

Bow Tie Analysis (BTA) in a Public Transport Sector During the Covid-19 Pandemic: A Case Study.

David José Oliveira da Silva

Transportation Agency of the State of São Paulo - ARTESP, Federal University of Pernambuco - UFPE – Recife, Pernambuco, Brazil. E-mail: david.silva@artesp.sp.gov.br

Marcelo Hazin Alencar

Risk Assessment and Modeling in Environment, Assets, Safety, Operations and Nature (REASON), Federal University of Pernambuco – Recife, Pernambuco, Brazil. E-mail: marceloalencar@cdsid.org.br

Buses represent the road modal in public transport systems and fulfill a social and essential function, providing collective transport for a group of people to carry out their daily activities of work, leisure, consumption, and other tasks of modern life. It also has an economic function, contributing to the circulation and consumption of goods and services. In times of a pandemic, public transport also stands out as a critical infrastructure of urban centers as it contributes to the maintenance of essential activities, especially providing transportation to medical units for health professionals who work on the front lines of combating the pandemic. This paper presents a practical application of the bowtie methodology, analyzing the risks involved in public passenger transport operations during the Covid-19 pandemic. Applying the Bowtie methodology provides a better understanding of the risks and consequences associated with regulatory activity and greater assertiveness of decision-makers to balance the regulatory ecosystem (granting authority, companies, and users). In addition, this study contributes to a better resilience of public passenger transport operations in the face of large-scale/catastrophic events resulting from a health crisis experienced during the Covid-19 pandemic (2020-2022).

Keywords: public transport, bowtie analysis, operational risk assessment, regulatory agency, critical infrastructure, resilient cities.

1. Introduction

Independente do modal, as operações de transportes públicos foram severamente impactadas pelos efeitos da pandemia, mediante sucessivas medidas de lockdown adotadas pelas autoridades públicas para reduzir o fluxo de pessoas nos grandes centros urbanos, sendo bruscamente reduzidas ou em alguns momentos, foram totalmente paralisadas.

O perigo faz parte de qualquer negócio ou atividade em condições normais e muitas vezes necessárias para a sua execução. Nos serviços de transportes terrestres (cargas ou pessoas), os principais fatores de riscos nas operações estão tradicionalmente associados com as más condições de vias/estradas, deficiências de manutenção veicular e sobretudo falhas humanas ocasionadas por imprudência e/ou negligência dos condutores.

Não é possível determinar o que representa a perda de uma vida humana ou os danos psíquicos e estresses traumáticos aos quais as vítimas de trânsito e seus familiares são submetidos após eventos dessa natureza. No entanto, os custos econômico-financeiros que impactam diretamente as famílias, bem como a sociedade em geral, podem ser estimados por meio de metodologias específicas de cálculo. Os sinistros de trânsito no Brasil matam cerca de 45 mil/ano e deixam mais de 300 mil pessoas com lesões graves. Em uma estimativa conservadora, observou-se que os sinistros em rodovias custam à sociedade brasileira cerca de R\$ 40 bilhões/ano, enquanto os sinistros nas áreas urbanas, em torno de R\$ 10 bilhões/ano, sendo que o custo relativo à perda de produção corresponde em maior percentual desses valores, seguido pelos custos hospitalares (IPEA, 2020).

O transporte público é a espinha dorsal das cidades, fundamental para a dinâmica urbana e sua sustentabilidade, sob os seguintes aspectos:

- Social: garantia da prestação de serviço público e atividades essenciais, indispensáveis ao atendimento das necessidades inadiáveis da população e que, se não atendidos comprometem a sobrevivência, a saúde ou a segurança da população;
- Econômico: impulsionando das economias locais, gerando emprego e renda, tanto nos sistemas produtivos como no de circulação e consumo de bens e serviços, em que se percebe claramente seu papel de grande indutor e dinamizador da economia;
- Ambiental: prevenindo ou reduzindo os danos da poluição do ar por retirar parte da contribuição dos veículos particulares e ainda contribuir para cidades mais resilientes a eventos climáticos de grande magnitude, permitindo a rápida recuperação da normalidade.

Até então, os sinistros rodoviários eram considerados o ponto focal no critério de avaliação da segurança das operações rodoviárias de transporte de passageiros. Silva et al (2020). Com o advento pandemia de COVID-19, foi estabelecido um novo paradigma às operações rodoviárias, sobretudo no transporte público de passageiros, com consequências ainda maiores em termos de perdas humanas e em curta escala temporal. No período de 2020 à 2022, foram registrados 693.853 óbitos por Covid-19 no Brasil, portanto, uma média de 231.284 mortes/ano, isso representa um quantitativo cinco vezes maior em comparação com as mortes decorrentes dos sinistros de trânsito.

2. Background

A ação regulatória do poder público se desdobra em diferentes enfoques, dentre os quais importa considerar, em contexto geral, a defesa da concorrência, defesa do consumidor e a supervisão da operação de mercados específicos. As características substancialmente distintas e os diversos padrões de concorrência associados aos diferentes elos dessas cadeias de mercados requerem atuação diferenciada dos órgãos reguladores. Guimarães & Salgado (2003).

As agências reguladoras tem por objetivo central promover o bem-estar dos cidadãos por meio:

- da coordenação e direção política dos demais setores do Estado (exercício do governo);
- da regulação da economia para resguardar o interesse público;
- da prestação, direta ou indireta, de serviços públicos que visem realizar objetivos políticos do Estado. IFAC (2013).



Fig. 1. Regulatory ecosystem.

The Transport Agency of the State of São Paulo (ARTESP) is a state regulatory agency that, among other attributions, regulates and supervises the intercity public transport system for passengers in the State of São Paulo. In 2021, an average of five million users were transported per month, with the following operational structure:

Table 1. Operacional structure of intercity transport in 2021.

Service	Charter(*)	Regular
Authoritative (Service providers)	2.042	-
Licensees (companies)	-	87
Lines	-	840
Vehicles	16.487	3.048

(*) continuous, occasional and student transport.

Basicamente, as operações de transporte intermunicipal no Estado de São Paulo utilizam os modais ferroviários e rodoviários para movimentar os grandes fluxos de massa populacional. O presente estudo avalia o modal rodoviário, que se divide em duas modalidades:

- Serviço regular: efetuado por ônibus (rodoviários e suburbanos); e
- Serviço de fretamento: efetuado por ônibus, micro-ônibus ou vans (veículo tipo furgão, de 8 a 20 assentos, peso bruto igual ou inferior a 5 toneladas, com porta traseira e portas ou painéis de abertura laterais, geralmente com janelas, para diversos usos, especialmente no transporte de passageiros).

Os ônibus são equipamentos que compõem o sistema de mobilidade pública e têm por finalidade social transportar coletivamente grupos de pessoas para realizarem suas atividades cotidianas (trabalho, lazer, consumo, etc).

Sua importância elevou-se em tempos de pandemia, uma vez que cumpre papel importante no deslocamento dos trabalhadores da linha de frente da saúde e que deram suporte na manutenção das atividades nos centros médicos e hospitalares. Portanto, são consideradas infraestruturas críticas uma vez que fornecem serviços básicos para a manutenção das atividades econômicas e a dinâmica cotidiana das cidades.

Em contrapartida, também se elevou a preocupação, decorrente do seu potencial para contaminação das pessoas e a conseqüente propagação do vírus e agravamento da crise sanitária de escala global, visto que o transporte por ônibus, remete a concentração de pessoas em um ambiente fechado e percursos muitas vezes de longa duração.

Assim sendo, o ecossistema regulatório, necessitou revisar suas avaliações e controles dos riscos envolvidos nas operações do transporte público de pessoas, revisando suas matrizes de risco para este novo cenário desafiador de modo a garantir a segurança das operações.

3. Definições de Risco e princípio ALARP

A equação clássica que define risco (see Eq. (1)):

$$R = \sum f(p, C) \quad (1)$$

Onde p e C expressam, respectivamente, a frequência e conseqüência dos eventos indesejados. Os riscos devidos a todos os eventos possíveis podem ser resumidos para todas as situações consideradas na análise. Os resultados

da análise de incerteza podem ser apresentados como uma faixa definida pelos limites de confiança superior e inferior e as melhores estimativas. É coerente expressar o risco em função do tempo $R(t)$ e pode ser denotado como o produto da probabilidade variante no tempo $p(t)$ e conseqüência variante no tempo $C(t)$. (see Eq. (2) e (3)):

$$R(t) = \sum \{p(t) \times C(t)\} \quad (2)$$

$$\frac{dR(t)}{dt} = \sum \left\{ \left(\frac{dp(t)}{dt} \right) \times C(t) + p(t) \times \frac{dC(t)}{dt} \right\} \quad (3)$$

Portanto, a equação acima mostra que as medidas mais significativas tomadas para reduzir o risco são: reduzir a probabilidade dos eventos de maior conseqüência e reduzir a conseqüência dos eventos de maior probabilidade. De forma incremental, o efeito das medidas de redução de risco pode ser expresso (see Eq. (4)):

$$\frac{dR(t)}{dt} = \sum \left\{ \left(\frac{dp(t)}{dt} \right) \times C(t) + p(t) \times \frac{dC(t)}{dt} \right\} \quad (4)$$

O conceito ALARP surge do sistema britânico de saúde e segurança (HSE) na década de 1970 e significa “tão baixo quanto razoavelmente praticável”, é um termo usado para descrever um nível alvo para reduzir o risco que implementaria medidas de redução de risco, a menos que os custos da redução de risco sejam desproporcionais ao benefício.

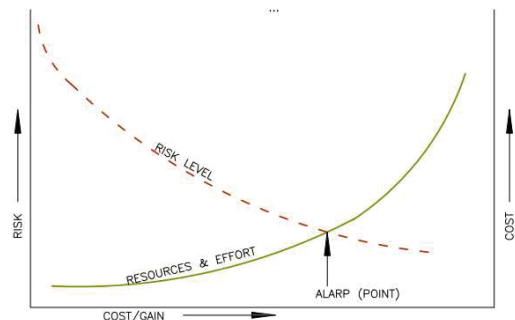


Fig. 2. Princípio ALARP.

Trata-se de uma abordagem pragmática de tentar ser prático, flexível e eficiente. Qualquer ação

regulamentar proposta (regulamentos, orientações, campanhas, etc.) deve ser baseada no que for razoavelmente praticável, essa é a política do Health and Safety Commission (HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE, 2015). Na análise bowtie, é um padrão baseado em desempenho usado para determinar se as barreiras apropriadas foram postas em prática de modo que o risco residual seja reduzido na medida do razoavelmente praticável.

4. Bowtie Method

Podemos afirmar que a metodologia Bowtie, incorpora os conceitos do diagrama de causa e efeito proposto por Isikawa (1943) e o modelo do queijo suíço proposto por James Reason (1990), ou ainda, uma associação dos métodos de análise de árvore de falha (FTA) representada no tramo esquerdo e análise de árvore de eventos (ETA) representada no tramo direito.

Consiste em identificar e analisar os possíveis caminhos de um evento de risco, dado que um problema pode estar relacionado a diversas causas e consequências. Como no diagrama de causa e efeito, identifica-se o problema e em seguida suas possíveis causas e consequências e, por fim, identificam-se as formas de prevenir a ocorrência do risco e as formas de mitigar as consequências caso o risco se materialize.

A metodologia Bowtie concentra-se na avaliação de barreiras para a prevenção e mitigação dos caminhos que levam à ocorrência do evento crítico, especialmente aquele que é indesejável e apresenta consequências graves ao ambiente de negócio, destacando claramente todas as barreiras de segurança importantes, ajudando na avaliação da adequação da barreira, comunicando isso visualmente a todas as partes interessadas e fornecendo uma estrutura para monitorar continuamente a eficácia dessas barreiras.

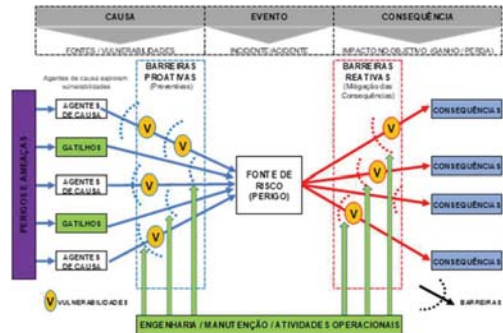


Fig. 3. Bowtie methodology - Conceptual model.

A aplicação da metodologia tomou como referência as indicações de uso estabelecidas na Norma NBR IEC 31.010: 2021 – Gestão de Riscos – Técnicas para processo de avaliação de riscos, ao qual, dentre as diversas técnicas elencadas neste referencial técnico-normativo.

A Norma descreve a metodologia Bowtie como uma maneira diagramática de descrever os caminhos das fontes de risco aos resultados e analisar criticamente os controles, aplicável em análise de riscos e controles e descrição dos riscos para os níveis tático e operacional da organização, no horizonte de tempo de curto e médio prazo e para qualquer nível de decisão, necessita de baixo nível de informações/dados inicial para desenvolvimento da análise, requer nível baixo ou moderado de conhecimento especializado e baixo esforço para sua aplicação e é considerada uma análise qualitativa ou semiquantitativa dos riscos. Além disso, a metodologia pode ser aplicada em todo o processo de gestão de riscos (identificação, análise e avaliação de riscos) com ponto forte na definição das consequências.

Portanto, estas características norteiam e embasam tecnicamente a escolha da metodologia para sua aplicação no contexto do estudo, sobretudo quando consideramos que o fator tempo é essencial no âmbito do controle da pandemia, exigindo avaliações e respostas rápidas, na mesma proporção de sua propagação.

No desenvolvimento dos elementos-chave da metodologia bowtie tomou como referência o Guidelines for Hazard Evaluation Procedures elaborado pela American Institute of Chemical Engineers com apoio tecnológico do software BowtieXP.

4.1. Hazard Identification

O transporte público de passageiros é um serviço prestado em ambiente confinado tornando-o uma fonte de risco de propagação do vírus entre os usuários. Portanto, realizar uma operação de transporte sem critérios e procedimentos de segurança sanitária leva a um perigo eminente de contaminação dos passageiros.

4.2. Top Event Identification

O evento topo é o elemento central da bowtie, compreendido entre as ameaças e as consequências e corresponde ao momento em que acontece a perda de controle ou a perda das contenções que evitariam a materialização do perigo, ou seja, as operações no transporte público passariam a ser disseminadoras do vírus, contribuindo efetivamente para a elevação do número de contaminados e consequente agravamento da crise sanitária.

Portanto, o evento topo neste estudo de caso se refere a perda de controle de segurança sanitária das operações de transporte rodoviário de passageiros, ou seja, o evento indesejado e que se deseja evitar é que o sistema de transporte público não se torne um agente de disseminação do vírus, agravando a crise sanitária decorrente da pandemia e mantenha seu propósito de transportar as pessoas.

4.3. Identification and Assessment of Threats

A ameaça ou causa é um possível evento inicial com potencial de resultar na perda de controle ou de contenção do perigo. É importante compreender os padrões básicos de contaminação do vírus dentro do sistema de transporte, tais como, nos terminais de passageiros, nos pontos de venda de passagem e principalmente dentro dos ônibus por ser ambiente fechado com menor distanciamento entre as pessoas. Esse conhecimento permite a identificação de pontos críticos para estabelecimento das medidas de controle eficazes que possam interromper a transmissão. Marques e Domingo (2021),

afirmam que o COVID-19 é transmitido de pessoa a pessoa principalmente através da exposição a fluidos respiratórios contendo vírus infeccioso. A exposição ao vírus ocorre de três maneiras principais, que não são mutuamente exclusivas:

- inalação de vírus infeccioso (gotículas muito pequenas e partículas de aerossol);
- deposição de vírus nas membranas mucosas expostas na boca, nariz ou olhos por respingos diretos e sprays; e
- tocar as membranas mucosas com as mãos contaminadas por fluidos respiratórios exalados contendo vírus ou por tocar em fômites contendo o vírus.

Kaur et al. (2020) e Zhang et al. (2020) consideram a transmissão por contato direto ou pelo ar (gotículas respiratórias e / ou aerossóis) como as rotas dominantes para a propagação de COVID-19. Zhang et al. (2020), Chin et al. (2020) e Van Doremalen et al. (2020) afirmam que o risco de infecção é influenciado pela distância da fonte, a quantidade de vírus a que uma pessoa é exposta e o tempo desde que o vírus foi depositado na superfície, uma vez que a viabilidade do SARS-CoV-2 ao longo do tempo é influenciada por fatores ambientais, como tipo de superfície, temperatura, umidade e radiação ultravioleta (por exemplo, luz solar). Assim sendo, admite-se duas principais vias de contaminação e propagação do vírus nas operações:

- transmissão por contato entre pessoas (motoristas, cobradores, passageiros, funcionários dos terminais);
- transmissão por contato em superfícies contaminadas (corrimãos, balaústres, manuseio de dinheiro, etc.).

Neste estudo foram utilizadas seções de brainstorming para definição das ameaças e consequências tomando como base uma análise interna envolvendo equipe de especialistas em regulação de transportes da Diretoria de Procedimentos e Logística, Superintendentes das áreas de logística, fiscalização, unidades regionais e complementarmente e ainda tomou-se subsídios em reuniões da Comissão de Transporte Coletivo, composta por representantes do poder concedente (Secretaria de Governo e de Logística e Transportes), entidades representativas dos usuários, das empresas de transporte do serviço

regular e das empresas de transporte do serviço de fretamento.

Portanto, associando aos ambientes utilizados pelos passageiros/usuários, resultou os seguintes cenários de ameaças identificadas:

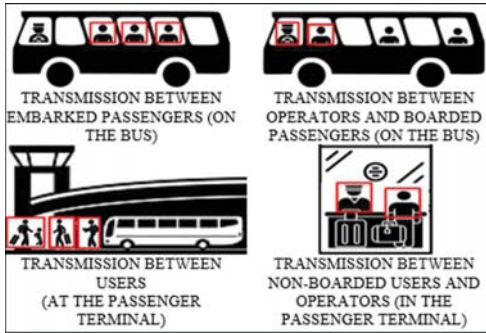


Fig. 4. Contamination mechanisms used



Fig. 5. Identified threats – left section

4.4. Definition and Assessment of Consequences

As consequências são descritas como o(s) dano(s) ocasionados pela materialização do evento. É possível afirmar que as consequências são os verdadeiros riscos, ou seja, são os resultados indesejados de um evento (normalmente de perda) medidos pelos seus efeitos à saúde e segurança, impactos ambientais, prejuízos materiais e custos com interrupção do negócio/atividade. Para fins deste estudo de caso, apenas optou-se por descrever e analisar as

consequências em que seriam pertinentes às atividades sob atribuição da Agência Reguladora ou ainda possíveis de se adotar alguma intervenção regulatória capaz de mitigar os danos, portanto, as consequências não se limitam as descritas neste estudo.



Fig. 6. Identified consequences – right section

4.4.1. Risk Assessment Matrix

Considerando as dificuldades de obtenção de dados quantitativos de eventos antecedentes, visto que não se tem ocorrência de evento similar associado ao atual estágio do desenvolvimento dos transportes e das aglomerações populacionais, a matriz de risco neste estudo não adotará probabilidades quantitativas que permitam cálculos sofisticados.

Contudo, permitirá mensurar, avaliar e ordenar os riscos identificados composta por duas escalas ordinais de classificação. Em ambos os eixos há a associação de uma escala verbal a uma escala numérica, semelhante à Escala de Likert (1932), sendo atribuído para a escala de Probabilidade (eixo X, variando linearmente de 1 a 5) e para escala de Consequências (eixo Y, variando exponencialmente de 1 a 12)



Fig. 7. Risk matrix

Essa avaliação é determinante no processo de avaliação dos riscos, pois, ao avaliar que o evento topo é uma ameaça às operações, é possível estabelecer uma priorização de medidas a partir dos riscos que apresentam maiores scores. No presente estudo, para cada consequência estabelecida (ramificações do tramo direito da Bowtie), foram avaliados os riscos sob a ótica dos principais stakeholders do ecossistema regulatório do transporte intermunicipal de passageiros (usuários, ativos das empresas de transporte, órgão regulador e poder concedente).

4.5. Development of Prevention Barriers

O processo de identificação das barreiras foi desenvolvido a partir de reuniões para discussão das medidas a serem adotadas no âmbito regulatório por meio do núcleo interno de especialistas da Agência Reguladora e do Comitê Interno de Crise instituído para monitorar e avaliar a implementação das ações e dos representantes das entidades representativas do setor que compõem a Comissão de Transporte Coletivo.

As barreiras preventivas representadas no tramo esquerdo da Bowtie têm o papel de evitar a ocorrência do evento topo. Portanto, todos os registros de medidas preventivas implantados tomaram como subsídio as reuniões internas com o corpo técnico de especialistas da Agência e também as pesquisas e benchmarking de ações que estavam sendo desenvolvidas em órgãos e entidades de outros países que estavam em estágio mais avançado no controle da pandemia, isso contribuiu bastante para a definição e assertividade das medidas preventivas adotadas, pois auxiliou eliminar algumas ações testadas e que não propiciaram resultados satisfatórios ou,

ainda, aquelas que trariam riscos secundários ao processo em que foram descartadas pelos especialistas e membros do comitê de crise constituído para discutir as medidas e orientações aos operadores do sistema. Nesta etapa, foi possível estabelecer uma escala de efetividade, a tipologia e a atribuição de responsabilidade por cada barreira preventiva.

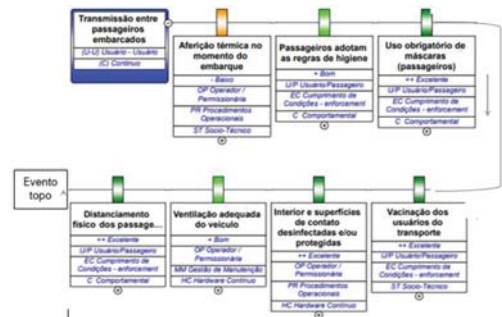


Fig. 8. Identified consequences – right section

Como suporte a este processo, também foram consideradas diretrizes de algumas instituições nacionais e internacionais que congregam especialistas e gestores do setor de transportes, bem como pesquisas e benchmarking de estudos e medidas adotadas em outros países e outros modais de transporte para minimização dos danos decorrentes da pandemia. Todos estes aspectos contribuíram para a assertividade das medidas, uma vez que foi possível descartar ou reavaliar previamente algumas barreiras propostas inicialmente e que demonstraram não ser efetivas. Além disso, foram tomados subsídios dos membros que compõem a Comissão de Transporte Coletivo.

4.6. Development of Mitigation Barriers

As barreiras representadas no tramo direito da bowtie têm o papel de mitigar os danos após a materialização do evento-topo de modo a recuperar ou manter o controle sobre seus efeitos, ou seja, as barreiras mitigantes têm o papel de diminuir a severidade das consequências. Nesta etapa, foi possível estabelecer uma escala de efetividade, atribuição de responsabilidade, Fator de Risco Básico e tipologia de cada barreira reativa.



Fig. 9. Identified consequences – right section

4.7. Identification of Degradation Factors

Qualquer situação, condição ou falha que comprometa o funcionamento da barreira, impedindo ou reduzindo sua eficácia é considerado um fator de degradação e foram categorizadas da seguinte forma:

- Fatores Humanos (FH): qualquer ação que uma pessoa que reduza a eficácia da barreira.
- Condições Anormais (CA): qualquer ação no ambiente que coloque a barreira sob stress.
- Perda de Serviços Críticos (SC): caso a barreira dependa de um serviço externo, a perda deste serviço pode causar a perda de sua eficácia.
- Combinação de dois fatores (SC+FH).

4.8. Identification of Degradation Controls

A principal característica das barreiras de fatores de degradação é que elas são inerentes, exclusivamente, ao fator de degradação, portanto, não têm qualquer ação de controle sobre as ameaças, evento topo e consequências.



Fig. 10. Degradation factors and barriers

5. Results and Discussion

Uma abordagem baseada no risco para a melhoria da regulação reconhece explicitamente que o gestores públicos não conseguirão atuar para

remover integralmente os riscos associados à prestação de serviços públicos à sociedade e que a intervenção regulatória, quando adotada, deve ser proporcional, direcionada e baseada em uma avaliação da natureza e magnitude dos riscos e da probabilidade de que a regulação terá sucesso em alcançar seus objetivos. As abordagens baseadas em risco têm aplicação na formulação de propostas regulatórias e no desenvolvimento de estratégias de conformidade para fazer cumprir a regulação.

O argumento para uma abordagem da regulamentação baseada em risco pode ser facilmente apresentado com base em eficiência e efetividade. A regulamentação deve ser proporcional ao problema que procura resolver, portanto, uma abordagem baseada em risco seria sustentada por evidências científicas e uma metodologia robusta de decisão.

Algumas perguntas permearam os debates dos especialistas no setor de transporte público e na mídia em geral: O transporte público é um catalisador da propagação da pandemia? Como garantir a saúde dos trabalhadores do setor de transporte de passageiros e dos próprios usuários? Como fazer para que as operações sejam mantidas seguras durante a pandemia global? Como estabelecer uma avaliação e tomada de decisões equilibradas ao sistema de transporte de passageiros entre o viés da prestação de serviço essencial de mobilidade e desserviço da propagação de vírus à população.

É compreensível obter respostas antagônicas ao primeiro questionamento, considerando que foram evidenciados nos Estados e Municípios Brasileiros, situações exitosas nas medidas de controle tornando as operações de transporte público seguras e estáveis e por outro lado, situações de comprometimento da segurança operacional agravando a crise sanitária. E isso depende fundamentalmente de quatro fatores:

- da característica do modal e do porte e da capacidade de gestão de cada sistema de transporte (regional ou local);
- dos fatores de risco: distanciamento, tempo de viagem, circulação/renovação de ar, etc.;
- das medidas de controle adotadas; e
- da tempestividade e proporcionalidade na tomada de decisões e ações.

O uso da metodologia bowtie não exigiu elevado grau de expertise dos analistas e técnicos e sua aplicação em um processo integrado de gerenciamento de riscos operacionais é apenas uma das possibilidades em uma gama de ferramentas e técnicas existentes na literatura técnica e científica que podem auxiliar nas tomadas de decisões por parte do regulador, materializadas nos instrumentos regulatórios e administrativos que a Agência Reguladora emitiu ao longo da evolução da pandemia, seja por medidas de prevenção voltada aos trabalhadores das empresas permissionárias e aos usuários do serviço, seja por medidas mitigadoras que visaram atenuar os impactos aos operadores e toda a cadeia produtiva envolvida na atividade.

Também não há gestão de riscos eficiente se a comunicação não for rápida e eficaz, acessível a todo o ambiente regulatório, portanto, a maneira como a metodologia é concebida apresenta grande diferencial e espectro da sua aplicação, conforme evidências trazidas neste estudo. A sua representação gráfica possibilitou de forma rápida mapear ameaças que afetariam a segurança das operações rodoviárias do sistema de transporte intermunicipal para a garantia da integridade física de funcionários e usuários, permitindo identificar e avaliar as proteções para prevenir ou mitigar diferentes o cenário estabelecido e indicar medidas regulatórias para a mitigação dos danos causados pela pandemia.

Portanto, buscou-se encontrar evidências de que a metodologia também tem uso compatível nas atividades de regulação, contribuindo na manutenção das operações de sistemas de transporte a partir da análise de eventos críticos, visto a sua capacidade de auxiliar na compreensão, gerenciamento e comunicação dos riscos associados às operações de transporte de passageiros de grandes fluxos de pessoas. Afinal, o sistema de transporte público é verdadeiramente uma infraestrutura crítica para a logística e funcionamento dos centros urbanos e, portanto, essencial para que os demais serviços essenciais sejam continuados em ambientes de crise, alinhados à abordagem de cidades resilientes estabelecida pelo Escritório das Nações Unidas para Redução de Riscos de Desastres (UNDRR/ONU), definida pela capacidade de resistir, absorver ou se recuperar de forma rápida

e eficiente de eventos catastróficos de qualquer espécie.

Appendix A. Bowtie overview developed

Available at the following link:

https://drive.google.com/file/d/1TBE-pZDDguNRNbjMzwqd4Y8uJyvMtonv/view?usp=share_link

Acknowledgement

This article is part of a research carried out by the Postgraduate Degree in Production Engineering (PPGEP-PRO) at the Federal University of Pernambuco (UFPE, Brazil), with institutional support from the Regulatory Agency for Transport of the State of São Paulo (ARTESP) and technological support from Enablon/Wolters Kluwer for the license to use the BowtieXP software.

References

- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). NBR ISO 31010: Gestão de Riscos: Técnicas para o processo de avaliação de risco. Rio de Janeiro, 2021.
- BASU, S.; DEBNATH, A. K. Manual de Instrumentação e Controle de Usinas de Energia: um guia para usinas termelétricas. Imprensa Acadêmica, 2014.
- CCPS. Guidelines for Hazard Evaluation Procedures, 3rd Ed. American Institute of Chemical Engineers, John Wiley Sons, New Jersey, 2008.
- CHIN, A. W. H.; CHU, J. T. S.; PERERA, M. R. A.; HUI, K. P. Y.; YEN, H. L.; CHAN, M. C. W.; PEIRIS, M.; POON, L. L. M. Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions. *Lancet Microbe*, 1 (1), e10, 2020.
- HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE. ALARP "at a glance". 2015. Disponível em: <<https://www.hse.gov.uk/enforce/expert/alarpglance.htm>>. Acesso em: 20 fev. 2023.
- IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA; ANTP – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS. *Custo dos acidentes de trânsito no Brasil: Estimativa simplificada com base na atualização das pesquisas do IPEA sobre custos de acidentes nos aglomerados urbanos e rodovias: Texto para Discussão*. Brasília: Ipea, 2020. Disponível em: <<https://www.ipea.gov.br/atlasviolencia/arquivos/artigos/7018-td2565.pdf>>.
- INTERNATIONAL FEDERATION OF ACCOUNTS (IFAC). Governance in the public sector: a governing body perspective. International Public Sector Study. Study 13. New York: IFAC, 2001.

- _____. Good governance in the public sector. New York: IFAC, 2013.
- ISHIKAWA, K. Diagrama Causa-Efeito. Recuperado el, v. 15, 1943.
- KAUR, S.; BHERWANI, H.; GULIA, S.; VIJAY, R.; KUMAR, R. Understanding COVID-19 transmission, health impacts and mitigation: timely social distancing is the key. *Environ Dev Sustain*, 2020, 1-17.
- MARQUÈS, M.; DOMINGO, J. L. Contamination of inert surfaces by SARS-CoV-2: Persistence, stability and infectivity. A review, *Environmental Research*, v. 193, 2021. ISSN 0013-9351. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110559>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935120314560>. Acesso em 24 abr. 2022.
- Ministério da Saúde (MS). Base de dados das mortes por causas externas (Datusus). Disponível em: <<http://datusus.saude.gov.br>>.
- Guimarães, E. A.; & Salgado, L. H. (2003) A Regulação no Transporte Rodoviário Brasileiro. Diretoria de Estudos Macroeconômicos – Coordenação de Regulação e Estudos de Mercado do IPEA. Rio de Janeiro, 2003.
- REASON, J. *Human Error*. Cambridge Cambridge University Press, 1990.
- SILVA, D. J. da; RODRIGUES, A. J. da S.; ARAÚJO, A. V.; ALENCAR, M. H.; MOTA, C. M. de M. Aplicação do método multicritério PROMETHEE para definir estratégias de prevenção de acidentes dos transportes terrestres na região Nordeste. In: INOVATION FOR SYSTEMS INFORMATION AND DECISION MEETING, 2019, Natal. INSID, 2019, p. 230-238. Disponível em: <http://www.insid.events/insid2019resume/>. Acesso em: 22 abr. 2020.
- VAN DOREMALEN, N.; BUSHMAKER, T.; MORRIS, D. H.; HOLBROOK, M. G.; GAMBLE, A.; WILLIAMSON, B. N.; TAMIN, A.; HARCOURT, J. L.; THORNBURG, N. J.; GERBER, S. I.; LLOYD-SMITH, J. O.; DE WIT, E.; MUNSTER, V. J. Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. *N Engl J Med*, 2020.
- ZHANG, R.; LI, Y.; ZHANG, A. L.; WANG, Y.; MOLINA, M. J. Identifying airborne transmission as the dominant route for the spread of COVID-19. *Proc Natl Acad Sci USA*, n. 117, v. 26, p. 14857–14863, 2020.