

Ponderação dos riscos relacionados às ocupações no entorno das ferrovias no Brasil usando a técnica *Best-Worst Scaling*

Weighting the risks related to occupations around railroads in Brazil using the Best-Worst Scaling technique

Paula Sandri Rhoden¹, Louise Ester de Campos¹, Magnos Baroni¹, Ana Margarita Larranaga Uriarte², Alejandro Ruiz-Padillo¹

¹Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil

Contato: paula.sandri@acad.ufsm.br,  (PSR); louise.campos@acad.ufsm.br,  (LEC); magnos.baroni@ufsm.br,  (MB); analarrau@gmail.com,  (AMLU); alejandro.ruiz-padillo@ufsm.br,  (ARP)

Recebido:

7 de fevereiro de 2025

Revisado:

17 de julho de 2025

Aceito para publicação:

29 de agosto de 2025

Publicado:

8 de dezembro de 2025

Editor de Área:

Renato da Silva Lima, Universidade Federal de Itajubá, Brasil

Palavras-chave:

Painel de especialistas.
Segurança ferroviária.
Modelos de escolha discreta.
Transporte ferroviário.
Best-Worst Scaling.

Keywords:

Expert panel.
Railway safety.
Discrete choice models.
Railway transport.
Best-Worst Scaling.

DOI: 10.58922/transportes.v33.e3099

RESUMO

O objetivo do presente estudo é a avaliação dos riscos relacionados às ocupações irregulares próximas às ferrovias, utilizando a técnica Best-Worst Scaling para construir o instrumento de pesquisa. Os dados foram obtidos com a participação de um painel de especialistas, formado por profissionais de diversos setores como academia, governo e empresas ferroviárias, que por meio de um questionário classificaram os riscos relacionados às ocupações no entorno das ferrovias brasileiras. Modelos de escolha discreta, baseados na estrutura logit multinomial, permitiram avaliar a importância das variáveis de risco na operação ferroviária com relação às ocupações no entorno. Os resultados indicam que o risco de atropelamento e tombamento de trens são os mais críticos, demandando medidas urgentes de mitigação, como a instalação de barreiras de segurança, a sinalização adequada de passagens em nível e o controle de acesso aos trilhos. O estudo também destaca que áreas com alta densidade populacional próximas às ferrovias requerem intervenções prioritárias, incluindo melhorias na drenagem e monitoramento da estabilidade geotécnica dos taludes e encostas. Trechos sem ocupações apresentaram menores níveis de risco, reforçando a importância de evitar novas construções nessas áreas para garantir a segurança e a eficiência das ferrovias. As conclusões fornecem subsídios para a gestão da infraestrutura ferroviária e o desenvolvimento de políticas públicas voltadas à mitigação dos impactos das ocupações irregulares, apoiando decisões técnicas e jurídicas focadas nas variáveis mais importantes segundo o caso. Assim, o estudo contribui para uma abordagem mais eficaz e sustentável da segurança ferroviária no Brasil.

ABSTRACT

This study evaluates the risks associated with irregular occupations near railroads. The research instrument was developed using the Best-Worst Scaling technique. Data were collected from a panel of experts representing various sectors, including academia, government, and the railway companies. The panelists completed a questionnaire to assess the risks associated with occupations around Brazilian railroads. Using discrete choice models based on a multinomial logit structure, the relative importance of different risk variables in railway operations was examined in relation to surrounding occupations. The results show that the risks of being struck by trains and derailments are the most critical and demand immediate mitigation efforts, such as installing safety barriers, enhancing level crossing signals, and controlling access to tracks. The study also highlights that areas with high population densities near railroads require priority interventions, including improvements in drainage systems and monitoring the geotechnical stability of slopes and embankments. In contrast, unoccupied areas were identified as lower-risk zones, emphasizing the importance of preventing new construction in these regions to maintain the safety and efficiency of rail operations. These findings provide valuable insights for managing rail infrastructure and developing public policies aimed at mitigating the risks of irregular occupations. They support informed technical and legal decisions tailored to address the most important risks in each specific context. Ultimately, the study contributes to a more effective and sustainable approach to rail safety in Brazil.



1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento, operação e manutenção de uma extensa rede de transportes para escoar a produção é um dos maiores desafios para a logística e transportes de carga no Brasil. Com uma área de 8,5 milhões de quilômetros quadrados e considerado o quinto maior país em extensão do mundo, o Brasil apresenta desafios únicos para a integração eficiente de diferentes modos de transporte, permitindo a locomoção de seus habitantes e a movimentação da economia (Brasil, 2022a; CNI, 2018).

Além dos impactos positivos diretos, o modo ferroviário proporciona benefícios indiretos, tais como a redução do congestionamento nas rodovias, uma vez que possibilita a transferência de parte do transporte de cargas para os trilhos. Essa mudança contribui para a melhoria da segurança rodoviária e para a fluidez do trânsito. Evidência desse impacto é que 47% dos sinistros fatais registrados em rodovias federais brasileiras envolvem caminhões, apesar de esses veículos representarem apenas 5% da frota nacional (Brasil, 2022b). Ademais, a deterioração dos pavimentos causada pelos veículos com maiores capacidades de carga constitui uma preocupação significativa no planejamento e na manutenção da infraestrutura viária (Pais et al., 2019). Essa questão é particularmente relevante em países em desenvolvimento, onde a necessidade de otimizar o consumo de energia e aumentar a eficiência da produção se faz mais premente.

No Brasil, assim como em outros países latino-americanos, o panorama da utilização do modo ferroviário difere daquele observado em nações mais desenvolvidas, como os países europeus e os Estados Unidos, que investiram na diversificação dos modos de transporte de cargas. Por exemplo, Portugal, um país de pequena extensão territorial na Europa, dispõe de uma rede ferroviária de 2.527 km, o que corresponde a uma densidade de 28 m/km² (Infraestruturas de Portugal, 2021; Portal Diplomático, 2020). Já os Estados Unidos possuem a maior rede ferroviária de cargas do mundo, com mais de 225.000 km de trilhos operacionais, com uma densidade de 150 m/km² (AAR, 2020). Em contrapartida, segundo Pieper e Mauch (2007), no início do século XX, as ferrovias desempenharam um papel crucial no transporte de mercadorias no Brasil, devido ao grande volume e peso dos produtos.

A partir da década de 1930, o governo brasileiro adotou uma política rodoviarista com o objetivo de impulsionar o desenvolvimento nacional. Esse direcionamento, derivado em grande parte da falta de financiamento externo após a Segunda Guerra Mundial para infraestrutura, resultou em um progressivo desinteresse político tanto pelo investimento na manutenção e modernização das ferrovias quanto por medidas que incentivassem as empresas a utilizarem esse modo de transporte. Como resultado, apenas um terço da malha ferroviária brasileira está atualmente em condições operacionais, menos de 30.000 km de extensão, número que pouco evoluiu ao longo do último século, resultando em uma densidade de apenas 3 metros por quilômetro quadrado e com extensão real em uso ainda menor (CNI, 2018).

Por outro lado, nesse contexto sociopolítico, a diminuição do uso da infraestrutura ferroviária se combina com a falta de moradia para importantes parcelas da população, como resultado do desenvolvimento da sociedade em diferentes escalas, que gera desigualdades estruturais, tanto econômicas quanto espaciais (Wolfe, 1995). Tais efeitos socioeconômicos, positivos ou negativos, atingem os grupos sociais de maneira distinta, em função de sua localização no território e das interações entre infraestrutura urbana, vizinhança, oferta de serviços e dinâmicas sociais (Romeiro, 2012). Nessa mesma perspectiva, Koga (2001) destaca o caráter territorial da exclusão social sobretudo no acesso à moradia para populações em situação de vulnerabilidade, que, em muitas ocasiões acabam se aglutinando em torno das infraestruturas de transporte e outras áreas de interesse.

É nesse cenário que surgiram as ocupações irregulares próximas aos trilhos, em que parcelas de população passaram a edificar e morar dentro das áreas incluídas nas faixas de domínio e não edificáveis adjacentes às ferrovias, tornando-se uma grande problemática para o desenvolvimento do modo ferroviário no país (Batista, 2019). Tais ocupações revelam a existência de diversos riscos que podem impactar tanto a operação ferroviária quanto a segurança de áreas adjacentes à mesma. A relação entre ferrovias e ocupações irregulares é singular, exigindo uma abordagem integrada para a gestão de riscos, sobretudo no que diz respeito à possível expansão da malha ferroviária ou aumento da capacidade de carga ou frequência de uso da rede existente (Bubeck et al., 2019; Campos et al., 2024).

Ademais, avaliar as variáveis de risco envolvidas nessa situação é uma tarefa extremamente complexa, pois além de medir os riscos de forma individual, é necessário considerar o resultado em conjunto, com todos esses riscos atuam simultaneamente e em graus diferentes para cada caso, dificultando a tomada de decisão dos gestores da infraestrutura e operação ferroviária e do Poder Judiciário sobre as ações a serem tomadas para eventuais reintegrações de posse e/ou mitigação dos riscos identificados. Além disso, o problema de ocupações próximas às ferrovias se configura como uma realidade muito específica do Brasil e de outros países em desenvolvimento, o que implica a inexistência de estratégias de ação ou manuais concretos de avaliação desses riscos no contexto internacional. Por outro lado, mesmo no contexto brasileiro, este tema não foi objeto de atenção dos pesquisadores nem planejadores devido à situação geral das ferrovias na atualidade e o escasso interesse que as comunidades próximas às ferrovias, em muitos casos marginalizadas, recebem (Spode, 2024).

Portanto, esse trabalho tem como objetivo avaliar a importância relativa das variáveis de risco relacionadas às ocupações no entorno das ferrovias, com o intuito de compreender como as variáveis atuam de forma conjunta, desde o ponto de vista tanto para a operação ferroviária como para os moradores próximos, utilizando a técnica *Best-Worst Scaling*. O presente estudo contribui para preencher uma lacuna de pesquisa no tema, pois não foram encontrados outros estudos que analisem conjuntamente os riscos derivados das ocupações próximas às ferrovias nem que ponderem sua importância relativa, comparando diferentes cenários. Além disso, os resultados obtidos poderão contribuir para uma gestão mais eficiente da segurança ferroviária, orientando ações voltadas à mitigação de impactos, ao planejamento sustentável e à melhora da qualidade de vida dos moradores do entorno.

Os modelos de escolha discreta estimados a partir dos dados *Best-Worst Scaling* permitem captar e quantificar as preferências dos especialistas de forma estruturada. A técnica *Best-Worst Scaling* contribui ao forçar a priorização entre os fatores avaliados, diferenciando com maior clareza os riscos mais e menos relevantes. Isso possibilita uma hierarquização mais detalhada dos riscos, adaptada ao contexto brasileiro.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A presença de ocupações no entorno das ferrovias está diretamente relacionada à necessidade dos moradores de atravessarem a linha férrea ou circularem em suas proximidades, especialmente em cidades onde as passagens em nível interrompem o tráfego rodoviário (Se et al., 2023; Spode, 2024). Quando as ferrovias atravessam bairros residenciais ou eixos viários de relevância, pode-se intensificar o fluxo de veículos e pedestres que precisam cruzar os trilhos ou circular nas áreas próximas deles para realizar suas atividades cotidianas. Nesse contexto, a existência de passagens em nível devidamente sinalizadas desempenha um papel fundamental na segurança, uma vez que interseções desprovidas de dispositivos de controle apresentam maiores riscos de sinistros fatais (Guitierre e Direne, 2013; Se et al., 2023).

Adicionalmente, a probabilidade de ocorrência de sinistros e atropelamentos devido à presença de uma linha férrea aumenta significativamente quando esta divide uma região em duas áreas distintas que, embora fisicamente próximas, possuem poucas conexões para o deslocamento de pedestres (Abreu, 2020). Estudos indicam que o comportamento humano é um dos principais fatores que contribuem para sinistros rodoferroviários, mesmo em travessias tecnicamente seguras. A desatenção, a pressa e as violações deliberadas estão entre as causas mais recorrentes e graves de colisões nesses locais (Vivek e Mohapatra, 2023; Russo et al., 2021; Freeman e Rakotonirainy, 2015). Além disso, a velocidade do trem está diretamente associada à gravidade das lesões em sinistros (Ghomi et al., 2016; Wu, Shen e Li, 2022).

Para mitigar esses riscos, a implementação de sinalização adequada em passagens em nível permite reduzir a frequência e a severidade das colisões (Liu et al., 2016). Sistemas ativos de proteção, como cancelas automáticas e barreiras físicas, demonstram maior eficiência em comparação aos sistemas passivos. Adicionalmente, a inserção de marcações de perigo no pavimento e barreiras horizontais contribui para a redução do número de sinistros fatais (Se et al., 2023). Estratégias como monitoramento por câmeras e fiscalização de infrações reforçam o cumprimento das regras de trânsito (Starcevic, Baric e Pilko, 2016). Melhorias na geometria viária e a adequação dos tempos de fechamento das cancelas também são essenciais para a prevenção de violações, devendo a instalação de sistemas automatizados considerar as especificidades de cada local (Evans e Hughes, 2019). Além disso, a adoção de sistemas inteligentes de sinalização integrados a aplicativos de navegação e alertas em dispositivos móveis apresenta-se como uma solução inovadora para a segurança em travessias (Nedeliakova et al., 2020).

Continuando com o segundo risco envolvido, os sinistros ferroviários decorrentes de tombamento ou descarrilamento dos veículos, embora menos frequentes, podem acarretar consequências severas, especialmente quando envolvem materiais perigosos ou composições extensas (Zhao, Dick e Kang, 2023). Ferrovias com sinalização moderna e tráfego denso registram menores taxas de descarrilamento. Em pátios ferroviários, tais incidentes apresentam menor severidade em comparação com os ocorridos em linhas principais, embora possam ser mais frequentes (Liu, Saat e Barkan, 2017). A proximidade de moradias pode agravar os impactos desses sinistros (Ebrahimi et al., 2021).

Os descarrilamentos são influenciados por diversos fatores, incluindo falhas humanas, como erros no manuseio do trem, uso inadequado de chaves, operação incorreta de freios e desobediência a sinais e limites de velocidade (Zhang, Turla e Liu, 2021). Além disso, segundo Gerlin Neto (2012), fraturas nos trilhos decorrentes de defeitos estruturais estão diretamente relacionadas a esses eventos. Condições ambientais também afetam a integridade da via férrea, com altas temperaturas aumentando o risco de flambagem dos trilhos e incêndios em vegetação, enquanto baixas temperaturas podem comprometer o suporte da via (Garmabaki et al., 2024). Assim, a identificação e prevenção desses problemas são fundamentais para evitar incidentes (United States, 2006; Liu, 2015; Zhang, Turla e Liu, 2021).

A segurança operacional ferroviária também depende da geometria da via. O uso da superelevação em curvas reduz o desgaste no contato metal-metal e o risco de tombamento decorrente da força centrífuga (Rosa e Ribeiro, 2020). A infraestrutura ferroviária deve assegurar boa geometria da via e ausência de interferências, considerando a velocidade das composições ferroviárias (Schneider, 2005; Shang, 2015; Dantas, 2014).

Em relação ao risco de inundação, a drenagem adequada da ferrovia é essencial para evitar alagamentos que comprometam sua funcionalidade e provoquem erosões (Rocha, 2016). A água também contribui para a desestabilização de taludes, tornando a drenagem superficial e profunda um fator crítico para garantir a estabilidade dessas estruturas (Santos, 2017; Rosa e Ribeiro, 2020).

Portanto, a má drenagem caracteriza-se como um empecilho para o transporte ferroviário eficiente, pois a interrupção da via consequentemente colabora para a interrupção do transporte de mercadorias, causando impactos em toda a cadeia logística e trazendo riscos operacionais e financeiros, como ocorreu durante as inundações no Rio Grande do Sul, em maio de 2024 (Henkes e Henkes, 2024).

A ocupação irregular das proximidades ferroviárias representa um desafio adicional, pois atividades industriais, comerciais e agrícolas podem causar danos à infraestrutura ao obstruírem sistemas de drenagem com resíduos sólidos e esgoto. O descarte inadequado desses materiais pode resultar na deterioração da infraestrutura e na instabilidade de taludes, levando a erosões e rupturas (Silveira, 2017). Além disso, eventos meteorológicos extremos aumentam o risco de inundações nas proximidades das ferrovias (Panahi et al., 2023), sendo fatores geoambientais como topografia, uso do solo e proximidade de corpos hídricos determinantes na suscetibilidade a esses eventos.

Finalmente, a estabilidade geotécnica das ferrovias é um aspecto crítico, uma vez que o tráfego ferroviário pode gerar vibrações que se propagam para o solo e edificações adjacentes, podendo causar desconforto ou danos estruturais (Xin et al., 2020). Além disso, as terras que conformam os maciços e taludes das ferrovias devem ser capazes de resistir às solicitações da própria infraestrutura, da passagem dos trens e dos terrenos adjacentes sem que haja deformação excessiva (Congress e Puppala, 2021). A presença de edificações próximas aos trilhos e outras atividades humanas irregulares no entorno podem intensificar os riscos de movimentação de massas nos taludes, devido, principalmente, às sobrecargas criadas e à infiltração de água nos poros e trincas existentes no solo ou nas descontinuidades das rochas. Em contrapartida, as atividades humanas nessas encostas também podem contribuir para a instabilidade e erosão dos taludes e no seu consequente rompimento, podendo causar obstrução de linhas ferroviárias, perdas de produtos transportados e, em casos graves, resultar em fatalidades (Silveira, 2017; Campos et al., 2024; Gattinoni et al., 2021).

Diante desse cenário, a gestão integrada dos riscos relacionados às ferrovias e suas ocupações irregulares torna-se essencial. A urbanização desordenada e o uso inadequado do solo intensificam os desafios, exigindo a análise detalhada dos riscos envolvidos, identificando aqueles que sejam mais relevantes nessas situações e, assim, projetar medidas preventivas de forma mais direcionada. A implementação de um planejamento estratégico eficaz e a alocação eficiente de recursos são indispensáveis para garantir a segurança, a sustentabilidade e a funcionalidade do sistema ferroviário (Bubeck et al., 2019; Campos et al., 2024).

3. MÉTODO

O método proposto consiste em quatro etapas: (i) elaboração de um instrumento de pesquisa utilizando a técnica *Best-Worst Scaling* (BWS); (ii) coleta de dados a partir de um painel de especialistas; (iii) modelagem utilizando modelos de escolha discreta; e (iv) análise de resultados e discussão.

Desta forma, primeiramente as variáveis de risco identificadas na literatura e descritas anteriormente foram incluídas no questionário de pesquisa utilizando a técnica BWS (Louviere e Swait, 1997). Essa técnica permite obter informações sobre as preferências dos indivíduos, que selecionam sua “melhor” (“*best*”) e “pior” (“*worst*”) opção dentro de um conjunto de alternativas, reduzindo a carga cognitiva dos entrevistados em relação aos experimentos tradicionais de escolha. Essas escolhas podem ser modeladas através de modelos de escolha discreta. Existem três tipos de BWS (objeto, perfil e multiperfil) e para este trabalho foi escolhido o caso perfil, que consiste na apresentação de níveis de atributos individuais (níveis dos riscos) que formam um determinado cenário, e os indivíduos realizam suas escolhas valorizando explicitamente o perfil criado em vez dos próprios atributos, em vez de focar nos próprios atributos (Louviere et al., 2015).

Na aplicação da técnica BWS, a avaliação “best” corresponde ao cenário mais desfavorável, que apresenta mais risco, tanto aos moradores, quanto à operação ferroviária, enquanto a avaliação “worst” representa o cenário menos desfavorável, que apresenta menos risco. Essa interpretação é coerente com a lógica da técnica, na qual os participantes identificam como “best” o fator de maior preocupação e como “worst” aquele de menor preocupação relativa. Os níveis utilizados correspondem a uma escala de risco tradicional de cinco níveis (baixíssimo, baixo, médio, alto, altíssimo) (Brasil, 2017), a partir de indicadores que aumentam seu nível de periculosidade.

Assim, o risco de atropelamento aumenta caso os moradores precisem atravessar a linha férrea onde não exista passagem em nível sinalizada, ou necessitem circular pelas proximidades. O risco de inundação é aumentado caso não existam dispositivos de drenagem ou estejam obstruídos ou o local possua histórico de inundações, descarte incorreto de resíduos domiciliares e esgoto que dificultem a drenagem. O risco devido ao tombamento aumenta quando a velocidade do trem não é adequada ao projeto geométrico da ferrovia e quando a linha férrea está acima da cota das edificações do entorno. Por fim, o risco geotécnico aumenta se os taludes de corte e aterro não possuírem os fatores de segurança previstos nas normas vigentes.

O questionário foi composto por três seções:

- (i) caracterização do respondente (experiência, área de atuação, formação profissional);
- (ii) experimento de preferência declarada (PD) composto por alternativas de escolha. Em cada alternativa, os entrevistados avaliaram dois cenários, cada um representando uma combinação de níveis de risco. A pergunta orientadora da escolha foi: *“Considerando as características de cada cenário apresentado, qual deles representa, em sua percepção, o mais preocupante?”*;
- (iii) exercício Best-Worst a partir do cenário escolhido em cada alternativa no experimento de PD (perfis de escolha). Para cada perfil selecionado (ou seja, o cenário considerado mais perigoso na etapa anterior), os respondentes foram solicitados a indicar (com base nos níveis de risco apresentados) qual variável era a mais preocupante (“best”) e a menos preocupante (“worst”). A pergunta apresentada foi: *“No cenário escolhido, qual o atributo que você considera o mais preocupante e o menos preocupante?”*.

Essa abordagem combinada permite obter informações complementares: a escolha binária PD captura a avaliação global de cenários, enquanto o exercício Best-Worst revela a contribuição relativa dos atributos individuais para essa percepção de risco. O questionário foi apresentado a um painel de especialistas (Turoff, 1970) composto por profissionais relacionados às ferrovias, de três eixos diferentes de atuação: acadêmico (pesquisadores da área), governamental (órgãos públicos gestores das ferrovias) e empresarial (operadoras do ramo ferroviário), com o objetivo de obter visões diversificadas e completas acerca da temática. Os dados foram coletados nos meses de abril e maio do ano de 2024, de forma online, utilizando a plataforma *Google Forms*.

Considerando a complexidade que um projeto fatorial completo (incluindo todas as combinações possíveis de variáveis de risco e seus níveis) imporia aos respondentes, foi utilizado um projeto experimental eficiente com o intuito de reduzir o número de alternativas de escolha diferentes que seriam utilizadas no questionário de pesquisa para o experimento de PD. O projeto eficiente foi elaborado no pacote computacional Ngene (ChoiceMetrics, 2014) utilizando valores iniciais provenientes da revisão bibliográfica e uma avaliação prévia dentro de um grupo focal local. O projeto resultou em 9 alternativas de escolha, apresentadas na Figura 1.

Alternativa 1		
Risco	Cenário 1	Cenário 2
Geotécnico	Baixo	Altíssimo
Atropelamento	Alto	Baixíssimo
Tombamento	Baixíssimo	Alto
Inundação	Alto	Baixo

Alternativa 2		
Risco	Cenário 1	Cenário 2
Geotécnico	Altíssimo	Baixo
Atropelamento	Baixo	Alto
Tombamento	Baixo	Alto
Inundação	Médio	Baixíssimo

Alternativa 3		
Risco	Cenário 1	Cenário 2
Geotécnico	Médio	Médio
Atropelamento	Baixo	Alto
Tombamento	Altíssimo	Baixíssimo
Inundação	Médio	Médio
Alternativa 4		
Risco	Cenário 1	Cenário 2
Geotécnico	Médio	Baixo
Atropelamento	Médio	Baixo
Tombamento	Alto	Baixo
Inundação	Baixíssimo	Altíssimo
Alternativa 5		
Risco	Cenário 1	Cenário 2
Geotécnico	Alto	Baixíssimo
Atropelamento	Alto	Baixo
Tombamento	Baixíssimo	Altíssimo
Inundação	Baixo	Médio
Alternativa 6		
Risco	Cenário 1	Cenário 2
Geotécnico	Baixíssimo	Médio
Atropelamento	Altíssimo	Baixíssimo
Tombamento	Alto	Baixíssimo
Inundação	Baixíssimo	Alto
Alternativa 7		
Risco	Cenário 1	Cenário 2
Geotécnico	Baixíssimo	Alto
Atropelamento	Médio	Médio
Tombamento	Baixo	Médio
Inundação	Alto	Baixo
Alternativa 8		
Risco	Cenário 1	Cenário 2
Geotécnico	Alto	Baixíssimo
Atropelamento	Baixíssimo	Médio
Tombamento	Médio	Médio
Inundação	Baixo	Alto
Alternativa 9		
Risco	Cenário 1	Cenário 2
Geotécnico	Baixo	Alto
Atropelamento	Baixíssimo	Altíssimo
Tombamento	Médio	Baixo
Inundação	Altíssimo	Baixíssimo

Figura 1. Alternativas apresentadas ao painel de especialistas.

Uma vez elaborado o questionário, que foi submetido inicialmente a uma aplicação piloto para garantir a adequação do mesmo e corrigir possíveis problemas de funcionamento ou compreensão, na sequência foi aplicado ao painel de especialistas na versão definitiva. Os especialistas que responderam ao questionário apresentaram heterogeneidade geográfica e de área de atuação, com profissionais na área de ferrovias, das regiões Sul, Sudeste, Norte e Centro-Oeste do Brasil. A maioria dos respondentes possui pós-graduação e mais de 10 anos de experiência nos três eixos de atuação propostos. O painel de especialistas foi composto por um total de 39 profissionais, de forma balanceada entre as três áreas de atuação (acadêmica, pública e empresarial), superando assim o número mínimo de 10 componentes por grupo estabelecido (Turoff, 1970). O perfil dos respondentes é apresentado na Figura 2.



Figura 2. Perfil dos respondentes do painel de especialistas.

Os dados coletados do painel de especialistas foram analisados estimando modelos de escolha discreta, baseados na maximização da utilidade aleatória seguindo a abordagem utilizada em BWS (Louviere e Swait, 1997; Louviere et al., 2015). Foram estimados modelos logit multinomial (MNL) para as respostas “best” e “worst” separadamente, utilizando o pacote Apollo (Hess e Palma, 2019). O MNL é o modelo mais frequentemente utilizado para modelagem de escolha discreta. No caso dos dados coletados a partir da técnica BWS, o MNL permite estimar separadamente a importância relativa dos atributos e dos níveis de cada um deles, pois os próprios atributos com seus níveis se configuram como as alternativas de escolha. Essa é uma vantagem significativa em relação à modelagem usando unicamente dados de PD (mas detalhes sobre este ponto podem ser encontrados em Larranaga et al., 2019; Louviere e Swait, 1997; Louviere et al., 2015).

Os parâmetros estimados no MNL foram utilizados para calcular os pesos normalizados das variáveis de risco, utilizando a Equação 1 conforme descrito em Larranaga et al. (2019):

$$Peso_m = \frac{e^{ASC_m}}{\sum_j e^{ASC_j}} \quad (1)$$

onde ASC_m é a constante estimada específica do atributo m e $Peso_m$ a importância relativa.

Em síntese, o desenvolvimento do trabalho envolveu a aplicação de três metodologias distintas e complementares. Primeiramente, utilizou-se a técnica de preferência declarada e *Best-Worst Scaling*

para a construção do instrumento de pesquisa, permitindo que especialistas reunidos em um painel comparassem, mediante um experimento de preferência declarada, cenários compostos por diferentes níveis de risco, o que facilitou a compreensão e a avaliação das alternativas apresentadas por parte dos respondentes. Em seguida, foram aplicados modelos Logit Multinomial com o objetivo de, a partir das respostas obtidas no questionário, estimar as importâncias relativas atribuídas às variáveis analisadas para cada risco.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos modelos MNL para as respostas “best” e “worst” são apresentados na Tabela 1. É possível verificar que os dois modelos diferem entre si, embora quando foram incorporadas características dos respondentes, não foram significativamente diferentes de zero para 95% de confiança, o que indica coerência interna do painel no conjunto.

Tabela 1: Resultados dos modelos MNL para as variáveis de risco

Variável de risco	Best		Worst	
	Constante estimada	Estat.-t	Constante estimada	Estat.-t
Geotécnico	-1,040	-2,682	0,6611	1,123
Atropelamento	-1,021	-2,615	1,542	2,711
Tombamento/descarrilamento	-1,006	-2,913	0,7972	1,741
Inundação	(variável fixada)		(variável fixada)	
Pseudo-R ²	0,477		0,533	
Número de observações:	342		342	

A diferença entre as importâncias obtidas com as respostas “best” e “worst” nos modelos MNL indica que as pessoas utilizaram critérios diferentes para identificar as características mais toleráveis e as mais impeditivas. Ambas as respostas refletem diferentes pontos de vista: enquanto uma foca nos impedimentos e barreiras, a outra considera o que estimula ou motiva (Larranaga et al., 2019). No contexto de riscos, a análise das respostas “best” pode revelar quais fatores são percebidos como os mais críticos e que necessitam de maior atenção e mitigação imediata, em um cenário em que existem ocupações no entorno da ferrovia e, portanto, representam os maiores perigos para a segurança e a operação contínua. Por outro lado, as respostas “worst” destacam os fatores que, embora ainda sejam riscos, são vistos como menos críticos ou mais toleráveis em uma situação em que não existem ocupações próximas à ferrovia. Assim, esses fatores podem não exigir uma intervenção tão urgente, mas ainda assim precisam ser monitorados e gerenciados para evitar problemas futuros.

A Figura 3 apresenta os resultados das importâncias relativas calculadas a modo de pesos das variáveis de risco para as respostas “best” e “worst” com a aplicação do modelo MNL, segundo a Equação 1. Assim, analisando os resultados advindos das respostas “best”, a variável de maior impacto está relacionada ao risco de atropelamento (53%). Esse resultado pode ser decorrente dessa variável ser a que mais coloca em risco imediato a vida dos moradores no entorno, seguida pela variável de tombamento (25%), que também apresenta um risco iminente à vida, além da possibilidade de maior prejuízo financeiro. Quando os trens tombam ou descarrilam, as cargas transportadas são danificadas e a operação do trecho é interrompida por um tempo, afetando também a área ao redor do sinistro (Ebrahimi et al., 2021).

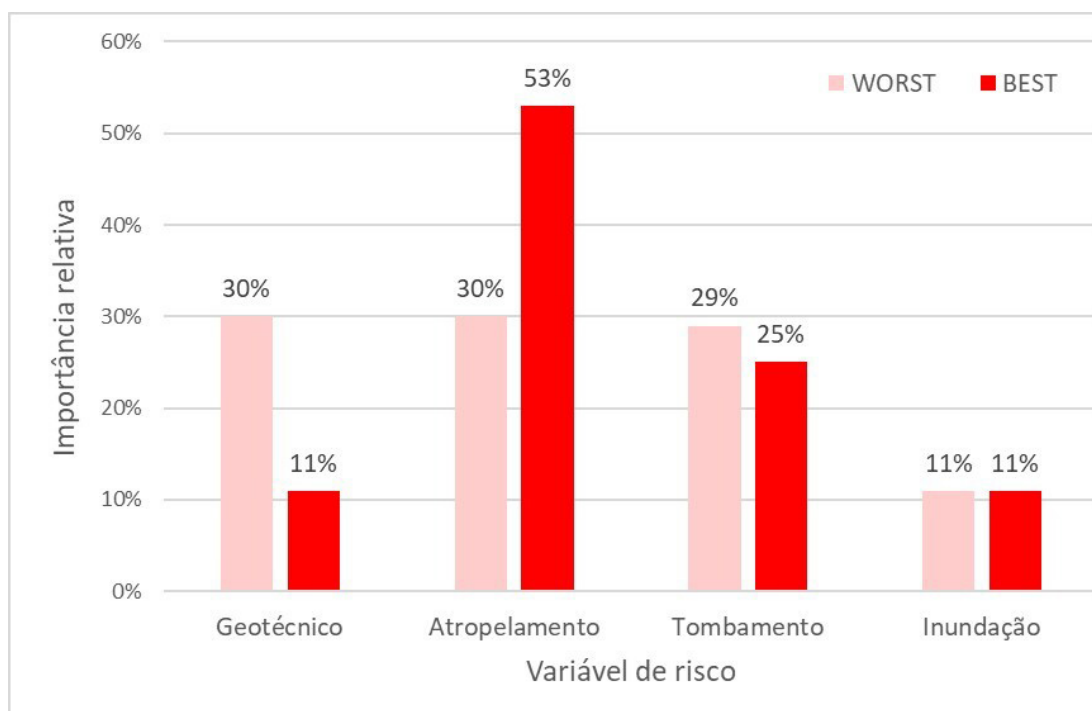


Figura 3. Importâncias relativas obtidas para os riscos.

Em seguida, as variáveis relativas ao risco geotécnico e de inundação são as menos preocupantes para os entrevistados (11%). Isso pode ser explicado pelo fato de que essas variáveis não apresentam um risco imediato aos moradores, pois a instabilidade dos taludes e a obstrução das obras de drenagem da ferrovia geralmente resultam de processos mais prolongados, exceto em casos de grandes catástrofes climáticas e, portanto, os especialistas as avaliaram como riscos indiretos e menos imediatos aos moradores (Rosa e Ribeiro, 2020). Além disso, são riscos que podem estar presentes independentemente da existência de moradias no entorno das ferrovias. É válido salientar que atributos como inundações exercem forte influência em nível regional. Dessa forma, tanto as inundações quanto os riscos geotécnicos devem receber maior atenção no planejamento e na execução de projetos de engenharia em comparação com a implantação de passagens para pedestres e veículos (Henkes e Henkes, 2024). Esse cenário contribui para que os respondentes sintam maior segurança em determinados aspectos em relação a outros.

Por outro lado, ao analisar as respostas “worst”, observa-se que os riscos mais preocupantes são o atropelamento e o risco geotécnico (30%), seguido do risco de tombamento, com um impacto quase igual aos anteriores (29%). Por último, o risco de inundações novamente é classificado como o menos preocupante (11%). Assim, mesmo quando analisados em um cenário menos preocupante, esses riscos ainda mantêm um impacto significativo, sugerindo que, apesar de serem mais toleráveis, suas consequências são sérias o suficiente para exigir medidas de mitigação adequadas. Portanto, a partir dos resultados das importâncias no cenário “worst”, em que a ferrovia não apresenta ocupações no entorno, é possível perceber que os pesos são mais balanceados. Isto pode levar a uma distribuição mais uniforme das preocupações, onde nenhum risco domina excessivamente a avaliação. Por outro lado, quando comparados com a percepção dos especialistas sobre os efeitos dos riscos identificados como mais importantes no cenário com ocupações (“best”), a capacidade de gerenciar esses riscos de forma eficaz para mitigar suas consequências em situações normais é indispensável.

Áreas com maior densidade populacional nas proximidades da ferrovia tendem a demandar maior atenção em termos de intervenções. No entanto, trechos com pouca ou nenhuma ocupação geralmente apresentam níveis de risco mais baixos, o que reforça a necessidade de restringir futuras ocupações nessas regiões (Batista, 2019). Assim, os resultados obtidos da aplicação do método proposto a partir das contribuições do painel de especialistas mostram a importância da implementação de medidas corretivas, com prioridade para a mitigação do risco de atropelamento, considerado o mais crítico. Para tanto, recomenda-se a instalação de passagens em nível devidamente sinalizadas, o reforço da sinalização em trechos próximos a áreas ocupadas, bem como a limitação do acesso direto dos moradores aos trilhos, direcionando-os para locais de travessia mais seguros, conforme resultados obtidos em outros estudos (Se et al., 2023; Guitierre e Direne, 2013). A conscientização da população sobre a importância de uma travessia segura e os cuidados necessários também deve ser incentivada.

Contudo, os demais riscos não podem ser descuidados, exigindo a adoção de medidas como a melhoria da drenagem longitudinal, a remoção de resíduos depositados indevidamente, o monitoramento de taludes e a realização de manutenção periódica da infraestrutura ferroviária, garantindo, assim, uma operação segura e eficiente (United States, 2006; Liu, 2015; Zhang, Turla e Liu, 2021; Bubeck et al., 2019; Campos et al., 2024; Starcevic, Baric e Pilko, 2016).

Atributos como inundações e risco geotécnico possuem influência regional e, embora tenham sido avaliados como menos severos do que risco de atropelamento, não devem ser negligenciados. Nesse sentido, a engenharia tem o dever de realizar projetos eficientes de drenagem, contenção de encostas, estabilização de taludes além de um correto monitoramento hidrogeotécnico, uma vez que os efeitos desses riscos podem impactar amplamente a operação ferroviária e as comunidades no entorno dos trilhos, principalmente considerando eventos extremos em que suas influências aumentam e que cada vez estão ocorrendo com mais frequência.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O transporte ferroviário oferece importantes vantagens para o deslocamento de mercadorias e matérias-primas, destacando-se pela elevada capacidade de carga, menor impacto ambiental e maior viabilidade econômica em determinados segmentos logísticos quando comparado ao modo rodoviário. Nesse sentido, considerando a importância das ferrovias como infraestrutura estratégica no Brasil e os desafios para a operação e manutenção derivados da existência de ocupações no entorno dos trilhos, torna-se imprescindível um planejamento eficaz e a alocação eficiente de recursos para mitigação dos riscos relacionados. Este trabalho avaliou a importância relativa das variáveis de risco relacionadas às ocupações no entorno das ferrovias, tanto para permitir a operação ferroviária sem interferências como para garantir a segurança dos moradores. Para isso, foi elaborado instrumento de pesquisa utilizando a técnica *Best-Worst Scaling*, coletando dados de um painel de especialistas e estimando modelos logit multinomiais para as respostas “melhores” (“best”) e “piores” (“worst”), as quais representam os cenários em que existem tais ocupações (a mais preocupante) e onde não (menos preocupante), respectivamente.

Os resultados dos modelos estimados indicaram uma diferença entre as importâncias obtidas com as respostas “best” e “worst”, sugerindo que as pessoas utilizaram critérios diferentes para identificar as características mais e menos críticas. A análise das respostas “best” pode revelar quais fatores são percebidos como os mais preocupantes e que necessitam de maior atenção imediata em caso de existência de moradias próximas à ferrovia, enquanto as “worst” podem representar fatores que, embora ainda sejam riscos, são vistos como menos importantes em situações normais. As variáveis que apresentaram maior preocupação para os especialistas foram atropelamento e

tombamento para as respostas “*best*” e atropelamento e risco geotécnico para as “*worst*”. O risco de inundação foi o menos preocupante em ambos modelos.

Os resultados obtidos contribuem significativamente para a literatura ao abordar uma lacuna importante na análise de riscos relacionados às ocupações irregulares no entorno das ferrovias, pois confirmam a influência dessas edificações na avaliação de risco para a infraestrutura e operação ferroviárias, assim como para os moradores próximos. As importâncias relativas identificadas permitem igualmente orientar as decisões dos gestores e responsáveis no tema (tanto técnica como juridicamente) para mitigar esses riscos. Ainda, os resultados evidenciam a complexidade da relação entre as ferrovias e as ocupações irregulares em seu entorno, uma vez que as análises realizadas e as ponderações obtidas destacam que as variáveis de risco atuam de forma simultânea nos locais, porém contribuindo com intensidades distintas e de maneira diferente para a insegurança. Dessa forma, faz-se necessária uma abordagem integrada para a gestão desses riscos, mais especificamente no caso de existência de ocupações próximas, diante da influência comprovada neste estudo.

Dessa forma, uma abordagem recomendada é desenvolver um plano de ação abrangente que inclua uma combinação de medidas para garantir uma infraestrutura adequada, monitoramento regular, campanhas de conscientização e treinamento contínuo. Por exemplo, a instalação de barreiras de segurança e passagens em nível seguras pode reduzir significativamente os atropelamentos, enquanto a manutenção preventiva da qualidade da geometria da via permanente e o controle de carga podem ajudar a prevenir tombamentos. Outras medidas voltadas ao monitoramento e reforço de taludes e limpeza de obras de drenagem seriam importantes para gerenciar riscos geotécnicos e de inundações.

Como limitações do estudo, é importante salientar que as percepções de cada grupo de especialistas que compunham o painel não foram objeto de análise separadamente. As percepções foram analisadas de forma agregada e se correspondem à conjuntura específica do momento em que o painel foi conduzido. Além disso, o estudo está baseado nessas percepções dos especialistas, não em dados objetivos de ocorrências, limitando sua contribuição para a elaboração de políticas de prevenção mais direcionadas. Assim, recomenda-se realizar novas coletas de dados e estimar modelos com estruturas mais flexíveis incluindo heterogeneidades, assim como analisar os riscos identificados em diferentes contextos geográficos e operacionais. Igualmente, trabalhos futuros poderiam incluir a aplicação dos impactos obtidos e a avaliação de trechos de ferrovia que merecem atenção em caso de existência de ocupações no entorno.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

PSR: Conceitualização, Escrita — rascunho original, Investigação, Metodologia, Visualização; LEC: Curadoria de dados, Investigação; MB: Aquisição de financiamento, Escrita — revisão e edição, Metodologia, Supervisão; AMLU: Análise formal, Escrita — revisão e edição, Metodologia, Validação; ARP: Administração de projetos, Conceitualização, Escrita — revisão e edição, Metodologia, Supervisão.

DECLARAÇÃO DE CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram que não há conflito de interesses.

USO DE TECNOLOGIA ASSISTIDA POR INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Os autores declaram que nenhuma ferramenta de inteligência artificial foi usada na pesquisa aqui relatada ou na preparação deste artigo.

DECLARAÇÃO DE DISPONIBILIDADE DE DADOS

Os dados, modelos e códigos que suportam os resultados deste estudo estão disponíveis mediante solicitação ao autor correspondente.

REFERÊNCIAS

- Abreu, V.H.S. (2020) Atropelamentos ferroviários: uma revisão da literatura. *Revista Brasileira de Estudos de Segurança Pública*, v. 13, n. 1, p. 41-48. DOI: 10.29377/rebsp.v13i1.460.
- AAR (2020) *Overview of America's Freight Railroads*. Washington, D.C. Disponível em: <<https://www.aar.org/wp-content/uploads/2018/08/Overview-of-Americas-Freight-RRs.pdf>> (acesso em 07/02/2025).
- Batista, M.O. (2019) *A Influência dos Usos Irregulares e das Características da Faixa de Domínio na Segurança Viária de Rodovias Federais Brasileiras*. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-graduação em Transportes, Universidade de Brasília. Brasília. Disponível em: <http://repositorio2.unb.br/bitstream/10482/37225/1/2019_MaiaraOliveiraBatista.pdf> (acesso em 07/02/2025).
- Brasil, Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão (2017) *Matriz de Riscos: Gestão de Integridade, Riscos e Controles Internos da Gestão*. Disponível em: <<https://www.gov.br/transportes/pt-br/centrais-de-conteudo/170609-matriz-de-riscos-v1-1-pdf>> (acesso em 07/02/2025).
- Brasil, Ministério das Relações Exteriores (2022a) *Geografia*. Disponível em: <<https://www.gov.br/mre/pt-br/embaixada-bogota/o-brasil/geografia>> (acesso em 07/02/2025).
- Brasil, Polícia Rodoviária Federal – PRF (2022b) *Anuário Estatístico da Polícia Rodoviária Federal*. Disponível em: https://www.gov.br/prf/pt-br/acesso-a-informacao/dados-abertos/diest-arquivos/anuario-2022_final.html (acesso em 07/02/2025).
- Bubeck, P.; L. Dillenardt; L. Alfieri et al. (2019) Global warming to increase flood risk on European railways. *Climatic Change*, v. 155, n. 1, p. 19-36. DOI: 10.1007/s10584-019-02434-5.
- Campos, P.C.D.; D.L. Rosa; M.E.S. Marques et al. (2024) Predisposition to mass movements on railway slopes: insights from field data on geotechnical and pluviometric influences. *Infrastructures*, v. 9, n. 10, p. 168. DOI: 10.3390/infrastructures9100168.
- ChoiceMetrics (2014) *Ngene 1.1.2 User Manual & Reference Guide*. Australia.
- CNI (2018) *Transporte Ferroviário: Colocando a Competitividade nos Trilhos*. Brasília.
- Congress, S.S.C. and A.J. Puppala (2021) Geotechnical slope stability and rockfall debris related safety assessments of rock cuts adjacent to a rail track using aerial photogrammetry data analysis, *Transportation Geotechnics*, v. 30, p. 100595. DOI: 10.1016/j.trgeo.2021.100595.
- Dantas, R. (2014) *Modelo de Gestão de Ativos da Via-Férrea Baseado em Análise Probabilística de Custos por Ciclo de Vida: Aplicação ao Caso da Rede Ferroviária Nacional*. Dissertação (mestrado). Instituto Superior Técnico de Lisboa. Lisboa. Disponível em: <<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/563345090413073/dissertacao.pdf>> (acesso em 07/02/2025).
- Ebrahimi, H.; F. Sattari; L. Lefsrud et al. (2021) Analysis of train derailments and collisions to identify leading causes of loss incidents in rail transport of dangerous goods in Canada. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, v. 72, p. 104517. DOI: 10.1016/j.jlp.2021.104517.
- Evans, A.W. e P. Hughes (2019) Traverses, delays and fatalities at railway level crossings in Great Britain. *Accident; Analysis and Prevention*, v. 129, p. 66-75. DOI: 10.1016/j.aap.2019.05.006. PMid:31128442.
- Freeman, J. e A. Rakotonirainy (2015) Mistakes or deliberate violations? A study into the origins of rule breaking at pedestrian train crossings. *Accident; Analysis and Prevention*, v. 77, p. 45-50. DOI: 10.1016/j.aap.2015.01.015. PMid:25681804.
- Garmabaki, A.H.S.; M. Naseri; J. Odelius et al. (2024) Assessing climate-induced risks to urban railway infrastructure. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. DOI: 10.1007/s13198-024-02413-9.
- Gattinoni, P.; L. Scesi; L. Arieni et al. (2021) A new rating system for hydrogeological risk management along railway infrastructures in Prealpine zone (northern Italy). *Innovative Infrastructure Solutions*, v. 6, n. 2, p. 120. DOI: 10.1007/s41062-021-00488-y.
- Gerlin Neto, V. (2012) *Influência da Soldagem por Caldeamento na Tenacidade à Fratura e Resistência à Fadiga de Trilhos Ferroviários*. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Ilha Solteira. Disponível em: <<https://acervodigital.unesp.br/handle/11449/94474>> (acesso em 07/02/2025).
- Ghomi, H.; M. Bagheri; L.P. Fu et al. (2016) Analyzing injury severity factors at highway railway grade crossing accidents involving vulnerable road users: a comparative study. *Traffic Injury Prevention*, v. 17, n. 8, p. 833-841. DOI: 10.1080/15389588.2016.1151011. PMid:26980425.
- Guitierre, L.R. e R.P. Direne (2013) *Avaliação dos Níveis de Ruído Provocados por Trens em Bairros Residenciais Próximos ao Centro de Curitiba*. Monografia (trabalho de conclusão de curso). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba. Disponível em: <https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8383/2/CT_EPC_2012_2_12.PDF> (acesso em 07/02/2025).
- Henkes, J.A. e K.W. Henkes (2024) Um relato sobre a tragédia climática e ambiental: os efeitos das enchentes de maio de 2024 no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Meio Ambiente & Sustentabilidade*, v. 2, p. 190-214. Disponível em: <https://rbmaes.emnuvens.com.br/revista/article/view/416> (acesso em 07/02/2025).
- Hess, S. e D. Palma (2019) Apollo: a flexible, powerful and customisable freeware package for choice model estimation and application. *Journal of Choice Modelling*, v. 32, p. 100170. DOI: 10.1016/j.jocm.2019.100170.
- Infraestruturas de Portugal (2021) *Rede Ferroviária*. Disponível em: <<https://www.infraestruturasdeportugal.pt/pt-pt/infraestruturas/rede-ferroviaria>> (acesso em 07/02/2025).
- Koga, D. (2001) *Cidades Territorializadas entre Enclaves e Potências*. Tese (doutorado). Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. São Paulo. Disponível em: <<https://repositorio.pucsp.br/jspui/handle/handle/42516>> (acesso em 07/02/2025).
- Larranaga, A.M.; J. Arellana; L.I. Rizzi et al. (2019) Using best-worst scaling to identify barriers to walkability: a study of Porto Alegre, Brazil. *Transportation*, v. 46, n. 6, p. 2347-2379. DOI: 10.1007/s11116-018-9944-x.

- Liu, J.; B. Bartnik; S.H. Richards et al. (2016) Driver behavior at highway-rail grade crossings with passive traffic controls: a driving simulator study. *Journal of Transportation Safety & Security*, v. 8, n. sup1, p. 37-55. DOI: 10.1080/19439962.2015.1043478.
- Liu, X. (2015) Statistical temporal analysis of freight train derailment rates in the United States: 2000 to 2012. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, v. 2476, n. 1, p. 119-125. DOI: 10.3141/2476-16.
- Liu, X.; M.R. Saat e C.P.L. Barkan (2017) Freight-train derailment rates for railroad safety and risk analysis. *Accident; Analysis and Prevention*, v. 98, p. 1-9. DOI: 10.1016/j.aap.2016.09.012. PMID:27676241.
- Louviere, J. e J.D. Swait (1997) *Separating Weights and Scale Values in Conjoint Tasks Using Choices of Best and Worst Attribute Levels: Technical Report*. Sydney: Centre for the Study of Choice, University of Technology Sydney.
- Louviere, J.J.; T.N. Flynn e A.A.J. Marley (2015). *Best-Worst Scaling: Theory, Methods and Applications*. Cambridge: Cambridge University Press. DOI: 10.1017/CBO9781107337855.
- Nedeliakova, E.; L. Lizbetinova; R. Stasiak-Betlejewska et al. (2020) Application of the reason model within risk management on railway crossings: a case study. *Scientific Journal of Silesian University of Technology Series Transport*, v. 109, p. 129-140. DOI: 10.20858/sjsutst.2020.109.12.
- Pais, J.C.; H. Figueiras; P. Pereira et al. (2019) The pavements cost due to traffic overloads. *The International Journal of Pavement Engineering*, v. 20, n. 12, p. 1463-1473. DOI: 10.1080/10298436.2018.1435876.
- Panahi, M.; K. Khosravi; F. Rezaie et al. (2023) A country wide evaluation of Sweden's spatial flood modeling with optimized convolutional neural network algorithms. *Earth's Future*, v. 11, n. 11, p. e2023EF003749. DOI: 10.1029/2023EF003749
- Pieper, S.L. e E.P. Mauch (2007) A importância das ferrovias para o desenvolvimento econômico brasileiro. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, n. 74. Disponível em: <<http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/br>> (acesso em 07/02/2025).
- Portal Diplomático (2020) *Sobre Portugal*. Disponível em: <<https://portaldiplomatico.mne.gov.pt/sobre-portugal>> (acesso em 07/02/2025).
- Rocha, L.B. (2016) *Avaliação do Impacto do Estado de Conservação dos Dormentes na Operação Ferroviária*. Monografia (trabalho de conclusão de curso). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. Disponível em: <<https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/37668>> (acesso em 07/02/2025).
- Romeiro, A.R. (2012) Desenvolvimento sustentável: uma perspectiva econômico-ecológica. *Estudos Avançados*, v. 26, n. 74, p. 65-92. DOI: 10.1590/S0103-40142012000100006.
- Rosa, R.A. e R.C.H. Ribeiro (2020) *Estradas de Ferro: Projeto, Especificação e Construção* (2a ed.). Vitória: EDUFES. Disponível em: <<https://edufes.ufes.br/items/show/562>> (acesso em 07/02/2025).
- Russo, B.J.; E. James; T. Erdmann et al. (2021) Pedestrian and bicyclist behavior at Highway-Rail grade crossings: an observational study of factors associated with violations, distraction, and crossing speeds during train crossing events. *Journal of Transportation Safety & Security*, v. 13, n. 11, p. 1263-1281. DOI: 10.1080/19439962.2020.1726545.
- Santos, A.S.L. (2017) *Importância da Geotecnia na Infraestrutura Ferroviária*. Dissertação (mestrado). Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa. Disponível em: <<https://repositorio.ipl.pt/entities/publication/f77dc4ef-47f6-422b-b850-3829a7a942db>> (acesso em 07/02/2025).
- Schneider, E.L. (2005) *Análise da Vida Remanescente de Trilhos com Defeitos Transversais Desgastados em Serviço*. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/7132/000495581.pdf?sequence=1>> (acesso em 07/02/2025).
- Se, C.; T. Champahom; W. Laphrom et al. (2023) Analysis of factors influencing crash injury severities at highway-rail grade crossings accommodating for unobserved heterogeneity. *Frontiers in Built Environment*, v. 9, p. 1255762. DOI: 10.3389/fbuil.2023.1255762.
- Shang, H. (2015) *Maintenance Modelling, Simulation and Performance Assessment for Railway Asset Management*. Tese (doutorado). Universidade de Tecnologia de Troyes. Reims. Disponível em: <https://theses.hal.science/tel-03359646/file/Hui_Shang_2015TROY0022.pdf> (acesso em 07/02/2025).
- Silveira, L.R.C. (2017) *Avaliação do Perigo de Queda de Blocos em Taludes Urbanos e Ferroviários e Simulação de sua Trajetória*. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/jspui/bitstream/123456789/7875/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Avalia%C3%A7%C3%A3oPerigoQueda.pdf> (acesso em 07/02/2025).
- Spode, P.L.C. (2024) *Privação Social Como Conceito de Análise da Pobreza Urbana: Horizontes Teórico-Conceituais para a Geografia Brasileira*. Tese (doutorado). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/handle/1/33109>> (acesso em 07/02/2025).
- Starcevic, M.; D. Baric e H. Pilko (2016) Survey-based impact of influencing parameters on level crossings safety. *Promet*, v. 28, n. 6, p. 639-649. DOI: 10.7307/ptt.v28i6.2208.
- Turoff, M. (1970) The Odesign of a policy Delphi. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 2, n. 2, p. 149-171. DOI: 10.1016/0040-1625(70)90161-7.
- United States, Federal Railroad Administration (2006) *Fracture and fatigue damage tolerance of bainitic and pearlitic rail steels*. Washington, D.C.: Department of Transportation, U.S. Disponível em: <https://railroads.dot.gov/sites/fra.dot.gov/files/fra_net/2136/rr0602.pdf> (acesso em 07/02/2025).
- Vivek, A.K. e S.S. Mohapatra (2023) An observational study on pedestrian and bicyclist violations at railroad grade crossings: exploring the impact of geometrical and operational attributes. *Journal of Safety Research*, v. 87, p. 395-406. DOI: 10.1016/j.jsr.2023.08.011. PMID:38081712.

- Wolfe, M. (1995) Globalization and social exclusion: some paradoxes. In Rogers, G., C. Gore e J. Figueiredo (eds.) *Social exclusion: rhetoric, reality, responses*. Washington, D.C.: International Institute for Labor Studies.
- Wu, L.; Q. Shen e G. Li (2022) Identifying risk factors for autos and trucks on highway-railroad grade crossings based on mixed logit model. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 19, n. 22, p. 15075. DOI: 10.3390/ijerph192215075. PMid:36429790.
- Xin, T.; J. Zhou; H. Wu et al. (2020) Field measurement of rail corrugation influence on environmental noise and vibration: a case study in China. *Measurement: Interdisciplinary Research and Perspectives*, v. 164, p. 108084. DOI: 10.1016/j.measurement.2020.108084.
- Zhang, Z.P.; T. Turla e X. Liu (2021) Analysis of human-factor-caused freight train accidents in the United States. *Journal of Transportation Safety & Security*, v. 13, n. 10, p. 1157-1186. DOI: 10.1080/19439962.2019.1697774.
- Zhao, J.X.; C.T. Dick e D. Kang (2023) Analysis of derailment severity comparing unit trains at transload terminals and manifest trains at railroad switching and hump classification yards. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, v. 2677, n. 5, p. 793-811. DOI: 10.1177/03611981221137593.