**Anexo 6 - Caracterização da Maturidade Tecnológica**

*TECHNOLOGY READINESS LEVEL* – TRL

**Contexto da lógica do TRL associado ao PIPE**

Na elaboração do projeto de pesquisa para inovação a ser submetido ao PIPE, é necessário que o(a) proponente aponte qual é o TRL inicial e TRL final esperado do desenvolvimento tecnológico associado ao projeto, explicando as razões para receberem estas classificações. Esta análise deverá ser feita em dois momentos no projeto de pesquisa para inovação:

* Logo no início, quando são apresentados os Objetivos e Maturidade Tecnológica Pretendida – TRL (seção 3 do Anexo 1 - Orientações e Modelo - Projeto de Pesquisa para inovação). Nesta seção, depois de apresentar os objetivos do projeto, deve-se comentar a evolução tecnológica pretendida, caracterizando o TRL inicial e qual será o TRL final esperado no projeto. Não esquecer de citar o número associado do TRL inicial e final, assim como fazer análise de forma específica, associada ao projeto de pesquisa para inovação, e não de forma genérica e abrangente.
* No Plano de Pesquisa (seção 6 do Anexo 1 - Orientações e Modelo - Projeto de Pesquisa para inovação), item “e) Entregáveis com Referência de TRL”. Um plano de pesquisa é caracterizado por fases. Cada fase é caracterizada por eventos significativos do projeto, ou seja, os marcos tangíveis de desenvolvimento, também conhecidos como pontos de controle ou de verificação. É preciso associar uma (ou mais fases, se for o caso) a um estágio de TRL. Espera-se que na próxima fase (ou conjunto de fases), o estágio de TRL também evolua para a próxima etapa. É óbvio que os TRL inicial e final caracterizados no plano de pesquisa devem ser os mesmos já apontados anteriormente na seção 3 - Objetivos e Maturidade Tecnológica Pretendida – TRL.

Este material foi elaborado com o objetivo de ajudar na classificação e caracterização dos TRLs da evolução tecnológica planejada no projeto de pesquisa para inovação.

**Visão geral do TRL e suas variações**

John Mankins (2009, p.1) explica que “*no meio da década de 1970, a National Aeronautics and*

*Space Administration (NASA) introduziu o conceito de níveis de prontidão tecnológica (Technology Readiness Levels - TRLs) como uma disciplina independente, um método para permitir avaliações e comunicação mais efetivas relacionadas à maturidade de novas tecnologias*”. O próprio Mankins, então atuando como físico da NASA, contribuiu para o desenvolvimento e evolução da lógica dos TRLs.

No Brasil, o TRL ganha status de norma técnica com a publicação da NBR ISO 16290 – Sistemas Espaciais: Definição dos Níveis de Maturidade da Tecnologia (TRL) e de seus Critérios de Avaliação pela ABNT (2015).

Mesmo que o TRL tenha sido pensado para o setor espacial (tanto nos Estados Unidos como no Brasil), sua aplicação passou a ser utilizada no desenvolvimento dos mais diversos tipos de soluções tecnológicas ao redor do mundo, tornando-se um padrão em diversos países. Mankins (2009. p.2) comenta que o padrão TRL “*vem sendo considerado por inúmeras organizações, tornando-se altamente eficaz em comunicar a situação do desenvolvimento de novas tecnologias em diversas organizações*”.

Este padrão TRL pode ser observado na próxima figura.

Figura 1: Escala de Prontidão Tecnológica (TRL)



Fonte: Mankins (2009. p3) e ABNT (2015)

É importante destacar que o TRL é uma lógica de fases evolutivas de uma determinada tecnologia, desde o momento em que os conhecimentos da pesquisa básica começam a indicar a possibilidade de uma aplicação prática até o momento em que esta aplicação está operando em sua plenitude. Há muitos projetos tecnológicos que se iniciam no TRL 1 e chegam até o TRL 9, mas há outros em que o projeto se inicia em outros níveis de TRL. A implantação de um sistema de gestão empresarial de “prateleira” em uma determinada empresa, por exemplo, provavelmente já começa no TRL 8, uma vez que o sistema já está pronto e sendo utilizado por inúmeras outras organizações. Neste caso, não há espaço para pesquisa científica/tecnológica, apenas ajustes com os sistemas legados da organização.

Para tornar a lógica do TRL mais didática, Mankins (2009) explica, comenta e dá exemplos para cada nível de TRL no seu artigo *Technology Readiness Assessments: A Retrospective*. O próximo quadro traz um resumo sobre suas explicações.

**Tabela 1: Níveis de TRL e seus contextos**

|  |  |
| --- | --- |
| **TRL** | **Contexto do nível de TRL** |
| 1 | **Princípios básicos observados e reportados***Nível inicial de maturidade tecnológica. Pesquisa científica básica começa a ser traduzida em pesquisa aplicada e desenvolvimento tecnológico*. (p.3)  |
| 2 | **Formulação do conceito e/ou aplicação da tecnologia***Aplicações práticas dos TRL1 começam a ser identificados ou inventados*. (p.4) |
| 3 | **Prova de conceito das funções críticas de forma analítica e/ou experimental***Atividades de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) são iniciadas. Estudos e experimentos por meio de validação de provas de conceito a partir das aplicações ou conceitos vislumbrados no TRL2*. (p.4) |
| 4 | **Validação em ambiente de laboratório de componentes e/ou ensaios experimentais***A partir do sucesso na validação de provas de conceito de funções críticas, passa a ser necessário integrar/juntar as peças (funções críticas) para validação de forma integrada em componentes e/ou ensaios experimentais*. (p.4) |
| 5 | **Validação em ambiente relevante de componentes e/ou ensaios experimentais***Elementos básicos da tecnologia devem ser integrados de forma razoavelmente realista e integrada (nível de componentes, subsistemas ou sistema) que possa ser testada de forma simulada ou mesmo em ambiente real*. (p.5) |
| 6 | **Demonstração do modelo do sistema ou protótipo funcional em ambiente relevante***Modelo integrado do sistema, protótipo funcional do sistema deve ser testando em ambiente relevante. Neste estágio, a evolução tecnológica está mais associada à confiabilidade do funcionamento do que aos requisitos de pesquisa e desenvolvimento*. (p.5)  |
| 7 | **Demonstração do protótipo funcional em ambiente operacional***Validação do protótipo do sistema funcionando em ambiente real, igual ao que será instalado quando estiver finalizado. Protótipo deve ser testado próximo ou na escala planejada para o sistema operacional.* (p.6)  |
| 8 | **Sistema totalmente completo, testado, qualificado e demonstrado***Na maioria dos casos, é a etapa final do desenvolvimento do sistema. Pode implicar em integração com sistemas legados.* (p.6) |
| 9 | **Sistema já operado com sucesso em todas as condições críticas***A principal diferença entre TRL 8 e 9 é a operação. Podem ocorrer falhas (bugs) no processo de implementação e operação que precisarão ser corrigidas nesta fase. Não deveria incluir melhorias previamente planejadas ou outras variações da solução.* (p.7) |

Fonte: Mankins, 2009

Ao longo do tempo, a lógica do TRL começou a ser aplicada em outros contextos, como ocorre com o *Manufacturing Readiness Level* (MRL) ou Nível de Prontidão Fabril, que busca classificar o nível de maturidade de uma determinada tecnologia a partir da perspectiva fabril. Isto tem sua utilidade para avaliar a capacidade fabril de fornecedores de novas tecnologias. E a lógica do TRL começou a receber propostas de adequação considerando naturezas diferentes de desenvolvimento tecnológico. No desenvolvimento de software, por exemplo, ir do TRL 1 ao TRL 9 pode ser uma questão de poucos meses, enquanto na indústria farmacêutica esta jornada pode ser não apenas mais complexa (tecnologia, validações, autorizações, certificações), mas muito mais dispendiosa, incerta e longa (anos).

Neste contexto, pelo histórico de projetos submetidos ao PIPE, além da versão tradicional de TRL, outras versões como a de software (*Software Technology Readiness Level* – STRL) ou fármacos podem ser úteis. O quadro da próxima página apresenta estas versões integradas à versão tradicional do TRL. Caso tenha interesse, além da versão para o setor de software e farmacêutico, o relatório *Technology Readiness Assessment* (TRA) Deskbook (DoD, 2009) também apresenta versões para *hardware* (máquinas, equipamentos), vacinas, equipamentos médicos (*medical devices*) e soluções médicas digitais (*medical informatics*). Para o setor agrícola, o estabeleceu o Crop Research Technology Readiness Level (USDA, 2018) para a avaliação do nível de maturidade tecnológica no segmento de sementes.

Para avaliação do TRL inicial e final do projeto PIPE proposto, é possível utilizar o TRL padrão, outras versões apresentadas ou citadas neste documento, ou outra versão que a empresa julgar mais adequada ao seu projeto. Neste último caso, é preciso que haja uma clara relação do TRL específico com o TRL tradicional (Mankins, 2009) e, óbvio, sempre é preciso citar a fonte que está sendo utilizada como parâmetro de TRL.

**Tabela 2: TRL padrão, para Software e Fármacos**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **TRL Padrão** | **TRL para software** | **TRL para fármacos**  |
| 1 | Princípios básicos observados e reportados | Início da conceituação básica provendo o detalhamento da formulação lógica | Foco em descoberta de novas moléculas. Os resultados da pesquisa científica são revisados e avaliados e a pesquisa aplicada tem início. Alvos potenciais e mecanismos de doenças são avaliados |
| 2 | Formulação do conceito e/ou aplicação da tecnologia | Algoritmos ou funções básicas são prototipadas e documentadas | Hipóteses, ideias de pesquisa, protocolos e projetos experimentais são desenvolvidos. São identificados potenciais alvos terapêuticos para intervenção. |
| 3 | Prova de conceito das funções críticas de forma analítica e/ou experimental | Algoritmos são executados e testados em processador representativo, em laboratório. | Teste das hipóteses e prova inicial de conceito (PoC) são demonstrados em um número limitado de modelos in vitro e in vivo para drogas candidatas. |
| 4 | Validação em ambiente de laboratório de componentes e/ou ensaios experimentais | Componentes básicos do software são integrados para operar em sistema | Validação de drogas candidatas a partir de provas de conceito em modelos de laboratório. |
| 5 | Validação em ambiente relevante de componentes e/ou ensaios experimentais | Componentes integrados em versão realística. Teste em ambiente controlado. “Versão Alfa”. | Realização de estudos pré-clínicos incluindo análises farmacológicas, farmacocinéticas e toxicológicas. |
| 6 | Demonstração do modelo do sistema ou protótipo funcional em ambiente relevante | Protótipo completo é testado em ambiente virtual ou simulado. Software ainda em desenvolvimento. “Versão Beta” | Estudos clínicos Fase 1 asseguram a tolerância/segurança domedicamento, em um número restrito de voluntários sadios. |
| 7 | Demonstração do protótipo funcional em ambiente operacional | Conclusão da validação da solução, dos requisitos do usuário. Início do suporte e manutenção. “*Product Release*” | Conclusão de Estudos Clínicos Fase 2 e procedimentos de registro de Estudos Clínicos Fase 3. |
| 8 | Sistema totalmente completo, testado, qualificado e demonstrado | Fim do desenvolvimento do sistema. Versão em produção. Documentação completa. "*Go Live*" | Conclusão de Estudos Clínicos Fase 3 e procedimentos de registro na autoridade sanitária. |
| 9 | Sistema já operado com sucesso em todas as condições críticas | Software em uso. Aplicação plena sob as condições projetadas. “*Live Product”* | Sistemas de vigilância pós- comercialização. |

Fonte: ABNT (2015), DoD (2009), EMBRAPII (2020), Mankins (2009)

**Orientações finais para o uso do TRL**

* Estudar os conceitos de TRL a partir da bibliografia apresentada neste documento. Isto terá utilidade para um planejamento mais claro da pesquisa, especialmente no que diz respeito às etapas e aos resultados intermediários atrelados aos TRLs. Pesquisa científica, desenvolvimento tecnológico e lançamento da inovação exigem método e isto implica no esclarecimento do passo-a-passo do desenvolvimento do projeto e da razão desta lógica ser a melhor para o problema a ser pesquisado e a solução a ser desenvolvida.
* Utilizar tabelas para apresentar o TRL inicial e o TRL final esperado no projeto. Isto facilita o processo de avaliação da seção “3 - Objetivos e Maturidade Tecnológica Pretendida (TRL)” do Anexo 1.

Tabela [incluir número]: TRL Inicial e Final

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **TRL** | **Número do TRL** | **Explicação** |
| Inicial | X | Explicar a situação atual do projeto e porque se enquadra neste nível de TRL |
| Final | Y | Apresentar o resultado final esperado do projeto e porque se enquadraria neste nível de TRL |

* Na seção “6 - Plano de Pesquisa” do Anexo 1, item “e) Entregáveis com Referência de TRL”, é necessário apresentar informações sobre os principais entregáveis intermediários e final, associando-os à evolução dos níveis de TRL. Entregável é uma parte relevante do projeto que é finalizada e que, por sua vez, sustenta outra etapa do desenvolvimento, associada a outro novo entregável. Para apresentar os entregáveis com Referência de TRL, utilizar tabelas ou fluxogramas para facilitar o entendimento do todo, das partes e das relações com o TRL. Abaixo, apresentamos um exemplo hipotético para um projeto de 7 meses:

Tabela [incluir número]: Evolução dos níveis de TRL do projeto

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Início | Mês 1 | Mês 2 | Mês 3 | Mês 4 | Mês 5 | Mês 6 | Mês 7 |
|  | Entregável 1 (escrever resumo do entregável) | Entregável 2 (escrever resumo do entregável) | Entregável 3 | Entregável 4 |
| TRL 2 | TRL 3 | TRL4 |
| Formulação do conceito e/ou aplicação da tecnologia | Prova de conceito das funções críticas de forma analítica e/ou experimental | Validação em ambiente de laboratório de componentes e/ou ensaios experimentais |
| Explicar a situação atual do projeto e porque se enquadra neste nível de TRL | Explicar evolução do projeto e porque atingiria este nível de TRL | Apresentar o resultado final esperado do projeto e porque se enquadraria neste nível de TRL |

* A determinação dos TRLs do projeto pode ser feita considerando a análise do(a) proponente. Adicionalmente, algumas entidades no Brasil e, especialmente no exterior, elaboraram “calculadoras” de TRL que são facilmente encontráveis por meio dos mecanismos de busca na internet. É possível utilizar estas calculadoras e os resultados podem servir como parâmetro para uma melhor determinação dos TRLs, desde que passem por uma análise crítica do(a) proponente e que sejam devidamente justificados no projeto de pesquisa para inovação com informações relacionadas ao projeto em si.
* É importante ser realista na evolução dos TRLs naquilo que seja possível realizar considerando os prazos de cada fase do PIPE.
* Não encarar o TRL como mais uma “burocracia” desnecessária, mas como uma lógica de metas ou marcos (*milestones*) a cumprir para atingir o objetivo de conduzir uma pesquisa tecnológica e inovativa bem-feita, chegando com uma solução vencedora ao mercado. O fato de conhecer as etapas, evoluindo de uma para a outra, pode ser útil para quem quer correr uma maratona (3 km, 5 km, 10 km, 21 km, 42 km), pensa em criar uma startup que vá se tornar um unicórnio (família, tribo, vila, cidade, nação[[1]](#footnote-1)) ou desenvolver uma nova tecnologia transformando-a em uma inovação competitiva (TRL1... TRL9). A lógica pode ser útil, mas não garante resultados infalíveis. Sempre lidaremos com riscos e incertezas naquilo nos propomos.

**BIBLIOGRAFIA**

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

DOD, U. S. **Technology Readiness Assessment (TRA) Deskbook**. July 2009. Disponível em < <https://www.skatelescope.org/public/2011-11-18_WBS-SOW_Development_Reference_Documents/DoD_TRA_July_2009_Read_Version.pdf>> Consultado em 14 de março de 2022.

EMBRAPII. **Manual de Operações**. Versão 6.0. Setembro de 2020.

HOFFMAN, Reid; YEH, Chris. **Blitzscaling: The Lightning-Fast Path to Building Massively Valuable Companies**. Currency, 2018.

MANKINS, John C. Technology readiness assessments: A retrospective. Acta Astronautica, v. 65, n. 9-10, p. 1216-1223, 2009.

USDA - United State Department of Agriculture. Crop Research Technology Readiness Level (TRL). Disponível em <https://nifa.usda.gov/sites/default/files/resources/Crop-Research-Technology-Readiness-Level-2018.pdf>. Consultado em 14 de março de 2022.

1. HOFFMAN, Reid; YEH, Chris. *Blitzscaling: The lightning-fast path to building massively valuable companies*. Currency, 2018. [↑](#footnote-ref-1)