



Avaliação do Nível de Maturidade de Tecnologia (TRL) nas Instituições de Ciência e Tecnologia (ICTs) com o modelo adaptado da AFRL – Air Force Research Laboratory

Technology Maturity Level Assessment (TRL) in Science and Technology Institutions (ICTs) with the adapted AFRL model - Air Force Research Laboratory

Ricardo Luiz Bergamini

Email: ricardo.bergamini@ufrr.br

Mestrando em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia -
PROFNIT/UFRR, Brasil.

RESUMO

A presente pesquisa tem como objetivo desenvolver uma ferramenta a qual define através de questionários em que nível de maturidade tecnológica se encontra o produto em desenvolvimento, chamada “Calculadora TRL”. Para tanto, inicialmente foi realizado um levantamento sobre os modelos de avaliação dos níveis de maturidade tecnológica atualmente disponíveis nas Instituições de Ciência e Tecnologia (ICTs), posteriormente, discutiu-se a importância de ferramentas capazes de analisar se um produto em desenvolvimento está pronto para ser lançado no mercado, sem que haja prejuízos a nenhuma das partes envolvidas. Nesta direção, essa pesquisa qualitativa, buscou desenvolver uma planilha eletrônica para calcular o nível de prontidão desses produtos. A planilha foi testada e seu potencial avaliado pelos Núcleos de Inovação Tecnológica (NITs) de 5 instituições, no sentido de adaptá-la às suas respectivas demandas por avaliação dos níveis de maturidade. Após exaustiva avaliação por estas instituições, chegaram ao veredicto da viabilidade e aplicabilidade da ferramenta junto aos respectivos NITs. Diante dos resultados, e com base nos nove níveis de avaliação da maturidade tecnológica, *Technology Readiness Levels* (TRL), utilizados para avaliar a prontidão tecnológica dos produtos pesquisados, verificou-se a possibilidade da melhoria dos processos de avaliação do nível de maturidade dos produtos e tecnologias em desenvolvimento nas Instituições de Ensino Superior e Instituições de Ciência e Tecnologia, conseqüentemente, auxiliando-as na tarefa de modernização de suas respectivas práticas relacionadas à inovação.

Palavras chave: TRL. Maturidade tecnológica. Nível de prontidão tecnológica.

ABSTRACT

This research aims to develop a tool which defines through questionnaires at what level of technological maturity is the product under development, called “Calculadora TRL”. To this end, a survey was initially conducted on the models of assessment of technological maturity levels currently available in the Science and Technology Institutions (ICTs), later discussed the importance of tools capable of analyzing

whether a product under development is ready for use. be released to the market without prejudice to any party involved. In this direction, this qualitative research sought to develop a spreadsheet to calculate the readiness of these products. The spreadsheet was tested and its potential evaluated by the Technological Innovation Centers (NITs) of 5 institutions, in order to adapt it to their respective demands for evaluation of maturity levels. After exhaustive evaluation by these institutions, they reached the verdict of the viability and applicability of the tool with the respective NITs. Based on the results, and based on the nine levels of technology maturity assessment, Technology Readiness Levels (TRL), used to evaluate the technological readiness of the products surveyed, it was possible to improve the processes of evaluation of the products maturity level. and technologies in development in Higher Education Institutions and Science and Technology Institutions, consequently, assisting them in the task of modernizing their respective practices related to innovation.

Keywords: TRL. Technological Maturity. Technological Readiness Level.

1. INTRODUÇÃO

Em tempos de acelerado desenvolvimento tecnológico, tem aumentado, de forma significativa, a demanda pela inclusão ou exclusão de novas tecnologias e conceitos no âmbito das instituições de ciência e tecnologia, o que, por sua vez, cria a necessidade de instrumentos, processos ou ferramentas que possam auxiliar na tomada de boas decisões. A ausência de informações perfeitas, amadurecidas e cientificamente verificadas se constitui, nesse contexto, em um fator dificultador do sucesso de muitas propostas de inovação tecnológica.

São muitas as alternativas a essa questão da verificação do nível de maturidade, a depender de fatores como a área que se deseja explorar, dos recursos a serem explorados e do tipo de material pretendido como resultado do processo. Para efeito desta pesquisa, entretanto, se tratará da Tecnologia de Avaliação de Prontidão, a qual, sendo aplicada de forma precisa e oportuna, pode ser decisiva para o melhor aproveitamento da gestão de custo-benefício das carteiras de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), tanto em nível gerencial do programa, quanto em nível de mercado.

Com a finalidade de orientar a caracterização de projeto de P&D na fase pré-competitiva da inovação tecnológica na indústria, a Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial – EMBRAPPII, utiliza como referência, em seu Manual de Operação das Unidades, o padrão de mensuração *Technology Readiness Level* – TRL para avaliar a maturidade tecnológica de um determinado projeto.

Segundo Costa (2017), referindo-se à Resolução nº 13/2016 do Comitê das Atividades de Pesquisa e Desenvolvimento na Amazônia – CAPDA, “as instituições coordenadoras usariam a escala TRL como critério para selecionar projetos de pesquisa e desenvolvimento de novos produtos ou processos que expressem potencial mercadológico”. (Costa et al, 2017, p. 10).

De um modo geral, a avaliação da tecnologia oportunamente pronta e precisa é utilizada para informar e balizar as decisões de gestão e apoio, constituindo-se também como parte da implementação de projetos de desenvolvimento de tecnologias. Os TRLs foram definidos para fornecer uma métrica comum por meio da qual o conhecimento da maturidade de uma nova tecnologia possa ser disponibilizado, de maneira clara e objetiva aos executores, desenvolvedores, pesquisadores e indivíduos de diferentes organizações. Além disso, o uso do TRL pode fornecer uma base necessária para o desenvolvimento, ao gerar informações seguras sobre os riscos envolvidos em cada etapa do processo de criação e promoção de um novo produto.

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, em sua Resolução RE/DIR-582/2016 que institui Norma de Relacionamento do INPE com Fundações de Apoio, também menciona os TRLs, citando a ABNT NBR ISO 16290:2015, norma adotada de maneira idêntica, em conteúdo técnico, estrutura e redação que remete-se a ISO 16290:2013, que foi elaborada pelo *Technical Committee Aircraft and Space Vehicles*.

Observa-se que várias instituições de ensino superior envolvidas em pesquisa e inovação no Brasil, adotam uma sistemática baseada nos TRLs, porém sem um padrão pré-definido, utilizando-se mais como significado de enquadramento do nível de prontidão no sentido mais amplo, ou ainda em discussões sobre a situação do produto pesquisado, nem sempre se estabelecendo medidas ou níveis de análise mais crítica ou analítica.

O nível de prontidão tecnológica, ou nível preparatório, visa adaptar as necessidades do projeto aos recursos propostos, levando em conta os riscos aceitáveis. As tecnologias são medidas usando um método desenvolvido pela NASA e conhecido como *Technology Readiness Level* (TRL).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Considerações sobre a ideia de inovação

Sendo muito utilizado atualmente, o conceito de inovação está diretamente conectado à dinâmica de mercado, onde ocorrem fenômenos como geração e atendimento de demanda dos consumidores. De um ponto de vista mais conciso, inovar é exatamente pesquisar, encontrar e desenvolver soluções que atendam às demandas do mercado.

Entretanto, nos últimos anos, tem sido agregado a esse conceito uma preocupação de geração de valor para a sociedade, os empreendedores do momento precisam expressar um real e sólido compromisso com as seguintes temáticas: criação de empregos, temáticas socioambientais e geração de impostos, os quais retornarão à sociedade. Significa dizer que, para além de configurar-se como detentor de um enorme potencial gerador de riqueza econômica para seus desenvolvedores, um projeto de inovação tem que ter, necessariamente, em seu escopo, previsões sérias para o alcance dessas metas de cunho social.

Grützmann et al. (2019), defende que, para muitos estudiosos, a inovação de um produto é um processo composto genericamente de cinco estágios, a saber: estágio de ideação, para coleta de ideias; estágio de projeto (estruturação e desenvolvimento); estágio de teste; estágio de lançamento, e; recebimento de *feedback*.

A partir do momento em que o pensamento inovador toma conta de todo os setores da organização, ele também passa a ser uma meta dos próprios funcionários, os quais conseguirão enxergá-las como se fossem suas próprias. Segundo Grützmann et al. (2019), tem-se uma dimensão da importância do envolvimento de todas as partes da empresa em prol da iniciativa de inovar:

Também ficou evidente que o compromisso com a inovação acaba por se tornar uma meta dos funcionários, uma vez que a inovação é entendida como fundamental para os resultados da empresa. As falas dos entrevistados ressaltam a ocorrência disso, mostrando que a mentalidade e as energias dos colaboradores precisam estar em sincronia com a inovação. (GRÜTZMANN et al., 2019, p. 4)

O modelo rígido, segmentado, onde cada coisa ocorria em uma determinada sala, isolada das demais, precisa ser substituído por um paradigma colaborativo, sendo, é claro, gerenciadas, encaminhadas e lideradas por profissionais com um grau adequado de conhecimento sobre a consolidação de tais ideias em torno da concepção de um produto ou tecnologia.

O economista austríaco J. Schumpeter *apud* Boutillier et alli (1999), ao analisar a importância das inovações tecnológicas para a dinâmica de mercado,

aponta que estas são responsáveis pelo que ele chama de ciclos econômicos, marcados por elementos como empreendedorismo, métodos de produção, diversificação de produtos, aumento do consumo, do crédito e, conseqüentemente, para o crescimento da economia. Na medida em que surgem inovações, todas essas engrenagens do sistema econômico são postas em funcionamento, por sua vez gerando demanda por mais inovações. Pode-se dizer, a partir do pensamento de Schumpeter, que a inovação é uma das grandes molas propulsoras da economia.

Em um estudo intitulado *Inovação, novos conceitos ampliados*, Morgado (2011) traz a seguinte conceituação:

A inovação passa a ser vista como algo que ultrapassa o conceito inicial, quando as inovações tinham origem nos tradicionais setores de P&D, passando a atentar para as origens externas, onde podemos ter a combinação de tecnologias existentes, a aplicação de tecnologias existentes a novas necessidades, mas também nos novos usos ou utilização de conhecimentos adquiridos pela empresa. (MORGADO, 2011, p. 2)

Nessa direção, Morgado (2011) cita os pesquisadores Terwiesch e Ulrich (2009), que propõem em seu estudo denominado *Innovations Tournaments*, que inovar é alguma coisa que extrapola a simples questão do lucro, ou seja, da criação de valor econômico. Esta, de acordo com os estudiosos, deve estar a serviço também da criação de bem-estar social, o que “coloca a inovação nos novos Produtos e Serviços, novos Modelos Organizacionais e de Mercado e, ampliando mais ainda, na responsabilidade social da empresa, no foco” (MORGADO, 2011, p. 3).

Inovar é ter um quadro detalhado da situação do mercado onde a empresa ou instituição deseja lançar seu produto. Tendo analisado todas as possibilidades, poderá, dessa forma, direcionar um maior volume de capital, tanto humano quanto financeiro, diminuindo significativamente as preocupações com possíveis falhas ou até mesmo afastando as incertezas.

Entretanto, não há como se operar essa mudança tão essencial à inovação sem o fortalecimento das fontes primárias, que são as universidades e centros de pesquisa, onde atualmente se concentram pesquisadores e cientistas, principalmente em se tratando da realidade brasileira.

2.2 Sobre o Núcleo de Inovação Tecnológica (NIT)

Um dos principais avanços conquistados no campo da inovação no Brasil foi a criação da Lei nº 13.243, de 11 de janeiro de 2016, conhecida como a Lei da Inovação, que estabelece critérios para a cooperação entre a universidade e as empresas, partindo-se do pressuposto de que, em nosso país, o maior volume de projetos e iniciativas dessa natureza estão localizadas no âmbito da universidade ou institutos de pesquisa. A lei institui que seja criada, no interior desses órgãos, um setor responsável por gerir a política de inovação e a condução dos projetos submetidos pela instituição ou por ela desenvolvidos. Esses setores são normalmente designados de Núcleos de Inovação Tecnológica (NIT).

Compreende-se, desse modo, que há uma preocupação dos setores governamentais, através de suas respectivas universidades, institutos e centros de pesquisa, em proteger as criações e projetos de inovação, assegurando-lhes a melhor destinação.

Nesse sentido é de grande importância a implementação e fortalecimento dos NITs nas instituições que desenvolvem pesquisa em tecnologia e inovação, pois a presença de um setor com todo o suporte legal, material e até mesmo financeiro pode ser decisivo no sucesso de iniciativas dessa natureza.

Maria Carolina Zanini Ferreira (2016) da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, faz uma descrição das principais funções desse setor tão importante para a inovação, destacado algumas das principais competências quanto aos NITs:

Desenvolver estudos de prospecção tecnológica e de inteligência competitiva no campo da propriedade intelectual, de forma a orientar as ações de inovação da ICT; desenvolver estudos e estratégias para a transferência de inovação gerada pela ICT; promover e acompanhar o relacionamento da ICT com empresas; negociar e gerir os acordos de transferência de tecnologia oriunda da ICT; representar a ICT pública, no âmbito de sua política de inovação, uma vez que esta pode ser delegada ao gestor do Núcleo de Inovação Tecnológica (BRASIL, 2016 apud FERREIRA, 2016, p. 4)

Sendo um importante elo entre o setor público e o privado, os NITs carregam a responsabilidade por fazer acontecer, de maneira eficaz, as devidas transferências de tecnologias.

É nesse entremeio que a universidade, através de setores como o NIT, pode oferecer um suporte adequado à frenética corrida rumo à concepção, desenvolvimento e lançamento desses produtos no mercado. Como espaço privilegiado de construção de conhecimento, a universidade pode desempenhar,

com toda a segurança, o papel de assegurar os direitos de todos os envolvidos na cultura da inovação.

2.2.1. Estrutura e funcionamento dos NITs

Uma das funções do NIT é promover o relacionamento entre a universidade e as empresas, zelando pela propriedade intelectual e cuidando para que a cultura de inovação seja instalada da forma mais viável, de modo a beneficiar com equidade a todos os envolvidos, inclusive o maior interessado: a sociedade.

Dessa forma, ao se abordar um outro aspecto dos NITs, focando na metodologia, no sentido de conhecer com maior detalhamento sua rotina de trabalho. A título de exemplo, tomou-se como modelo, criado e utilizado para o NIT da Fundação Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras - CERTI , instituição com alto nível de expertise no que se refere à inovação no Brasil. A CERTI acredita que, não obstante a criação do marco legal para a inovação, cabe a cada instituição, dentro da sua própria realidade contextual, amadurecer suas próprias diretrizes de atuação, com base em estudos, avaliações e levantamentos das demandas e dos potenciais daquela região.

Para a realidade na qual está inserida, a CERTI, ao criar seu NIT, estabeleceu quatro grandes áreas de atuação. A primeira das quatro áreas é a *articulação*. Nessa fase, o NIT busca estabelecer uma rede de instituições interessadas na questão da inovação, gerando com elas uma dinâmica de interação sistemática e contínua, em busca de atingir seus objetivos, dentre os quais a instituição prioriza o desenvolvimento sustentável. No segundo eixo, a *prospecção*, são executadas ações para identificar oportunidades de projetos. Apostando em uma postura proativa, o NIT tem alcançado sucesso também nesse segmento.

Em terceiro lugar, aparece a própria *inovação* como conceito amplo, sendo que, nessa área, o NIT tem a função de implantar ou aprimorar mecanismos que estimulem a criatividade, gerando iniciativas de inovação. E a quarta área, a de *negócios*, poderia ser conceituada como a reunião das áreas de articulação e prospecção, as quais, a essa altura, já terão realizado seus respectivos trabalhos, tornando possível a geração de negócios para a instituição. É imprescindível que as quatro áreas atuem de maneira complementar, sistemática e contínua, pois cada uma se constitui como uma importante engrenagem para que a inovação seja alcançada.

Esse modelo é executado na CERTI, mas, com base no marco legal, cada instituição tem autonomia para criar e gerir suas próprias diretrizes.

Outra instituição que mostra a importância dos NITs é a Unicamp, detentora de um alto nível de conhecimento em relação à cultura da inovação. Pioneira nessa questão, a Unicamp já se preocupava com temáticas como proteção da propriedade intelectual e com a busca de parcerias com o setor empresarial. Santos et al. (2009), ao analisar a política de transferência de tecnologia dessa instituição, reafirmam seu pioneirismo, chamando a atenção o papel da universidade como elo entre ciência e mercado:

Antes mesmo do novo marco regulatório de estímulo à inovação, a Unicamp já contava com uma política bem definida de valorização da propriedade intelectual, pelo fato de possuir um bom índice de pesquisas com alta aplicabilidade social e industrial. (SANTOS et al., 2009, p. 42).

Segundo as considerações de Santos et al. (2009) no que se refere à estrutura de um NIT, os autores caracterizam o setor a partir da percepção de três perfis principais, tomando como base sua dinâmica de atuação: perfil legal, administrativo e de negócios.

A respeito da ação conjunta desses três eixos na consolidação e fortalecimento do NIT, Santos et al. (2009) enfatizam que

A caracterização dos NIT nestes três eixos é didática e na prática cada um contém uma parcela destas três categorias. Cada vez mais as ICT estão procurando adequar seus NIT para serem mais de acordo com o modelo de desenvolvimento de negócios. (SANTOS et al., 2009, p. 55)

A partir do novo marco regulatório para a inovação, ficam mais claras as expectativas que pairam sobre esses setores, cuja meta é colocar o setor brasileiro de tecnologia e inovação em pé de igualdade com países desenvolvidos, transformando nosso país em um mercado forte, confiável e em constante processo de inovação.

Entretanto há uma questão que merece destaque e que, na verdade, constitui o cerne deste trabalho. Trata-se da verificação dos níveis de maturidade das tecnologias desenvolvidas. Antes de chegar ao mercado e consolidar-se como produto inovador, as tecnologias em desenvolvimento precisam ser acompanhadas em vários estágios, medidas necessárias para averiguar fatores como viabilidade, pertinência, demanda, validade, tempo de vida, dentre outros.

Conforme dados do FORMICT (2017), existem 263 NITs “Implementados” ou “Em Implementação” no Brasil. Nestes, como podemos observar na Tabela 1,

havia 2099 pessoas vinculadas no quadro de recursos humanos, entre instituições públicas e privadas, representando, assim, uma média de 8 profissionais por NIT no geral e destes, apenas 3 vinculados como servidor ou funcionário com dedicação integral. Considerando-se ainda o alto fluxo de rotatividade entre bolsistas, terceirizados e estagiários, percebe-se que há uma problemática que deve ser abordada no sentido de se buscar alternativas para suprir essa defasagem e principalmente essa alternância de profissionais.

| Função - NIT | Pública | % | Privada | % | Total | % | Média |
|--|---------|------|---------|------|-------|------|-------|
| Servidores/Funcionários com dedicação integral | 690 | 38,8 | 119 | 37,0 | 809 | 38,5 | 5,1 |
| Servidores/Funcionários com dedicação parcial | 414 | 23,3 | 117 | 36,3 | 531 | 25,3 | |
| Bolsistas graduados | 211 | 11,9 | 19 | 5,9 | 230 | 11,0 | 1,5 |
| Bolsistas graduandos | 158 | 8,9 | 9 | 2,8 | 167 | 8,0 | |
| Terceirizados | 114 | 6,4 | 6 | 1,9 | 120 | 5,7 | 0,5 |
| Estagiários | 149 | 8,4 | 15 | 4,7 | 164 | 7,8 | 0,6 |
| Outros | 41 | 2,3 | 37 | 11,5 | 78 | 3,7 | 0,3 |
| TOTAL | 1777 | 100 | 322 | 100 | 2099 | 100 | 8,0 |

Tabela 1 - NITs no Brasil e suas respectivas estruturas de funcionamento

Fonte: Formict/MCTIC (2017)

Ainda segundo Formict/MCTIC (2017), 14 núcleos de inovação tecnológica possuem apenas 1 profissional atuando, 200 NIT contam com 2 a 10 profissionais, 32 possuem de 11 a 20, 9 NITs possuem de 21 a 30 profissionais, 5 NITs contam com 31 a 50 profissionais e apenas 3 NITs possuem mais de 50 profissionais. Essa variação está relacionada com a estrutura da transferência de tecnologia que cada instituição possui.

Assim, a existência de ferramentas capazes de armazenar dados, relatórios e procedimentos junto aos NITs, a despeito dos potenciais prejuízos oriundos da rotatividade e do baixo número de profissionais nestes núcleos, permitirá que os sucessores tenham acesso às informações de maneira sistêmica, organizada e de fácil entendimento, pressupondo-se que o produto deste trabalho – a *Calculadora TRL* se destina a auxiliar na resolução dessas questões.

Quanto às atividades dos NITs, segundo relatório do FORMICT (2017), são classificadas como essenciais e complementares. Neste contexto, destaca-se a atividade essencial de “Avaliar solicitação de inventor independente para adoção de invenção”, praticamente metade, 47,5% dos NITs já tem essa atividade implementada e 25,1% estão em implementação, conforme o Gráfico 1, ou seja, estes núcleos podem adotar a ferramenta fruto do produto desenvolvido nesse projeto para auxiliar nestas avaliações.

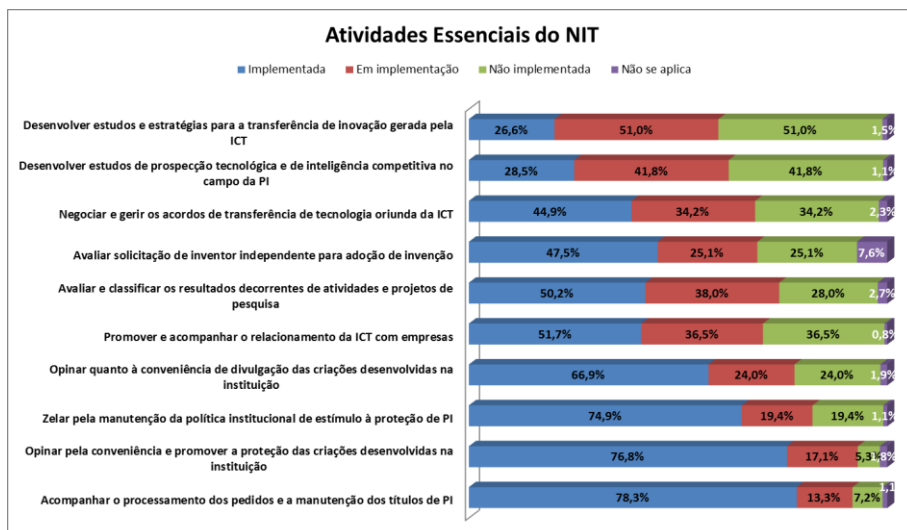


Gráfico 1 - Atividades essenciais dos NITs
 Fonte: Formict/MCTIC (2017)

Tem-se consciência de que os problemas enfrentados pelos NITs no desenvolvimento de suas atividades não serão todos resolvidos com a aplicação de uma ferramenta apenas. A mudança demandada pela questão da inovação em nossas ICTs é sistêmica e progressiva, passando pela mudança de conceitos inclusive dos gestores desses processos, tanto na esfera pública quanto privada.

2.3 Níveis de Prontidão Tecnológica - TRL

Trata-se de uma escala criada pela NASA com a finalidade de estabelecer níveis de prontidão tecnológica na área aeroespacial. Entretanto, com o passar do tempo, essa metodologia foi adotada por outras áreas que trabalham com pesquisa e desenvolvimento de produtos tecnológicos para a inovação.

De acordo com o plano de tecnologia da NASA, é definida como uma aplicação prática do conhecimento para criar o novo. É a capacidade de fazer algo novo cuja tecnologia foi desenvolvida para resolver problemas técnicos específicos. Sendo necessária uma avaliação técnica para evitar o comprometimento com a implementação e o orçamento, devendo ser implementada de forma eficaz, ajustando os requisitos e recursos a limites aceitáveis. Portanto, a avaliação da tecnologia pode ser incluída na gestão de riscos e na avaliação técnica geral.

2.3.1 Conceitos e percurso histórico

A escala de prontidão de tecnologia foi desenvolvida para demonstrar o estado da nova tecnologia no que diz respeito à sua utilização em futuros sistemas espaciais. Consolidou-se como importante indicador de uso global para avaliar não apenas a disponibilidade tecnológica, mas também analisar os riscos associados ao processo de desenvolvimento tecnológico, tomada de decisão e orientação para P&D. O “termômetro” TRL foi idealizado por Stan Saddin, pesquisador da NASA, em 1974.

A expressão “termômetro” deve-se ao fato da representação gráfica dessa escala de prontidão ter como elemento a figura semelhante ao aparelho, de nome análogo. A Figura 1, a seguir, exemplifica, na prática, a escolha do nome para a ferramenta.

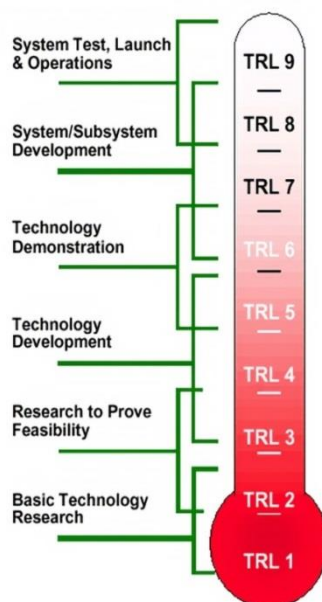


Figura 1 - Termômetro TRL da NASA

Fonte: European Space Agency – ESA

Tomando como base esse modelo padronizado pela NASA, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, criou, de forma escalar, os nove níveis de prontidão tecnológica, conforme a Figura 2, abrangendo a tecnologia em desenvolvimento em todas as suas fases, desde a concepção até a escala final para comercialização do produto desenvolvido.

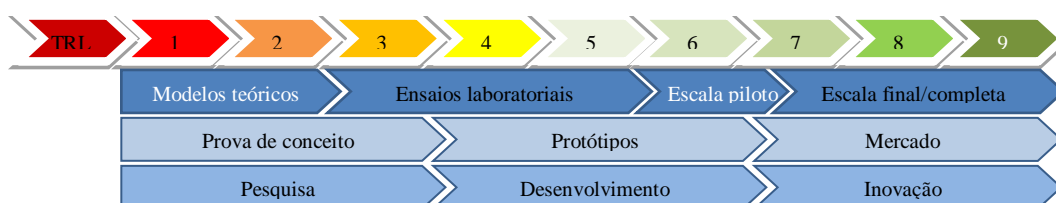


Figura 2 - Escala dos Níveis de Prontidão

Fonte: EMBRAPA (2017)

Revista de Administração de Koraima-UFRR, v. 10, 2020

Nesse modelo é possível observar que, nas escalas iniciais, o produto ainda é considerado um modelo teórico, e a partir da TRL 3 até a 5 são os ensaios de laboratório, com a formalização de protótipos e, partindo para TRL 6 e iniciando a 7 já em escala piloto, que sucede a escala final, diminuindo os riscos em relação aos altos investimentos, fornecendo dados imprescindíveis para produção em escala, podendo ainda ser usada para avaliar novos processos ou melhorar os já existentes, deixando o campo da pesquisa e passando para o desenvolvimento propriamente dito.

Mesmo quando o risco de que uma determinada invenção não funcione como pretendido, ainda há uma enorme quantidade de custos e riscos antes da implementação bem-sucedida. Segundo a MK Insights¹ (2019) “o ‘Vale da Morte’ é talvez o conceito mais comumente referido no TRL. Refere-se à incapacidade de progredir da tecnologia do TRL 4 para o TRL7 devido aos custos associados ao teste de novas tecnologias”. Na Figura 3, esse intervalo aparece destacado, como uma forma de ratificar a importância de destinar maior atenção ao processo de desenvolvimento nessas etapas.

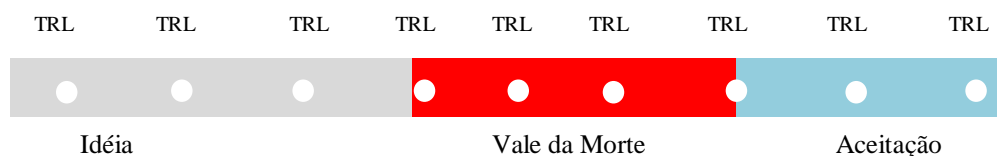


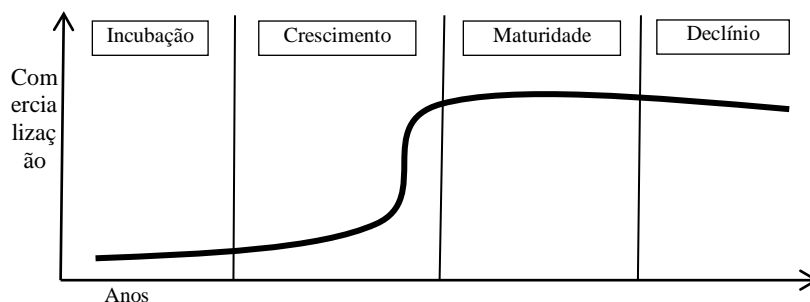
Figura 3 - Vale da Morte TRL com a transição entre a tecnologia desenvolvida na academia e a transferência para as empresas que farão a colocação do produto no mercado. Segundo o autor, existem divergências e expectativas distintas, como se faltasse um elo entre as partes, como diplomacia para dialogar e realizar a transição do conhecimento para o mercado.

Fonte: MK Insights (2019)

No Gráfico 2, observa-se que toda tecnologia possui um período de existência, alguns mais longos, outros mais curtos e alguns ainda que sequer chegam a ganhar mercado. Isto demonstra que, apesar de todo esforço, tempo e investimento em se produzir uma nova tecnologia, deve ser avaliado também por esta linha do tempo em que todo produto tem, ou deveria ter, um estudo sistemático quanto à sua viabilidade de mercado, pois, como demonstrado no gráfico, há em um

¹ Disponível em: <https://mkainsights.com/insights/tr/>

determinado tempo o declínio da tecnologia. Normalmente, os estágios de



maturação de uma tecnologia são definidos em anos.

Esses fatores, ligados ao conhecimento, ao empreendimento de P&D, geram vantagens competitivas ao produto em desenvolvimento, sejam elas inovações radicais ou incrementais, sempre irão atingir um limite no seu desempenho, além de que *Gráfico 2 - Caracterização do processo de maturidade tecnológica como curva S S* ou simplesmente mais viáveis, do ponto de vista de dinâmica do mercado naquele determinado momento.

Fonte: Altunak & Colmak (2010)

Nesse sentido, destaca-se a seguinte questão: no desenvolvimento de uma determinada tecnologia, estão envolvidas várias partes interessadas, sendo que nenhuma delas deseja ver seus investimentos sendo desperdiçados em uma iniciativa fracassada, sobretudo pelo fato de tratar-se de grandes somas de dinheiro destinadas a cada uma dessas etapas, além do desgaste advindo do tempo destinado a esse trabalho, até que o produto esteja amadurecido a ponto de ser lançado em escala mercadológica.

Tal nível de confiança, fundamental em uma parceria entre ICT e mercado, somente pode ser alcançado se for possível assegurar que o sistema em desenvolvimento é formado por um complexo conjunto de tecnologias que, separadamente, já tiveram seus níveis de maturidade devidamente atestados, podendo, agora, integrar, de forma segura, o projeto principal, não existindo a possibilidade (ou reduzindo de forma bastante significativa) de que os investimentos sejam perdidos.

A verificação dos níveis de maturidade, se destina a assegurar, no contexto da inovação, a melhor relação entre fatores como curso, risco e sucesso no

mercado. Não se trata apenas de mera formalidade imposta pelas respectivas legislações, mas de garantir a sobrevivência e pertinência desse produto ou tecnologia. O envolvimento de todos os interessados, o nível de comprometimento com o projeto e, sobretudo o conhecimento de cada um desses estágios, são elementos fundamentais para que a avaliação ocorra satisfatoriamente.

Inúmeras abordagens foram desenvolvidas para auxiliar no cumprimento da capacidade de tomar boas decisões, incluindo uma variedade de ferramentas de apoio à decisão. Uma situação crítica na maioria delas está na avaliação consistente da maturidade de várias tecnologias avançadas antes da sua incorporação em novos projetos de desenvolvimento de tecnologias.

Em algumas situações, por exemplo, o produto ainda é incipiente, e ainda não atingiu um nível suficiente para que possam ser dados os devidos encaminhamentos no sentido de patentear-lo. O estado de imaturidade tecnológica, nesse sentido, coloca os NITs em situação delicada junto ao pesquisador, uma vez que o setor não dispõe de argumentos ou ferramentas para definir se o que se está pleiteando é viável ou não e, se não, em que momento será.

De acordo com Gil (2014) “a escala TRL, conforme definida pela NASA, mede a maturidade ao longo de um único eixo, da capacidade de demonstração da tecnologia”. Dessa maneira, pode-se identificar quais produtos são mais viáveis, quais tem maior aplicabilidade, qual pode dar maior retorno à comunidade e a sociedade, e ainda qual pode dar melhor retorno financeiro para a instituição, que poderá utilizar tais recursos na realização de novas pesquisas, mantendo, dessa forma, o ciclo ativo de relacionamento entre a ICT e o mercado.

Os produtos que dependem da aplicação de novas tecnologias, inevitavelmente, enfrentam três grandes desafios durante o desenvolvimento: performance, cronograma e orçamento. Segundo Chagas Jr (2017), se a etapa de P&D não for realizada adequadamente para promover a maturidade progressiva de uma nova tecnologia, o desenvolvimento do novo sistema provavelmente apresentará enganos no cronograma, custos excedentes e uma redução nos objetivos de desempenho.

Os Modelos de Maturidade fornecem orientações na escolha e na melhor combinação das diversas técnicas de melhoria disponíveis, orienta a empresa ou a ICT na formulação de uma estratégia de melhoria em longo prazo, direcionada pelos

objetivos do negócio e sustentada por avanços gradativos no amadurecimento de suas práticas gerenciais (MAGNO, 2011).

Segundo Mankins (1995), outros modelos de processo podem ser usados. No entanto, para ser mais útil, o modelo geral deve incluir: pesquisa "básica" em novas tecnologias e conceitos; desenvolvimento tecnológico focado em tecnologias específicas para um ou mais aplicativos potenciais identificados; desenvolvimento e demonstração de tecnologia para cada aplicação específica antes do início do desenvolvimento total do sistema desse aplicativo; desenvolvimento através da fabricação da primeira unidade, e; 'lançamento' e operações do produto.

Nesse contexto, embora muitas empresas de tecnologia ou ICTs apresentem vários projetos em fases iniciais buscando o registro de patente, no decorrer do desenvolvimento observa-se que não possuem um nível de maturidade suficiente para o respectivo requerimento, e nem para atender uma expectativa de mercado, necessitando de um avanço do produto para outros níveis de prontidão.

A Tabela 2 apresenta um resumo das especificações originais formuladas pela NASA para avaliar os Níveis de Prontidão Tecnológica – TRL.

| Resumo Technology Readiness Levels – TRL | |
|--|---|
| TRL 1 | Princípios básicos observados e relatados |
| TRL 2 | Conceito de tecnologia e/ou aplicação formulada |
| TRL 3 | Função crítica analítica e experimental e/ou prova característica de conceito |
| TRL 4 | Validação de componente em ambiente de laboratório |
| TRL 5 | Validação de componente em ambiente relevante |
| TRL 6 | Modelo de sistema/subsistema ou demonstração de protótipo em um ambiente (solo ou espaço) |
| TRL 7 | Demonstração de protótipo de sistema em um ambiente espacial |
| TRL 8 | Sistema real concluído e "qualificado para voo" através de testes e demonstração (solo ou espaço) |
| TRL 9 | Sistema real "comprovado em voo" através de operações de missão bem sucedidas |

Tabela 2 - Resumo TRL - Versão NASA

Fonte: European Space Agency – ESA (Tradução livre)

A partir das definições elencadas na NBR ISO 16290:2015 e da European Space Agency – ESA, tem-se a seguir um detalhamento de cada um dos níveis de maturidade, buscando um paralelo com a realidade brasileira, uma vez que há preocupação em desenvolver uma ferramenta aplicável a qualquer área do desenvolvimento de tecnologia e inovação, não apenas ao setor aeroespacial, que é o caso do modelo original, mas principalmente para que seja uma ferramenta de auxílio aos NITs.

TRL 1 - Princípios básicos observados e relatados: conhecimento científico gerado por conceitos. Deve envolver os pesquisadores, tecnólogos e/ou inventores,

revisores independentes também são importantes nesta fase, neste caso podem ser agências governamentais de fomento a pesquisa científica. Deve-se ter uma identificação clara dos princípios relevantes e fundamentais da pesquisa. Apresentam-se argumentos que indicam a viabilidade técnica da nova tecnologia, avaliação dos riscos técnicos e dos esforços necessários (baixo, médio ou alto) para avançar para próxima TRL.

TRL 2 - Conceito de tecnologia e/ou aplicação formulada: a invenção propriamente dita começa, a aplicação prática é identificada, mas é especulativa, nenhuma prova experimental ou análise detalhada é disponível. É necessário que a nova tecnologia ou conceito deva ser descrito em detalhes claros o suficiente. Ainda nesta fase deve-se identificar tecnologias existentes que precisariam ser aplicadas, eventualmente, em combinação com o projeto em desenvolvimento. Aqui faz-se o delineamento de referências que documentem os resultados de qualquer definição do conceito, por exemplo, patentes ou estudos realizados até o momento.

TRL 3 - Analítica e experimental crítica função e/ou prova característica de conceito: estudos analíticos colocam a tecnologia em um contexto apropriado de laboratório, demonstrações, modelagem e simulação para validar previsão analítica. O processo de maturação tecnológica é iniciada. Pode-se fazer a prova de conceito e a validação da aplicação e conceitos formulados, com funções claramente identificadas com validação experimental. Nesta fase podem o risco técnico e o esforço serem avaliados.

TRL 4 - Componente e validação em laboratório e meio Ambiente: teste documentado e desempenho demonstrando de acordo com previsões analíticas. É demonstrada funcionalidades básicas e ambientes de teste críticos e associados. Previsões de desempenho são definidas em relação ao funcionamento final e o meio ambiente. Deverá conter ou compreender as seguintes métricas: desempenho, ambientes operacionais esperados e orçamentária financeira (exemplo: custos de produção).

TRL 5 – Validação relevante no meio ambiente: teste documentado. Desempenho demonstrando acordo com previsões analíticas e definição de escala de requisitos. Nesta fase já deve acontecer o ensaio num ambiente relevante. A fidelidade do componente a ser testado com funcionalidades e aplicações focadas no cliente.

TRL 6 - Modelo de sistema, subsistema ou protótipo demonstração em um ambiente operacional. Desempenho de teste documentado demonstrando concordância com previsões analíticas. Aqui a nova tecnologia deverá ter sido claramente descrita e modelada. As aplicações devem ser definidas com fidelidade suficiente da aplicabilidade no ambiente.

TRL 7 - Demonstração do protótipo do sistema em um ambiente operacional: tratamento adequado de todos os problemas críticos de dimensionamento. Construída e operada em um ambiente relevante para demonstrar o desempenho no ambiente operacional real. É uma etapa de maturação significativa, porém em alguns casos pode ser optativa, pois requer um protótipo de demonstração real no ambiente operacional esperado, o que nem sempre pode ser feito, devido inclusive a questão relacionada a segredo industrial, assim normalmente é necessária quando a inovação envolve alto risco técnico;

TRL 8 - Sistema real concluído através de teste e demonstração: o produto em sua configuração final é demonstrado com sucesso através de testes e análise para o seu ambiente operacional pretendido. Deve envolver, sempre que possível, os técnicos, tecnólogos e engenheiros que estiverem envolvidos em demonstrar a nova tecnologia. Deve-se verificar se a nova tecnologia foi realizada com sucesso nos ambientes de teste apropriado; se existem novos entrantes com melhorias ou novas tecnologias.

TRL 9 - Sistema comprovado por operação bem-sucedida. O produto final é operado com sucesso. Moresi et al. (2017) afirmam que este nível compreende o ápice do processo de desenvolvimento da inovação, onde todas as tecnologias já foram aplicadas, tendo-se à mão a possibilidade de prover os últimos acertos no verdadeiro sistema, em caso de necessidade, inclusive realizando eventuais melhorias no produto, ainda que estas, a princípio, não estivessem previstas na programação original, ou seja, a observância rígida e criteriosa de todas as etapas de avaliação pode demonstrar, ao final do trabalho, a possibilidade – não necessariamente como obrigação – de tornar o produto ainda melhor que o planejado.

Segundo Moresi et al. (2017), o objetivo do TRL é deixar a comunicação e a avaliação do nível de prontidão, mais efetiva, facilitando o entendimento entre os colaboradores envolvidos no projeto. O autor também relaciona outras vantagens do TRL, tais como: fornecer uma compreensão comum do status em que se encontra o

desenvolvimento da tecnologia; a gestão de riscos tem relação direta com o status da tecnologia, uma vez que não são ainda conhecidos todos os potenciais de falhas, propagações e repercussões de suas anomalias; o TRL é usado para se tomar decisões de financiamento do desenvolvimento da tecnologia, em função do seu status; o TRL também é usado para se tomar decisões sobre a transição da tecnologia entre seus níveis possíveis de aprontamento.

A Resolução nº 191/2017 do INPI, institui o projeto piloto de priorização do exame de pedidos de patentes depositados por instituições de ciência e tecnologia, chamada de “Patentes ICTs”, define em seu Art. 2º inciso VIII:

TRL ou níveis de prontidão tecnológica metodologia de estimação da maturidade tecnológica dos elementos tecnológicos críticos (CTE) de um projeto através do processo de desenvolvimento, baseado em uma escala de 1 a 9.

Assim quando um agente determinante, neste caso o deliberador de patentes, define, através de uma resolução, a importância que é dada à maturidade de um produto tecnológico em desenvolvimento, conclui-se que a escala TRL é útil em muitas áreas, como por exemplo: no monitoramento por antecipação de desenvolvimento tecnológico específico; para fornecer um *status* sobre a prontidão técnica de um projeto futuro, como processo de decisão de implementação; e, em alguns casos, para monitorar o progresso da tecnologia ao longo do desenvolvimento.

Porém, o procedimento detalhado para a avaliação do TRL deve ser definido pela organização ou instituto relevante responsável pela atividade. O TRL não está ligado a uma disciplina específica, ele é usado para demonstrar “visualmente” a situação sobre os riscos envolvidos no desenvolvimento do projeto.

Segundo a *European Space Agency* (ESA), estabelece quatro critérios principais para o avanço da TRL, ou seja, para que a tecnologia suba um nível de prontidão. Esses critérios são: a) descrição dos detalhes da pesquisa e desenvolvimento que tem sido realizada; b) considerações, inclusive sobre os materiais qualificados, dispositivos, componentes e ferramentas que serão usadas para fazer o produto de tecnologia que será testado; c) o grau de uma aplicação da tecnologia num futuro é conhecida; e, em particular, se as características da aplicação são suficientemente bem definidos para julgar se uma nova tecnologia será capaz de atender a essas exigências; d) verificação: o ambiente no qual ocorreu o teste da nova tecnologia, e o grau a que esse ambiente é semelhante

onde a tecnologia será usada. O grau em que exigia níveis de desempenho são alcançados no ambiente necessário; e) a viabilidade potencial futura da tecnologia, incluindo tanto técnica (risco) quanto viabilidade programática (esforço) deve ser claramente estabelecida. Em particular, é importante saber se uma determinada tecnologia pode realmente ser mais desenvolvida e, em caso afirmativo, com que risco técnico e esforço.

Entretanto, alguns autores, como Cornford (2004 apud AZIZIAN, 2009), questionam a eficiência do TRL, apresentando cinco limitações, a saber: 1) avaliação subjetiva – não existe um método formal de implementação do TRL; os valores são atribuídos por um desenvolvedor que pode ser parcial na avaliação e as definições de cada nível são propensas a interpretação ampla e diversa; 2) não foca na interação de sistema-a-sistema; concentram-se em um componente de uma tecnologia; 3) focado em hardware e não em software. No momento em que os TRLs foram concebidos na NASA, o hardware foi enfatizado mais significativamente que o software; 4) não está bem integrado às ferramentas de modelagem de custo e risco – erros na atribuição incorreta de níveis afetarão inversamente os modelos de custo e risco; 5) falta de definição sucinta de terminologia – as definições de cada nível podem ser ambíguas.

Apesar destas limitações apresentadas referirem-se a situações relacionadas à informática, pode-se levar em consideração, em alguns tópicos com relação à aplicabilidade em projetos em geral, principalmente no que diz respeito à relação “custo e risco”, já que ao se adotar o TRL, este não traz uma variável ou condição relacionada ao custo, porém essa pode ser uma medida a ser adotada paralelamente, que será somada à análise do produto analisado. Segundo BAKKE (2017) as limitações do âmbito do TRL provocaram uma onda de níveis alternativos de prontidão. Dentre ele pode-se destacar: *Manufacturing Readiness Levels; Integration Readiness Level; Design readiness level; Capability readiness level; Software Readiness level; Human readiness level; Logistics readiness level; Operational readiness level; Innovation readiness level; Programmatic readiness level.*

Percebe-se que há muitos indicadores que podem apontar na direção do sucesso de um projeto e que podem ser usados em conjunto com o a Calculadora TRL, mas para isso o usuário avaliador terá que desenvolver parâmetros bem definidos para utilização destes níveis alternativos.

Espera-se que a ferramenta desenvolvida como produto deste trabalho possa ser útil também na identificação desses aspectos apontados como negativos, oferecendo suporte aos NITs na avaliação da maturidade dos produtos pesquisados, auxiliando nas decisões em que se pretende definir a viabilidade do produto.

3. METODOLOGIA

Essa pesquisa utiliza o método qualitativo, que na perspectiva de Prodanov (2013), “O pesquisador mantém contato direto com o ambiente e o objeto de estudo em questão [...] as questões são estudadas no ambiente em que elas se apresentam...”, assim o trabalho estará em contato com pesquisadores que se dispuserem utilizar a planilha de verificação mantendo um *feedback* da situação e monitoramento da qualidade e utilidade deste produto.

Para tanto, foi elaborado um questionário com sete questões, sendo quatro abertas e três fechadas, que foi solicitado às ICTs, com o objetivo de avaliar a aplicabilidade da ferramenta *Calculadora TRL* em seus respectivos NITs. Das sete instituições contatadas, cinco demonstraram interesse em avaliar essa ferramenta, a saber: Universidade Federal de Roraima (UFRR), Universidade Estadual de Roraima (UERR), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Roraima (IFRR), Instituto Federal Catarinense (IFC) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

Como produto desse estudo, foi proposto a construção a partir do software de planilha eletrônica Microsoft® Excel, um “termômetro” de avaliação dos níveis de maturidade ou prontidão tecnológica das pesquisas nas respectivas ICTs. Essa ferramenta teve como base a planilha disponibilizada pela *Air Force Research Laboratory – AFRL*, a qual foi traduzida e adaptada para a realidade das instituições de pesquisa brasileiras que demonstraram interesse em utilizar o método apresentado, além de definir novas propostas no modelo, tornando-a mais prática e direcionada ao que se propõe a realizar.

O investimento da AFRL inclui pesquisa básica, pesquisa aplicada e desenvolvimento de tecnologia avançada em áreas de missões aérea, espacial e cibernética, daí percebemos dentro da grandiosidade deste laboratório a relevância e importância dada às TRLs, já que a partir da AFRL foi aprimorada a TRL Calculator.

3.1 A ferramenta desenvolvida como produto do projeto de pesquisa: a Calculadora TRL

O produto desenvolvido, deste trabalho, refere-se a uma planilha eletrônica elaborada tomando-se por base uma planilha feita pela AFRL no ano de 2001, denominada AFRL Transition Readiness Level Calculator² (Calculadora do nível de prontidão de transição - tradução livre), em sua última versão, a 2.2.

O Microsoft® Excel é um aplicativo de edição de planilhas eletrônicas, possui recursos com interfaces intuitivas e ferramentas robustas para construção de tabelas e gráficos avançados, além de proporcionar condições para criar fórmulas de cálculos, análise de dados e elaboração de relatórios personalizados.

O produto aqui elaborado é composto de planilhas que interagem entre si, sendo a principal delas a Calculadora onde o usuário avaliador, através de entrevista junto ao pesquisador, faz as devidas marcações que resultarão num relatório final com as respectivas respostas e definição do nível de prontidão TRL em que a tecnologia se apresenta.

Esta calculadora é composta pelos nove níveis de prontidão tecnológica contendo cada uma delas uma relação de perguntas livres e pré-definidas, pertinentes a cada um dos níveis. O questionário foi montado de acordo com a planilha original da AFRL, com questões traduzidas e ajustadas à realidade dos NITs, bem como foram estabelecidas questões abrangentes e baseadas na ABNT NBR ISO 16290:2015, conforme segue:

A *TRL 1* é composta de sete questões pré-definidas e uma. Estas perguntas estão relacionadas aos princípios básicos observados e relatados sobre a existência de pesquisa científica relacionada à tecnologia a ser avaliada e, a partir daí, começa a ser convertida em pesquisa aplicada e desenvolvimento.

A *TRL 2* com 24 perguntas pré-definidas e também uma em aberto para o usuário avaliador inserir questão livre relacionada à tecnologia. Aqui inicia a relação com o conceito da tecnologia em desenvolvimento, sua aplicação formulada. Nesse nível, as aplicações são especulativas e pode não haver prova ou análise detalhada para dar suporte às suposições. Os requisitos de desempenho são gerais e abrangentes.

² Disponível em: http://aries.ucsd.edu/ARIES/MEETINGS/0712/Waganer/TRL%20Calc%20Ver%202_2.xls

A *TRL 3* – nesta TRL são apresentadas 28 perguntas pré-determinadas com mais três em aberto. Aqui há prova de conceito analítica e experimental. Os requisitos de desempenho são gerais, definidos de maneira abrangente. Apresentam-se os requisitos de desempenho estabelecidos e os objetivos definidos em relação ao estado da arte ou estado da técnica.

A *TRL 4* é composta por 25 questões pré-estabelecidas e mais 6 em aberto. Normalmente é entre a TRL 3 e 4 que se estabelece o nível de prontidão para que seja feito o pedido do depósito de patente da tecnologia em desenvolvimento. Aqui é onde há a verificação funcional em ambiente laboratorial, com maquete integrada para estabelecer que as peças funcionam bem juntas, se for o caso, na demonstração do desempenho funcional básico. Está limitado ao ambiente de laboratório.

TRL 5: Aqui são 29 questões pré-definidas com duas questões livres. Nesse estágio, a verificação deve ocorrer em ambiente relevante, onde as funções críticas possam ser claramente demonstradas e o desempenho no ensaio esteja de acordo com as previsões analíticas.

TRL 6: Nesta TRL, são 28 questões pré-definidas, com mais três livres. A esta altura do processo de verificação, o modelo demonstra as funções críticas do elemento em um ambiente relevante. Aqui, o desempenho geral do elemento está, a princípio demonstrado. E principalmente, o desempenho do ensaio está conforme as previsões analíticas.

Na *TRL 7*, são 20 questões pré-definidas, com uma livre. Nesta TRL, o modelo tem seu desempenho demonstrado para o ambiente operacional, que é o ambiente que replica todas as condições necessárias para demonstrar que o elemento funciona no contexto real.

TRL 8: Nesta penúltima TRL estão pré-estabelecidas 16 perguntas, com mais 4 questões livres. Aqui, a tecnologia está desenvolvida e aceita, faltando apenas a produção em nível comercial, e dependendo do caso, a transferência da tecnologia para produção em massa para atender às demandas do mercado.

TRL 9: Finalmente o último nível de prontidão tecnológica, composto de apenas 12 perguntas pré-estabelecidas e mais três livres. Sendo tratar-se da última TRL, onde o produto real é demonstrado por meio de operações bem-sucedidas. A tecnologia está madura, pronta e em serviço ou utilização exitosa no ambiente operacional real.

Ao todo, a Calculadora TRL possui 189 perguntas pré-definidas e mais 24 livres, sendo que o usuário avaliador pode definir novas questões e incluí-las no cálculo do nível de prontidão da tecnologia em desenvolvimento. O número aparentemente elevado de perguntas se justifica pelo fato de se pretender apresentar uma planilha que possa abranger vários produtos, projetos e tecnologias de diferentes áreas, podendo o usuário avaliador escolher quais acha mais relevante para avaliação do item que está sendo analisado.

A seguir, tem-se a sequência de cada uma das telas que compõem a Calculadora TRL, os quais, trabalhando de forma integrada, irão, ao final do processo, permitir que o usuário identifique o nível de maturidade em que se encontra o produto analisado.

- a) Tela 1 – Cadastro: esta é a tela inicial da planilha, onde o operador deverá fazer um cadastro simples referente ao objeto em estudo, com informações básicas.
- b) Tela 2 – Calculadora: refere-se às perguntas que deverão ser respondidas pelo usuário avaliador do projeto/produto apresentam caráter genérico, tentando envolver qualquer produto que venha a ser desenvolvido pela instituição.
- c) Tela 3 – Manual: manual simplificado de utilização. Nesse Manual é apresentado de maneira sucinta as funcionalidades da Calculadora TRL.
- d) Tela 4 – Relatório: refere-se aos dados que foram introduzidos pelo usuário avaliador, demonstra em que situação da respectiva TRL o projeto produto se encontra, baseada nas condições definidas na ABNT NBR ISO 16290-2015.
- e) Tela 5 – Formulário INPI: este formulário é exatamente o mesmo modelo que está disponível no site do INPI. A intenção de colocá-lo nesta planilha MS Excel Calculadora TRL, foi para facilitar o arquivamento referente a todo projeto/produto em desenvolvimento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Analisando a aceitabilidade da calculadora TRL por potenciais usuários

Com relação à análise das respostas ao questionário da pesquisa relacionada aos NITs e a possível contribuição oferecida por uma ferramenta que pudesse auxiliar na avaliação dos níveis de maturidade tecnológica dos produtos em

desenvolvimento no âmbito das ICTs, foi possível perceber que tanto a UFRR quanto a UERR, que representam, respectivamente, as duas únicas universidades públicas do estado de Roraima, apresentam deficiência quanto à presença e funcionamento do NIT fato que, conseqüentemente, dificulta a avaliação do produto aqui proposto. Entretanto, mesmo alegando não ter o suficiente conhecimento sobre a métrica TRL, essas duas IES, perguntadas sobre a contribuição dessa ferramenta, assentiram positivamente, demonstrando, dessa forma, uma perspectiva de viabilidade quanto ao produto.

Das 5 (cinco) instituições pesquisadas, quatro possuem NIT, sendo que uma delas (UFRR), mesmo possuindo esse setor, demonstra necessidade de implementação de algumas etapas importantes no processo de desenvolvimento de tecnologia e inovação. A UERR não dispõe do NIT, mas o responsável por responder ao questionário afirma que está em fase de implantação, o que pode significar uma importante melhoria na situação do estado no que se refere à pesquisa e desenvolvimento tecnológicos.

Em relação aos processos de avaliação dos produtos em fase de desenvolvimento no âmbito da própria instituição, visando a realização, no futuro, do pedido de patente, 3 (três) das instituições questionadas, que possuem seus NIT em pleno funcionamento (IFRR, IFC e EMBRAPA) demonstraram possuir, cada uma delas, seu próprio modelo e metodologia para tal avaliação, mesmo conhecendo a métrica TRL, alegando, prioritariamente, que os níveis propostos por essa ferramenta não estariam alinhados ao trabalho que já desenvolvem em suas respectivas dinâmicas de pesquisa e desenvolvimento.

Quanto ao nível de maturidade dos produtos, as instituições IFRR, IFC e EMBRAPA afirmaram utilizar a TRL, criada pela NASA, na qual também balizou a criação da Calculadora TRL, objeto deste trabalho, panorama que oferece uma perspectiva animadora no sentido de poder contribuir para a continuação e/ou melhoria desse trabalho no contexto dessas ICTs.

Perguntados a respeito da contribuição de uma ferramenta como a Calculadora TRL na determinação da viabilidade dos produtos pesquisados e/ou desenvolvidos, todas as instituições responderam de maneira afirmativa, chamando a atenção para alguns resultados positivos, como a otimização no trabalho de definição da melhor forma de utilizar-se tais produtos e tecnologias, quais parceiros buscar e como demonstrar para estes a viabilidade dos produtos desenvolvidos.

Mencionou-se, ainda que, a médio e longo prazo, a ferramenta poderia ser utilizada não apenas pelo pessoal da área técnica, mas por todos os envolvidos no processo, gerando, dessa forma, maior confiabilidade e atraindo investimentos.

A respeito da utilidade da ferramenta, com exceção da instituição IFC, que respondeu “parcialmente utilizável”, justificando, entretanto, que não se trata da ferramenta em si, mas do momento pelo qual aquela ICT está passando, com problemas de pessoal, levando a uma necessidade de priorização de atividades consideradas urgentes. Nesse sentido, a utilização de uma ferramenta dessa natureza ficaria, ao menos por enquanto, em segundo plano. As demais instituições apontaram como positiva a presença da calculadora, afirmando que o aumento do campo de percepção relacionada à maturidade das tecnologias e produtos em processo de desenvolvimento se constitui em fator indispensável, principalmente no que se refere à comunicação entre ICTs o setor privado.

De modo geral, pode-se dizer, portanto, que a Calculadora TRL pode oferecer um significativo auxílio no trabalho realizado nos Núcleos de Inovação Tecnológica, sobretudo por apresentar uma interface adaptável à realidade de cada instituição e por basear-se em parâmetros científicos e tecnológicos rígidos, de forma que, sendo aplicada de forma correta, apresenta grandes possibilidade de êxito.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma vez que caberá à universidade detentora da tecnologia a decisão final sobre a transferência, torna-se importante que ela esteja preparada para uma negociação que atenda a seus interesses financeiros e preserve sua missão social. Assim, o problema desta pesquisa foi definido com base nesse contexto cultural.

Compreendida e aceita a necessidade de transferência dos resultados da pesquisa acadêmica para a geração de inovações pelas empresas, surge a questão: como realizar tal processo com eficiência, eficácia e ética, estabelecendo critérios para licenciamento e comercialização, com vistas a beneficiar a sociedade e impedir que a patente seja utilizada apenas para proibir sua exploração por terceiros? Foi nessa direção que seguiu-se a análise quanto à cultura da inovação, passando por todos os aspectos aqui discutidos, como o próprio conceito de inovação, proteção da propriedade intelectual através dos NITs, os novos temas paralelos ao desenvolvimento tecnológico, dentre eles as questões socioambientais.

Após inferências sobre o assunto abordado, verificou-se que os NITs possuem carência quanto a utilização do TRL como parâmetro de análise dos projetos/produtos a serem desenvolvidos ou em desenvolvimento. E, com a aplicação e distribuição para avaliação da Calculadora TRL entre as ICTs participantes, verificou-se que o produto aqui desenvolvido trará efeitos positivos junto a estes órgãos já implementados ou em implementação, carentes no que diz respeito a recursos humanos, necessitando assim de ferramentas que ajudem agilizar os processos e procedimentos.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 16290:2015*. Rio de Janeiro, 2015.
- AZIZIAN, Nazanin et al. *A Comprehensive Review and Analysis of Maturity Assessment Approaches for Improved Decision Support to Achieve Efficient Defense Acquisition*. Disponível em: <
http://www.iaeng.org/publication/WCECS2009/WCECS2009_pp1150-1157.pdf>. Acessado em: 06 ago. 2018.
- BAKKE, Kjersti. *Technology readiness levels use and understanding*. Disponível em: <
<https://openarchive.usn.no/usn-xmlui/bitstream/handle/11250/2452831/Master2017Bakke.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 26 jun. 2019.
- BRASIL. Lei nº 13.243, de 11 de janeiro de 2016. *Dispõe sobre estímulos ao desenvolvimento científico, à pesquisa, à capacitação científica e tecnológica e à inovação e altera a Lei nº 10.973, de 2 de dezembro de 2004, a Lei nº 6.815, de 19 de agosto de 1980, a Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993, a Lei nº 12.462, de 4 de agosto de 2011, a Lei nº 8.745, de 9 de dezembro de*

- 1993, a Lei nº 8.958, de 20 de dezembro de 1994, a Lei nº 8.010, de 29 de março de 1990, a Lei nº 8.032, de 12 de abril de 1990, e a Lei nº 12.772, de 28 de dezembro de 2012, nos termos da Emenda Constitucional nº 85, de 26 de fevereiro de 2015. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ Ato2015-2018/2016/Lei/L13243.htm>. Acesso em: 05 dez. 2018.
- BOUTILLIER, S.; COPPIN, O.; LAPERCHE, B.; UZIDINIS, D.; ZIEL, J. *Innovation, accumulation et valeur. Document de Travail. Laboratoire Redéploiement Industriel et Innovation, Université du Littoral-Cotê D'Opale, France*, 1999.
- CHAGAS JR, Milton de Freitas. Et al. "Coupled processes" as dynamic capabilities in systems integration. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75902017000300245&lang=pt>. Acesso em: 05 jun. 2018.
- COSTA, André R. R. Et al. *Análise dos Entraves e Facilitadores no Processo de Obtenção de Recursos para P&D na Amazônia Ocidental*. Disponível em: <<http://login.semead.com.br/20semead/anais/arquivos/1129.pdf>>. Acessado em: 19 jun. 2018.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E INOVAÇÃO INDUSTRIAL (EMBRAPII). *Manual de operação das unidades EMBRAPII*. Brasília - DF, 2015. Disponível em: <<http://embrapii.org.br/manual-das-unidades-embrapii/>>. Acesso em: 29 jun. 2018.
- ESA, European Space Agency. *Technology Readiness Levels Handbook for Space Applications*. Disponível em: <<https://artes.esa.int/sites/default/files/TRL>>
- FERREIRA, Maria Carolina Zanini; TEIXEIRA, Clarissa Stefani. *Núcleo de inovação tecnológica: Alinhamento conceitual*. Florianópolis/SC: Perse, 17p. il. 2016. Disponível em: <<http://via.ufsc.br/wp-content/uploads/2017/06/e-book-NITs.pdf>>
- FERREIRA, Eduardo Marson. *Inovação, Vale da Morte e o Elo Perdido*. Disponível em: <https://ezute.org.br/wp-content/uploads/2018/07/Eduardo_Marson_TD_Junho_2018.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2019.
- GIL, Luís. Et al. Os TRL (Technology Readiness Levels) como ferramenta na avaliação tecnológica. Revista Igenium, n. 139 II Série. p. 94, 2014.
- GRÜTZMANN, André; ZAMBALDE, André Luiz; BERMEJO, Paulo Henrique de Souza. *Inovação, desenvolvimento de novos produtos e as Tecnologias Internet: estudo em empresas brasileiras*. In: *Gestão & Produção*, São Carlos, Vol. 26, n. 1, e1451, 2019.
- INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL – INPI. Resolução nº 191/08. *Exame prioritário de pedidos de patente*, de 10 out. 2008.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. Conselho Técnico-Científico (CTC). Resolução RE/DIR-582/2016 *Norma de Relacionamento do INPE com Fundações de Apoio*, de 17 out. 2016.
- MAGNO, A. Et. al. *Compreendendo como os modelos de maturidade facilitam no desenvolvimento de projetos*. Disponível em: <http://www.csi.uneb.br/engenharia_de_software/anexos/Artigos-ModelosdeMaturidade.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2018.
- MANKINS, John C. *Technology Readdiness Levels – A White paper, Advanced Concepts Office*. Disponível em: <<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=>

- [s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjf0oeN-NDbAhVljpAKHb7sBiMQFggtMAA&url=http%3A%2F%2F](#)
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO – MEC. *Cadastro Nacional de Cursos e Instituições de Educação Superior Cadastro e-MEC*. Disponível em: <<http://emec.mec.gov.br/>>. Acesso em: 10 jun. 2019.
- MORESI, Eduardo A. D., Et al. Análise de níveis de prontidão: uma proposta para empresas nascentes. Disponível em: <<https://proceedings.ciaiq.org/index.php/ciaiq2017/article/view/1127>>. Acesso em: 31 jul. 2018.
- MORGADO, Eduardo Martins. Inovação, novos conceitos ampliados: oportunidades para as empresas. In: *Revista de Ciências Gerenciais*, Vol. 15, Nº 21, Ano 2011.
- NASA, National Aeronautics and Space Administration. Technology Readiness Level. Disponível em: <https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/txt_accordion1.html>. Acesso em: 06 jun. 2018.
- PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar. *Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico*. Novo Hamburgo/RS: Universidade FEEVALE, 2013. 277 p.
- TECHNOLOGY READINESS LEVELS (TRL). Disponível em: <<https://mkainsights.com/insights/trl/>>. Acesso em: 03 fev. 2019.