

19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



25º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 48ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPV)

GESTÃO DA INOVAÇÃO EM MATERIAIS E MÉTODOS EM PAVIMENTOS : UMA PROPOSTA DE ESCALA DE PRONTIDÃO TECNOLÓGICA DE PESQUISA BASEADA NA ESCALA TRL

DOI:

Frederico Hopfinger¹; Antonio Carlos Guimarães¹; Fábio Ávila¹ & Filipe Nascimento¹

RESUMO

O desenvolvimento socioeconômico de uma nação é diretamente ligado à sua estrutura de transportes e sua capacidade de inovação, podendo-se inferir que inovações na área de infraestrutura de transportes pode gerar um potencial exponencial de crescimento ao país. Neste ponto, é possível se perguntar como o processo de inovação no contexto da infraestrutura de transporte, mais especificamente no que tange métodos e material em pavimentos, é medido. Tal medição é de extrema importância para a racional aplicação dos escassos recursos e priorização de utilização dos limitados meios de pesquisa disponíveis nas universidades. Foi exatamente neste contexto que a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) desenvolveu a escala TRL na década de 1970, destinada à mensuração da maturidade de uma tecnologia. Considerando que algumas instituições de ensino e pesquisa atuam no desenvolvimento de inovação no campo da pavimentação, o presente artigo propõe uma escala de prontidão tecnológica customizada às pesquisas em pavimentação, baseada na escala TRL. A escala proposta no presente artigo apresenta as seguintes zonas de maturidade: Zona I, Nível 1, 2 e 3 (pesquisa básica); Zona II a, Nível 4 e 5, (pesquisa aplicada inicial); Zona IIb, Nível 6 e 7 (pesquisa aplicada de padronização); e Zona III, Nível 8 e 9 (pesquisas aplicadas de consolidação).

PALAVRAS-CHAVE: Escala TRL; inovação; maturidade da pesquisa; materiais para pavimentação.

ABSTRACT

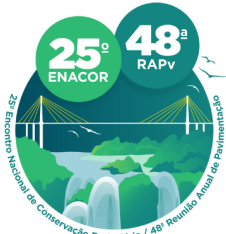
Socioeconomic development of a nation is directly linked to transport infrastructure and the capacity for innovation, it can be inferred that innovations in the area of transport infrastructure can generate an exponential growth potential for the country. At this point, it is possible to ask how the innovation process in the context of transport infrastructure, more specifically with regard to methods and material in pavements, is measured. Such measurement is of extreme importance for the rational application of scarce resources and prioritization of use of the limited equipment and facilities of research available in universities. It was exactly in this context that the National Aeronautics and Space Administration (NASA) developed the TRL scale in the 1970s, intended for measuring the maturity of a technology. Considering that some educational and research institutions work in the development of innovation in the field of paving, this article proposes a customized technological readiness scale for paving research, based on the TRL scale. The scale proposed in this article presents the following maturity zones: Zone I, level 1, 2 and 3 (basic research); Zone II a, level 4 and 5, (initial applied research); Zone IIb, level 6 and 7 (applied standardization research); and Zone III, level 8 and 9 (applied consolidation surveys).

KEY WORDS: TRL scale; innovation; research maturity; paving materials.

¹ Instituto Militar de Engenharia (IME), hopfinger.frederico@ime.br; guimaraes@ime.br; fabiogavila@ime.br; filipe.nascimento@ime.br.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico e social de uma nação possui um estreito relacionamento com sua infraestrutura de transportes, conforme pode-se verificar no plano nacional de logística 2035, que objetiva ser o vetor do desenvolvimento socioeconômico e sustentável do Brasil (EPL, 2021). Tal relação é largamente observada também internacionalmente, como é possível notar nos trabalhos de Ma (2021) no contexto do cinturão econômico chinês de Zhujiang - Xijiang, Paradhan e Bagchi (2013) no caso da Índia e Fadega e Olivieri (2019) para a Espanha.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Por outro lado, observa-se ainda uma relação direta entre desenvolvimento econômico de um país e seu potencial gerador de inovação, conforme conclui Maradana *et al.* (2017), Sadraoui e Ammari (2017) e Sarangi *et al.* (2021). Desta forma, é possível verificar que pesquisas dedicadas ao desenvolvimento de inovações (novos materiais e tecnologias), a serem empregadas na infraestrutura de transportes, possuem um potencial notável para o crescimento socioeconômico do país.

Neste contexto, se converte em importante desafio à nação suplantar óbices como corte de verbas, descontinuidade de programas e falta de formalização das políticas de ciência e tecnologia (ONU, 2021). Assim, o estabelecimento de um sistema de medição de maturidade tecnológica para pesquisas visando novos materiais e tecnologias em pavimentos seria de grande valia como ferramenta de apoio à decisão desde o nível tático até os níveis estratégicos da política nacional.

Com efeito, o objetivo deste trabalho é a proposta de uma escala de prontidão tecnológica, customizada à pesquisa em novos materiais e tecnologias em pavimentos, utilizando como estudo de caso 02 (dois) projetos de novos materiais e tecnologias, ambos desenvolvidos pelos programas de pós-graduação em engenharia de transportes e em engenharia de defesa do Instituto Militar de Engenharia (IME).

Para tanto, será conduzida uma breve revisão sobre a escala TRL, apresentado o método a ser utilizado e os projetos inovadores, a saber: utilização do resíduo arenoso da mineração do ferro em misturas asfálticas (RAMFe); e a utilização de solos tropicais como componente de pavimentos (ST). Em seguida, será proposta a escala de prontidão tecnológica customizada à pesquisa em pavimentos por meio dos estudos de caso e, por fim, uma seção de considerações finais.

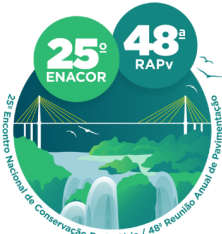
A ESCALA TRL

Nos anos de 1970, a NASA, durante o desenvolvimento do programa espacial dos EUA, vivenciava um período no qual sistemas e tecnologias necessários para atingir os objetivos traçados apresentavam nível de complexidade sensivelmente maior que os experimentados até aquele momento. Desta forma, as tecnologias passaram a ser avaliadas em termos de maturidade de desenvolvimento, visando contabilizar riscos de sua adoção, bom como suas possíveis impactos em custo, qualidade e prazos. Assim, foi desenvolvida, por pesquisadores da NASA, a escala TRL (SALAZAR; RUSSI-VIGOYA, 2021).

A escala TRL inicialmente apresentava 7 níveis de maturidade, até que em 1995 a mesma sofreu um refinamento, por meio do acréscimo de mais dois níveis (SALAZAR; RUSSI-VIGOYA, 2021), conforme é possível notar na tabela 1.

Tabela 1. Níveis da escala TRL (Adaptado de Salazar e Russi-Vigoya (2021))

Nível 1	Princípios Básicos observados e reportados
Nível 2	Conceito tecnológico e/ou formulação da aplicação
Nível 3	Função crítica analítica e experimental e/ou características de prova de conceito.
Nível 4	Validação de componente em laboratório



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

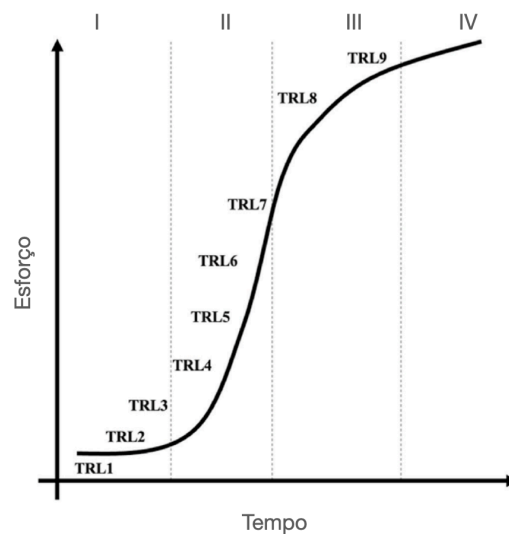
www.rapvenacor.com.br



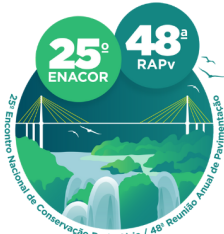
Nível 5	Validação de componente em ambiente relevante
Nível 6	Demonstração de modelo ou protótipo de Sistema ou subsistema em ambiente relevante.
Nível 7	Demonstração do protótipo do sistema em ambiente relevante
Nível 8	Sistema real concluído e “voo qualificado” por meio de teste e demonstração (solo ou espaço)
Nível 9	Sistema real "comprovado em voo" por meio de operações em missões bem-sucedidas

Cabe ainda destacar que uma abordagem também muito utilizada para apresentar o nível de prontidão tecnológica é a curva-S. A curva-S expressa a evolução do esforço de engenharia (ou de capital) em um período de tempo (TERZIS, 2022), conforme é possível notar na figura 1.

Figura 1. Curva - S - níveis da escala TRL (Adaptado de Terzis (2022))



O Intervalo assinalado como I se refere ao período de idealização, cobrindo os TRL 1, 2 e 3. O intervalo II se refere à fase de desenvolvimento, correspondendo aos TRL 4 a 7 e, por fim, o trecho III diz respeito à fase de padronização (TRL 8 e 9). O produto inserido no trecho IV é considerado maduro. Importa salientar que no contexto da pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias, pode-se afirmar que a criação exitosa de sistemas tecnológicos propiciam redução de custos, cumprimento de cronogramas e cumprimento de requisitos. Por outro lado, no caso de falha do desenvolvimento de tecnologia, pode levar projetos ao fracasso, por meio de custos mais elevados que o previsto, descumprimento de prazos e desempenho aquém do encomendado (MANKINS, 2009).



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



MÉTODO

Para propor uma escala de prontidão tecnológica customizada será realizada uma comparação, entre a descrição tradicional dos níveis (Tabela 1) e as atividades desempenhadas em pesquisas em pavimentação, com destaque para os projetos a serem utilizados como estudo de caso, conforme apresenta a Figura 2.

Figura 2. Descritores da escala TRL original e atividades de pesquisa em pavimentos

Níveis	Descritores Escala NASA	Pesquisas em Pavimentos
1	Princípios básicos, Formulação de aplicação e Prova de conceito	Caracterização do material
2		Estudo ambiental e econômico
3		Dosagem de misturas
4	Validação em laboratório e em ambiente relevante, Demonstração de protótipo	Comportamento Mecânico
5		Construção de trecho experimental
6		Monitoramento de trecho Experimental
7		Desenvolvimento de Norma
8	Teste em voo qualificado e Operação bem sucedida em Missões	Construção de trecho real
9		Monitoramento de trecho real

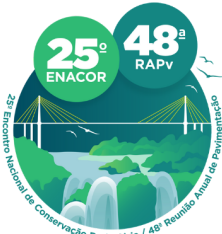
Assim, será conduzida uma correlação entre os descritores e as atividades apresentadas na Figura 2, considerando que o nível mais maduro de um pesquisa de pavimentos (“operação bem sucedida” na escala original) equivale a uma nova tecnologia, aplicada em uma obra já concluída, com dados de monitoramento convergentes com o previsto, enquanto que o nível menos maduro (“princípio básicos” na escala original) equivale à estudos envolvendo caracterização do material candidato à inovação.

ESTUDO DE CASO

Uso de RAMFe em misturas asfálticas

O Brasil atualmente é o segundo maior produtor de minério de ferro do mundo, fato que associado à matriz de transportes pautado no modo rodoviário (com pavimento flexível predominante) e às implicações ambientais do beneficiamento do minério de ferro, enseja a investigação de soluções técnicas visando eliminar os resíduos de mineração por meio do seu uso em camadas do pavimento flexível (SILVEIRA *et al.* (2018); e NETTO, 2018).

A pesquisa de Galhardo (2015) verificou a viabilidade técnica de se utilizar solos misturados com RAMFe visando, seu emprego em camadas estruturais, como base e sub-base, de pavimentos



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



rodoviários. Observa-se o trabalho de Friber (2015), que abordou o emprego do agregado graúdo calcinado, obtido artificialmente, a partir do resíduo de mineração, para utilização também em pavimento rodoviário. Ainda é possível citar Valadares (2016), Apaza (2016), Arêdes (2016) e Netto (2018), que pesquisaram o comportamento mecânico de misturas asfálticas com teores variáveis de RAMFe.

De forma geral, os estudos concluíram sobre a viabilidade na utilização do RAMFe como um material alternativo para construção de pavimentos rodoviários, ao mesmo tempo que contribuem para a eliminação de um passivo ambiental, produto da atividade de mineração.

Uso de solos tropicais na pavimentação

Os estudos sobre utilização da laterita com material alternativo e vetor de viabilização de rodovias de baixo custo em áreas de desenvolvimento tardio é tema de estudo desde a década de 1950 (WINTERKORN; e CHANDRASEKHARAN, 1976), cabendo destaque ao observado por Nogami e Villibor (1981), referente à inadequação dos métodos tradicionais de classificação de solos desenvolvidos em outros países, quando aplicados à solos tropicais. Por outro lado, é possível observar diversos trabalhos que comprovam o satisfatório comportamento de solos tropicais como componente de camadas de pavimentação (GUIMARÃES, 2009).

Conforme dos Santos (2022) a quantidade de material de pavimentação necessário para composição da infraestrutura ferroviária é um fato de enseja a busca por materiais alternativos, possibilitando inclusive redução de custos de obras, sendo esta uma oportunidade de uso dos solos tropicais.

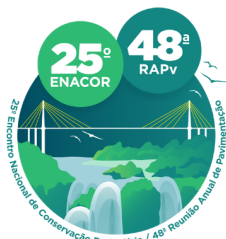
Barbosa *et al.* (2018) desenvolveu pesquisa baseada em ensaios tradicionais e mecânicos em solos tropicais não lateríticos verificados na área da implantação da Ferrovia Oeste-Leste (FIOL), onde ensaios tradicionais dos materiais estudados mostraram incompatibilidade para uso no pavimento ferroviário (granulometria e índice de plasticidade não conforme), porém os resultados mecânicos se apresentaram de forma satisfatória. Foram ainda conduzidas simulações numéricas do pavimento, apresentando mais uma vez resultados mecânicos satisfatórios.

Procedimento correlato foi conduzido por Bona e Guimarães (2021), que avaliaram material tropical laterítico de pavimentação colhido em trincheiras da BR 163/PA, avaliando-o à luz dos ensaios tradicionais e macanísticos. Novamente foi observado que o material analisado não apresentou resultados satisfatórios (CBR inferior ao mínimo) quando balizado por ensaios tradicionais, já a análise mecânica mostrou resultados de MR e DP excelentes. A pesquisa de dos Santos (2022) apresentou conclusões semelhantes às já apresentadas.

Cabe ainda destaque para o trabalho de Almeida (2022), que comparou o desempenho de camadas de pavimento composta de solos lateríticos predregulhosos com e sem adição de areia. A pesquisa apontou para o fato da adição da areia não incrementar o desempenho mecânico, podendo ser considerada a adição desnecessária.

Em síntese, pode-se observar que as pesquisas concluíram sobre a viabilidade na utilização de solos tropicais como materiais alternativos de pavimentação, apresentando desempenho mecânico satisfatório, tanto para rodovias quanto para ferrovias, com destaque ainda para potencial redução do custo de obras que os utilizam.

É importante notar que a condensada análise de pesquisas aqui apresentadas, tanto referentes à RAMFe, quanto referente à solos tropicais se desenvolvem em condições diversas, como por



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



exemplo: ensaios em ambiente puramente laboratorial; dados de pavimentos já construídos; e hipóteses de uso dos materiais em diferentes misturas. As condições em que a pesquisa é desenvolvida se relacionam com sua maturidade e, conseqüentemente, com uma previsão de normatização e uso disseminado no material.

É neste contexto que será proposto uma escala de prontidão tecnológica na seção a seguir.

PROPOSTA DE ESCALA DE PRONTIDÃO TECNOLÓGICA CUSTOMIZADA

Tomando as definições apresentadas na Tabela 1 e, observando a curva-S da Figura 1, é possível notar zonas de maturidade. A Zona I, níveis 1, 2 e 3, se caracteriza pela idealização do produto, podendo ser classificado como pesquisa básica, tendo como marco limítrofe a prova de conceito ou teste analítico e experimental da função crítica do objeto da pesquisa. A Zona II-a, níveis 4 e 5, se refere à fase inicial de desenvolvimento da tecnologia, podendo ser classificada como pesquisa aplicada, apresentando marco limítrofe superior a validação do componente em ambiente relevante. A Zona II-b, níveis 6 e 7, se caracteriza pela fase final de desenvolvimento da tecnologia, sendo considerada ainda pesquisa aplicada e, apresentando marco de transição para Zona III a demonstração, em ambiente relevante, do sistema no qual o componente desenvolvido está inserido. Por fim a Zona III, níveis 8 e 9, trata-se da fase de padronização da tecnologia desenvolvida, sendo classificada como pesquisa aplicada, apresentado como marco limítrofe superior a operação bem sucedida do sistema desenvolvido.

Neste ponto é possível verificar que os marcos previstos na escala TRL original se baseiam em atividades como prova de conceito e validação em ambiente relevante. Tais definições são corriqueiras no dia-a-dia da pesquisa espacial, porém não há familiaridade dos citados termos com o estudo de infraestrutura de transportes. A relação entre definições corriqueiras no ambiente de pesquisa de tecnologia espacial e o desenvolvimento de inovação na infraestrutura de transportes é o centro fulcral da customização proposta no presente trabalho.

Zona I - níveis 1, 2 e 3

O nível mais baixo de maturidade de uma pesquisa, nível 1, se caracterizando pelo relato e observação do fenômeno tema da pesquisa. No contexto do desenvolvimento de inovação em pesquisa de pavimentação pode ser relacionado ao estado da arte de determinada tecnologia, ensaios básicos de laboratório, classificação à luz de normas vigentes e ocorrência do material.

No caso das uso de RAMFe como material de pavimentação, uma pesquisa com objetivo de atingir nível 1 deve apresentar o estado arte sobre o resíduo de mineração, além do ensaio de caracterização física, química, tecnologia e ambiental. Baseado no resultado dos ensaios realizados, deve-se ainda enquadrar o resíduo na classificação MCT além de verificar ocorrência do material ao longo de locais de potencial utilização. Pesquisas neste nível geralmente são conduzidas no contexto de programas de iniciação científica (IC) e trabalhos de fim de curso (TCC).

O nível 2 é aquele onde a pesquisa que já apresenta a formulação da aplicação da tecnologia. Para o caso do desenvolvimento de uso de solos tropicais, a pesquisa em nível 2, além de contar com sólidos resultados oriundos da pesquisas anteriores em nível 1, deve apresentar comparação entre o solo tropical em estudo o materiais tradicionais de pavimentação, analisando semelhanças e



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



diferenças, buscando oportunidades e limitações de aplicação em pavimentos. É desejável que pesquisas em TRL 2, acerca de solos tropicais, concluam sobre viabilidade de continuidade da linha de pesquisa com aprofundamento, por exemplo, na utilização do material em reforço de subleito e sublastro de ferrovias de carga. A exemplo do nível 1, pesquisas em nível 2 geralmente são conduzidas em programas de IC e em TCC.

Encerando a zona de pesquisa básica, temos o nível 3, caracterizado por apresentar função crítica analítica e experimental e/ou características de prova de conceito. Retornando ao exemplo do RAMFe, uma pesquisa nível 3 deve selecionar uma das possibilidades apresentadas por pesquisas nível 2, por exemplo a utilização do resíduo como componentes de mistura asfáltica. A pesquisa deve conduzir dosagens de traços de CAUQ com RAMFe na composição, sendo a prova de conceito neste caso a dosagem em laboratório, verificando a viabilidade de uso do resíduo em camada asfáltica.

O último nível da Zona I, de forma geral, é caracterizado por trabalhos conduzidos em TCC e dissertações de mestrado. Cabe destacar ainda que, de forma geral, os meios existentes atualmente nas universidades (laboratórios, estudantes e professores) são suficientes para desenvolvimento de pesquisas localizadas na Zona I.

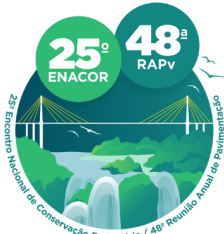
Uma vez que a prova de conceito obtenha sucesso, a linha de pesquisa está pronta para avançar em direção à Zona IIa - pesquisa aplicada em desenvolvimento inicial da tecnologia.

Zona II a - níveis 4 e 5

O primeiro dos níveis intermediários de maturidade de uma pesquisa, nível 4, se caracteriza pela validação de componente em laboratório. O componente no contexto do desenvolvimento de inovação em materiais de pavimentação será considerado o CAUQ no exemplo do uso de RAMFe ou o sublastro no exemplo do uso de solos tropicais, enquanto que a validação do componente será alcançada pela avaliação de seu comportamento mecânico. Desta forma, o objetivo de uma pesquisa nível 4, referente ao uso de RAMFe em misturas asfálticas, deve apresentar resultados de ensaios de módulo resiliente, fadiga e deformação permanente de amostras de CAUQ moldadas em escala laboratorial. É desejável ainda a comparação do desempenho atingido pelo CAUQ-RAMFe com desempenho de CAUQ tradicional. O nível 4 se caracteriza normalmente por pesquisas nível mestrado.

O nível 5 é definido como a validação de componente em ambiente relevante. A evolução, comparativamente com o nível 4, reside no ambiente. Para nível 4, ambiente laboratorial, enquanto que para nível 5, ambiente relevante. Para a presente customização, ambiente relevante será considerado como a construção de um trecho experimental em rodovia ou ferrovia. Outra característica da evolução entre níveis 4 e 5 é a escala de fabricação do componente, enquanto para nível 4 o componente é concebido em escala laboratorial, para nível 5 o componente é realizado e aplicado em escala real (uso de equipamentos pesados como usinas de asfalto, usinas de solos, vibroacabadoras, rolos de pneus, etc.). A performance do componente em ambiente relevante é realizado por meio de controle tecnológico de aplicação, como ensaios de densidade *in situ*, temperatura de aplicação e compactação, taxa de ligante na mistura e granulometria da mistura.

Cabe salientar ainda que os meios existentes atualmente nas universidades (laboratórios, estudantes e professores) podem não ser suficientes para atendimento do nível 4 (equipamentos de laboratório



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



especies) e não são suficientes para atendimento do nível 5. Assim, pesquisas que almejem atingir nível de maturidade 4 e 5 devem ser concebidas em parceria com empresas, de forma a viabilizar os meios necessários para sua execução. O nível 5 se caracteriza normalmente por pesquisas nível mestrado e doutorado.

Uma vez que o componente foi validada em ambiente relevante (trecho experimental), a linha de pesquisa tem condições de avançar em direção à Zona IIb - pesquisa aplicada em desenvolvimento final da tecnologia.

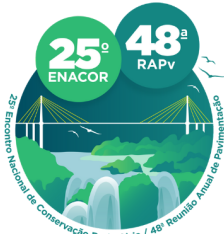
Zona II b - Níveis 6 e 7

O Nível 6 se caracteriza pela demonstração de modelo ou protótipo de sistema ou subsistema em ambiente relevante. Neste caso, a maturidade da pesquisa está ligada ao protótipo do sistema, não mais ao componente. No caso pesquisa no uso de RAMFe, uma vez que o componente foi definido como sendo o CAUQ, o sistema deve ser o pavimento rodoviário como um todo. Desta forma, a pesquisa que objetiva o alcance do nível 6, deve conduzir o monitoramento do pavimento como um todo do trecho experimental (desenvolvido na oportunidade do atendimento ao Nível 5). Desta forma se faz necessária a utilização de equipamentos como o fwd (do inglês *Falling Weight Deflectometer*), rwd (do inglês *Rolling Wheel Deflectometer*), HRSIS (do inglês *High-Speed Road Surface Imaging System*) e LCMS (do inglês *Laser Crack Measurement System*). Ainda é desejável acompanhamento referente à contagem e pesagem de tráfego, além acompanhamento das condições de drenagem do trecho experimental. Os ensaios de monitoramento devem ser realizados periodicamente, caracterizando uma análise a longo prazo do pavimento.

O último nível intermediário de prontidão tecnológica, nível 7, pode ser descrito como demonstração do protótipo do sistema em ambiente relevante. Relacionando o universo de pesquisas de inovação na área de pavimentos, trabalhos que objetivam o alcance do nível 7 devem se dedicar à construção de um acabamento normativo, regulando projeto, materiais, execução e custos envolvidos na inovação pesquisada. Assim como observado para Zona IIa, pesquisas enquadradas na Zona IIb carecem de parcerias com empresas e até com o próprio Estado, pois sem a participação destes entes, as pesquisas se tornam inviáveis com meios orgânicos na Universidade. Pesquisas em Nível 7, geralmente são realizadas em nível mestrado e doutorado. Desta forma, considera-se ultrapassado o nível 7 quando há a aprovação da norma por órgão competente, podendo a pesquisa ingressar na zona de maturidade III.

Zona III - Níveis 8 e 9

O Nível 8 se caracteriza pelo sistema real concluído e “voo qualificado” por meio de teste e demonstração (solo ou espaço). O voo qualificado no caso da inovação em materiais para pavimentos está relacionado com a possibilidade de execução de trechos não experimentais, ou até obras inteiras com a nova tecnologia. Pesquisas neste nível devem se dedicar ao acompanhamento da execução da obra, registrando análises comparativas da nova tecnologia com métodos tradicionais, verificação de oportunidade de melhoria nas normas concebidas partir do nível 7, além comparar resultados de ensaios obtidos na fase de nível 5 e 6. Pesquisas situadas em nível 8 tem por



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



objetivo maior a consolidação da tecnologia por meio de retificações ou ratificação do arcabouço normativo desenvolvido no nível 7.

Por fim, o nível 9, último nível de maturidade da escala, é caracterizado pelo sistema real "comprovado em voo" por meio de operações em missões bem-sucedidas. Assim, a pesquisa em nível 9 trata de estudo de uma tecnologia já consolidada e incorporada às boas práticas de engenharia civil, objetivando comparações de performance de obras contendo o sistema em diferentes partes do país, incorporação de discretas variações nos métodos executivos ao arcabouço normativo e reavaliação de composições de custo unitário frente à consolidação do serviço.

As pesquisas localizadas na Zona III voltam a poder ser executadas com meios orgânicos nas Universidades, porém é desejável que se mantenha as parcerias com empresas e Estado, de forma a garantir a efetiva transformação da inovação tecnológica em desenvolvimento socioeconômico. Cabe ainda ressaltar que pesquisas desenvolvidas na Zona III são no nível mestrado e doutorado.

A Tabela 2 sintetiza a proposta de escala de prontidão tecnológica customizada para inovação em materiais e métodos de pavimentação.

Tabela 2 - Proposta de escala TRL customizada para inovação de métodos/materiais em pavimento

Nível de Maturidade Customizado	Descrição do Nível na Escala Customizada	Exemplos de Objetivos específicos da Pesquisa
1	Caracterização física, química, tecnológica e ambiental do material aspirante à inovação	Ensaio de caracterização; Classificação ambiental; Comparação com normas nacionais e internacionais;
2	Apresentação de proposta de aplicação em camada do pavimento	Impacto ambiental e financeiro da adição do material nas camadas propostas; Estudo de ocorrências do material em comparação ao uso pretendido.
3	Material inovador dosado laboratorialmente em solução de pavimentação	Dosagem de CAUQ ou micro revestimento com o material
4	Avaliação de comportamento mecânico da solução de pavimentação contando com o material inovador	Determinação de MR, DP, e vida útil à fadiga.
5	Construção de trecho experimental contando com a solução de pavimentação	Desenvolver o projeto do trecho experimental; Monitorar a implantação do trecho
6	Monitoramento de trecho experimental	Avaliar massa de dados oriundos de ensaios periódicos obtidos do monitoramento dos trechos
7	Construção de arcabouço normativo	Contribuir para normatização de projeto ou execução ou controle ou custo da nova solução
8	Construção de trecho não experimental	Desenvolver o projeto do trecho não experimental; Monitorar a implantação do trecho não experimental; Comparar aspectos na nova solução com soluções tradicionais.
9	Monitoramento de diversos trechos implantados	Comparar performance da mesma solução aplicada em diferentes obras; Propor melhorias normativas e boas práticas.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

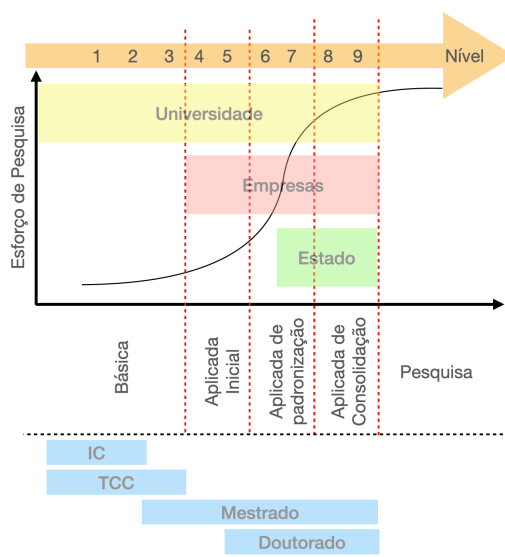
www.rapvenacor.com.br



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em síntese, a Tabela 2 apresenta uma proposta de escala de prontidão tecnológica customizada à pesquisa em novos materiais e tecnologias em pavimentos, podendo ainda ser resumida na Figura 3.

Figura 3. Curva - S - Escala de prontidão tecnológica customizada para inovação de métodos/ materiais em pavimentos



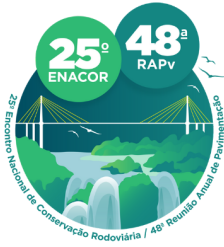
A utilização da escala customizada pode fornecer à gestores de instituições de ensino e pesquisa importante ferramenta de planejamento e acompanhamento de pesquisas em inovação na área de pavimentos, apontando necessidade de parcerias com Empresas e com o próprio Estado, além de servir como mais uma informação gerencial no processo decisório de priorização de verbas para projetos de pesquisa, contribuindo para o desenvolvimento da infraestrutura de transportes nacional, bem como o desenvolvimento socioeconômico do Brasil.

REFERÊNCIAS

APAZA, F. R. A. Estudo de Mistura Asfáltica Contendo Resíduo do Beneficiamento do Minério de Ferro. 2015. Programa de pós-graduação em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro. 2015.

ALMEIDA, B.D. Influência Da Adição De Areia No Comportamento Mecânico De Base De Solo Pedregulhoso Laterítico (Dissertação de Mestrado). 2022. Programa de pós-graduação em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro. 2022.

ARÊDES, M. L. A. Avaliação do comportamento mecânico de misturas asfálticas utilizando resíduo do beneficiamento do minério de ferro. 2016. Programa de pós-graduação em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro. 2016



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



BARBOSA, V.H.R.; MARQUES, M.E.S.; GUIMARÃES, A.C.R.; SILVEIRA, V.L. Estudo De Dois Solos Do Acre Para A Produção De Agregados De Argila Calcinada E Misturas Para Bases Em Pavimentação. Anais do 32º ANPET Infraestrutura-Materiais Granulares e Concreto II, 2018. 2003-2014 p. Disponível em < http://www.anpet.org.br/anais32/documentos/2018/Infraestrutura/Materiais%20Granulares%20e%20Concreto%20II/3_658_AC.pdf >. Acesso em: 28 Abr 23.

BONA, A.C.D.; GUIMARÃES, A.C.R. Avaliação da deformação permanente e resiliente de uma laterita alternativa utilizada em base de pavimento rodoviário. Revista Transportes, v. 29, n.3, 2021. DOI: 10.14295/transportes.v29i3.2404.

DOS SANTOS, J.T. Avaliação Do Comportamento Mecânico De Solos Tropicais Para Uso Em Camada De Sublastro Ferroviário (Dissertação de Mestrado). 2022. Programa de pós-graduação em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro. 2022.

FAGEDA, X; Cecilia OLIVIERI, C. Transport Infrastructure and Regional Convergence: A Spatial Panel Data Approach. Papers in Regional Science, v. 98, n 4, 2019. 1609–1631 p. DOI: 10.1111/pirs.12433.

FRIBER, M. A. Avaliação do agregado calcinado de resíduo de mineração para o emprego em pavimentação. 2015. Programa de pós-graduação em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro. 2015

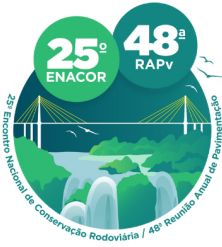
GALHARDO, D. C. Estudo sobre a viabilidade técnica da utilização de rejeitos de mineração de ferro em camadas de base e sub-base em pavimentos rodoviários. 2015. Dissertação (Mestrado e Engenharia de Transportes) - Programa de pós-graduação em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro. 2015

GUIMARÃES, A. C. Um Método Mecânico - Empírico para a Previsão da Deformação Permanente em Solos Tropicais Constituintes de Pavimentos. 367 p. Tese de Doutorado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil — Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2009.

MA, W. The Impact of Transport Infrastructure on Economic Growth: Taking the Zhujiang - Xijiang Economic Belt as an Example. E3S Web of Conferences, v. 253, n. 1039, 2021. 1-4 p. DOI: 10.1051/e3sconf/202125301039.

MARADANA, R.P.; PRADHAN, R.P.; DASH, S.; GAURAV, K.; JAYAKUMAR, M.; CHATTERJEE, D. Does innovation promote economic growth? Evidence from European countries. Journal of Innovation and Entrepreneurship, v. 6, n. 1, 2017. DOI: 10.1186/s13731-016-0061-9.

NETTO, Q.M.P. Análise Do Comportamento Mecânico De Misturas Asfálticas Utilizando Resíduos De Mineração Como Agregado Alternativo. 2018. Dissertação (Mestrado e Engenharia de Transportes) - Programa de pós-graduação em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro. 2018



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. Uma nova classificação de solos para finalidades rodoviárias. Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia, Rio de Janeiro, v. 1, p. 30–40, 1981.

ONU, 2021. Innovation for development: the key to a transformative recovery in Latin America and the Caribbean. Disponível em: <https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47795/1/S2100804_en.pdf> Acessado em: 25 Abr 23.

PRADHAN, R. P.; BAGCHI, T. P. Effect of Transportation Infrastructure on Economic Growth in India: The VECM Approach. *Research in Transportation Economics*, v. 38, n-1, 2013. 139-144 p. DOI: 10.1016/j.retrec.2012.05.008.

SADIN, S. R.; FREDERICK, P. P.; ROSEN, R.. The NASA technology push towards future space mission systems. *Acta Astronautica*, v. 20, 1989. 73–77p. DOI:10.1016/0094-5765(89)90054-4.

SADRAOUI, T.; AMMARI, A. A dynamic panel data analysis for relationship between technological innovation, entrepreneurship and Economic Growth. *Journal of Finance & Corporate Governance*, v.1, n.1, 2017. 31-43 p. DOI: 10.54960/jfcg.v1i1.3.

SALAZAR, G.; RUSSI-VIGOYA, M. N. Technology readiness level as the foundation of human readiness level. *Ergonomics in Design*, v. 29, n. 4, 2021. 25-29 p. DOI: 10.1177/10648046211020527.

SARANGI, A. K.; PRADHAN, R. P.; NATH, T.; MARADANA, R. P.; ROY, H. How Does Innovation Affect Economic Growth? Evidence from G20 Countries. *The Indian Economic Journal*, v.70, n. 1, 2022. 8-21p. Disponível em: <<https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/00194662211063562>>. Acesso em: 24 Jan 23.

SILVEIRA, V.L.; NETTO, Q.M.P.; BARBOSA, V.H.R.; CASTRO, C.D., GUIMARÃES, A.C.R. Aproveitamento Do Resíduo Da Mineração Para Uso Em Pavimentação. *Anais do 32º ANPET Infraestrutura-Materiais Granulares e Concreto II*, 2018. 2027-2030 p. Disponível em <http://www.anpet.org.br/anais32/documentos/2018/Infraestrutura/Materiais%20Granulares%20e%20Concreto%20II/7_686_AC.pdf>. Acesso em: 25 Abr 23.

TERZIS, D. Monitoring innovation metrics in construction and civil engineering: Trends, drivers and laggards. *Developments in the Built Environment*, v.9, Mar/2022. DOI: 10.1016/j.dibe.2021.10006.

VALADARES, R. G. Comportamento mecânico de areia-asfalto contendo resíduo do beneficiamento do minério de ferro. 2016. Programa de pós-graduação em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro. 2016

WINTERKORN, H. F.; CHANDRASEKHARAN, E. Chapter 19 - stabilization of late-rite soils. In: _____. *Laterite Soil Engineering*. [S.l.]: Elsevier, 1976. (Developments in Geotechnical Engineering, v. 9), p. 443–482.