



ÍNDICE DE OCORRÊNCIA E GRAVIDADE (IOG) PARA PRIORIZAÇÃO DE INTERVENÇÕES EM PASSAGENS EM NÍVEL FERROVIÁRIAS

Lucas Gabriel Evaristo Gomes¹, Janaina Raiane Silva da Silva²

¹.Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais Campus Santos Dumont – Brasil

².VALE S.A. - Brasil

RESUMO

O presente estudo introduz o Índice de Ocorrência e Gravidade (IOG) como um instrumento analítico inovador voltado à priorização de intervenções em passagens em nível ferroviárias, fundamentado na mensuração integrada da frequência e da severidade de eventos operacionais adversos. O objetivo central consiste em superar limitações inerentes a abordagens tradicionais, frequentemente ancoradas em parâmetros exclusivamente físicos ou geométricos, mediante a proposição de um modelo quantitativo sensível ao impacto empírico das ocorrências. A metodologia adotada baseia-se na atribuição de pesos diferenciados a distintas categorias de eventos, desde incidentes sem danos até acidentes com vítimas fatais, estruturando uma função de agregação que permite a classificação do risco em níveis progressivos de criticidade. Os resultados demonstraram elevada sensibilidade do índice à severidade dos eventos, permitindo discriminação eficaz entre diferentes níveis de criticidade e contribuindo para uma priorização mais assertiva das intervenções. O modelo proposto apresenta aplicabilidade prática e potencial de integração a sistemas de gestão de risco e monitoramento operacional.

Palavras-chave: *Segurança Ferroviária, Passagens em Nível, Gestão de Risco, Indicadores Operacionais, Índice de Ocorrência e Gravidade*

1. INTRODUÇÃO

A segurança operacional em sistemas ferroviários, notadamente no contexto das passagens em nível, configura-se como um dos mais sensíveis e complexos desafios da engenharia de transportes contemporânea, sobretudo em países com significativa interação entre malha ferroviária e tráfego rodoviário. Tais interfaces, marcadas pela coexistência de fluxos distintos e, por vezes, conflitantes, constituem pontos críticos nos quais a probabilidade de ocorrência de eventos adversos se eleva substancialmente, exigindo abordagens analíticas robustas e instrumentos eficazes de priorização de intervenções.

Tradicionalmente, a avaliação de risco em passagens em nível tem se apoiado em critérios predominantemente estáticos, tais como características geométricas, volume de tráfego ou condições de visibilidade. Embora relevantes, tais parâmetros revelam-se, por si só, insuficientes para capturar a complexidade inerente à dinâmica operacional e ao histórico de ocorrências, frequentemente desconsiderando a materialização empírica do risco por meio de acidentes e incidentes registrados. Nesse sentido, emerge a necessidade de modelos que incorporem, de forma estruturada, tanto a frequência quanto a severidade dos eventos, conferindo maior aderência à realidade operacional.

Sob essa perspectiva, o presente artigo tem como objetivo propor e desenvolver o Índice de Ocorrência e Gravidade (IOG), concebido como uma métrica sintética orientada à priorização de ações corretivas e estruturais em passagens em nível. O modelo fundamenta-se na ponderação diferenciada de categorias de eventos, permitindo a classificação em níveis de criticidade e subsidiando a tomada de decisão com base em evidências empíricas. Ademais, busca-se demonstrar sua aplicabilidade prática por meio de simulações representativas, bem como discutir seu potencial de integração a sistemas de gestão de risco e monitoramento operacional.

2. DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento do presente estudo ancora-se na construção de um modelo analítico de natureza quantitativa, orientado à mensuração do risco operacional em passagens em nível ferroviárias a partir da incorporação estruturada de dados empíricos de ocorrência. A abordagem metodológica adotada privilegia a integração entre frequência e severidade dos eventos, superando limitações inerentes a modelos baseados exclusivamente em variáveis geométricas ou operacionais. O modelo proposto apresenta características compatíveis com abordagens de gestão baseadas em risco, alinhando-se a frameworks internacionais de segurança ferroviária.

2.1 Índice de Ocorrência e Gravidade (IOG)

O Índice de Ocorrência e Gravidade (IOG) é concebido como uma métrica sintética destinada à priorização de intervenções em passagens em nível, fundamentada na premissa de que o risco deve ser avaliado não apenas pela incidência de eventos, mas sobretudo pelo impacto potencial associado a cada ocorrência. Nesse sentido, o índice estabelece uma relação ponderada entre diferentes categorias de eventos, permitindo a construção de uma escala contínua de criticidade.

2.1.1 FUNDAMENTAÇÃO METODOLÓGICA

A formulação do IOG baseia-se na atribuição de pesos diferenciados às distintas tipologias de eventos operacionais, de modo a refletir sua gravidade relativa no contexto da segurança ferroviária. Foram consideradas quatro categorias principais: incidentes sem danos (ISD), acidentes com danos materiais (ADM), acidentes com feridos (AF) e acidentes com óbitos (AO).

A definição dos coeficientes de ponderação seguiu uma lógica incremental, na qual eventos de maior severidade recebem maior peso relativo, alinhando-se a princípios consagrados de análise de risco. Essa abordagem permite que o índice capture não apenas a frequência dos eventos, mas também sua magnitude, conferindo maior aderência à realidade operacional.

Em suma, foi utilizado como base o método Fator Ponderado de Acidentes (FPA) incrementado a ISO 31000:2018 e ao Padrão RAMS EN 50126.

2.1.2 Formulação matemática do índice



A expressão matemática do Índice de Ocorrência e Gravidade (IOG) é apresentada conforme a Equação (1):

$$\text{IOG} = [\text{ISD} + 2\text{ADM} + 4\text{AF} + 6\text{AO}] / 5 \quad (1)$$

em que ISD representa o número de incidentes sem danos, ADM os acidentes com danos materiais, AF os acidentes com feridos e AO os acidentes com óbitos. O fator de normalização adotado (divisão por 5) tem como objetivo manter os valores do índice em uma escala operacionalmente interpretável e comparável entre diferentes passagens em nível.

Os coeficientes de ponderação foram definidos com base em uma progressão linear crescente, buscando refletir a ampliação do impacto associado à severidade dos eventos, em consonância com práticas consolidadas de análise de risco qualitativa e semiquantitativa.

2.1.3 Classificação Em Faixas De Criticidade

Para tornar a interpretação dos resultados mais clara, o IOG foi estruturado em faixas de criticidade progressiva, estabelecendo uma correspondência direta entre o valor do índice e o nível de intervenção requerido. Essa segmentação permite a definição de estratégias diferenciadas de atuação, variando desde ações preventivas até intervenções estruturais de maior complexidade.

2.1.4 Aplicações Práticas do Modelo

A aplicabilidade do índice foi avaliada por meio de cenários simulados representativos, construídos a partir de combinações plausíveis de ocorrências. Os resultados evidenciaram a capacidade do IOG de discriminar adequadamente diferentes níveis de risco, demonstrando sensibilidade tanto à frequência quanto à severidade dos eventos analisados.

2.1.5 Diretrizes Para Ações Corretivas

Com base na classificação obtida, foram estabelecidas diretrizes gerais para a implementação de ações corretivas proporcionais ao nível de criticidade identificado. Tais diretrizes abrangem desde medidas educativas e de sinalização até intervenções estruturais e operacionais, configurando um arcabouço orientativo para a gestão de segurança em passagens em nível. As diretrizes de interpretação e ação associadas às faixas do índice estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Diretriz de comparação do IOG.

Faixa de IOG (pontos)	Classificação	Interpretação / Ação
0 – 2	Baixo	Situação estável, ações preventivas
>2 – 3	Moderado	Monitoramento e sinalização reforçada
>3 – 4	Elevado	Medidas corretivas técnicas
>4 – 5	Alto	Intervenção Estrutural



>5	Crítico	Supressão temporária da PN e ações emergenciais
----	---------	---

O índice também possibilita comparações diretas entre diferentes passagens em nível, bem como análises temporais de uma mesma PN ao longo de distintos períodos operacionais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A aplicação do Índice de Ocorrência e Gravidade (IOG) foi avaliada com base em cenários representativos derivados de dados operacionais reais, com o objetivo de verificar sua capacidade de discriminação entre diferentes níveis de risco em passagens em nível ferroviárias. Por razões de confidencialidade, as passagens em nível analisadas foram identificadas como PN-A, PN-B e PN-C.

Inicialmente, considerou-se uma passagem em nível hipotética (PN-A), com o seguinte histórico anual de ocorrências: 10 incidentes sem danos (ISD), 4 acidentes com danos materiais (ADM), 2 acidentes com feridos (AF) e 1 acidente com óbito (AO). A aplicação da Equação (1) resulta em um valor de IOG igual a 5,2, classificando a PN-A como de criticidade elevada, demandando intervenções estruturais imediatas. Observa-se que, embora a frequência absoluta de eventos não seja extremamente elevada, a presença de ocorrências com maior severidade impacta significativamente o valor do índice, evidenciando sua sensibilidade à gravidade dos eventos.

Em seguida, foi realizada a comparação entre duas passagens em nível distintas. A PN-A foi comparada a uma segunda passagem (PN-B), com maior frequência de eventos, porém de menor severidade: 18 ISD, 6 ADM, 1 AF e 0 AO. Nesse caso, o IOG calculado foi igual a 4,4, enquadrando a PN-B em nível elevado, porém inferior à PN-A. Tal resultado evidencia que o índice não se limita à frequência de ocorrências, mas prioriza adequadamente eventos com maior impacto, evitando distorções comuns em análises baseadas exclusivamente em volume de registros.

Adicionalmente, avaliou-se a evolução temporal de uma mesma passagem em nível (PN-C) em dois períodos distintos. No primeiro período, registraram-se 12 ISD, 5 ADM, 2 AF e 1 AO, resultando em um IOG de 5,8, classificado como crítico. Após a implementação de melhorias operacionais e reforço na sinalização, no período subsequente foram registrados 14 ISD, 6 ADM, 1 AF e 0 AO, resultando em um IOG de 4,0. Apesar do aumento no número total de ocorrências, a redução da severidade dos eventos promoveu uma diminuição significativa do índice, evidenciando a eficácia das intervenções adotadas.

Os resultados obtidos demonstram que o IOG apresenta elevada sensibilidade à severidade dos eventos, atribuindo maior peso a ocorrências com consequências mais graves. Essa característica confere ao índice maior aderência aos princípios modernos de gestão de risco, nos quais a magnitude das consequências assume papel central na priorização de ações. Ademais, o modelo reduz a influência de flutuações pontuais na frequência de eventos de baixa criticidade, proporcionando uma avaliação mais robusta e orientada à tomada de decisão.

4. CONCLUSÃO

A presente investigação permitiu a proposição de um modelo analítico inovador para a avaliação de risco em passagens em nível ferroviárias, estruturado a partir da integração entre frequência e severidade de ocorrências. O Índice de Ocorrência e Gravidade (IOG) demonstrou-se uma ferramenta eficaz, caracterizada por simplicidade operacional, elevada replicabilidade e consistente aderência a princípios consolidados de análise de risco.

Sua aplicação potencial abrange diferentes contextos operacionais, podendo ser adaptada conforme as especificidades de cada sistema ferroviário. Nesse sentido, o índice configura-se como um instrumento estratégico para a priorização de investimentos e para o aprimoramento contínuo da segurança operacional.

O índice proposto deve ser interpretado como uma métrica de criticidade operacional, não substituindo modelos probabilísticos de risco que considerem variáveis de exposição.

Por fim, o modelo proposto representa um avanço na incorporação de dados empíricos na gestão de risco ferroviário, contribuindo para uma abordagem mais objetiva, sistematizada e orientada à tomada de decisão.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus sinceros agradecimentos aos professores do Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais – Campus Santos Dumont, Fernando Caneshi, Philipe Pacheco, Marcus Vinicius, José Henrique, Sandro Baldo, Luciano Biazutti e Carlos Leal, cujos ensinamentos foram fundamentais para a formação acadêmica e profissional do autor 1, contribuindo indiretamente para o desenvolvimento deste estudo. Estendem, a autora, seus agradecimentos aos professores da Universidade Federal do Pará (UFPA), Nívea Albuquerque, Roberto Pacha e Marcelo Figueiredo Massulo Aguiar, cujas orientações e conhecimentos transmitidos ao longo de sua trajetória acadêmica também foram essenciais para a consolidação das ideias aqui apresentadas.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Resumos: NB-88*. Rio de Janeiro, 1987. 3 p.

EVARISTO, Lucas Gabriel. *Ferrovia: Segurança Operacional dos Trens: para ferrovia de cargas e de passageiros*. São Paulo: Editora Dialética, 2025.

ROSA, Rodrigo de Alvarenga. *Operação ferroviária: planejamento, dimensionamento e acompanhamento*. São Paulo: Editora LTC, 2018.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 31000:2018 – Risk management – Guidelines.

CENELEC. EN 50126-1: Railway applications – RAMS.

PACHECO, Philipe Augusto de Paula et al. The effectiveness of different wear indicators in quantifying wear on railway wheels of freight wagons. *Railway Engineering Science*, v. 32, n. 3, p. 307–323, 2024.



OCCURRENCE AND SEVERITY INDEX (OSI): A QUANTITATIVE APPROACH FOR PRIORITIZING INTERVENTIONS AT RAILWAY LEVEL CROSSINGS

ABSTRACT

This study introduces the Occurrence and Severity Index (OSI) as an innovative analytical instrument aimed at prioritizing interventions at railway level crossings based on empirical operational data. The primary objective is to provide a robust and computationally efficient metric capable of integrating both the frequency and severity of adverse events, thereby overcoming limitations inherent to traditional approaches grounded solely in geometric or operational parameters. The proposed methodology is structured upon the assignment of differentiated weights to distinct categories of occurrences, including incidents without damage, accidents with material damage, injuries, and fatalities, resulting in a normalized mathematical formulation. The results demonstrated high sensitivity of the index to event severity, enabling effective discrimination between different levels of criticality and supporting more assertive prioritization of interventions. The model presents strong practical applicability and potential for integration into risk management systems and real-time operational monitoring frameworks across diverse railway environments.

Keywords: Railway Safety; Level Crossings; Risk Management; Safety Indicators; Occurrence and Severity Index