

Estrutura para caracterização da avaliação de risco multidimensional em ferrovias

Diego Camilo Ferreira Sousa (UFPE) eng.diegocamilo@gmail.com

Maycon Teixeira Minucelli (UFPE) maycontminucelli@gmail.com

Thalles Vitelli Garcez (UFPE) thalles.garcez@ufpe.br

Resumo:

Associado ao crescimento no transporte de mercadorias através das ferrovias, há uma crescente preocupação em gerenciar os riscos que esta atividade pode acarretar devido a severidade das consequências devido a ocorrência de um acidente. Normalmente, estas impactam direta ou indiretamente a sociedade, a gestão da empresa e ativos e ao meio ambiente. A situação se agrava quando se lida com o transporte de produtos perigosos por esse modal, devido a exposição da carga a situações que fogem do controle e que podem ocorrer em qualquer ponto de deslocamento da ferrovia. Nesse contexto, caracterizar de forma adequada as dimensões de consequências associadas ao risco nesse modal contribui para o processo decisório no gerenciamento de risco. Este trabalho objetiva propor uma estrutura de caracterização da análise do gerenciamento de riscos em ferrovias sob visão multidimensional da consequência. Para isso, a análise se desenvolveu principalmente em oito caracterizações: local do acidente, tipo de acidente, material envolvido, causas do acidente, população afetada, danos ambientais e riscos logísticos. A partir dessas caracterizações pode-se concluir que o gerenciamento de riscos não deve ser limitado apenas a unidimensionalidade do risco de acidentes e suas consequências, tais como perdas financeiras ou perdas humanas – comumente tratadas na análise de risco tradicional, mas sua abordagem deve-se estender sobre outros fatores, agregando a visão multidimensional para que se tenha um diagnóstico mais amplo e preciso, e que gerentes e organizações tomem decisões de maneira mais acertada.

Palavras-Chave: Transporte Ferroviário, Produtos Perigosos, Risco Multidimensional.

Structure for characterization of multidimensional risk assessment in railways

Abstract

Associated with the growth in freight transport through the railways, there is a growing concern in managing the risks that this activity may entail due to the severity of the accident consequences. General, these consequences affect directly or indirectly the society, enterprise management, asset and the environment. The situation worsens when dealing with hazardous products transport by this modal, due to exposure of cargo to situations escaping from control and that can occur in different points of railways. In this context, adequately characterize the dimensions of consequences associated with the risk in this modal contributes to decision-making process in the context for risk management positivity. This work aims to propose a structure for analyzing the risk management in railways under multidimensional risk vision. For this, the analysis was given in eight characterizations: crash site, accident type, material involved, causes of accident, affected population, environmental damage and logistical hazards. From these characterizations it can be concluded that risk management should not be limited solely to the one-dimensionality of the risk of accidents and its consequences, such as financial losses or human losses, but its approach should extend over other factors, aggregating the multidimensional risk vision to have a more comprehensive and precise diagnosis, and that managers and organizations make decisions in a better way.

Keywords: Railway transportation, Hazardous products, Multidimensional risk.

1. Introdução

O gerenciamento de riscos tem assumido importante papel em empresas de transporte ferroviário devido a grandeza das consequências negativas provenientes de acidentes. Nesse sentido, a definição de uma estratégia de gerenciamento dos riscos necessita de uma estrutura que compreenda os variados aspectos associados ao risco de modo a obter uma representação satisfatória do cenário. Nessa perspectiva, Vilko & Hallikas (2012) afirmam que os gerentes devem utilizar uma abordagem de gerenciamento de riscos com escopo mais amplo, selecionando estratégias de gestão que entenda as incertezas a fim de reduzi-las.

As preocupações em contextos ferroviários estão associadas à severidade das consequências dos acidentes que impactam direta ou indiretamente a sociedade, gestão da empresa, ativos e o meio ambiente. A exemplo, possíveis perdas associadas a um evento negativo são: riscos ambientais, atrasos na entrega, perdas econômicas, redução da segurança da população, liberação de materiais perigosos, fatalidades, dentre outras que afetam estrategicamente as empresas e colocam vidas e o meio-ambiente em perigo.

Com o processo de concessão das ferrovias iniciado em 1996, o transporte ferroviário ganhou um novo impulso e hoje está em destaque no cenário nacional. A movimentação de cargas pelas ferrovias cresceu 90% (1997-2012), passando de 253,3 para 481,2 milhões de toneladas úteis (VILAÇA; ANTF, 2013). Tendo em conta o crescimento contínuo no transporte de mercadorias através das ferrovias, há uma necessidade em gerenciar os riscos que esta atividade pode acarretar, sobretudo quanto a movimentação de produtos perigosos, em caso de acidente pode envolver uma grande quantidade de vagões liberando tais produtos causando potencial impacto danoso para a saúde humana, a propriedade e o meio ambiente (LIU; SAAT; BARKAN, 2014).

Porém, apesar de ser um contexto relevante, há uma carência de dados estatísticos sobre acidentes no transporte de produtos perigosos no âmbito nacional, o que vem a ser um fator limitante para o diagnóstico e o planejamento de ações corretivas e preventivas. O Relatório de Acidentes realizado pela Agência Nacional de Transportes - ANTT (2014) no período de 2006 a 2013, mostra que 38% dos 8738 acidentes ferroviários ocorridos no Brasil, a principal causa, foi a via permanente, denominação dada para o conjunto de camadas e de elementos que possibilita a passagem do trem.

Como evidenciado em vários estudos, uma abordagem de avaliação de risco sob uma visão unidimensional (por exemplo, considerando somente danos aos seres humanos), pode não ser suficientemente abrangente para fazer da forma mais realista e eficiente a avaliação de risco (APOSTOLAKIS & LEMON, 2005; DE ALMEIDA *et al.*, 2015; GARCEZ, T. V. & DE ALMEIDA, 2014; GARCEZ, T. V. & DE ALMEIDA, 2014). No entanto, mesmo que outras consequências não sejam tão importantes como as perdas sobre os seres humanos, as demais também demandam atenção substancial dos decisores.

Além disso, uma vez que os recursos disponíveis (financeiro, tempo, tecnologia, mão-de-obra, etc.) das empresas controladoras são limitados e escassos, e a demanda por maior segurança e confiabilidade, faz-se necessário o uso de ferramentas de tomada de decisão que agreguem as consequências e incertezas para que os riscos sejam avaliados em conjunto com a estrutura de preferência da empresa, resolvendo assim o problema de forma mais adequada (DE ALMEIDA *et al.*, 2015). O presente trabalho tem por objetivo propor uma caracterização para a análise do gerenciamento de riscos em ferrovias que identifique os principais aspectos que englobem a multidimensionalidade dos riscos, viabilizando uma estrutura para fundamentar modelos de decisão, que permita avaliar o risco dimensional de forma adequada.

2. Gerenciamento de riscos no transporte ferroviário

O gerenciamento de risco é definido como todas as medidas e atividades realizadas para gerenciar o risco. Ela lida também, com equilíbrio e conflitos inerentes em explorar oportunidades de um lado e evitar perdas, acidentes e catástrofes do outro (AVEN, 2008). Byrd & Cothorn (2000) definem risco como “a probabilidade de uma perda futura”. No entanto, a definição de risco pode ir além da probabilidade de perda futura ou a ocorrência de danos dada a existência de uma fonte de perigo. Para Aven (2010), a definição de risco admite ser interpretada de várias maneiras, pois existem vários tipos de riscos como, por exemplo, risco de mercado, risco de crédito, risco de liquidez, risco operacional, risco legal e risco do fator humano. Cada um desses riscos possui diferentes interpretações.

No contexto de transportes, Verma et al. (2012) representam o risco como o número total de pessoas expostas à possibilidade de uma consequência indesejável. Erkut, Tjandra e Verter (2007) destacam o risco como principal elemento que separa os problemas de transporte de materiais perigosos de outros problemas de transporte. A fim de mitigar os riscos no desenvolvimento desta atividade, estudos têm surgido nesta direção, como em Purdy (1993), que compara riscos dos modais rodoviários e ferroviários para o transporte de cloro na Inglaterra, além de tratar das metodologias que poderiam ser empregadas em caso de incidentes envolvendo estes materiais. Ele considera que os riscos de transporte ferroviário são consideravelmente mais elevados do que os riscos de transporte rodoviário. Nestas condições, principalmente porque ferrovias tendem a passar por dentro das cidades, enquanto o sistema rodoviário é projetado para ir ao redor das cidades. No entanto, Andersson (1994) também investigou dentre os modais ferroviário, rodoviário e marítimo o mais seguro para o transporte de produtos perigosos. Feito o cálculo do custo total de risco para o transporte rodoviário e ferroviário, e comparar com os custos comerciais, revelou que o custo de risco trabalhou em favor da ferrovia, mas não o suficiente para reverter a vantagem de custo do transporte rodoviário comercial.

Philipson & Napadensky (1982) apresentam uma revisão no qual estrutura os tipos de metodologias que podem ser empregadas na estimativa da contribuição de risco das diferentes fases de um incidente no transporte de materiais perigosos, assim como, procedimentos disponíveis para a avaliação da importância dos riscos estimados e dos meios possíveis para sua mitigação. Os autores ainda destacam que quatro tipos gerais de metodologias de estimativa de risco têm evoluído e têm sido aplicados a materiais perigosos análise de risco transporte, que são: inferência estatística, árvore de falhas, modelagem/simulação analítica, e estimativa subjetiva formal dos parâmetros de risco, sendo orientadas em torno de sua utilidade nas diversas fases de uma análise de risco de transporte.

2.1 Processo de análise e modelos de gerenciamento de riscos

O processo de análise de risco é uma parte central no gerenciamento de risco, e tem uma estrutura básica que é independente da sua área de aplicação (AVEN, 2008). Existem várias maneiras de apresentar o processo de análise de risco, mas a maioria das estruturas contém três elementos-chaves:

- a) Planejamento;
- b) A avaliação de risco (execução);
- c) Tratamento de Riscos (uso).

O planejamento envolve a discussão entre tomadores de decisão e as partes interessadas para estabelecer questões a serem avaliadas, os objetivos e a abrangência na qual vai ser realizado o estudo, para que se possa formular o problema, no qual, envolve o desenvolvimento de um

modelo conceitual e plano de análise para a avaliação e procede-se em paralelo com o planejamento e escopo (ABT *et al.*, 2010). Para Aven (2008), a gestão de risco envolve muitas vezes tomada de decisão em situações que são caracterizadas por um elevado risco e incertezas, representando um desafio na medida em que é difícil prever as consequências das decisões. Uma condição básica para a existência de um problema de decisão de acordo com De Almeida (2013) é a existência de pelo menos duas alternativas para que o decisor possa efetuar uma escolha.

De forma complementar, Aven (2008) descreve que na fase inicial do processo decisório muitas alternativas ainda não estão precisamente definidas. Várias formas de análises fornecem uma base para classificar e escolher alternativas que serão posteriormente processadas. Assim, o decisor executa uma análise e julgamento das várias alternativas, tendo em conta as restrições e limitações das análises, e em seguida a decisão é tomada. O decisor na realidade escolhe que consequência deseja obter, em função disso busca-se então a alternativa que lhe forneça a consequência mais desejável (ALMEIDA, 2013).

A avaliação de risco descreve as tarefas de identificar e explorar (de preferência em termos quantitativos), os tipos, intensidades e probabilidade das consequências (normalmente indesejáveis) relacionados com um risco ou uma ameaça, por conseguinte, a avaliação dos riscos pode ser definida como uma ferramenta para ganhar conhecimento sobre possíveis acontecimentos e suas consequências e situa-se principalmente na área científica (AVEN; RENN, 2012).

O tratamento dos riscos é o processo e a implementação de medidas destinadas a modificar o risco, incluindo medidas destinadas a evitar, reduzir ("otimizar"), transferir ou reter o risco. Transferência de risco significa compartilhar com outra parte do benefício ou prejuízo associado com um risco (KOBACZY; MURTHY, 2008).

3. Análise do risco no contexto ferroviário

Esta análise constituiu inicialmente em demonstrar os principais instrumentos legais empregados para o gerenciamento e fiscalização no transporte ferroviário de produtos perigosos, e posteriormente a caracterização dos riscos envolvidos no desenvolvimento desta atividade, dividido em oito categorias: local do acidente, tipo de acidente, material envolvido, causas do acidente, população afetada, danos ambientais, riscos logísticos e outros.

3.1 Regulamentação para o transporte ferroviário de produtos perigosos

O governo tem papel fundamental no gerenciamento de risco no transporte ferroviário de produtos perigosos, e uma das formas de gerenciamento se dá através de instrumentos legais, como decretos, resoluções e leis. O Decreto nº 98.973, de 21 de fevereiro de 1990, aprova o Regulamento do Transporte Ferroviário de Produtos Perigosos, estabelecendo regras para o transporte, por via férrea, de produtos, que, por suas características, sejam perigosos ou representem riscos para a vida e a saúde das pessoas, para a segurança pública, para o meio ambiente ou para a própria ferrovia. A Resolução ANTT nº 420/04, define produto perigoso: *“toda substância ou artigo encontrado na natureza ou produzido por qualquer processo que, por suas características físico-químicas, represente risco para a saúde das pessoas, para a segurança pública ou para o meio ambiente”*.

Conforme a regulamentação da Resolução 420 da ANTT, de 12 de fevereiro de 2004 que fornece as definições e informações sobre ensaios necessários para classificar o produto nas diversas classes e subclasses conforme o **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

CLASSES	TIPOS
Classe 1	Explosivos Subclasse 1.1 Substâncias e artefatos com risco de explosão em massa; Subclasse 1.2 Substâncias e artefatos com risco de projeção; Subclasse 1.3 Substâncias e artefatos com risco predominante de fogo; Subclasse 1.4 Subclasse Substâncias e artefatos que não representam risco significativo; Subclasse 1.5 Substâncias pouco sensíveis; Subclasse 1.6 Substâncias extremamente insensíveis.
Classe 2	Gases Subclasse 2.1 Gases inflamáveis; Subclasse 2.2 Gases comprimidos não tóxicos e não inflamáveis; Subclasse 2.3 Gases tóxicos por inalação.
Classe 3	Líquidos Inflamáveis
Classe 4	Sólidos Inflamáveis Subclasse 4.1 Sólidos inflamáveis; Subclasse 4.2 Substâncias passíveis de combustão instantânea; Subclasse 4.3 Substâncias que, em contato com água, emitem gases inflamáveis.
Classe 5	Substâncias oxidantes; Peróxidos Orgânicos Subclasse 5.1 Substâncias oxidantes; Subclasse 5.2 Peróxidos Orgânicos.
Classe 6	Substâncias Tóxicas; Substâncias Infectantes Subclasse 6.1 Substâncias Tóxicas; Subclasse 6.2 Substâncias Infectantes.
Classe 7	Substâncias Radioativas
Classe 8	Substâncias Corrosivas
Classe 9	Substâncias Perigosas Diversas

Tabela 1 – Classes de Materiais Perigosos

Mesmo sendo imprescindível o envolvimento dos órgãos governamentais na prevenção e mitigação dos riscos, ainda não é suficiente para diminuir os efeitos da ocorrência de qualquer tipo de acidente com produtos perigosos nas ferrovias, tornando a empresa proprietária do material transportado e a transportadora as principais responsáveis pelas medidas mitigativas e preventivas.

3.2 Avaliação dos aspectos relacionados aos acidentes em ferrovias

Devido ao crescimento do transporte de materiais perigosos, é de grande importância que haja a compreensão dos riscos envolvidos, suas causas e os principais contribuintes para que as decisões sejam feitas de forma correta, uma vez, que existem particularidades do modal ferroviário que devem ser levados em consideração. Nas seções posteriores serão discutidas as principais características de cada risco que podem envolver a movimentação de produtos perigosos através do modal ferroviário.

3.2.1 Local do acidente

O local do acidente tem grande influência na probabilidade de ocorrência e na magnitude do acidente (por exemplo, o tipo de vizinhança, proximidade de locais urbanos, áreas industriais, área de preservação ambiental, local montanhoso, local de difícil acesso, áreas mais suscetíveis a sabotagem e vandalismo, etc.) e conhece-lo com mais detalhes é de grande importância para que se tenha uma resposta rápida na prevenção e na mitigação do acidente.

De acordo com Bubbico et al. (2009), uma série de acidentes graves em túneis ocorreram nos últimos anos na Europa. Veículos de carga e passageiro mesmo comuns demonstraram seu potencial para gerar um perigoso cenário acidental dentro de um túnel, onde o confinamento causa mais persistência e níveis mais elevados da temperatura, da concentração de gases tóxicos e de sobrepressão em relação ao ar livre. Além disso, as pessoas dentro de um túnel podem experimentar dificuldades ao tentar escapar devido à baixa visibilidade, local distante de lugares seguros e dificuldade para localizá-los.

Embora são geridas separadamente, segundo Evans & Addison (2009), existem algumas interações fortes entre o sistema ferroviário e rodoviário. Estas interações incluem em pontes e passagens de nível. Em toda a Austrália, por exemplo, ao longo dos dez anos entre junho de

2002 e julho de 2012, 92 colisões entre trens e pedestres em passagens de nível ferroviárias tinham acontecido (READ *et al.*, 2016).

3.2.2 Tipo de acidente

Oggero *et al.* (2006) classifica cada acidente em quatro categorias básicas: fogo, libertação, explosão e de nuvem de gás. Foram analisados 1932 acidentes durante o transporte de produtos perigosos, tanto através de rodovias, como por ferrovias. Como resultado foi observado um aumento da frequência de acidentes ao longo do tempo, onde maior parte dos acidentes aconteceram nas estradas, cerca de 63%. Os cenários acidentais mais frequentes foram lançamentos (78%), seguido de incêndios (28%), explosões (14%) e nuvens de gás (6%).

3.2.3 Tipo de material envolvido

O tipo de material envolvido no acidente é com base na classificação de materiais perigosos (Quadro 1). Em um levantamento sobre acidentes com materiais perigosos, feito por Viichez *et al.* (1995), metade dos casos (53%), o material envolvido no acidente era um líquido, onde, ainda de acordo com os autores, deve-se ao fato que maioria dos produtos manipulados pela indústria química são líquidos e líquidos inflamáveis. Os gases e gases liquefeitos pressurizados estavam envolvidos em 30% dos incidentes. Os fluídos foram, por conseguinte, envolvida em 90% dos casos. Dados da ANTT (2013) mostram que 71 dos acidentes ocorridos em 2013 na ferrovia Transnordestina, 11 foram os acidentes envolvendo produtos perigosos, não sendo especificado o tipo de produto ou se houveram lesões ou mortes causadas pelos acidentes com os produtos perigosos.

3.2.4 Causas dos acidentes

Viichez *et al.* (1995) e Oggero *et al.* (2006) levaram em consideração oito possíveis causas em um acidente ferroviário: falha mecânica, impacto, fatores humanos, falha do instrumento, insuficiência de serviços, reação violenta, eventos externos e as condições do processo virados. As causas mais frequentes foram: impacto (35%), seguido por falha mecânica (33%) e fatores humanos (24%). A alta frequência de impacto é devido ao elevado número informações sobre acidentes de transporte.

De acordo com sua análise de Oggero *et al.* (2006), 73,5% dos acidentes no transporte rodoviário e ferroviário foram causados por impacto ou colisão entre veículos, descarrilamento de comboios ou quebra de caminhões, sendo a origem muitas vezes explicada pelo erro humano. Outras causas deram-se por falha mecânica, eventos externos e os fatores humanos, que juntos somavam mais de 18%. As porcentagens para as demais causas somam (8%). A principal causa de falha mecânica era válvulas em 29% dos casos. Os eventos externos mais comuns foram incêndios externos (44%), sabotagem (9%) e explosões (8%). Finalmente, ao considerar fatores humanos, os mais significativos foram operações gerais em 35%, e os procedimentos em 11%. Neste caso, a "outros" percentual também é bastante elevado, porque há uma grande variedade de causas específicas.

3.2.5 População afetada

O número de pessoas envolvidas em acidentes pode ser classificado em três categorias: número de mortes, o número de pessoas feridas, e o número de pessoas evacuadas (VIICHEZ *et al.*, 1995). Dados do Relatório da Agência Nacional de Transporte Terrestre – ANTT (2013) mostram que houveram 52 acidentes graves envolvendo 13 pessoas nesses acidentes considerados graves, deixando 7 pessoas mortas ou gravemente feridas no total, não especificando o tipo de lesão. Não foi relatado danos causados à comunidade.

3.2.6 Danos ambientais

Outro risco a ser levado em consideração, é o risco ambiental. He, Mol, Zhang, & Lu (2015) destacam que as preocupações com riscos ambientais e sociais, estão relacionadas tanto à construção e layout (geográfica) como também, mudança significativa do uso do solo e as consequências para a paisagem e a biodiversidade; e consequências para a saúde ambiental e humana de operação diária do comboio, incluindo o ruído, vibração, radiação e poluição eletromagnética, visual e poluição do ar e acidentes. Quanto à acidentes com danos ambientais o Relatório da Agência Nacional de Transporte Terrestre – ANTT (2013) não registrou nenhum acidente causando danos ambientais.

3.2.7 Riscos na cadeia de suprimentos

Em uma definição de risco na cadeia de suprimentos, Christopher (2003) afirma que “é sobre qualquer ameaça de interrupção do funcionamento da cadeia de abastecimento”. Risco pode ser gerado como resultado de risco que são internas (operações, processos e controle) ou externas à empresa, como por exemplo, crises mundiais, desastres naturais, ataques terroristas).

Os efeitos de risco podem ser classificados em três tipos diferentes: baseados em tempo, baseado em finanças e baseada em qualidade. Efeitos baseados em tempo, adiam ou interrompem o fluxo de materiais da cadeia de abastecimento, desta forma, a mercadoria não chega ao seu destino como esperado pelo cliente, sendo assim, identificado como um colapso. Os efeitos financeiros na cadeia de abastecimento são os custos de gerenciamento adicionais e taxas atribuíveis a alguns fatores de risco. Finalmente, efeitos baseados em qualidade resultam de danos para as mercadorias transportadas ou o equipamento de transporte (VILKO; HALLIKAS, 2012).

Em sua pesquisa Viichez et al., (1995) detalha que apenas 18% dos casos as perdas econômicas provenientes dos acidentes foram conhecidas. Isto dá uma indicação da dificuldade de avaliar estas perdas, e à baixa tendência para publicar esta informação. Outro aspecto também deve ser levado em conta: a dificuldade inerente à comparação dos dados econômicos correspondentes a diferentes períodos.

3.2.8 Outros riscos

A percepção do risco da população no transporte é um assunto que tem sido tratado na literatura, tendo como objetivo compreender as variações que possam existir na percepção de risco entre os indivíduos estudados. Tem sido sugerido que o risco percebido consiste de três fatores; cognitiva (probabilidade), emocional (preocupação) e consequências (FYHRI; BACKER-GRONDAHL, 2012).

Sendo assim, a percepção de risco e a preocupação social no transporte de produtos perigosos através de ferrovias é um fator relevante nas estratégias das transportadoras, uma vez que na ocorrência de um incidente, a pressão popular com o temor de novos incidentes, pode resultar em perda de clientes, quebra de contratos e prejuízo a imagem da organização.

4. Caracterização do Risco Multidimensional em Transporte de Produtos Perigosos

A descrição dos principais aspectos relacionados aos acidentes, reforçam a preocupação de estender a perspectiva de análise do gerenciamento de risco sob uma abordagem ampla que envolva as múltiplas dimensões relacionadas e suas possíveis consequências.

A caracterização das dimensões de consequências permite maior entendimento de como cada uma das dimensões podem ser tratadas no contexto de avaliação de risco. A priori foram levantadas na literatura as principais dimensões associadas sob um olhar unidimensional, o próximo passo trata-se de inserir estas características em uma avaliação de risco mais ampla.

De acordo com a literatura analisada, foi possível relacionar onze dimensões de risco, sendo duas referentes a danos à segurança humana, duas dirigidas para danos ao ambiente, quatro relacionados a danos financeiros e outras duas dimensões diz respeito a cadeia logística. Esta última é uma das contribuições deste trabalho, uma vez que a análise das consequências de incidentes dentro de uma cadeia logística pode trazer um maior entendimento dos riscos no contexto de transporte ferroviário de produtos perigosos. Para uma melhor organização, as dimensões foram relacionadas em forma de uma hierarquia, conforme a Figura 1.

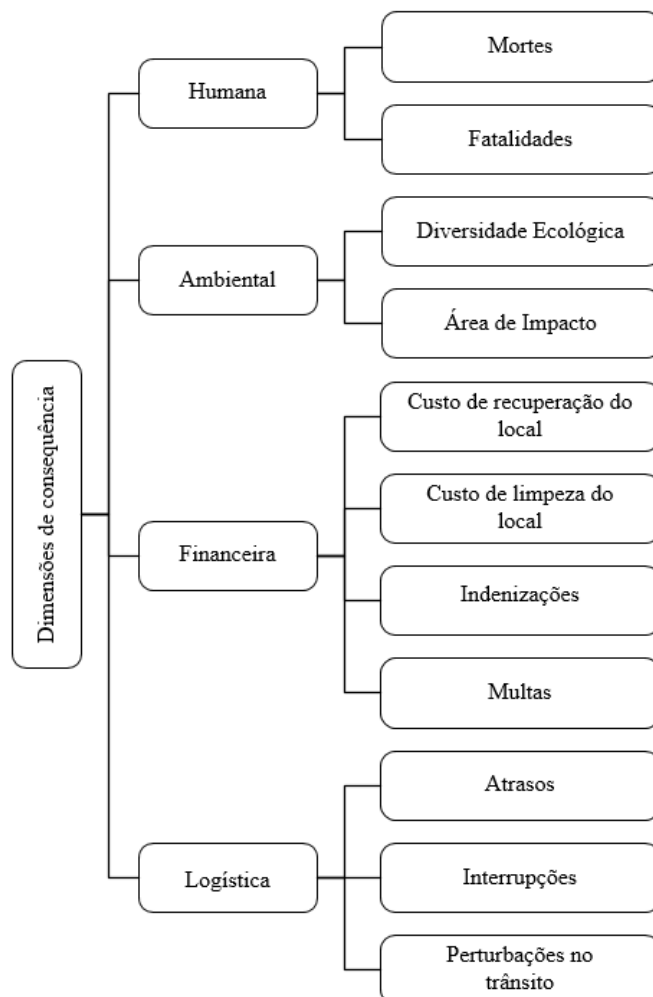


Figura 1: Estrutura hierárquica das dimensões de consequências

Cada uma das dimensões acima pode gerar níveis de impactos diferentes para cada trecho da ferrovia, ou seja, ela pode ser impactada de maneiras diferentes, direta ou indiretamente, como por exemplo, o tipo, quantidade e combinações de produtos perigosos a serem transportados, o tipo de vizinhança presente, o número de pessoas que residem próximas as linhas férreas, assim como o nível social podem impactar no número de fatalidades e lesões aos seres humanos em caso de acidentes, uma vez que pessoas com um nível social mais baixo tendem a morar em zonas indústrias ou próximas as linhas férreas.

Outras dimensões como a ambiental e financeira, sofrem impactos de maneiras diferentes, pois dependem do local do acidente (próximas a rios, lagos, locais montanhosos etc.) ou ainda a fauna e flora presente no local, pois estes impactos ambientais podem ser reversíveis, mitigáveis ou não. Dependendo do tipo de impacto ambiental, as transportadoras responsáveis podem sofrer sanções financeiras por parte de órgãos governamentais, através de multas e

indenizações, custos para recuperar o local do acidente, prestação de serviço ou ainda serem impedidas de continuar com tais atividades. O impacto financeiro pode ser através da perda do material lançado, ou o material rodante, e custos com manutenção da linha férrea. Já a dimensão logística, pode ser impactada em decorrência de atrasos, interrupções, impactos ao trânsito, como também impactar na produção.

Desta forma, a estrutura apresentada bem como os principais aspectos relacionados aos riscos envolvidos no transporte de materiais perigosos é de relevante importância para a composição de um modelo de decisão. A escolha do método necessita contemplar os aspectos relacionados às incertezas e as várias dimensões anteriormente descritas além da estrutura de preferências que necessita ser elicitada.

4.1 Análise da Multidimensionalidade

A gestão de riscos na atividade de transporte de produtos perigosos lida com a exposição das cargas a situações que fogem do controle com a possibilidade de proporcionar acidentes em qualquer ponto do deslocamento. Nessa perspectiva, Aven (2008) afirma que a gestão de risco envolve muitas vezes a tomada de decisões em situações que são caracterizadas por um elevado risco e incertezas, representando um desafio na medida em que é difícil prever as consequências resultados das decisões. Neste processo decisório, é preciso ainda a consideração de vários aspectos que estão intrínsecos ao gerenciamento de risco, tais como aspectos técnicos, econômicos, ambientais, políticos, e questões sociais (BRITO *et al.* 2010).

Porém, como mencionado por Garcez & de Almeida (2014), as metodologias tradicionais de análise de risco não consideram todos estes aspectos de maneira conjunta, ou seja, consideram apenas aspectos econômicos, ambientais, ou humanos separadamente na análise de risco, podendo assim não ser a melhor maneira a ser abordada, uma vez que várias dimensões de risco possam ser afetadas conjuntamente. Deste modo, a consideração de várias dimensões tem demonstrado ser um meio eficiente de avaliar os riscos, uma vez que no mundo real, diferentes pontos de vista podem influenciar o processo decisório (BRITO & DE ALMEIDA, 2009; ALENCAR & DE ALMEIDA, 2010; LINS & DE ALMEIDA, 2012; GARCEZ & DE ALMEIDA, 2014).

Logo, há uma necessidade de metodologias que permitam uma avaliação de risco que englobe esta visão multidimensional, assim como a inclusão das preferências do decisor neste processo, tendo em mente que as organizações estão cada vez mais interessadas em considerar as opiniões e preferências dos gestores em seu processo decisório, além de permitir a inserção do contexto de incerteza que muitos problemas de decisão estão inseridos, sobretudo as incertezas, que segundo Catrinu & Nordgård (2011), ocorre devido às variações naturais, imprevisíveis, associadas com o sistema ou o ambiente, ou seja, está fora do controle do decisor, sobretudo no contexto de transporte de produtos perigosos.

Nesse sentido, metodologias de apoio a decisão multicritério são adequadas para a avaliação de risco multidimensional por permitir a incorporação de vários critérios, as preferências do decisor, assim como a análise no contexto de incerteza. Dentre os métodos existentes, a Teoria da Utilidade Multiatributo (*Multi-Attribute Utility Theory – MAUT*), permite a incorporação das preferências do decisor no processo decisório. Este modelo, de acordo com de Almeida *et al.* (2015), tem origem da teoria decisão e fornece um protocolo estruturado, com uma estrutura axiomática sólida, podendo incorporar vários critérios, além de incluir uma modelagem no contexto probabilístico, onde as incertezas estão inseridas.

5. Conclusão

O presente estudo realizou um diagnóstico do cenário de gerenciamento de risco no transporte de materiais perigosos em ferrovias identificando os principais aspectos relacionados ao risco de acidentes contribuindo com a análise do efeito destes com o risco associado, identificando as principais dimensões a serem consideradas em um modelo de decisão. O estudo identificou que no gerenciamento de riscos é importante não limitar a abordagem apenas a unidimensionalidade do risco de acidentes e suas consequências, necessitando incorporar a multidimensionalidade para que se tenha um diagnóstico mais amplo e preciso, representando de forma satisfatória o problema.

Verificou-se que através do gerenciamento de riscos, é possível delimitar de forma ampla o funcionamento do sistema de transporte, detectando os fatores indesejáveis e possibilitando a redução dos riscos identificados. Quanto a identificação e caracterização dos instrumentos legais, foi apresentado o sistema de classificação dos produtos perigosos e as legislações vigentes que regulamentam este tipo de atividade no país, sendo possível constatar a complexidade que envolve a movimentação destas cargas, tendo em vista a grande variedade de produtos que pode recair em cada uma das classes mencionadas.

Pesquisas realizadas para desenvolvimento do trabalho indicaram grandes deficiências na geração de informação com relação a segurança do sistema de transporte ferroviário de produtos perigosos no âmbito nacional. Para que tal deficiência seja amenizada, é preciso implementar um sistema para registro de incidentes com produtos perigosos, o que permitirá aos pesquisadores informações mais detalhadas para que estudos mais acurados sejam realizados, e assim, trazer contribuições para o meio corporativo, como também, para o meio científico através de novas técnicas de gestão de risco ou aperfeiçoamento das técnicas já existentes.

No contexto da avaliação de risco multidimensional, o diagnóstico permitiu identificar as dimensões e principais considerações necessárias para selecionar um modelo de decisão multicritério, bem como o papel das dimensões associadas ao risco, que permitem uma melhor avaliação sobre as ações a serem realizadas para evitar ou mitigar os possíveis efeitos das dimensões sobre os possíveis riscos associados.

REFERÊNCIAS

- ABT, E. et al.** *Science and decisions: Advancing risk assessment*. Risk Analysis, v. 30, n. 7, p. 1029–1036, 2010.
- ALMEIDA, A. T. DE.** *Processo de Decisão nas Organizações: Construindo Modelos de Decisão Multicritério*. 1. ed. São Paulo/SP, Brasil: Editora Atlas, 2013.
- ALENCAR, M. H.; DE ALMEIDA, A. T.** *Assigning priorities to actions in a pipeline transporting hydrogen based on a multicriteria decision model*. International Journal of Hydrogen Energy, v. 35, n. 8, p. 3610–3619, 2010.
- ANDERSSON, S.-E.** *Safe transport of dangerous goods: road, rail or sea? A screening of technical and administrative factors*. European Journal of Operational Research, v. 75, n. 3, p. 499–507, jun. 1994.
- ANTT.** Agência Nacional de Transportes Terrestres. *Acompanhamento das concessões ferroviárias: relatório anual*. p. 96–113, 2013.
- ANTT.** Agência Nacional de Transportes. *Acidentes Ferroviários no Subsistema Ferroviário Federal no ano de 2013*. [S.l.: s.n.], 2014.
- APOSTOLAKIS, G. E.; LEMON, D. M.** *A Screening Methodology for the Identification and Ranking of Infrastructure Vulnerabilities Due to Terrorism*. Risk Analysis, v. 25, n. 2, p. 361–376, 4 maio 2005.
- AVEN, T.** *On how to define, understand and describe risk*. Reliability Engineering & System Safety, v. 95, n. 6, p. 623–631, jun. 2010.
- AVEN, T.** *On the new ISO guide on risk management terminology*. Reliability Engineering & System Safety, v.

96, n. 7, p. 719–726, jul. 2011.

AVEN, T. Risk Analysis. 1. ed. [S.l.]: Jonhn Wiley, 2008. v. 1.

AVEN, T.; RENN, O. *On the risk management and risk governance of petroleum operations in the Barents Sea area.* Risk analysis : an official publication of the Society for Risk Analysis, v. 32, n. 9, p. 1561–75, set. 2012.

BRITO, A. J.; DE ALMEIDA, A. T.; MOTA, C. M. M. *A multicriteria model for risk sorting of natural gas pipelines based on ELECTRE TRI integrating Utility Theory.* European Journal of Operational Research, v. 200, n. 3, p. 812–821, fev. 2010.

BUBBICO, R. et al. *Preliminary study on the transport of hazardous materials through tunnels.* Accident Analysis & Prevention, v. 41, n. 6, p. 1199–1205, 2009.

BYRD, D. M.; COTHERN, C. R. Introduction to Risk Analysis: A Systematic Approach to Science-based Decision Making. [S.l.]: Government Institutes, 2000.

CATRINU M.D., NORDGÅRD D.E. *Integrating risk analysis and multi-criteria decision support System for Robust Decision-Making in Complex Situations.* Int J Inf Syst Cris Response Manag 3: 17-35, 2011.

CHRISTOPHER, M. *Understanding Supply Chain Risk: A Self-Assessment Workbook.* . [S.l: s.n.], 2003.

COHRSEN, J. J.; COVELLO, V. T. Risk Analysis: A Guide to Principles and Methods for Analyzing Health and Environmental Risks. [S.l.]: DIANE Publishing Company, 1999.

DE ALMEIDA, A.T., CAVALCANTE, C.A.V., ALENCAR, M.H., FERREIRA, R.J.P., de ALMEIDA-FILHO, A.T., GARCEZ, T.V. *Multicriteria and Multiobjective Models for Risk, Reliability and Maintenance Decision Analysis.* Cham: Springer International Publishing, 2015. v. 231.

ERKUT, E.; TJANDRA, S. A.; VERTER, V. *Hazardous Materials Transportation.* Handbooks in Operations Research and Management Science. [S.l: s.n.], 2007. v. 14. p. 539–621.

EVANS, A. W.; ADDISON, J. D. Interactions between rail and road safety in Great Britain. Accident; analysis and prevention. v. 41, n. 1, p. 48–56, 2009.

FYHRI, A.; BACKER-GRONDAHL, A. *Personality and risk perception in transport.* Accident Analysis and Prevention, v. 49, p. 470–475, 2012.

GARCEZ, T. V.; DE ALMEIDA, A. T. *A risk measurement tool for an underground electricity distribution system considering the consequences and uncertainties of manhole events.* Reliability Engineering & System Safety, v. 124, n. 0, p. 68–80, abr. 2014.

GARCEZ, T. V.; DE ALMEIDA, A. T. *Multidimensional risk assessment of underground electricity distribution systems based on MAUT.* Safety, Reliability and Risk Analysis: Beyond the Horizon, v. 29, n. 2, p. 2009–2017, 2014.

GARCEZ, T. V.; DE ALMEIDA, A. T. *Multidimensional Risk Assessment of Manhole Events as a Decision Tool for Ranking the Vaults of an Underground Electricity Distribution System.* IEEE Transactions on Power Delivery, v. 29, 2014.

HE, G. et al. *Environmental risks of high-speed railway in China: Public participation, perception and trust.* Environmental Development, v. 14, p. 37–52, 2015.

HØJ, N. P.; KRÖGER, W. *Risk analyses of transportation on road and railway from a European Perspective.* Safety Science, v. 40, n. 1-4, p. 337–357, 2002.

KOBACZY, K. A. H.; MURTHY, D. N. P. *Complex System Maintenance Handbook.* [S.l.]: Springer London, 2008.

LINS, P. H. C.; DE ALMEIDA, A. T. *Multidimensional risk analysis of hydrogen pipelines.* International Journal of Hydrogen Energy, v. 37, n. 18, p. 13545–13554, 2012.

LIU, X.; SAAT, M. R.; BARKAN, C. P. L. *Probability analysis of multiple-tank-car release incidents in railway hazardous materials transportation.* Journal of Hazardous Materials, v. 276, p. 442–451, 2014.

OGGERO, A. et al. *A survey of accidents occurring during the transport of hazardous substances by road and rail.* Journal of Hazardous Materials, v. 133, p. 1–7, 2006.

PERIGOSOS, P. P. *Transporte de Produtos Perigosos deve atender as novas Normas Brasileiras.* . [S.l: s.n.].

PHILIPSON, L. L.; NAPADENSKY, H. S. *The methodologies of hazardous materials transportation risk*

assessment. *Journal of Hazardous Materials*, v. 6, n. 4, p. 361–382, 1982.

PURDY, G. *Risk analysis of the transportation of dangerous goods by road and rail.* *Journal of Hazardous Materials*, v. 33, n. 2, p. 229–259, 1993.

READ, G. J. M. et al. *Walking the line: Understanding pedestrian behaviour and risk at rail level crossings with cognitive work analysis.* *Applied Ergonomics*, v. 53, p. 209–227, mar. 2016.

VERMA, M.; VERTER, V.; ZUFFEREY, N. *A bi-objective model for planning and managing rail-truck intermodal transportation of hazardous materials.* *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v. 48, n. 1, p. 132–149, 2012.

VIICHEZ, J. A. et al. *Historical analysis of accidents in chemical plants and in the transportation of hazardous materials.* *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, v. 8, n. 2, p. 87–96, 1995.

VILAÇA, R.; ANTF, P. *As Concessionárias do Transporte Ferroviário de Carga.* [S.l: s.n.], 2013.

VILKO, J. P. P.; HALLIKAS, J. M. *Risk assessment in multimodal supply chains.* *International Journal of Production Economics*, v. 140, n. 2, p. 586–595, 2012.