

Nível de Prontidão de Tecnologia de Software: uma reflexão sobre diferentes escalas

Software Technology Readiness Level (STRL): a reflection on different scales

André Luiz Leite Ferreira¹

Núbia Moura Ribeiro¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Salvador, BA, Brasil

Resumo

Como o *software* não se configura como um produto manufaturado, a avaliação do nível de prontidão da tecnologia de *software* (STRL) apresenta divergências em relação à avaliação do *hardware*. Considerando os recentes investimentos governamentais voltados para o desenvolvimento de *software*, o objetivo deste artigo foi apresentar as escalas STRL usadas como referência na análise de prontidão dessa tecnologia, refletindo sobre a sua importância para o Brasil. A metodologia é exploratória, buscando a compreensão brasileira acerca do nível de prontidão de tecnologia de *software* (STRL), com abordagem qualitativa, utilizando como procedimentos as pesquisas bibliográfica (classificação TRL, segundo Mankins, 2009) e documental (relatório técnicos, entre os quais: SEI, US-GAO e Embrapii) e, no tratamento dos dados, a análise de conteúdo, sob a perspectiva de Bardin (2016). Os principais resultados mostraram a proeminência das escalas STRL do DoD, NASA, GAO e Embrapii, mas que elas necessitam de interpretação e eventuais adaptações, uma vez que todas derivam da escala TRL focada em *hardware*.

Palavras-chave: Nível de Prontidão Tecnológica; *Software*; Pesquisa e Desenvolvimento.

Abstract

As *software* is not a manufactured product, the assessment of the readiness level of software technology (STRL) differs from that of hardware. Considering recent government investments in software development, the aim of this article is to present the STRL scales used as a reference in analyzing the readiness of this technology, reflecting on their importance for Brazil. The methodology is exploratory, seeking a Brazilian understanding of the level of software technology readiness (STRL), with a qualitative approach, using bibliographic research (TRL classification, according to Mankins, 2009) and documentary research (technical reports, among which: SEI, US-GAO and Embrapii) as procedures and, in the treatment of data, content analysis, from the perspective of Bardin (2016). The main results showed the prominence of the DoD, NASA, GAO and Embrapii STRL scales, but that they require interpretation and possible adaptations, since they all derive from the hardware-focused TRL scale.

Keywords: Technology Readiness Level; *Software*; Research and Development.

Área Tecnológica: Inovação. Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Pesquisa e Desenvolvimento.



1 Introdução

O uso da palavra tecnologia, bem como sua conceituação, apresenta variações na proporção em que os contextos nos quais ela é aplicada aumentam, com base nas muitas áreas do conhecimento e nos vários segmentos de mercado. Desse modo, o processo de produção de tecnologias tem sido diretamente afetado e constantemente redefinido, motivado pela globalização e pelo avanço do conhecimento a partir da pesquisa e do desenvolvimento.

Observa-se que o alto grau de desenvolvimento tecnológico experimentado pela sociedade atual apresenta reflexos nas mais diversas áreas, entre as quais: a) na diferenciação competitiva das organizações empresariais no mercado; b) no crescimento do bem-estar da população; c) na formação e qualificação profissional; e d) no crescimento econômico das nações (Ferreira, 2016). Adicionalmente, também são percebidos avanços na área de saúde, no aumento das taxas de natalidade, no desenvolvimento econômico e de infraestrutura, além de uma maior oferta de serviços e de alimentos.

Para Cupani (2020, p. 1), “[...] rara é a atividade que, hoje em dia, é realizada sem o auxílio de alguma tecnologia, seja ao trabalhar, nos comunicarmos, nos deslocarmos ou nos entretermos”. Ainda de acordo com o autor, “[...] a tecnologia existe em quatro modalidades: como artefatos e sistemas, como certo tipo de conhecimentos, como atividades específicas e como determinada atitude humana perante a realidade, natural ou social” (Cupani, 2020, p. 1).

Ainda que seja bastante comum o uso das palavras ciência e tecnologia de forma intercambiável, vale ressaltar que o objetivo da ciência é a busca do conhecimento por si só, enquanto a tecnologia tem por objetivo a criação de produtos que resolvam problemas e melhorem a vida humana (Diffen, 2014; Rocha *et al.*, 2020). Simplificando, a tecnologia é a aplicação prática da ciência.

Pode-se afirmar que algumas das marcas mais perceptíveis dessa relação entre ciência e tecnologia na sociedade atual são: a) profundas transformações; b) rapidez da informação; e c) surgimento de novas tecnologias. O acesso à informação, praticamente em tempo real, refletiu tanto no modo de vida quanto no modo de pensar das pessoas, que o uso de computadores e dispositivos móveis na comunicação diária tornou-se indispensável. Tudo isso mediado por tecnologia, especialmente a Tecnologia da Informação (TI).

A TI costuma ser compreendida de forma variada, mas em geral é relacionada “[...] como o conjunto de todas as atividades e soluções produzidas por meio de recursos tecnológicos da computação para realizar o armazenamento, processamento, utilização e transmissão da informação” (Mendes, 2023). É importante destacar que a difusão do uso da tecnologia de informação está alicerçada na evolução da tecnologia de *software*, que é definida, segundo Hantos (2008), como a teoria e a prática de várias ciências (incluindo ciências da computação, cognitivas, estatísticas e outras) aplicadas ao desenvolvimento, à operação, à compreensão e à manutenção de *software*.

Para o autor supracitado, de modo bem específico, “[...] a tecnologia de *software* é qualquer conceito, processo, método, algoritmo ou ferramenta cujo objetivo principal é o desenvolvimento, operação e manutenção de *software* ou sistemas com uso intensivo de *software*” (Hantos, 2008, p. 5).

Outro ponto importante a ser considerado nessa conceituação é que a tecnologia não se restringe apenas aos artefatos técnicos, mas também ao conhecimento incorporado nesses artefatos e ao conhecimento necessário para alcançar a eficácia no segmento em que está sendo proposta.

Sabe-se que o desenvolvimento de uma tecnologia é processual, ela não nasce pronta para aplicação imediata. De acordo com Velho *et al.* (2017, p. 119), “Desde o momento em que é criada ou conceitualizada, necessita passar por diversas etapas de evolução, até a sua plena operação, de modo que esteja pronta para o uso ou a comercialização”. Ainda segundo os autores, ela precisará amadurecer até ser capaz de fazer “[...] parte de sistemas ou subsistemas e ser utilizada com segurança no mercado” (Velho *et al.*, 2017, p. 119).

O processo de produção de uma tecnologia, desde a sua criação até a sua finalização – quando está apta a suprir uma demanda existente no mercado –, pode ser dividido e avaliado em diferentes níveis de maturidade ou prontidão. O “termo maturidade tecnológica foi cunhado na década de 1950 e se referia às necessidades humanas, ao crescimento econômico e à progressão da tecnologia da informação nas organizações” (Silva Neto, 2015, *apud* Quintella *et al.*, 2019, p. 20). Por sua vez, a prontidão tecnológica,

[...] é um estado de compreensão a partir do qual um produto pode ser projetado e implementado com desempenho, custos, entrega e características de qualidade previsíveis. O nível de prontidão tecnológica é a medida da maturidade tecnológica (Hantos, 2008, p. 1, tradução nossa).

Os processos de desenvolvimento de tecnologias envolvem um volume e diversidade de recursos que requerem pontos de ajustes e controles bem definidos, além de uma constante análise de riscos. Um método largamente empregado para avaliar o nível de prontidão de uma determinada tecnologia e que tem se convertido numa importante métrica para os tomadores de decisão é o Technology Readiness Level (TRL). O conceito de mensuração dos níveis de maturidade tecnológica foi identificado num relatório da National Aeronautics and Space Administration (NASA), de 1969, no qual foram apresentados os requisitos avançados de tecnologia espacial da referida instituição.

Desde então, o uso de escalas de níveis de prontidão tecnológica tem sido adotado nos mais diversos países e nas mais variadas áreas de pesquisa e desenvolvimento. No contexto brasileiro, podem ser apontadas diversas publicações acerca do TRL, como: Quintella (2017), Quintella, Rocha e Quintella (2017), Martin *et al.* (2020), Bezerra e Quintella (2020) e Ribeiro, Frey e Azevedo (2022).

Tendo isso em vista, este estudo toma como foco o nível de prontidão de tecnologia de *software* (STRL).

Na década de 1980, a NASA adotou os parâmetros utilizados na ferramenta de aferição de prontidão tecnológica, de forma definitiva, visando à integração dos seus diversos programas e tecnologias (Mankins, 2009, *apud* Quintella *et al.*, 2019). Essa escala foi desenvolvida para atender ao segmento aeroespacial, mas foi adaptada para outras agências, como o Departamento de Defesa Americano (DoD), e outros setores, como a Agência Espacial Europeia, com pequenas variações, mantendo, porém, o mesmo princípio. Dessa forma, ainda segundo Mankins (2009, *apud* Quintella *et al.*, 2019), ficou estabelecido como modelo vigente a escala

conhecida como TRL com seus nove níveis. A escala TRL apresenta-se normatizada pela ABNT NBR ISO 16290:2013, *Space systems — Definition of the Technology Readiness Levels (TRLs) and their criteria of assessment* (ABNT, 2015).

Quadro 1 – Níveis de TRL propostos pela NASA com sua descrição genérica

NÍVEL DE TRL	DESCRIÇÃO
1. Princípios básicos observados e relatados	Este é o nível mais baixo de maturidade tecnológica. Neste nível, a pesquisa científica começa a ser traduzida para pesquisa aplicada e desenvolvimento.
2. Conceito de tecnologia e/ou aplicação formulados	Uma vez que os princípios científicos básicos são observados, no próximo nível de maturação, as aplicações práticas dessas características podem ser inventadas ou identificadas. Esse nível ainda é especulativo: não há prova experimental ou análise detalhada para apoiar a hipótese.
3. Função crítica analítica e experimental e/ou prova característica do conceito	Neste nível, é iniciada a Pesquisa e o Desenvolvimento (P&D). Incluiu tanto os estudos analíticos para definir a tecnologia em um contexto apropriado, como estudos em laboratório para validar as previsões analíticas. Esses estudos e experimentos validam a “prova de conceito preliminar” das aplicações/conceitos formulados na TRL2.
4. Validação de componentes e/ou protótipo em ambiente de laboratório.	Os elementos tecnológicos básicos devem ser integrados para que as “partes” funcionem em conjunto para alcançar os níveis de conceito de desempenho para um componente e/ou protótipo. Essa validação do conceito formulado anteriormente deve ser compatível com as exigências de aplicações potenciais. A validação é “baixa fidelidade” em comparação com o eventual sistema, podendo ser composto de componentes discretos <i>ad hoc</i> em um laboratório.
5. Validação de componentes e/ou protótipo em ambiente relevante	A fidelidade do componente e/ou protótipo a ser testado aumenta significativamente. Os elementos tecnológicos básicos são integrados com elementos de apoio razoavelmente realistas para que as aplicações totais (componente de/ou em nível de sistema) sejam testados num ambiente “simulado” pouco realista. nível, nível subsistema,
6. Sistema de modelo/subsistema ou demonstração do protótipo em um ambiente relevante (solo ou espaço)	Aumenta a fidelidade da demonstração da tecnologia. Testa um modelo ou protótipo de sistema ou sistema representativo – que vão muito além <i>ad hoc</i> , “ <i>patch-cabo</i> ” ou componente discreto nível <i>breadboarding</i> – num ambiente relevante. Se o único “ambiente relevante” é o espaço, então deve ser demonstrada no espaço.
7. Demonstração do protótipo do sistema em um ambiente espacial	TRL7 é um passo significativo exigindo um protótipo de sistema de demonstração real em um ambiente espacial. O protótipo deve estar perto ou na escala do sistema operacional planejado e a demonstração deve ter lugar no espaço.
8. Sistema real concluído e “voo qualificado” por meio de teste e de demonstração (solo ou espaço)	Em quase todos os casos, esse nível é o fim do verdadeiro desenvolvimento do sistema para a maioria dos elementos de tecnologia. Isso pode incluir a integração de novas tecnologias em um sistema existente.
9. Sistema real “voo comprovado” por meio de operações de missões bem-sucedidas	Usualmente, consiste de pequenos ajustes finais, podendo incluir a integração de novas tecnologias em um sistema existente. Não inclui a melhoria planejada do produto de sistemas contínuos ou reutilizáveis.

Fonte: Mankins (1995, *apud* Quintella *et al.*, 2019, p. 25)

Uma observação necessária em relação ao TRL é que seu conceito original estava focado, ou formulado, em termos de *hardware*. À medida que grandes e complexos sistemas passaram a ter os seus desenvolvimentos gradativamente mais dependentes de *software*, principalmente

no que diz respeito à funcionalidade crítica de desempenho, a aplicação de TRL para o desenvolvimento de *software* ganhou importância (Armstrong, 2010). Com a adoção do TRL nos mais diversos setores, foram realizados estudos interpretativos da metodologia com o intuito de atender às peculiaridades das tecnologias em setores específicos, como para o desenvolvimento de *software*, criando equivalências como a Software Technology Readiness Level (STRL) (Embrapii, 2020).

Este trabalho se justifica por contribuir com a discussão sobre o nível de prontidão de tecnologia de *software*, tendo em vista o alto retorno econômico e o grande potencial de crescimento que a tecnologia de *software* pode representar para o Brasil. Somam-se a isso as informações atualizadas acerca de investimentos governamentais, tanto financeiros quanto de políticas públicas voltadas para o setor. Realizar uma reflexão acerca das escalas STRL usadas como referências para análise de prontidão de tecnologia de *software* permite, em um primeiro momento, identificar as referidas escalas STRL e apresentá-las. Sendo assim, a pesquisa teve como objetivo apresentar as escalas STRL usadas como referência na análise de prontidão de tecnologia de *software*, refletindo sobre a sua importância para o Brasil.

Este texto é composto de seis seções, sendo a primeira esta introdução. Em continuação, descreve-se a metodologia da pesquisa, e na terceira seção, discutem-se os resultados. Na quarta e na quinta seção, respectivamente, são apontadas as conclusões e as perspectivas futuras, restando a última seção, com as referências basilares para este estudo.

2 Metodologia

Esta é uma pesquisa exploratória com aspectos descritivos, pois busca compreender um tema relativamente pouco conhecido no Brasil, que é o nível de prontidão de tecnologia de *software* (STRL), a partir da identificação de escalas STRL usadas como referência em avaliações de tecnologia de *software*. A pesquisa exploratória e a pesquisa descritiva, quando utilizadas em conjunto, proporcionam o melhoramento de conceitos ou o desenvolvimento de percepções (exploratória) e possibilitam a apresentação de particularidades (descritiva) existentes em um determinado objeto de estudo ou estabelecer conexões (Gil, 2002).

Quanto à abordagem, por buscar, além da identificação das escalas STRL, a apresentação delas a partir de inferências dos autores baseadas na literatura, classifica-se como um estudo qualitativo. Strauss e Corbin (2015) caracterizam a pesquisa qualitativa sob três componentes: a) os dados, que podem vir de várias fontes como entrevistas, observações, documentos, registros e gravações; b) os procedimentos, que podem ser utilizados para interpretar e organizar os dados; e c) os relatórios escritos e verbais, que podem ser apresentados em artigos, palestras ou livros, características que se enquadram no tema abordado nesta pesquisa.

Em relação aos procedimentos, são utilizadas as pesquisas bibliográfica e documental. A primeira delas, de acordo com Gil (2002), é desenvolvida com base principalmente em livros e artigos científicos e, neste artigo, para construir o referencial teórico acerca do Nível de Prontidão Tecnológica e sua variante para *software*, STRL, foram consultadas as bases de dados disponíveis no Portal de Periódicos da Capes (Capes, 2022) e na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (IBICT, 2022), usando descritores como: Nível de Prontidão Tecnológica (ou em inglês, Technological Readiness Level), sem delimitação temporal ou territorial.

Ferreira (2016) aponta que a pesquisa documental, realizada com a utilização de documentos, legislações, relatórios, etc., por suas próprias características, configura-se como uma importante fonte de dados, pois auxilia o pesquisador a estabelecer com clareza determinadas inferências a partir da análise da qualidade dos registros e dos documentos disponibilizados.

A Tabela 1 mostra os dados resultantes da busca por artigos relacionados aos Níveis de Prontidão Tecnológica de *Software* nas bases da Scopus, Web of Science e SciELO. Observa-se a disparidade da pesquisa envolvendo o TRL em relação ao STRL, que é o foco deste trabalho.

Tabela 1 – Resultados das buscas nas bases de dados da Scopus, Web of Science e SciELO

N.	TERMOS DE BUSCA NO TÍTULO/RESUMO/PALAVRAS-CHAVE E OBSERVAÇÕES SOBRE AS BUSCAS	SciELO	WEB OF SCIENCE	SCOPUS
1	(("Technology Readiness Level") OR ("TRL") OR ("Nível de Maturidade Tecnológica") OR ("Nível de Prontidão Tecnológica")) Todos os documentos / Sem recorte temporal	20	4.828	6.336
2	(("Software Technology Readiness Level") OR ("STRL") OR ("Nível de Maturidade Tecnológica de Software") OR ("Nível de Prontidão Tecnológica de Software")) Todos os documentos / Sem recorte temporal	1	155	83

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2023)

Quanto à organização e ao tratamento dos dados, optou-se por realizar apresentação das escalas com base na análise de conteúdo, “[...] que visa à interpretação de material de caráter qualitativo, assegurando uma descrição objetiva, sistemática e com a riqueza manifesta no momento da coleta dos mesmos [...]” (Guerra, 2014, p. 38), sob a perspectiva de Bardin (2016).

Assim, a apresentação das escalas STRL poderá mediar e colaborar com o cenário brasileiro quanto à análise de prontidão de tecnologia de *software*.

3 Resultados e Discussão

Esta seção está dividida em seis subseções. Na primeira delas, discute-se o desenvolvimento da tecnologia de *software* como processo e produto. Os tipos de tecnologia de *software*, sem a pretensão de esgotar o tema, são apresentados na segunda subseção, enquanto a identificação e descrição das escalas STRL compõem a terceira subseção, seguida pela apresentação de algumas delas. A quinta e sexta subseções tratam, respectivamente, do uso do TRL no Brasil e da importância da Tecnologia de *Software* para o país.

3.1 Tecnologia de *Software*: Processo x Produto

O desenvolvimento de uma tecnologia de *software* realizado por engenheiros de *software* “[...] concentra-se na aplicação de abordagens sistemáticas, disciplinadas e quantificáveis ao desenvolvimento, operação e manutenção de software” (CMMI Product Team *et al.*, 2002, p. 18). Os modelos de Integração do Modelo de Maturidade das Capacidades (CMMI) fizeram evoluir o conceito do Modelo de Maturidade das Capacidades (CMM) para diversas áreas, permitindo o crescimento e a expansão contínuos do CMM, entre os quais: o Modelo de Maturidade das

Capacidades para o *Software* (SW-CMM). Os modelos CMMI são ferramentas que ajudam as organizações a melhorarem os seus processos (CMMI Product Team *et al.*, 2002).

No momento da criação do CMMI, o desenvolvimento de Tecnologia de *Software* (TS) focava-se em definir e em seguir processos para tornar o seu desenvolvimento mais metódico, organizado e disciplinado (essas características continuam sendo buscadas), entretanto, atualmente, o desenvolvimento de TS encontra-se mais focado em produto, ou seja, é muito mais uma engenharia de produto do que uma engenharia de processo. Destaca-se que os focos em processo e produto coexistem, pois ainda há alguns tipos de *software* com processos muito rigorosos. Em contrapartida, percebe-se uma demanda focada em atender às necessidades do consumidor, do usuário do *software*. Ou seja, uma demanda que envolve mais características do produto desenvolvido do que características do processo do seu desenvolvimento.

Em relação à TS, “O professor Allen Oberleitner, Coordenador do Curso de Engenharia de Software na FIAP, destacou que o software muda nas características, demandas, públicos a cada ano” (Alura, 2023). Ele ainda apontou as evoluções trazidas no processo de desenvolvimento de *software*, cujo foco é o “[...] produto, sempre pensando na experiência do usuário, do cliente” (Alura, 2023). Ainda nesse sentido, “O professor Ivan Granja destacou que o software é desenvolvido para a sociedade ou para algumas personas que veem valor nele, e que, portanto, a gestão do valor do produto de software é fundamental para o seu desenvolvedor” (Alura, 2023).

A TS é um produto com muitas camadas e normalmente apenas uma delas é visível, tornando muitas vezes difícil o entendimento do seu conceito. O desenvolvimento de uma TS é um processo iterativo que precisa continuar produzindo valor, atendendo a novas necessidades e atribuindo novos valores ao produto dessa TS. O sucesso da integração entre o que está internamente em suas camadas com sua etapa mais próxima do usuário, mais visível, colaborará com o atendimento das dores do cliente demandante da TS.

3.2 Tipos Tecnologia de Software

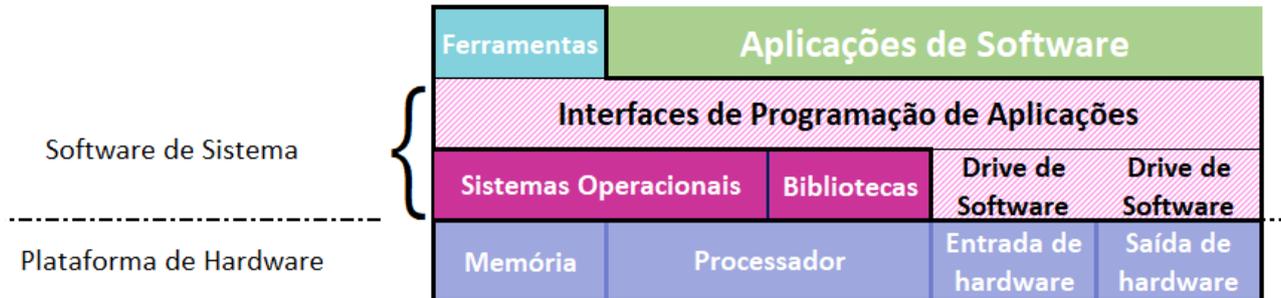
Com base em Hantos (2008), a tecnologia de *software* pode ser categorizada em três tipos:

- a) Tipo 1 – Tecnologia desenvolvida para uso diretamente em sistemas operacionais, por exemplo: arquiteturas de *software*, assinaturas digitais de chave pública, RPCs (chamadas de procedimento remoto) e detecção de intruso baseada em regras (Hantos, 2008).
- b) Tipo 2 – Tecnologia utilizada em ferramentas que auxiliam o desenvolvimento, manutenção e atualização de sistemas operacionais, como construtores de Interface Gráfica de Usuário (GUI), analisadores de complexidade X técnicas de refatoração de *software*, linguagens de programação (Hantos, 2008).
- c) Tipo 3 – Tecnologia de processo de *software* que torna os indivíduos mais eficazes no desenvolvimento e manutenção de sistemas e ferramentas operacionais, desenvolvendo ou permitindo a análise de sistemas/linhas de produtos. Os exemplos incluem: Desenvolvimento incremental do *software*, Especificação formal e Engenharia de Domínio (reutilização) e Análise de Domínio (Uso de ontologia de domínio, Levantamento de dados).

Destaca-se ainda que o *software* “vive” em seu ambiente projetado, que possui elementos de *hardware* e *software*, como foi exibido na Figura 1. Pode-se observar uma estreita relação de interdependência entre os entes desse ambiente, uma vez que, além de suas características

intrínsecas, os TRLs das ferramentas e do *software* de sistema dependem do TRL da plataforma de *hardware*. Por sua vez, os TRLs para os *softwares* aplicativos dependem dos TRLs da plataforma de *hardware* e das ferramentas e *software* de sistema associados (Hantos, 2008).

Figura 1 – Ambiente projetado para *software*



Fonte: Adaptada de Hantos (2008, p. 7)

3.3 Escalas STRL

Por meio do levantamento bibliográfico, verificou-se que Mankins (2009) classificou os vários estágios de desenvolvimento e prontidão de uma dada tecnologia, definindo nove níveis de prontidão tecnológica: a) pesquisa básica (níveis de TRL1 e TRL2); b) pesquisa para testar a viabilidade (TRL2 e TRL3); c) desenvolvimento tecnológico (TRL3 a TRL5); d) demonstração da tecnologia (TRL5 e TRL6); e) desenvolvimento do sistema/subsistema (TRL6 a TRL8); e f) teste operacional do sistema, produção, distribuição e operação (TRL8 e TRL9). Esses níveis são a base para as escalas STRL.

Foram considerados na pesquisa documental os relatórios: a) *Software Technology Readiness Assessments Managing Technology Risks in Space System Acquisitions (The Aerospace Corporation)*; b) *Beyond Technology Readiness Levels for Software: U.S. Army Workshop Report (Software Engineering Institute)*; c) *Technology Readiness Assessments Guide (U.S. Government Accountability Office)*; e d) *Manual de Operações EMBRAPPII*. Com base nesses documentos, foram identificadas quatro escalas STRL.

Quando se busca alcançar um determinado nível de prontidão para um *software*, espera-se garantir a disponibilização de informações suficientes que justifiquem a confiança de que esse *software* será adequado para o uso pretendido e, de uma perspectiva programática, estará adequado para a previsão do custo e do cronograma. Considerando que o *software* não é fabricado, assim como um *hardware*, a avaliação da prontidão da tecnologia de *software* tem divergências da abordagem utilizada na avaliação do *hardware*.

No processo de desenvolvimento da tecnologia de *software*, a presença do elemento humano (uma interpretação bem sutil da palavra “*soft*” em *software*) é mais perceptível e influente do que no desenvolvimento e fabricação da tecnologia de *hardware* (Hantos, 2008). Segundo Hantos (2008), a STRL baseia-se em três componentes principais da entrega dessa tecnologia: a) conhecimento do Domínio de *Software*; b) processo; e c) pessoas.

Durante o processo de identificação de escalas STRL, observou-se que a análise acerca do nível de prontidão de uma tecnologia, seja ela implementada em *hardware*, *software* ou ambos, é tão relevante para o governo americano que é objeto das publicações do DoD, NASA e do Government Accountability Office (GAO). Nessas publicações, são sistematizados o processo

e o guia de boas práticas para a avaliação de prontidão tecnológica de sistemas de defesa vinculados aos programas de aquisição dos Estados Unidos da América (EUA). Destaca-se ainda que o GAO afirma estar “[...] estabelecendo uma metodologia para avaliar a maturidade tecnológica com base nas melhores práticas que podem ser usadas em todo o governo federal” (Persons; Mackin, 2020, p. 2).

Em seu guia mais recente, o *Technology Readiness Assessments Guide (GAO-20-48G TRA Guide)*, o GAO afirmou que a classificação do TRL atribuída a cada tecnologia é realizada a partir de “[...] uma lista genérica de informações de apoio que podem ser extraídas ou referenciadas para apoiar uma classificação TRL” (Persons; Mackin, 2020, p. 66). Essas informações, usadas para demonstrar e suportar a classificação atribuída às tecnologias de *hardware* e *software*, constituem uma seção do guia, em que são encontradas, entre outras, as definições e descrições dos níveis TRL para *Software* do DoD e da NASA (Persons; Mackin, 2020), exibidas no Quadro 2.

Quadro 2 – Níveis de prontidão de tecnologia de *software* – DoD (2009) e NASA (2013)

Nível de STRL	DoD (2009)	NASA (2013)
1	Um novo domínio está sendo investigado pela comunidade de pesquisa básica, se estendendo ao desenvolvimento do uso básico, propriedades básicas da arquitetura de <i>software</i> , formulações matemáticas e algoritmos gerais.	Há conhecimento científico gerado, sustentando propriedades básicas de arquitetura de <i>software</i> e formulação matemática.
2	Uma vez observados os princípios básicos, aplicações práticas podem ser inventadas. As aplicações são especulativas e pode não haver nenhuma prova ou análise detalhada para apoiar as suposições. Os exemplos são limitados a estudos analíticos usando dados sintéticos.	A aplicação prática é identificada, mas especulativa, sem prova experimental ou análise detalhada disponível para apoiar conjecturas. Propriedades básicas de algoritmos, representações e conceitos definidos. Princípios básicos codificados. Experimentos realizados com dados sintéticos.
3	P&D ativo é iniciado. A viabilidade científica é demonstrada por meio de estudos analíticos e laboratoriais. Há o desenvolvimento de ambientes de funcionalidades limitadas para validar propriedades críticas e previsões analíticas usando componentes de <i>software</i> não integrados e dados parcialmente representativos.	Desenvolvimento de funcionalidades limitadas para validar propriedades e previsões críticas usando componentes de <i>software</i> não integrados.
4	Componentes básicos de <i>software</i> (baixa eficiência e robustez) são integrados para estabelecer que eles trabalharão juntos. Desenvolvimento de arquitetura iniciado visando a interoperabilidade, confiabilidade, capacidade de manutenção, extensibilidade, escalabilidade e segurança. Emulação com elemento atual/herdado, conforme apropriado. Protótipos desenvolvidos para demonstrar diferentes aspectos do sistema eventual.	Os principais componentes de <i>software</i> funcionalmente críticos são integrados e validados (funcionalmente) para estabelecer a interoperabilidade e iniciar o desenvolvimento da arquitetura. Ambientes relevantes definidos e desempenho previsto neste ambiente.

Nível de STRL	DoD (2009)	NASA (2013)
5	A tecnologia de <i>software</i> está pronta para integrar-se com os sistemas existentes. Os protótipos estão em conformidade com o ambiente/interfaces de destino. Experimentos com problemas realistas. Interfaces simuladas para sistemas existentes. Arquitetura de software do sistema estabelecida. Algoritmos rodam em processador(es) com características esperadas no ambiente operacional.	Elementos e sistemas de <i>software</i> de ponta a ponta implementados e em interface com sistemas/simulações existentes em conformidade com o ambiente de destino, testado em ambiente relevante, atendendo ao desempenho previsto. Protótipo com implementações desenvolvidas.
6	Demonstração da viabilidade de engenharia de uma tecnologia de <i>software</i> . Há implementações de protótipos de laboratório em problemas realistas em grande escala nos quais a tecnologia de <i>software</i> é parcialmente integrada aos sistemas de hardware/software existentes.	Viabilidade de engenharia totalmente demonstrada, com implementações de protótipo do software em problemas realistas em escala real. Integração parcial com sistemas de hardware/software existentes. Documentação limitada disponível.
7	Demonstração da viabilidade do programa de uma tecnologia de <i>software</i> . Há implementações de protótipos de ambiente operacional, onde a funcionalidade de risco técnico crítico está disponível para demonstração e um teste em que a tecnologia de software está bem integrada com sistemas operacionais de hardware/software.	Há um protótipo de <i>software</i> com as principais funcionalidades disponíveis para demonstração e teste. Bem integrado com sistemas operacionais de hardware/software demonstrando viabilidade operacional. A maioria dos bugs de software foi removida. Documentação limitada disponível.
8	Integração total da tecnologia de <i>software</i> com sistemas operacionais de hardware e software. A documentação de desenvolvimento de <i>software</i> está completa. Todas as funcionalidades testadas em cenários simulados e operacionais.	Software depurado e totalmente integrado com os sistemas operacionais de hardware e software. Toda a documentação do usuário, documentação de treinamento e documentação de manutenção concluída. Todas as funcionalidades demonstradas com sucesso em cenários operacionais simulados. Verificação e Validação (V&V) concluída.
9	A tecnologia de <i>software</i> é prontamente reproduzível e reutilizável. O software baseado na tecnologia é totalmente integrado aos sistemas operacionais de hardware/software. Toda a documentação do software verificada. Experiência operacional bem-sucedida. Manter o suporte de engenharia de <i>software</i> no local. Sistema real.	Software depurado e integrado com todos os sistemas operacionais de hardware/software. Toda a documentação foi concluída. Sustentar o suporte de engenharia de <i>software</i> em vigor. O sistema foi operado com sucesso no ambiente operacional.

Fonte: Adaptado de Persons e Mackin (2020, p. 115-118, tradução nossa)

No guia supracitado, o GAO reconhece que como a caracterização e a conceituação da escala STRL não são todas inclusivas e, portanto, variam de acordo com a tecnologia e a aplicação, “[...] as organizações podem adaptá-las para acomodar a sua própria aplicação” (Persons; Mackin, 2020, p. 66). Por essa razão, o GAO também disponibiliza nesse guia a sua própria proposta de escala STRL. No Brasil, a Embrapii, que adota a escala TRL para acompanhamento do desenvolvimento dos seus projetos, conforme apresentado no Manual de Operações 09/2020 (Embrapii, 2020), chegou à mesma conclusão.

Em seu manual, a Embrapii apresenta a escala TRL como referência básica para, a partir dela, estabelecer relações para caracterizar a maturidade tecnológica em outros contextos, como os processos de manufatura, o desenvolvimento de *software*, o desenvolvimento de Fármacos e de Biofármacos (Embrapii, 2020). As definições e as descrições dos níveis TRL para *Software* do GAO e da Embrapii são exibidas no Quadro 3.

Quadro 3 – Níveis de prontidão de tecnologia de *software* – GAO (2020) e Embrapii (2020)

NÍVEL DE STRL	GAO (2020)	EMBRAPII (2020)
1	Atividades de pesquisa básica: artigos, <i>white papers</i> , e modelos laboratoriais iniciais de conceito básico podem ser úteis para fundamentar o TRL.	Início da conceituação básica provendo o detalhamento da "formulação matemática".
2	Atividades de pesquisa aplicada, estudos analíticos, pequenas unidades de código e artigos comparando tecnologias concorrentes.	Algoritmos ou funções básicas são prototipadas e documentadas.
3	Algoritmos e componentes operando em ambiente de laboratório ou resultados de laboratório mostrando validação de propriedades críticas.	Algoritmos são executados e testados em processador representativo, em laboratório. "Protótipo".
4	Desenvolvimento de tecnologia avançada, protótipo independente resolvendo um problema sintético em grande escala ou protótipo independente processando conjuntos de dados totalmente representativos.	Componentes básicos do software são integrados para estabelecer trabalharão juntos. "Earliest version".
5	O diagrama da arquitetura do sistema com análise de seleção de processador e um plano de construção de laboratório de simulação/estimulação. O <i>software</i> é colocado sob gerenciamento de configuração e identifica componentes comerciais/ prontos para uso na arquitetura do sistema.	Todos os componentes do software são integrados em versão realística. O software é testado em ambiente controlado nas instalações do desenvolvedor. "Versão alfa".
6	Resultados de testes de laboratório de um protótipo (interfaces físicas, lógicas, de dados e de segurança) próximos (análises e medições de teste, como rendimento, escalabilidade e confiabilidade) comparações entre o ambiente testado e o ambiente operacional; Análise do Interface homem-computador (ambiente do usuário) iniciada.	Protótipo completo é testado em ambiente virtual ou simulado. O software ainda está em desenvolvimento. "Versão beta".
7	Propriedades tecnológicas críticas foram medidas em relação aos requisitos de um ambiente operacional.	Verificação e validação são concluídas, a validade da solução é confirmada. A especificação de requisitos é validada pelos usuários. O suporte de engenharia e organização de manutenção, incluindo o serviço de assistência técnica, estão em vigor. "Product release".
8	A documentação é publicada e o cronograma de atualização da tecnologia do produto existem para o sistema; as reservas de recursos de software foram medidas e rastreadas.	Fim do desenvolvimento do sistema. Inclui teste e avaliação no sistema pretendido quanto às suas especificações. O resultado é versão de produção com configuração controlada. Documentação completa. "General product".
9	Relatórios de gerenciamento de configuração de produção confirmam o sucesso operacional; a tecnologia é integrada em um "assistente" de reutilização.	Representa a aplicação real do software em sua forma final e sob condições projetadas, como as encontradas no teste operacional e na avaliação. "Live product", software em uso.

Fonte: Adaptado de Persons e Mackin (2020, p. 66-67, tradução nossa) e de Embrapii (2020, p. 35)

3.4 Apresentação de Algumas Escalas STRL

De acordo com Armstrong (2010, p. 2),

[...] tanto a NASA quanto o Department of Defense (DoD) desenvolveram descrições para TRL de software. No entanto, ambas as versões tendem a ser mais descritivas da maturidade de um produto específico do que o desenvolvimento geral de uma tecnologia.

Analisando as propostas de STRL do DoD e da NASA, Quadro 2, observa-se o foco, ora em *software* embarcado em um sistema, ora em *software* como o sistema, ou seja, quando o *software* é o principal elemento do sistema, algumas vezes até ignorando momentaneamente o *hardware* necessário para a sua execução. Elas apresentam as caracterizações dos seus níveis de prontidão da TS sob o viés de processo: Desenvolvimento de funcionalidades, componentes de *software*, viabilidade de engenharia, integração parcial, entre outros.

Na busca por uma generalização, e considerando o frequente desenvolvimento tecnológico e a criticidade envolvida no processo construtivo dessas novas tecnologias, Persons e Mackin (2020) propuseram “Três Passos para Avaliar Tecnologias Críticas”: a) Passo 1 – Confirmar as definições do TRL e discutir as evidências necessárias; b) Passo 2 – Avaliar as informações; e c) Passo 3 – Elaborar uma classificação ou parecer.

Assim como as organizações promotoras das escalas anteriores, a Embrapii orienta que, para casos específicos, por exemplo, o de *software*, as descrições disponibilizadas no seu manual exigem “interpretação e eventuais adaptações” (Embrapii, 2020, p. 33), podendo, inclusive, ser suplementadas com customizações. Nesse caso, será de responsabilidade da Unidade Embrapii em questão propor a sua customização e submetê-la à anuência da Embrapii.

A escala STRL do GAO (2020) e a escala da Embrapii (2020), por sua vez, mesclam as características da TS como processo, principalmente nos níveis iniciais de prontidão, em que o controle e a metodologia são preponderantes no desenvolvimento, e foca também no produto, apresentando ao cliente versões incrementais (*Versão alfa*, *Versão Beta*, *Product release*, *General product* e *Live product*) na medida em que cresce o seu nível de prontidão. Os principais resultados encontrados mostram a proeminência das escalas STRL de diversas instituições, mas indicam que elas necessitam de interpretação e eventuais adaptações, uma vez que todas derivam da escala TRL focada em *hardware*. Nesse sentido, Ferreira e Ribeiro (2023) propuseram uma adaptação STRL voltada para o desenvolvimento de Jogos Digitais: O Digital Game-Software Technology Readiness Level (DG-STRL).

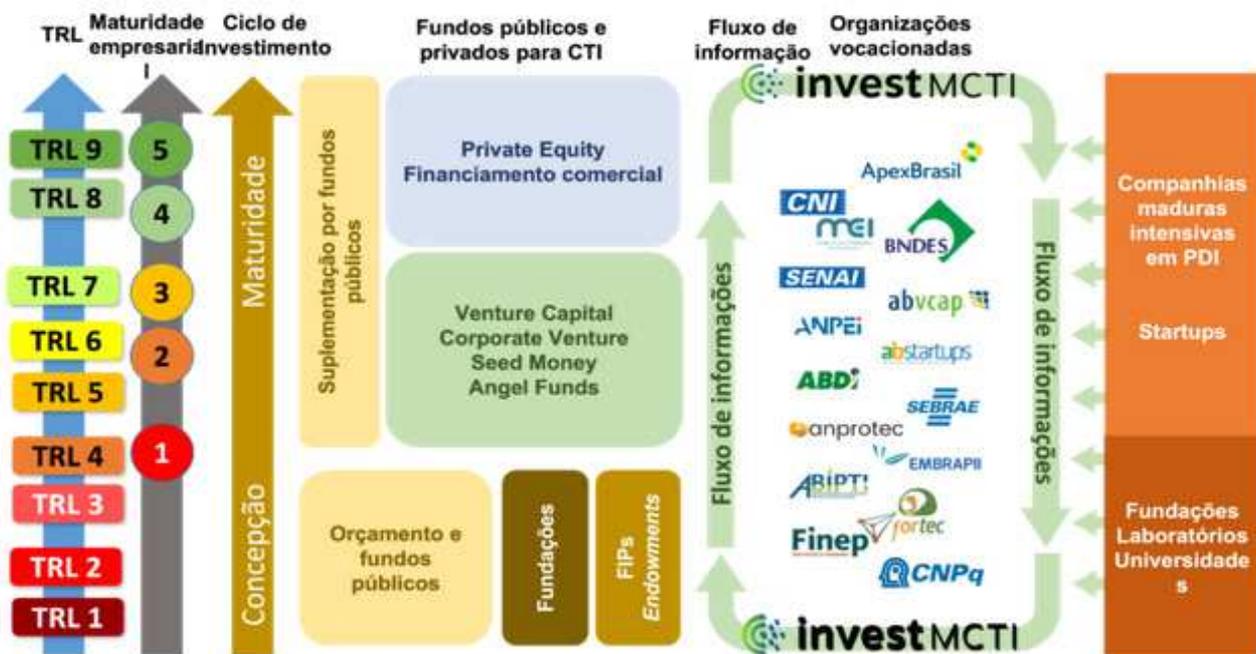
3.5 Uso do TRL no Brasil

A valorização do uso do TRL em território nacional é atestada pela publicação da Portaria GM n. 4.693, de 23 de abril de 2021, do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), que, no inciso I, do seu artigo 2º, indica: “[...] avaliar a viabilidade de se incorporar o conceito de Nível de Maturidade Tecnológica (Technology Readiness Level – TRL) nos processos de análise dos projetos submetidos à Lei do Bem” (Brasil, 2021). Ato contínuo, no ano seguinte, a Portaria MCTI n. 6.449, de 17 de outubro de 2022, também do MCTI, instituiu o uso do Sistema de Medição e Identificação do Nível de Maturidade Tecnológica para todos os

projetos a serem desenvolvidos sob o seu no âmbito e de suas unidades vinculadas. Para esse processo de medição e identificação, o MCTI elaborou e disponibilizou em seu *site* institucional uma ferramenta em formato de planilha eletrônica denominada Calculadora de Maturidade Tecnológica (Brasil, 2022).

Observa-se, na Figura 2, uma relação direta entre o nível de TRL, as fontes de financiamento de projetos e, conseqüentemente, o volume de recursos. Dessa forma, qualquer desenvolvedor de tecnologia em solo brasileiro que pretenda buscar financiamento governamental (por meio dos seus mais variados agentes), ou participar de editais de financiamentos, necessariamente, precisará apresentar e justificar o nível de prontidão tecnológica do seu projeto ou da sua proposta, como uma das etapas do processo seletivo ou de avaliação de crédito.

Figura 2 – Estrutura Integrada e Transversal de “Funding”



Fonte: Invest CTI (2023)

3.6 Importância da Tecnologia de Software para o Brasil

O *software* converteu-se em um dos principais atores do cenário atual, simplesmente por ser o responsável pela distribuição de um dos produtos mais consumidos no mundo: a informação. Ele tornou-se fator dominante nas economias do mundo industrializado. Para Pressman (2011), não há mais espaço para o programador solitário, que foi substituído por equipes inteiras de especialistas, cada um deles concentrado em uma parte da tecnologia necessária para distribuir uma aplicação complexa (*software*).

Observando essa mudança de mercado, o Brasil lançou em março de 2023 (Brasil, 2023), por iniciativa do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), o programa Residência em TIC (Tecnologia da Informação e Comunicação). Trata-se de um projeto realizado em 33 institutos de pesquisa e universidades de todas as regiões do país, e que tem parceria com mais de 200 empresas do setor de TICs. Segundo o coordenador de Fomento à Inovação da

Secretaria de Ciência e Tecnologia para Transformação Digital do MCTI, Ulisses Campoi Rosa, o programa é uma iniciativa para reduzir o déficit de profissionais na área de TICs, que pode chegar a 500 mil.

As áreas contempladas pelo Residência em TIC são computação em nuvem, *big data*, segurança cibernética, Internet das Coisas, fotônica, manufatura avançada, *design* de circuitos integrados, robótica, inteligência artificial, tratamento de dados e automação em testes de software (Brasil, 2023).

Ademais, a Dell Technologies ativou, em 2022, um Laboratório de Inovação 5G, em Austin, nos Estados Unidos, para reunir o ecossistema em torno do 5G (Lobo; Costa, 2022) com o intuito de fomentar a colaboração, em formato de laboratório remoto, contando com empresas, operadoras, desenvolvedores e todos interessados em fomentar o 5G, como informou o diretor global de Telecomunicações da Dell Technologies, o brasileiro Sandro Tavares (Lobo; Costa, 2022). Ele também reforçou que, para o Brasil, o 5G é uma “[...] tecnologia que representa uma grande oportunidade de o país deixar de ser apenas um consumidor e passar a ser um produtor global, especialmente, em *software*” (Lobo; Costa, 2022).

Em menos de um ano, o Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC) e a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) lançaram o 5G Open Labs, um laboratório de desenvolvimento aberto para aplicações e testes de *softwares* ligados ao ecossistema 5G. Destaca-se ainda a articulação do projeto com o Instituto Nacional para Engenharia de *Software* (INES) (Possebon, 2023). O MDIC considera o 5G essencial para a agenda de transformação digital e econômica do País e, portanto, deve ser tratado com máxima prioridade pela pasta, como assegurou o secretário de Desenvolvimento Industrial, Inovação, Comércio e Serviços, Uallace Moreira (Possebon, 2023).

Em notícia bem recente, o MCTI e a Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPII) anunciaram um investimento de R\$ 178 milhões para a criação de três Centros de Tecnologia de Fronteira: a) Eletromobilidade e Redes Elétricas Inteligentes; b) Tecnologias para Agricultura Digital; e c) Sensoriamento inteligente para indústria com Inteligência Artificial e Internet das Coisas (Embrapii, 2023). Para a ministra do MCTI, Luciana Santos, a transformação digital contribui na solução de problemas, com reflexos diretos na melhora da qualidade de vida das pessoas, além de influenciar na formação de empregos qualificados, fomentar a inovação tecnológica, gerar novos negócios, aumentar a produtividade das empresas e impulsionar a economia (Embrapii, 2023).

4 Considerações Finais

O *software* tem características únicas que tornam inerentemente desafiador o seu processo de avaliação quando comparado com os sistemas de *hardware*: ele é intangível. O *hardware*, por sua vez, possui propriedades físicas que podem ser mais facilmente caracterizadas, medidas, monitoradas e testadas. Portanto, os dados e as informações usados para medir, monitorar, gerenciar e controlar o *software* precisam ser diferentes dos utilizados para *hardware*.

O processo de desenvolvimento de uma tecnologia de *software* é intrinsecamente considerado um negócio arriscado, e um dos grandes fatores responsáveis por essa “fama” está relacionado com a dimensão humana do processo, fato que não foi observado em nenhuma

das escalas STRL aqui apresentadas. A participação de “pessoas” nesse processo traz consigo fatores humanos difíceis de se compreender e muito mais difíceis de se controlar.

Considerando os tipos de tecnologia de *software* existentes, acredita-se que o desenvolvimento de *software* para grandes sistemas apresenta, além da alta complexidade, outras preocupações sistêmicas que, apesar de difíceis de quantificar, geralmente são transparentes e crescem durante o processo de desenvolvimento da tecnologia.

Há um longo caminho a ser percorrido para o amadurecimento da escala (ou serão escalas?) STRL, mas o processo já foi iniciado.

5 Perspectivas Futuras

Como perspectivas futuras, sugere-se, a partir da principal constatação de que a caracterização e a conceituação para a tecnologia de *software* não são todas inclusivas nas escalas STRL mais atuais e de que essas escalas necessitam de interpretação e de eventuais adaptações para uma análise aprofundada dos seus níveis de prontidão. Sugere-se, portanto, buscar responder, nas próximas pesquisas, questionamentos como: “É possível a identificação de *checkpoints* universais (ou próximos disso) no processo de desenvolvimento da tecnologia de *software*?”. Outro questionamento que merece investigação é: “Qual informação deverá ser coletada e analisada e que esteja relacionada ao processo de desenvolvimento da tecnologia de *software* em *checkpoints* para determinar a prontidão do processo?”.

Referências

- ABNT – 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. São Paulo: ABNT, 2015.
- ALURA. **Faculdade de Engenharia de Software**: o que faz? Vale a pena? YouTube, 7 de junho de 2023. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=JLiG_kKe9A. Acesso em: 15 jul. 2023.
- ARMSTRONG, James R. 6.4. 2 Applying Technical Readiness Levels to Software: New Thoughts and Examples. In: INCOSE INTERNATIONAL SYMPOSIUM. 2010. p. 838-845. **Anais** [...]. [S.l.], 2010.
- BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 2016.
- BEZERRA, M. das G. F.; QUINTELLA, C. M. Editorial. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 13, n. 1, p. 1-2, março, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.9771/cp.v13i1.35894>. Acesso em: 8 dez. 2023.
- BRASIL. Com 40 mil profissionais capacitados, programa Residência em TIC será ampliado para atender desafios da indústria. **Gov.br**, 20 abr. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2023/03/com-40-mil-profissionais-capacitados-programa-residencia-em-tic-sera-ampliado-para-atender-desafios-da-industria>. Acesso em: 8 set. 2023.
- BRASIL. **Portaria MCTI n. 4.693, de 23 de abril de 2021**. Institui Grupo de Trabalho para propor ações no âmbito do Capítulo III da Lei n. 11.196, de 21.11.2005 (Lei do Bem). Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2021. Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/legislacao/portarias/Portaria_MCTI_n_4693_de_23042021.html. Acesso em: 6 set. 2023.

BRASIL. **Portaria MCTI n. 6.449, 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. Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2022. Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/legislacao/portarias/Portaria_MCTI_n_6449_de_17102022.html. Acesso em: 6 set. 2023.

CAPES – COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR. **Periódicos Capes**. 2022. Disponível em: <https://www.periodicos.capes.gov.br>. Acesso em: 2 jun. 2022.

CMMI PRODUCT TEAM *et al.* **CMMI for Systems Engineering/Software Engineering/Integrated Product and Process Development/Supplier Sourcing**, Version 1.1, Continuous Representation. CMU/SEI, 2002. Disponível em: <https://resources.sei.cmu.edu/library/asset-view.cfm?assetid=6105>. Acesso em: 15 set. 2023.

CUPANI, Alberto. **Filosofia da tecnologia**: um convite. 3. ed. Florianópolis: EdUFSC, 2016.

CUPANI, Alberto. Modalidades da tecnologia e suas consequências culturais. **Revista Dialectus**, Fortaleza, ano 9, n. 17, p. 82-95, maio-ago. 2020.

DIFFEN. Science vs. Technology. **Diffen**, 2014. Disponível em: https://www.diffen.com/difference/Science_vs_Technology?utm_source=404suggestions&utm_medium=webref&utm_campaign=dfndotcom. Acesso em: 9 set. 2023.

EMBRAPII – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E INOVAÇÃO INDUSTRIAL. Embrapii e MCTI anunciam R\$ 178 milhões para criação de três centros de tecnologia de fronteira. **EMBRAPII**, 5 set. 2023. Disponível em: <https://embrapii.org.br/embrapii-mcti-anunciam-178-milhoes-criacao-tres-centros-tecnologia-fronteira/>. Acesso em: 8 set. 2023.

EMBRAPII – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E INOVAÇÃO INDUSTRIAL. **Manual de Operação 09/2020**. Disponível em: https://embrapii.org.br/wp-content/images/2021/07/Manual_EMBRAPII_UE_versao-6.0-de-20.10.20.pdf. Acesso em: 30 ago. 2023.

FERREIRA, A. L. L. **Estilos de tomada de decisão na adoção de inovações tecnológicas**: um estudo de caso no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia. 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/19277>. Acesso em: 22 ago. 2023.

FERREIRA, A. L. L.; RIBEIRO, N. M. Digital Game-STRL: correlação entre os níveis de prontidão de tecnologia de software e as etapas de desenvolvimento de um jogo digital. **Cuadernos de Educación Y Desarrollo**, [s.l.], v. 15, n. 11, p. 15.024-15.046, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.55905/cuadv15n11-111>. Acesso em: 8 dez. 2023.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Altas, 2002.

GUERRA, Elaine Linhares de Assis Guerra. **Manual Pesquisa Qualitativa**: Suporte ao Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Belo Horizonte: Grupo Anima Educação, 2014. Disponível em: <https://docente.ifsc.edu.br/luciane.oliveira/MaterialDidatico/P%3%b3s%20Gest%3%a3o%20Escolar/Legisla%3%a7%3%a3o%20e%20Pol%3%adticas%20P%3%bablicas//Manual%20de%20Pesquisa%20Qualitativa.pdf>. Acesso em: 8 set. 2023.

HANTOS, Peter. Aerospace Corp el Segundo CA Engineering and Technology Group. Software Technology Readiness Assessments-Managing Technology Risks in Space System Acquisitions. **The Aerospace Corporation, Aerospace Report n. TOR-2008 (8550)-8033, Unlimited Release**, [s.l.], v. 16, 2008.

IBICT – INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD)**. 2022. Disponível em: <https://bdtd.ibict.br>. Acesso em: 2 jun. 2022.

INVEST CTI. **Expandir a ciência, tecnologia e inovação no brasil**. 2023. Disponível em: <https://invest.mcti.gov.br/sobre-a-plataforma/>. Acesso em: 6 set. 2023.

LOBO, Ana Paula; COSTA, Pedro. No 5G, software é a chance de o Brasil deixar de ser apenas consumidor de tecnologia. **Convergência Digital**, 8 abr. 2022. Disponível em: <https://www.convergenciadigital.com.br/Telecom/No-5G%2C-software-e-a-chance-de-o-Brasil-deixar-de-ser- apenas-consumidor-de-tecnologia-59976.html?UserActiveTemplate=mobile>. Acesso em: 8 set. 2023.

MARTIN, A. R. *et al.* Classification of Innovation Support Instruments of the Federal Government in the Technological Readiness Level (TRL). **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 13, n. 1, p. 78-91, março, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.9771/cp.v13i1.32726>. Acesso em: 8 dez. 2023.

MENDES, Tatyane. TI: Entenda de uma vez o que é a Tecnologia da Informação. **NapratICA**, 22 maio 2023. Disponível em: <https://www.napratICA.org.br/ti-entenda-de-uma-vez-o-que-e-a-tecnologia-da-informacao/>. Acesso em: 9 set. 2023.

NASA – NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Nasa systems engineering handbook**. 2017. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/citations/20170001761>. Acesso em: 8 set. 2023.

PERSONS, Timothy M.; MACKIN, Michele. **Technology readiness assessment guide: best Practices for Evaluating the Readiness of Technology for Use in Acquisition Programs and Projects**. US Government Accountability Office Washington United States, 2020. Disponível em: <https://apps.dtic.mil/sti/citations/AD1105604>. Acesso em: 6 set. 2023.

POSSEBON, Samuel. MDIC lança laboratório de inovação e vê 5G como alavanca de desenvolvimento econômico. **Teletime**, 31 mar. 2023. Disponível em: <https://teletime.com.br/31/03/2023/mdic-lanca-laboratorio-de-inovacao-e-ve-5g-como-alavanca-de-desenvolvimento-economico/>. Acesso em: 8 set. 2023.

PRESSMAN, Roger. S. **Engenharia de Software: uma Abordagem Profissional**. 7. ed. Porto Alegre: Amgh, 2011.

QUINTELLA, C. M. A Revista Cadernos de Prospecção e os Níveis de Maturidade de Tecnologias (TRL). **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 10, n. 1, p. 1-2, março, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.9771/cp.v10i1.21864>. Acesso em: 8 dez. 2023.

QUINTELLA, C. M. *et al.* Maturidade Tecnológica: Níveis de Prontidão TRL. In: RIBEIRO, Núbia Moura. (org.). **PROFNIT, Prospecção Tecnológica**. 1. ed. Salvador: Editora do IFBA, 2019. v. 2, p. 18-59. Disponível em: <http://www.profnit.org.br/pt/livros-profnit/>. Acesso em: 8 set. 2023.

QUINTELLA, C. M.; ROCHA, P. J.; QUINTELLA, V. da M. Veículos Híbridos: Avaliação de Maturidade Tecnológica TRL 4 a 7 através de mapeamento patentário. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 10, n. 3, p. 600-614, setembro, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.9771/cp.v10i3.23231>. Acesso em: 8 dez. 2023.

RIBEIRO, M. E.; FREY, I. A.; AZEVEDO, P. Classificação das Patentes em Universidades Federais na Escala TRL (Technology Readiness Level): estudo de caso a partir da Norma ISO 16290:2013. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 15, n. 1, p. 117-130, março, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.9771/cp.v15i1.42173>. Acesso em: 8 dez. 2023.

ROCHA; Flavia Suheck Mateus da *et al.* O uso de tecnologias digitais no processo de ensino durante a pandemia da Covid-19. **Revista Interacções**, [s.l.], n. 55, p. 58-82, 2020.

SILVA NETO, A. M. **Método para Avaliação do grau de maturidade no processo de produção de produtos da indústria metal mecânica**. 2015. 162p. Dissertação (Mestrado Profissional) – Curso de Mestrado Profissional e Engenharia Aeronáutica e Mecânica, Área de Produção – Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos, São Paulo, 2015. Disponível em: http://www.fcmfmp.org.br/site/sites/default/files/dissertacoes/turma2/Almiro_dp_078_2015.pdf. Acesso em: 8 set. 2023.

STRAUSS, Anselm; CORBIN, Juliet. **Basics of Qualitative Research: Techniques and Procedures for Developing Grounded Theory**. 4. ed. Thousand Oaks: Sage, 2015.

VELHO, S. R. K. *et al.* Nível de Maturidade Tecnológica: uma sistemática para ordenar tecnologias. **Parcerias Estratégicas**, Brasília, DF, v. 22, n. 45, p. 119-140, jul.-dez., 2017.

VERAS, C. A. G. **TRL – Technology Readiness Level – Métrica Indispensável na Inovação**. Brasília, DF: Departamento de Engenharia Mecânica da UnB, 2018. Disponível em: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwixvG2ycf8AhVbs5UCHaHYD0UQFnoECA4QAQ&url=https%3A%2F%2Fpctec.unb.br%2Fcomponent%2Fphocadownload%2Fcategory%2F14-eventos-anteriores%3Fdownload%3D151%3Atechnology-readiness-level-carlos-alberto-gurgel&usq=AOvVaw04H5Eb_CCws3Rxn2H5eXJp. Acesso em: 8 jan. 2023.

Sobre os Autores

André Luiz Leite Ferreira

E-mail: andrellfer@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2108-1447>

Doutor em Difusão do Conhecimento pela Universidade Federal da Bahia em 2016.

Endereço profissional: Rua Emídio dos Santos, s/n, Barbalho, Salvador, BA. CEP: 44200-000.

Núbia Moura Ribeiro

E-mail: nubiamouraribeiro@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0468-9760>

Doutora em Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro em 2004.

Endereço profissional: Rua Emídio dos Santos, s/n, Barbalho, Salvador, BA. CEP: 44200-000.