utilizadas.

	Autores	Síntese dos Resultados	Ferramentas ou análises utilizadas	TRLs analisados
1	Suzianti <i>et al.</i> (2020)	Concluiu-se que o nível de prontidão da tecnologia da bateria de lítio na Indonésia atingiu o TRL 5, onde os componentes tecnológicos foram validados no ambiente de pesquisa e desenvolvimento.	Análise teórica.	1 a 5
2	Xavier Junior <i>et al.</i> (2020)	Desenvolvimento de uma calculadora online de TRL pela AEB- Agência Espacial Brasileira.	Utilização da AEB Online Calculator for Assessing Technology Maturity: IMATEC	1 a 9
3	Petrovic; Hossain (2020)	Justificou que a ferramenta <i>Fuel Cell Technology Readiness Level</i> (FCTRL) é	Análise teórica através da escala criada, denominada “fuel cell readiness levels”	N/A

	Autores	Síntese dos Resultados	Ferramentas ou análises utilizadas	TRLs analisados
		mais adequada para avaliar a tecnologia de células de combustível, sendo sua utilização adequada para essa aplicação específica.		
4	Petrescu <i>et al.</i> (2020)	Trouxe que o <i>Roadmap</i> criado baseado na metodologia <i>Technology Readiness Levels</i> é uma ferramenta relevante para o desenvolvimento de um produto, no caso validado pelo produto “ <i>liquid wood</i> ”.	Análise da utilização de um <i>Roadmap -TRL</i> para desenvolvimento de produto.	4 a 9
5	Fico <i>et al.</i> (2020)	Apresentou uma revisão sistemática de técnicas mensuradas pelo TRL para detecção de falhas em motores BLDC que foram publicadas no período de tempo do início de 1990 a novembro de 2019.	Análise teórica.	N/A
6	Riordan <i>et al.</i> (2019)	Apresentou o desenvolvimento de um SONAR subaquático em escala de pesquisa e simulação, demonstrando seu uso em um ambiente de treinamento de hidrografia do mundo real. O desenvolvimento foi conduzido em três fases mapeadas para marcos de avanço na escala TRL 3 até TRL 7.	Análise teórica e simulação computacional.	3 a 7
7	Lavoie e Daim (2017)	Identificou-se os benefícios que as pessoas percebem ao usar os TRLs e a relação potencial que esses benefícios podem ter com os problemas de P&D que as organizações enfrentam, bem como a maneira como os TRLs podem ajudar a resolver esses problemas.	Survey.	N/A
8	Camark <i>et al.</i> (2017)	O conceito TRL é usado como uma ferramenta de gerenciamento e comunicação do programa de pesquisa e desenvolvimento e não é uma medida quantitativa absoluta de maturidade.	Análise teórica.	4 a 9
9	El-Khoury; Kenley (2014)	O método teoricamente gera uma distribuição conjunta de custo e cronograma que responde pelo processo de decisão do gerente de portfólio, mas mais dados são necessários para testar e avaliar o poder preditivo do modelo.	Modelo criado, testado e validado por meio do software Microsoft Excel.	1 a 9
10	Tan <i>et al.</i> (2010)	A adaptação da metodologia apresentada aparenta estar na direção que visa diminuir o impacto da subjetividade na estimativa dos níveis de prontidão tecnológica e de sistema, mas existem limitações que devem ser tratadas em trabalhos futuros como a análise da efetividade do modelo proposto, a suposição que cada estimador fornece apenas um número único para sua estimativa sobre uma tecnologia e o número interações para análise de Monte-Carlo de modo que o modelo se torne consistente.	Simulação computacional baseada em análise de Monte-Carlo.	N/A

Fonte: Elaborado pelos autores

Como visualizado, dentre os autores, somente Xavier Junior *et al.* (2020) criaram uma ferramenta de uso amplo e irrestrito, capaz de avaliar os níveis de prontidão tecnológico baseado nos níveis originais propostos por Mankins (1995) em qualquer projeto de pesquisa e desenvolvimento. Com relação ao uso da TRL em empresas de base tecnológica, El-Khoury e

Kenley (2014) afirmam que a TRL pode ser adotada como uma referência padrão de mensuração do risco tecnológico, sendo empregada para avaliar a maturidade tecnológica de um determinado projeto de P&D a ser executado. Para Ribeiro (2019), a utilização dessa metodologia faz todo sentido dentro de uma empresa de base tecnológica. Para Lavoie e Daim (2017), o TRL é uma métrica de avaliação de tecnologia precisa, possibilitando uma melhor tomada de decisão, pois se trata de uma estrutura simples e uma ferramenta de gestão eficaz. Sua implantação melhora na organização as habilidades de comunicação, auxiliando também no equilíbrio entre portfólio de tecnologia e projetos. Entretanto, Tan *et al.* (2010) discordam da visão de Lavoie e Daim (2017) em relação a TRL ser uma métrica de avaliação de tecnologia precisa, pois em sua visão, existe a subjetividade da análise humana na avaliação dos níveis de prontidão tecnológicos. De toda forma, Tan *et al.* (2010) corroboram a importância da *Technology Readiness Levels*, tanto que sua adaptação probabilística se baseia nela.

Dados os levantamentos empreendidos neste estudo, em que os resultados apresentados demonstram a síntese da metodologia utilizada, os resultados alcançados pelos pesquisadores e as ferramentas e análises abordadas por eles, é possível estabelecer uma agenda futura de estudos sobre a TRL que busque, por meio de outras perspectivas teórico-práticas, agregar ao campo de estudo do tema (Quadro 5).

Quadro 5: Agenda de estudos futuros sobre a TRL

Sugestão de agenda de estudos futuros
Trabalhar com a metodologia em setores industriais específicos e não abordados.
Adaptar a metodologia para o desenvolvimento de tecnologias específicas.
Questionar a eficácia da TRL em empresas onde ela já faz parte da cultura de P&D.
Integrar a TRL com metodologias ligadas à gestão de projetos.
Delimitar qual é a real necessidade de se aplicar a TRL em um projeto de desenvolvimento tecnológico.
Analisar as tecnologias onde a metodologia vem sendo mais utilizada.
Tratar do contexto das publicações brasileiras, visto que a metodologia faz parte da análise para fomento à tecnologia e inovação de diversos órgãos governamentais brasileiros.
Pesquisar novas bases do conhecimento de forma a se complementar os achados desta pesquisa.

Fonte: Elaborado pelos autores

Após realizada a pesquisa na literatura, defende-se que essa temática congrega inúmeras possibilidades de estudo e aplicabilidades práticas e que a produção mundial ainda é incipiente e pouco elucidativa das potencialidades da metodologia em estudo. Ressalta-se, ainda, que muitas são as possibilidades de estudos futuros que articulem a TRL a processos intensos de inovação e tecnologia, mesclando áreas diversas do conhecimento. Apesar da temática apresentar-se em crescimento, cabe mencionar a grandeza de abordagens que podem vir a compor o quadro analítico dos estudos acerca da TRL para além de pesquisas no campo da Engenharia, sob contextos e cenários diversos, considerando, inclusive a potencialidade dessa metodologia para os estudos em gestão.

Considerações Finais

A análise que este trabalho fez das obras que tratam da produção científica mundial ligada à utilização da metodologia TRL, e que estão relacionadas ao desenvolvimento de produtos inovadores ou com tecnologias inovadoras e ferramentas, trouxe diversas implicações e possibilitou atingir o objetivo estabelecido. Quanto às questões de pesquisa estabelecidas, considera-se que puderam ser respondidas por meio da realização da análise bibliométrica, destacando, dessa forma, o que vem sendo pesquisado atualmente sobre TRL. O referencial teórico também apontou para a utilização da metodologia TRL como sendo uma ferramenta útil e poderosa na avaliação das etapas do desenvolvimento de produtos tecnologicamente inovadores. Todas as pesquisas em questão, demonstraram que a metodologia vem sendo utilizada em projetos tecnológicos de ponta e normalmente de elevada complexidade de

execução, principalmente em cenários nos quais o domínio da tecnologia necessária para sua execução ainda é incipiente.

Os trabalhos analisados demonstraram ser possível evidenciar a importância da utilização dessa metodologia para auxiliar e explicitar com eficiência o risco tecnológico presente em cada etapa do desenvolvimento de um sistema/produto tecnologicamente novo ou com a tecnologia não dominada pelo grupo envolvido no desenvolvimento. A maior parte dos projetos de P&D no universo pesquisado apresentaram ligações com o setor militar ou com projetos de importância governamental, enquanto que empresas privadas de base tecnológica que utilizavam a metodologia não foram especificamente destacadas. Também foi evidenciado o uso das ferramentas para a análise do nível de maturidade tecnológica ou do desenvolvimento de novas tecnologias que vêm sendo utilizadas em associação com a TRL ou metodologias propostas para análise do nível de maturidade que dela derivam. Os 9 subníveis que compõem a TRL levam à definição de etapas que passam pela pesquisa básica da tecnologia, desenvolvimento tecnológico e desenvolvimento de sistemas e subsistemas. O nível de maturidade mais baixo, TRL-1 denota que os princípios básicos devem ser observados e reportados e ao se atingir o nível de maturidade tecnológica 9, ou TRL-9, todos os sistemas estão testados, aprovados e prontos para lançamento.

Quanto ao fato das pesquisas realizadas apresentarem evidências de que o uso do TRL poderia mitigar os riscos de insucesso no desenvolvimento de uma nova tecnologia ainda não dominada, há indícios dessa possibilidade nos artigos avaliados, entretanto, suscita-se a realização de pesquisas mais direcionadas a esta questão, sendo uma oportunidade de pesquisa futura. Nesse ínterim, uma agenda futura pode envolver a aplicação da metodologia em projetos de setores industriais específicos, tratando das virtudes e fraquezas da TRL ou ainda dos desafios e publicações brasileiras, visto que a metodologia faz parte da análise para fomentos à tecnologia e inovação de diversos órgãos governamentais brasileiros e o número de publicações que envolvem o tema ainda é consideravelmente baixo e pouco explorado. Em síntese, este estudo revelou a potencialidade de aplicação e de aprofundamento técnico, teórico, metodológico e analítico que a TRL fornece para campos multivariados de estudos, com grande potencial para ser explorado em pesquisas na área de Administração, vislumbrando não somente avanços científicos, mas possibilidades promissoras de fomento à inovação tecnológica nos mais variados projetos, sistemas e modelos de negócios.

Devido as escolhas metodologias, este artigo pode ter contado com um universo relativamente pequeno de estudos que tratam do tema, considerando todos disponíveis pela temática, inclusive disponíveis em outras bases de conhecimento ou devido a termos de pesquisa não consultados. Entretanto, dado o rigor metodológico adotado, os resultados e discussões podem fornecer subsídio para novas obras que tragam novas abordagens dentro do campo da pesquisa científica e aplicação da metodologia *Technology Readiness Levels*.

Referências

ANDERSEN, P. **Nível de prontidão da tecnologia e grau de abertura da inovação em projetos de P&D&I**: modelo conceitual e aplicação ao caso de uma empresa do setor de óleo e gás. 2019. Dissertação (Mestrado em Administração) - Curso de Mestrado em Administração, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 16290:2015**: Sistemas espaciais — Definição dos níveis de maturidade da tecnologia (TRL) e de seus critérios de avaliação. ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DAS EMPRESAS INOVADORAS - ANPEI. **Guia da Lei do Bem**: o que é inovação para a lei do bem?. Brasília:

Letras & Artes Comunicação, 2017. 169 p. Disponível em: <https://materiais.anpei.org.br/guialeidobem>. Acesso em: 14 abr. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PESQUISA E INOVAÇÃO INDUSTRIAL – EMBRAPPII. **MANUAL DE OPERAÇÃO EMBRAPPII**. 2020. Disponível em: https://embrappii.org.br/wp-content/images/2020/10/Manual_EMBRAPPII_UE_versa%CC%83o_6.0-de-20.10.20.pdf. Acesso em: 14 abr. 2021.

Börner, K. **Network Science: Theory, Tools, and Practice**, Leadership in Science and Technology: A Reference Handbook, pp. 49–58, 2012.

BRASIL. LEI Nº 11.196, DE 21 DE NOVEMBRO DE 2005.

CARMACK, W. *et al.* **Technology readiness levels for advanced nuclear fuels and materials development**. *Nuclear Engineering and Design*, p. 177–184, 2017.

CARVALHO, G.; REIS, D. R.; CAVALCANTE, M. B. **Gestão da inovação**. Curitiba, PR: Aymarã Educação, 2011. 136 p.

CHRISTENSEN, M. *et al.* **What Is Disruptive Innovation**. Harvard Business Review, Boston, v. 1, n. 9, p. 44-53, dez. 2015.

DE ROSE, A. *et al.* **Technology Readiness Level: Guidance Principles for Renewable Energy Technologies**. European Commission, 2017. <https://doi.org/10.2777/863818>

EARTO - EUROPEAN ASSOCIATION OF RESEARCH AND TECHNOLOGY ORGANISATIONS. **The TRL scale as a research & innovation policy tool, EARTO recommendations**. 2014. Disponível em: http://www.earto.eu/index.php?id=28&type=0&jumpurl=uploads%2Fmedia%2FThe_TRL_Scale_as_a_R_I_Policy_Tool_-_EARTO_Recommendations_Final.pdf&juSecure=1&locationData=28%3Att_content%3A2012&juHash=e11b28c87d23bfb626f77b46a594cd6530c12a98. Acesso em: 27 fev. 2021.

EL-KHOURY, B.; KENLEY, C. **An Assumptions-Based Framework for TRL-Based Cost and Schedule Models**. *Journal Of Cost Analysis And Parametrics*, [S.L.], v. 7, n. 3, p. 160-179, 2 set. 2014. <http://dx.doi.org/10.1080/1941658x.2014.982232>.

EUROPEAN COMMISSION. **About the European Commission**. Disponível em: https://ec.europa.eu/info/about-european-commission_en. Acesso em: 21 abr. 2021.

FICO, M. *et al.* **High technology readiness level techniques for brushless direct current motors failures detection: A systematic review**. *Energies*, v.13, n.7, 2020.

GALVÃO, T. F.; PEREIRA, M. G. **Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração**. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, [S.L.], v. 23, n. 1, p. 183-184, mar. 2014. FapUNIFESP (SciELO).

GARZA-REYES, J. A. **Lean and green – a systematic review of the state of the art literature**. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 102, p. 18-29, set. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.064>.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 16290:2013: Definition of the Technology Readiness Levels (TRLs) and their criteria of assessment**. Geneva: ISO, 2013. 12 p.

LAVOIE, J.; DAIM, U. **Technology readiness levels improving R & D management: A grounded theory analysis**. *PICMET 2017 - Portland International Conference on Management of Engineering and Technology: Technology Management for the Interconnected World, Proceedings*, p. 1-9, 2017.

LONGO, W. P. **Conceitos básicos sobre ciência e tecnologia**. Rio de Janeiro: Finep, 1996.

LOPES, S., *et al.* **A Bibliometria e a Avaliação da Produção Científica: indicadores e ferramentas**. In: *Actas do Congresso Nacional de bibliotecários, arquivistas e documentalistas, Anais...2012*.

MANKINS, J. **Technology readiness levels: A white paper**. 1995. Office Of Space Access And Technology NASA. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/247705707_Technology_Readiness_Level__A_White_Paper. Acesso em: 11 fev. 2021.

NASA. **Systems Engineering Handbook**. Washington DC: NASA, 2007. [Online]. Disponível em: < <http://www.acq.osd.mil/se/docs/NASA-SP-2007-6105-Rev-1-Final-31Dec2007.pdf>> Acesso em: 31 ago. 2020.

NOLTE, W. **Readiness Level Proliferation**. AFRL/XPQ. Dtic. mil. EUA, 2011. Disponível em: <http://www.dtic.mil/ndia/2011system/13132_Nolte_Wednesday.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2020.

OECD/Eurostat (2018), Oslo Manual 2018: **Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation**, 4th Edition, The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities, OECD Publishing, Paris/Eurostat, Luxembourg. <https://doi.org/10.1787/9789264304604-en>

OLECHOWSKI, A. L.; EPPINGER, S. D.; JOGLEKAR, N. **Technology Readiness Levels at 40: a study of state-of-the-art use, challenges, and opportunities**. Ssrn Electronic Journal, [S.L.], p. 2084-2094, jan. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2588524>.

OLIVEIRA, O. V.; ZABA, E. F.; FORTE, S. H. A. C. Razão da não utilização de incentivos fiscais à inovação tecnológica da lei do bem por empresas brasileiras. **Revista Contemporânea de Contabilidade**, v. 14, n. 31, p. 67-88, 2017.

PETRESCU, T. *et al.* **Developing a TRL-oriented roadmap for the adoption of biocomposite materials in the construction industry**. Frontiers Of Engineering Management, [S.L.], v. 5, n. 1, p. 1-14, 13 mar. 2021. Springer Science and Business Media LLC.

PETROVIC, S.; HOSSAIN, E. **Development of a Novel Technological Readiness Assessment Tool for Fuel Cell Technology**. Ieee Access, [S.L.], v. 8, p. 132237-132252, 2020. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

RIBEIRO, M. **Coleção PROFNIT: Série Prospecção Tecnológica**. Editora IFBA Salvador: v. 2, n. 9, p. 18-36, 2019.

RIORDAN, J. *et al.* **Interdisciplinary Methodology to Extend Technology Readiness Levels in SONAR Simulation from Laboratory Validation to Hydrography Demonstrator**. Journal Of Marine Science And Engineering, [S.L.], v. 7, n. 5, p. 159, 23 maio 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/jmse7050159>.

ROCHA, D. *et al.* Uma adaptação da metodologia TRL. **Revista Gestão em Engenharia**, São José dos Campos, v. 4, p. 45-56, jun. 2017.

SOUZA, M. T.; SILVA, M. D.; CARVALHO, R. **Revisão integrativa: o que é e como fazer**. Einstein, 8 (1 Pt 1), p.102-106, 2010.

SUZIANTI, A. *et al.* Technology readiness level assessment of lithium battery in Indonesia for national electric vehicle program. **Recent Progress On. MECHANICAL, INFRASTRUCTURE AND INDUSTRIAL ENGINEERING**, [S.L.], v. 5, n. 3, p. 1-9, 2020. AIP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1063/5.0001010>.

TAN, W. *et al.* **A probabilistic approach to system maturity assessment**. Systems Engineering, [S.L.], v. 14, n. 3, p. 279-293, 7 out. 2010.

ação (14ªed.) São Paulo: Editora Cortez, 2005.

VANTI, N. **Da bibliometria à webometria: uma exploração conceitual dos mecanismos utilizados para medir o registro da informação e a difusão do conhecimento**. Ciência da Informação, v. 31, n. 2, p. 152-162, 2002.

XAVIER JUNIOR, A. *et al.* **AEB Online Calculator for Assessing Technology Maturity: imatec**. Journal Of Aerospace Technology And Management, [S.L.], n. 12, p. 1-17, 4 abr. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.5028/jatm.v12.1098>.