

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Jefferson Troglia

**MÉTODO INTEGRADO GENÉRICO DE**  
**AVALIAÇÃO DO RISCO POTENCIAL DE**  
**ACIDENTES NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE**  
**PRODUTOS PERIGOSOS**

Porto Alegre

2019

JEFFERSON TROGLIO

**MÉTODO INTEGRADO GENÉRICO DE AVALIAÇÃO DO  
RISCO POTENCIAL DE ACIDENTES NO TRANSPORTE  
RODOVIÁRIO DE PRODUTOS PERIGOSOS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, modalidade Profissional, na área de concentração em Sistemas de Transportes.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Christine Tessele Nodari, Dra.

Porto Alegre

2019

JEFFERSON TROGLIO

**MÉTODO INTEGRADO GENÉRICO DE AVALIAÇÃO DO RISCO POTENCIAL DE  
ACIDENTES NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE PRODUTOS PERIGOSOS**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção na modalidade Profissional e aprovada em sua forma final pela Orientadora e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

---

**Prof.<sup>a</sup> Christine Tessele Nodari, Dra.**

Orientadora PPGEP/UFRGS

---

**Prof. Ricardo Augusto Cassel, Dr.**

Coordenador PPGEP/UFRGS

**Banca Examinadora:**

Prof. Alejandro Ruiz-Padillo, Dr. (CS/UFSM)

Prof.<sup>a</sup> Aline Marian Callegaro, Dra. (CLN/UFRGS)

Prof.<sup>a</sup> Maria Auxiliadora Cannarozzo Tinoco, Dra. (PPGEP/UFRGS)

Dedico esta dissertação aos meus pais Achylles e Alburina (in memorian), com todo o meu amor e gratidão. Dedico também à minha esposa Marlei, meus filhos Jéssica e Joshua, minha netinha Giovanna, e meu irmão Cicero. Finalmente dedico a minha orientadora Prof.<sup>a</sup> Dra. Christine Tessele Nodari e a Prof.<sup>a</sup> Dra. Aline Marian Callegaro.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), à qual devo todas as etapas do mestrado profissional, a formação e o conhecimento construído.

A minha orientadora Prof.<sup>a</sup> Dra. Christine Tessele Nodari, que sempre esteve disponível para as orientações e questionamentos.

Aos professores integrantes da banca examinadora pela avaliação cuidadosa de minha dissertação, apresentando valiosas contribuições para o aperfeiçoamento do estudo.

Aos demais professores no PPGEF da UFRGS que nortearam a construção do meu conhecimento pelo estudo das disciplinas curriculares.

A equipe do Projeto de Pesquisa sobre a Gestão de Riscos aplicada a Engenharia de Transporte, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, sob a coordenação do Prof. Dr. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho e da Profa. Dra. Aline Marian Callegaro, especialmente aos colegas Dr. Rodolfo Reinaldo Hermes Petter e Ms. Eng. Jessie Bruhn.

Aos meus amigos e colegas de disciplinas por todo o conhecimento compartilhado.

Aos funcionários da secretaria do PPGEF pelo auxílio burocrático, sempre que solicitado.

Aos especialistas que responderam aos questionários da pesquisa.

Ao Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), pela concessão de bolsas de pesquisa que viabilizaram a realização do trabalho.

Ao Centro de Pesquisas e Estudos sobre Desastres no Rio Grande do Sul (CEPED/RS).

Ao Laboratório de Geoprocessamento (Centro de Ecologia, Instituto de Biociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul), pelo suporte durante a pesquisa realizada, especialmente ao Prof. Dr. Eliseu Jose Weber, Prof. Dr. Heinrich Hasenack, e ao Bolsista de Geografia Aiurgue Afonso da Rosa Silva.

À minha família.

## RESUMO

O estudo apresentado nesta dissertação tem como objetivo propor um método integrado genérico para a avaliação do risco potencial de acidentes no transporte rodoviário de produtos perigosos que contribua para a validação de modelos anteriores e fontes de dados, e possa ser utilizado pelos gestores de rodovias. A análise dos modelos da literatura revisados indica a necessidade de aperfeiçoamento, pois há uma falta de padronização e de validação dos modelos existentes, que dificulta a sua adoção pelos gestores de rodovias. As informações têm sido coletadas de formas muito diversas, dificultando o cruzamento de dados. Por esta razão, grande parte das informações não são utilizadas pelos gestores de rodovias e partes interessadas. O estudo fez a identificação, a avaliação e a ponderação dos principais fatores e as características que influenciam o risco de acidentes, e possibilita a localização de trechos críticos de uma rodovia de forma genérica. Os fatores integrados foram o risco viário obtido por revisão de segurança viária, o tipo de acidente rodoviário, o produto perigoso transportado, as vulnerabilidades do entorno da rodovia (ambiental, populacional, e de infraestruturas), e a resiliência territorial. Para ponderar a influência dos diversos fatores e características foi utilizado o Processo Analítico Hierárquico (AHP), aplicado à especialistas. O estudo identificou que o risco potencial de acidentes por segmento da rodovia varia consideravelmente em razão dos fatores integrados e possibilita a classificação nas classes: crítico, elevado, moderado e baixo. Esta abordagem busca contribuir com a padronização e a validação de uma metodologia que resulte efetivamente na melhoria da segurança no transporte de produtos perigosos.

**Palavras-chave:** transporte rodoviário de produtos perigosos, avaliação de riscos, segurança viária.

## **ABSTRACT**

The study presented in this dissertation aims to propose an integrated generic method for the evaluate the potential risk of accidents in road transport of hazardous goods, to propose a generic integrated method to contribute to the validation of previous models and data sources, and to be used by road managers. The analysis of the revised literature models indicates the need for improvement, as there is a gap of standardization and validation of existing models, which makes it difficult for road managers to adopt them. Information has been collected in many different ways, making it difficult to cross data. For this reason, much of the information is not used by road managers and stakeholders. The study identified, evaluated and weighted the main factors and characteristics that influence the risk of accidents, and allows the location of critical sections of a highway in a generic way. The integrated factors were the road risk obtained by road safety review, the type of road accident, the dangerous product transported, the vulnerabilities of the surroundings of the highway (environmental, population, and infrastructure), and territorial resilience. To analyze the influence of the various factors and characteristics, the Analytic Hierarchy Process (AHP) was applied to specialists. The study identified that the potential risk of accidents by road segment varies considerably due to the integrated factors and allows classification in the classes: critical, high, moderate and low. This approach seeks to contribute to the standardization and validation of a methodology that effectively results in improved safety in the transportation of hazardous products.

**Keywords:** road transport of hazardous goods, risk assessment, road safety.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Matriz de modo de transporte de carga do Brasil e do Rio Grande do Sul em função das quantidades de toneladas-quilômetro-úteis).....	16
Figura 2 - Acidentes por modo de transporte de carga do Brasil e do Rio Grande do Sul em função do número de ocorrências registradas.....	17
Figura 3 - Referências resumidas no diagrama de perigo padrão <i>NFPA 704</i> .....	38
Figura 4 – Representação da estrutura hierárquica básica do método AHP.....	53
Figura 5 – Representação da estrutura hierárquica básica para estimativa do IRP .....	68
Figura 6 - Recorte parcial do gabarito de notas usado na auditoria de segurança viária.....	85
Figura 7 - Recorte parcial da folha de verificação usada em campo.....	86
Figura 8 - Recorte parcial do gabarito de notas usado na avaliação da sensibilidade da vegetação .....	88
Figura 9 - Recorte parcial do gabarito de notas usado na avaliação da sensibilidade dos recursos hídricos .....	88
Figura 10 – Quadrícula aplicada em segmento entre os km 64 e 65 .....	89
Figura 11 - Recorte do Mapa Solos, Carta: SH-22-X-C, com entorno da BR 101 entre Torres/RS e Osório/RS .....	90
Figura 12 – Mapa para a identificação de infraestruturas .....	91
Figura 13 - Recorte parcial do gabarito de notas usado na avaliação da sensibilidade da ocupação humana .....	91
Figura 14 - Recorte do Mapa da Densidade Demográfica no entorno da BR 101 entre Torres e Osório/RS .....	92
Figura 15 – Imagem com a localização dos elementos de resiliência em trecho de rodovia ...	93
Figura 16 – Imagem identificando a classificação dos riscos das áreas entorno de rodovia..	100
Figura 17 - Classes de produtos perigosos identificados na rodovia BR-101 entre Torres e Osório .....	101
Figura 18 - Produtos perigosos identificados na rodovia BR-101 entre Torres e Osório .....	102
Figura 19 - Classes de produtos perigosos envolvidos em acidentes de 1994 a 2017 na rodovia BR-101 entre Torres e Osório .....	103
Figura 20 – Imagens da classificação da resistência do solo a impactos ambientais entorno da rodovia BR-101 entre Torres e Osório .....	109
Figura 21 – Imagens da densidade demográfica entorno da rodovia BR-101 entre Osório e Torres.....	112
Figura 22 – Imagens utilizadas na avaliação da vulnerabilidade das infraestruturas no entorno da rodovia BR-101 entre Torres e Osório / RS .....	115



Figura 23 – Imagens da avaliação da vulnerabilidade das infraestruturas no entorno da rodovia BR-101 entre Torres e Osório / RS .....	118
Figura 24 - Imagem resumo da avaliação do risco de acidente com vazamento e/ou explosão de produto perigoso em cada segmento da rodovia BR-101 no sentido Osório - Torres (Norte) .....	122
Figura 25 - Imagem resumo da avaliação do risco de acidente com vazamento e/ou explosão de produto perigoso em cada segmento da rodovia BR-101 no sentido Torres – Osório (Sul) .....	123
Figura 26 - Mapa com o risco médio potencial de acidente com vazamento e/ou explosão de produto perigoso em cada segmento da rodovia BR-101 no sentido Osório - Torres (Norte) .....	124
Figura 27 - Mapa com o risco médio potencial de acidente com vazamento e/ou explosão de produto perigoso em cada segmento da rodovia BR-101 no sentido Torres – Osório (Sul)..	125
Figura 28 - Mapa de identificação dos segmentos com maior risco médio potencial de acidente com vazamento e/ou explosão de produto perigoso em cada segmento da rodovia BR-101 no sentido Osório - Torres (Norte) .....	126
Figura 29 - Mapa de identificação dos segmentos com maior risco médio potencial de acidente com vazamento e/ou explosão de produto perigoso em cada segmento da rodovia BR-101 no sentido Torres - Osório (Sul) .....	127

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação dos tipos de acidentes rodoviários.....	34
Quadro 2 – Classificação dos tipos de acidentes rodoviários.....	35
Quadro 3 - Índices de classificação de grupos de características de produtos perigosos .....	36
Quadro 4 - Definição dos níveis de vulnerabilidade dos elementos territoriais.....	42
Quadro 5 - Classificação de solos quanto a resistência a impactos ambientais .....	45
Quadro 6 - Escala de ponderação da sensibilidade dos aspectos de vulnerabilidade.....	48
Quadro 7 - Níveis de resiliência de cada elemento de acordo com sua distância de uma área acidental.....	49
Quadro 8 - Escala fundamental para julgamentos comparativos .....	54
Quadro 9 – Índice médio de consistência aleatória (CI) .....	57
Quadro 10 - Macrocategorias e características que compõem o Risco Viário.....	65
Quadro 11 – Classificação dos tipos de acidentes rodoviários.....	71
Quadro 12 - Classificação de grupos de características de produtos químicos perigosos .....	73
Quadro 13 - Classificação da vulnerabilidade dos solos .....	75
Quadro 14 - Classificação da vulnerabilidade da populacional .....	78
Quadro 15 – Exemplos de elementos territoriais vulneráveis por tipo de infraestrutura .....	80
Quadro 16 - Classificação da vulnerabilidade da infraestrutura pelo número de elementos ...	80
Quadro 17 - Classificação dos elementos de resiliência territorial .....	82
Quadro 18 - Escala de classificação dos resultados .....	96

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Risco viário por segmento da rodovia.....	97
Tabela 2 - Dano inerente potencial dos produtos perigosos ( $H_{hg}$ ) transportados na rodovia ...	97
Tabela 3 - Vulnerabilidade ambiental por segmento da rodovia.....	98
Tabela 4 - Vulnerabilidade populacional por segmento da rodovia.....	98
Tabela 5 - Vulnerabilidade das infraestruturas por segmento da rodovia .....	98
Tabela 6 – Déficit de Resiliência Territorial por segmento da rodovia.....	99
Tabela 7 - Painel resumo do risco por produto perigoso por segmento da rodovia .....	99
Tabela 8 – Resumo dos resultados da consulta a especialistas utilizado AHP .....	104
Tabela 9 - Coeficientes de ponderação.....	105
Tabela 10 - Risco viário na BR-101 no sentido de Osório a Torres (Norte).....	106
Tabela 11 - Risco viário na BR-101 no sentido de Torres a Osório (Sul).....	107
Tabela 12 - Dano inerente potencial dos produtos transportados na Rodovia BR-101.....	108
Tabela 13 - Características da vulnerabilidade ambiental no sentido de Osório a Torres (Norte) .....	110
Tabela 14 - Características da vulnerabilidade ambiental no sentido de Torres a Osório (Sul) .....	110
Tabela 15 - Exemplo da avaliação da vulnerabilidade ambiental entre Osório e Torres/ RS	111
Tabela 16 - Características da vulnerabilidade populacional no sentido de Osório a Torres (Norte) .....	113
Tabela 17 - Características da vulnerabilidade populacional no sentido de Torres a Osório (Sul) .....	113
Tabela 18 - Exemplo da avaliação da vulnerabilidade populacional .....	114
Tabela 19 - Características da vulnerabilidade das infraestruturas no sentido de Osório a Torres (Norte).....	116
Tabela 20 - Características da vulnerabilidade das infraestruturas no sentido de Torres a Osório (Sul) .....	116
Tabela 21 - Exemplo da avaliação da vulnerabilidade de infraestruturas .....	117
Tabela 22 – Características do Déficit de Resiliência Territorial no sentido de Osório a Torres (Norte) .....	119
Tabela 23 – Características do Déficit de Resiliência Territorial no sentido de Torres a Osório (Sul) .....	119
Tabela 24 - Exemplo da avaliação do Déficit de Resiliência Territorial da Rodovia BR-101 .....	120

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ADR – *European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (Agreement on Dangerous Goods by Road)*

AHP - *Analytic Hierarchy Process*

ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres

BCF - *Bioconcentration Factor*

CARTs - *Classification And Regression Trees*

CBMERJ - Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio De Janeiro

CBMES - Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Espírito Santo

CBMGO - Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás

CBMPR - Corpo de Bombeiros do Paraná

CBPMESP - Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo

CDC - *Centers for Disease Control and Prevention*

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CNT - Confederação Nacional do Transporte

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

DESTINATION - *DangErous tranSport To New prevenTive Instruments*

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler

FISPQ - Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico

GHS - *Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals*

GIIS - *Global Integrated Information System*

GLP - Gás Liquefeito de Petróleo

GPA - *Geographic Plume Analysis*

GPS - *Global Positioning System*

GSM - *Global System for Mobile communications*

HAMER - *Hazardous Material Emergency Response System*

IA - Índice de Acidentes

IBAMA - Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IRP - Índice de Risco Potencial

MLPs - *Multilayer Perceptron Networks*

MSDS - *Material Safety Data Sheets*

NASEM - *National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine*

NBR - Norma Brasileira

NFPA - *National Fire Protection Association*

NIOSH - *National Institute for Occupational Safety and Health*

NOEC - *No Observed Effect Concentration*

NSMDGV - *National System of Monitoring Dangerous Goods Vehicles*

ONU - Organização das Nações Unidas

OSHA – *Occupational Safety and Health Administration*

PELT-RS - Plano Estadual de Logística e Transportes do Rio Grande do Sul

PTA - *Alpine Technological Platform*

RV - Risco Viário

SDS - *Safety Data Sheet*

SIG - Sistema de Informações Geográficas

SIIG - Sistema Informativo Integrato Global

SVMs - *Support Vector Machines*

TRAT-GIS - *Transportation Risk Analysis*

TrHaM - *Transport of Hazardous Materials*

TrHazGis - *Transportation Hazardous GIS*

TVI - *Territorial Vulnerability Index*

UNECE - *United Nations Economic Commission for Europe*

US DOT - *United States Department of Transportation*

WLC - *Weighted Linear Combination*

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	15
1.1	Comentários iniciais.....	15
1.2	Problema de pesquisa, tema e objetivos.....	19
1.3	Justificativa .....	20
1.4	Método de pesquisa.....	22
1.5	Método de trabalho .....	22
1.6	Delimitação do trabalho .....	23
1.7	Estrutura do trabalho .....	23
2	REFERENCIAL TEÓRICO .....	24
2.1	Risco potencial de acidentes no transporte de produtos perigosos .....	24
2.2	Avaliação do risco potencial de acidentes .....	27
2.3	Análise dos principais fatores e características.....	31
2.3.1	Probabilidade potencial de acidentes .....	31
2.3.2	Gravidade potencial do dano causado pelo acidente.....	33
2.4	INTEGRAÇÃO DOS PRINCIPAIS FATORES E CARACTERÍSTICAS .....	50
2.4.1	Análise de decisão multicritério.....	52
2.4.2	Processo hierárquico analítico.....	52
2.4.3	Normalização .....	57
2.4.4	Combinação.....	60
3	METODOLOGIA DE PESQUISA .....	61
3.1	Estruturação .....	62
3.1.1	Identificação dos fatores e características que influenciam o IRP .....	62
3.1.2	Descrição dos fatores e características da estrutura analítica.....	64
3.1.3	Elaboração da estrutura analítica para estimar o IRP.....	67
3.2	Integração.....	68
3.2.1	Estimação dos fatores e suas características .....	69
3.2.2	Sistematização do levantamento de dados .....	84
3.2.3	Estimação do IRP .....	93
3.3	Avaliação .....	95
3.3.1	Elaboração de escalas para classificação dos resultados.....	96
3.3.2	Elaboração da apresentação dos resultados.....	96

3.3.3	Avaliação dos resultados .....	100
3.4	Aplicação .....	100
3.4.1	Cenário de estudo – Trecho de rodovia.....	101
3.4.2	Produtos perigosos transportados na rodovia.....	101
3.4.3	Registros de acidentes no transporte de produtos perigosos pela rodovia .....	102
3.4.4	Ponderação da importância dos fatores e características avaliados por AHP .....	103
3.4.5	Risco Viário.....	106
3.4.6	Perigo Intrínseco ao Tipo de Acidente rodoviário .....	107
3.4.7	Dano Inerente do Produto Perigoso .....	107
3.4.8	Vulnerabilidade Ambiental .....	109
3.4.9	Vulnerabilidade Populacional .....	111
3.4.10	Vulnerabilidade das Infraestruturas .....	114
3.4.11	Resiliência Territorial.....	117
3.4.12	Índice de Risco Potencial de Acidentes (IRP) .....	120
3.4.13	Representação da avaliação do IRP .....	121
4	COMENTÁRIOS FINAIS .....	129
	REFERÊNCIAS .....	133
	APÊNDICE .....	142
	Apêndice A - Questionário Multicritérios (AHP) .....	142

# 1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentados os comentários iniciais, o problema de pesquisa, os objetivos gerais e específicos, a justificativa do trabalho, os métodos de pesquisa e de trabalho, as delimitações do trabalho e a apresentação da sua estrutura, conforme segue.

## 1.1 COMENTÁRIOS INICIAIS

Para Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT, 2016) o termo “produto perigoso” significa que o produto tem potencial de causar danos ou apresentar risco à saúde, à segurança e ao meio ambiente. O Departamento de Transportes dos Estados Unidos (US DOT, 2011) define o termo “produto perigoso” como uma substância ou material capaz de causar um risco excessivo à saúde, à segurança, e à propriedade quando for transportado comercialmente, e inclui neste termo as substâncias perigosas, os resíduos perigosos, os poluentes marinhos, os materiais de alta temperatura, e os materiais designados como perigosos nas suas regulamentações (US DOT, 2011). Nas Recomendações sobre o Transporte de Produtos Perigosos da Nações Unidas (UNITED NATIONS, 2011) os produtos perigosos foram definidos como sólidos, líquidos ou gases que podem prejudicar pessoas, outros organismos vivos, a propriedade ou o meio ambiente e os dividiram em nove classes: explosivos, gases, líquidos inflamáveis, sólidos inflamáveis, substâncias oxidantes e peróxidos orgânicos, substâncias tóxicas e infecciosas, material radioativo, substâncias corrosivas, substâncias e materiais perigosos diversos.

No Brasil, o modo de transporte predominante é o rodoviário. De acordo com a pesquisa realizada pela Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2011), o modo rodoviário de transporte de cargas possui a maior participação (61,1%), seguido pelos modos ferroviário (20,7%), aquaviário (13,6%), dutoviário (4,2%) e aéreo (0,4%). No estado do Rio Grande do Sul é ainda mais forte a predominância do modo de transporte rodoviário. Segundo o Plano Estadual de Logística e Transportes do Rio Grande do Sul – PELT-RS (RIO GRANDE DO SUL, 2014), 88% dos deslocamentos de carga no estado são realizados pelas rodovias, seguido pelo modo ferroviário (6%), aquaviário (3%), dutoviário (3%). Estes dados estão sintetizados na Figura 1.



O total de cargas transportadas em rodovias no Brasil, verificado em 2014, atingiu o valor de 229.238,74 toneladas. Deste total, 32.213,19 toneladas foram de cargas perigosas o que representa 14,05 % do total de cargas transportadas neste modo (RIO GRANDE DO SUL, 2014).

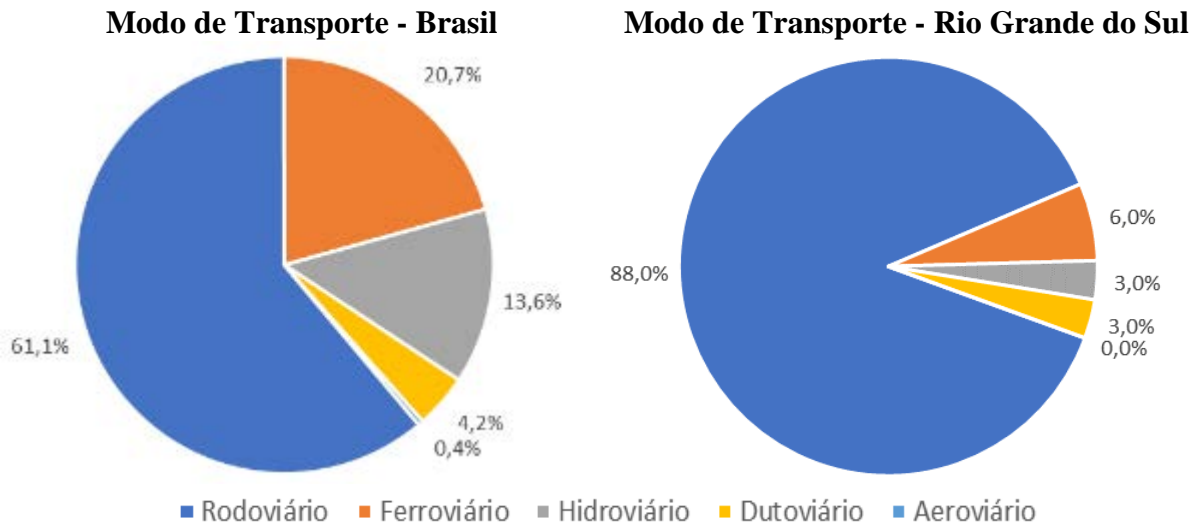


Figura 1 - Matriz de modo de transporte de carga do Brasil e do Rio Grande do Sul em função das quantidades de toneladas-quilômetro-úteis

Fonte: Elaborado pelo autor baseado no CNT (2011) e Rio Grande do Sul (2014)

Quanto à acidentalidade, envolvendo cargas perigosas, no período entre 2006 e 2014, foram registrados 4713 (quatro mil, setecentos e treze) eventos caracterizados como acidentes ambientais pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015). A maior parte dos acidentes ambientais registrados pelo IBAMA, cerca de 30 %, ocorreram em rodovias. Cabe ressaltar que o número de acidentes registrados pelo IBAMA não corresponde ao total de acidentes ambientais ocorridos no Brasil, pois o índice de recebimento de “Comunicados de Acidente Ambiental” ainda é baixo (IBAMA, 2015).

Segundo a relação de acidentes ambientais registrados pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM) do Estado do Rio Grande do Sul, entre dezembro de 1994 a setembro de 2017, ocorreram 681 acidentes no transporte de cargas perigosas. Sendo que a maior parte destes acidentes (88,4 %) foram no modo rodoviário, seguido pelos modos ferroviário (7,5%), aquaviário (2,8%), dutoviário (1 %) e aéreo (0,3%). Estes dados estão sintetizados na Figura 2.

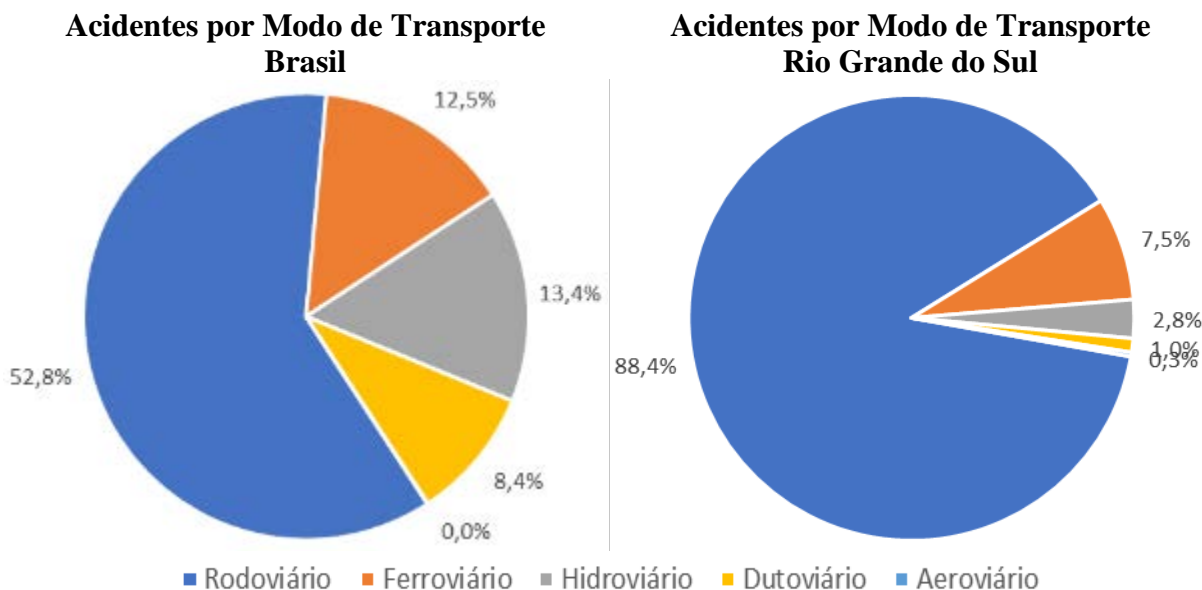


Figura 2 - Acidentes por modo de transporte de carga do Brasil e do Rio Grande do Sul em função do número de ocorrências registradas

Fonte: Elaborado pelo autor baseado no IBAMA (2014) e FEPAM-RS (2017)

A partir dessas informações fica evidente a importância do modo rodoviário no transporte de cargas no Brasil e, ainda, com maior ênfase no estado do Rio Grande do Sul, onde se destaca como o modo de transporte mais utilizado. Por essa razão a ocorrência de acidentes com produtos perigosos no modo rodoviário merece uma especial atenção. Os riscos associados aos acidentes com cargas perigosas são diversos, pois existe uma ampla variedade de produtos perigosos, com diferentes características, que podem gerar diversos tipos de impactos à população, ao meio ambiente e aos bens materiais. Assim como qualquer acidente viário, os acidentes com cargas de produtos perigosos podem acontecer por diversas razões, tais como: o erro humano, a falha mecânica, os obstáculos inesperados, a ação de forças da natureza, a falta de sinalização, entre outras.

As preocupações com o impacto dos acidentes rodoviários envolvendo substâncias perigosas geraram estudos sobre a vulnerabilidade ambiental e social das áreas no entorno de rodovias. Estas pesquisas podem orientar ações corretivas e preventivas para reduzir ou minimizar as consequências de acidentes no transporte rodoviário de produtos perigosos (TINOCO; NODARI; PEREIRA, 2016). Cordeiro et al. (2016) acreditam que a preocupação com o transporte rodoviário de produtos perigosos vem aumentando devido ao crescente consumo destes produtos. Atribui este crescimento à existência de uma relação direta com uma maior movimentação desta carga nas rodovias, à utilização do transporte rodoviário predominar sobre os outros modos de movimentação, à crescente urbanização ao longo das

rodovias e à utilização de veículos antigos. Todas estas questões demonstram que há uma demanda por estudos ambientais e de segurança viária, que avaliem o risco associado com o transporte de produtos perigosos, que direcionem ações preventivas e corretivas do setor público e privado, e reduzam os danos provocados por acidentes com eles.

Segundo Mingarro (2015), a movimentação de veículos ao longo das rotas rodoviárias tem riscos potenciais de acidentes que podem causar ferimentos ou morte aos que operam o transporte e à população, ou danos ao meio ambiente com custos ambientais, materiais e sociais associados a eles. Garbolino et al. (2013), acrescentam que, embora a ocorrência de acidentes graves no transporte de produtos perigosos seja rara, as suas consequências são geralmente graves: com muitas vítimas, danos ao ambiente e a infraestruturas e perda econômica.

O aumento contínuo na quantidade de produtos perigosos transportados por rodovia implica no crescimento do risco para as populações e para o meio ambiente (TABOADA, 2006). De acordo com Martínez-Alegría, Ordóñez e Taboada (2003), o transporte de mercadorias perigosas por rodovia implica em um risco tanto para o homem quanto para o meio ambiente, na medida em que um acidente envolvendo um veículo que transporta esse tipo de material pode causar danos materiais e ambientais extensivos e até mesmo pôr em perigo vidas. Por esta razão, entidades públicas e privadas (por exemplo, companhias de seguros) têm um interesse crescente em estudos que avaliam os riscos associados ao transporte de mercadorias perigosas.

Fernández (2014) e Mingarro (2015) salientam que há um interesse internacional por medidas de controle específicas destinadas a reduzir acidentes e mitigar suas consequências. Mingarro (2015) esclarece que estas medidas incluem o cumprimento de requisitos especiais para veículos de transporte, embalagens, identificação de mercadorias e veículos através de rótulos ou sinais de alerta, documentos de transporte e, fundamentalmente, treinamento de pessoal em relação à responsabilidade no manejo deste tipo de produtos e sua capacidade de resposta a situações de emergência. Tinoco, Nodari e Pereira (2016) ressaltam que devido ao risco de acidentes com consequências para a saúde de pessoas, para a segurança pública e para o meio ambiente, trata-se de uma atividade fortemente regulamentada.

## 1.2 PROBLEMA DE PESQUISA, TEMA E OBJETIVOS

O número de acidentes envolvendo produtos perigosos em rodovias é crescente em todo o mundo. Algumas rodovias de grande importância econômica passam por regiões urbanas densamente povoadas ou por áreas de grande importância ambiental. Acidentes rodoviários com produtos perigosos podem ter graves consequências. Por esta razão são realizadas pesquisas visando desenvolver metodologias para a avaliação do risco de acidentes no transporte de produtos perigosos, para apoiar o planejamento de ações pelos gestores de rodovias. Estes estudos buscam reduzir a possibilidade de ocorrência de acidentes por meio da melhoria da segurança viária, e atenuar as consequências dos acidentes que acontecerem, aumentando a resiliência aos impactos causados. O conhecimento da relevância dos possíveis cenários de acidentes possibilita a gestão consciente de recursos existentes e respalda a reivindicação de recursos complementares. A evolução das infraestruturas de segurança viária e a melhoria dos sistemas de resposta a emergências pode atenuar os impactos negativos à população, ao meio ambiente e ao patrimônio, caso o acidente com uma carga de produtos perigosos ocorra. Apesar do nível de desenvolvimento das metodologias de avaliação de riscos existentes, ainda há espaço para melhorias, principalmente quanto ao grau de aplicação em diferentes contextos territoriais.

A necessidade de contínua evolução no desenvolvimento dos métodos para a avaliação do risco de acidentes no transporte rodoviário de produtos perigosos é evidenciada pela profusão de pesquisas relacionadas ao tema nos últimos anos. Um dos programas de pesquisas da *National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine* (NASEM, 2013) estudou a “prática atual”, em inglês *State of the Practice*, da avaliação de risco no transporte de produtos perigosos por agências governamentais e pelo setor privado. O relatório de conclusão publicado apresentou as formas de avaliação de risco utilizadas pelos diversos modos de transporte, apontou falhas e lacunas das abordagens, bem como recomendações para o desenvolvimento de modelos.

O tema desta dissertação é a avaliação do risco de acidentes no transporte rodoviário de produtos perigosos. O objetivo geral desta pesquisa é propor um método integrado genérico para a avaliação do risco potencial de acidentes no transporte rodoviário de produtos perigosos, que contribua para a validação de modelos anteriores e fontes de dados, e possa ser

utilizado pelos gestores de rodovias. Como decorrência do objetivo principal, pretende-se adicionalmente alcançar os seguintes objetivos específicos: (i) Propor um índice de risco potencial de acidentes para aplicação genérica em rodovias; (ii) Aplicar o método integrado genérico a uma rodovia.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

A principal justificativa para o tema proposto está associada a crescente preocupação de todas as partes interessadas e às consequências potencialmente graves de um acidente no transporte rodoviário de produtos perigosos. Torna-se importante o planejamento de sistemas de suporte à decisão para resposta a estes acidentes, devido ao impacto que pode ser provocado e consequentes danos às pessoas, ao meio ambiente natural e ao patrimônio, tanto público quanto privado.

O problema de identificação de riscos potenciais e suas consequências no transporte de produtos perigosos tem sido uma preocupação reconhecida por muitos pesquisadores, órgãos governamentais e público em geral, como uma das principais questões do campo de segurança do transporte (KAZANTZI; KAZANTZIS; GEROGIANNIS, 2011). Cabe acrescentar que a natureza e a quantidade dos produtos transportados e envolvidos no acidente podem gerar diversos efeitos físico-químicos (fluxo térmico, sobre pressão, efeitos tóxicos, radiológicos e corrosivos, etc.). O cenário torna-se ainda mais complexo devido à multiplicidade de rotas de circulação (rodovias nacionais, locais, etc.), e as múltiplas causas de acidentes (técnicos, organizacionais, humanos, naturais). Logo, todos esses fatores tornam difícil a definição de planos de emergência específicos e indicam a necessidade de propor métodos preditivos para a avaliação do nível de risco dessas atividades de transporte (TENA-CHOLLET et al., 2013).

Embora a probabilidade de um acidente com produtos perigosos ocorrer seja baixa, as consequências desse acidente geralmente são graves: muitas vítimas; danos ao ambiente e a infraestruturas; além da perda econômica (ZOGRAFOS; ANDROUTSOPOULOS, 2008; BERSANI et al., 2010; KAZANTZI; KAZANTZIS; GEROGIANNIS, 2011; GARBOLINO, 2013; MINGARRO, 2015). Os impactos potencialmente catastróficos atribuídos a tais incidentes e o grande número de embarques perigosos suscitam sérias preocupações a todas as partes envolvidas e afetadas pelo processo de transporte de materiais perigosos, ou seja,

autoridades governamentais, transportadoras, sociedades locais, grupos sociais e carregadores. Uma questão importante nas discussões públicas, e nos esforços de pesquisa, é a identificação e o estabelecimento de sistemas integrados de gerenciamento de segurança para mitigar o risco inerente ao transporte de produtos perigosos (ZOGRAFOS; ANDROUTSOPOULOS, 2008).

Segundo a pesquisa bibliográfica de Yilmaz, Erol e Serpil (2016), o transporte de produtos perigosos difere do transporte normal em relação às metodologias de avaliação de risco, podendo ser explicado de diferentes maneiras, segundo o ponto de vista dos pesquisadores. Porém, em quase todos os estudos, a explicação feita pelo US DOT (1994) é aceita como sendo o risco tradicional, sendo a combinação da gravidade das consequências e a probabilidade de ocorrência de um acidente (MARTÍNEZ-ALEGRÍA; ORDÓÑES; TABOADA, 2003; MARTÍNEZ-ALEGRÍA, 2005; PEDRO, 2006; TABOADA et al., 2006; MATÍAS et al., 2007; SILVA, 2007; PEDRO; COSTA, 2009; CORDEIRO; BEZERRA; PEIXOTO, 2012; CORDEIRO, 2014; FERNÁNDEZ, 2014; MINGARRO, 2015; CORDEIRO et al., 2016).

A necessidade da realização de pesquisas sobre a avaliação de riscos para os gestores das rodovias também é evidenciada pela existência de um convênio entre a UFRGS e o DNIT para a elaboração de um Sistema de Gerenciamento de Acidentes Envolvendo o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos, para a Rodovia BR-101 entre Osório e Torres, Rio Grande do Sul, Brasil. Um estudo viabilizado por este convênio, realizado por Tinoco, Nodari e Pereira (2016) indica a existência de 38 quilômetros com vulnerabilidade elevada e 8 quilômetros com vulnerabilidade crítica. A preocupação com a vulnerabilidade é aumentada nestes trechos rodoviários devido à existência de pontes sobre rios, pontos de captação de água, túnel, áreas de preservação ambiental e zonas urbanas. A evolução destes estudos resultou em um Projeto de Pesquisa sobre a Gestão de Riscos aplicada a Engenharia de Transporte, sob o título “Desenvolvimento de Estratégias e Sistemas de Gestão de Acidentes Envolvendo o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos”, pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Um grupo de pesquisadores – mestrados, mestres e doutores – vem desenvolvendo o Projeto com o objetivo de desenvolver estratégias de gestão adequadas para efetuar o gerenciamento da resposta a acidentes rodoviários com produtos perigosos. Sendo a pesquisa que originou esta dissertação integrante deste projeto.

O método proposto neste trabalho busca contribuir com a evolução, a padronização e a validação de conceitos, premissas e abordagens consolidadas em modelos existentes. O incentivo ao desenvolvimento de pesquisas sobre este tema auxilia na atração da atenção de gestores de rodovias e partes interessadas, para a efetiva aplicação prática das informações geradas e armazenadas em bancos de dados, para a redução dos riscos e para a melhoria da segurança nas rodovias.

#### 1.4 MÉTODO DE PESQUISA

O método de pesquisa adotado neste trabalho é classificado como de natureza aplicada. O estudo visa o desenvolvimento de um método que possa ser utilizado pelos gestores de rodovias na identificação dos trechos onde o risco potencial de um acidente no transporte de produtos perigosos seja elevado ou crítico. Com estas informações poderão ser planejadas ações de adequação ou prevenção que possam atenuar as consequências de acidentes conforme as características específicas de cada cenário. A abordagem pode ser classificada como mista, envolvendo abordagens qualitativa e quantitativa. Quanto aos objetivos, o trabalho é classificado como pesquisa explicativa, pois o método proposto permite prover informações para um método de avaliação de riscos de acidentes no transporte de produtos perigosos para gestores de rodovias. No que se refere aos procedimentos, o trabalho caracteriza-se como estudo de caso, pois se aplica dentro de um contexto particular.

#### 1.5 MÉTODO DE TRABALHO

O desenvolvimento do trabalho é organizado em quatro etapas. A primeira etapa envolve a revisão bibliográfica sobre metodologias de avaliação de riscos potenciais de acidentes no transporte rodoviário de produtos perigosos utilizadas por gestores de rodovias visando atingir os objetivos pré-estabelecidos. A segunda etapa refere-se à elaboração de um método de avaliação do risco potencial de acidentes no transporte de produtos perigosos em segmentos da rodovia, identificando os fatores mais apropriados a serem considerados e desenvolvendo a forma de tratamento das informações coletadas. Nesta etapa é elaborado o Índice de Risco Potencial (IRP), com a utilização do Processo Analítico Hierárquico (AHP) por meio de consulta a especialistas sobre a importância dos principais fatores selecionados. A terceira etapa envolve a aplicação do método proposto e análise dos resultados obtidos. A quarta e última etapa refere-se a análise dos resultados.

## 1.6 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

O estudo delimita-se a avaliação do risco potencial de acidentes no transporte rodoviário de produtos perigosos em rodovias. Considera-se a ponderação somente os fatores considerados mais relevantes obtidos pela revisão bibliográfica. O AHP será aplicado ao número de especialistas que dispuserem a responder o questionário, dentro do limite de tempo para a entrega da dissertação. As respostas ao AHP dependem do ponto de vista dos especialistas. Considera-se apenas os produtos perigosos identificados na rodovia durante o período de fiscalização. As avaliações limitam-se as distâncias de entorno da rodovia pré-estabelecidas.

## 1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está organizada em cinco capítulos. No primeiro capítulo é feita uma introdução com comentários iniciais. Neste capítulo são apresentados o problema de pesquisa, tema e objetivos. São também apresentadas justificativas, o método de trabalho, as limitações do trabalho e a estrutura do trabalho. O segundo capítulo apresenta o referencial teórico sobre sistemas de apoio à decisão para resposta a acidentes no transporte rodoviário de produtos perigosos utilizados por gestores de rodovias. Aborda em profundidade os principais fatores utilizados na avaliação do risco potencial de acidentes no transporte rodoviário de produtos perigosos, e nos métodos utilizados para ponderação da importância destes fatores. No terceiro capítulo é desenvolvida a metodologia que resulta no índice de risco potencial de acidentes da rodovia. O quarto capítulo é dedicado à apresentação e à avaliação dos resultados. O quinto capítulo apresenta os comentários finais, contemplando as conclusões obtidas a partir do trabalho desenvolvido, esclarecendo as limitações da pesquisa. Neste capítulo também são propostas sugestões para trabalhos futuros, que possam dar continuidade ao trabalho desenvolvido.



## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo aborda o embasamento teórico pertinente ao entendimento do estudo. Expõe a importância do estudo do risco de acidentes no transporte de produtos perigosos. Apresenta necessidade da criação de modelos empíricos específicos. Aponta falhas e lacunas encontradas nos métodos existentes. Propõe recomendações para melhoria. Indica a abordagem conceitual empregada, baseada no produto da gravidade de um potencial dano e a probabilidade de ocorrência de um acidente. Mostra os principais modelos de análise multicritério empregados. Identifica os principais fatores e das características. Explica as dificuldades encontradas para estimar a probabilidade, e propõe o uso de um modelo paramétrico. Contextualiza a gravidade de acidentes. Apresenta as escalas utilizadas para a classificação da importância das características e métodos de análise de decisão multicritério utilizados para a ponderação de fatores e características. Identifica as principais formas de apresentação dos resultados.

### 2.1 RISCO POTENCIAL DE ACIDENTES NO TRANSPORTE DE PRODUTOS PERIGOSOS

Os produtos perigosos possuem características físico-químicas com potencial para agravar as consequências de qualquer acidente, podendo causar simultaneamente múltiplos danos ao meio ambiente e aos seres humanos expostos. Os estragos originados por um desastre desta natureza podem demorar décadas para serem recuperados. Em razão da possibilidade de ocorrência e do potencial de causar danos relevantes, as empresas e o poder público se empenham na execução e planejamento de ações para reduzir e atenuar as consequências de um acidente com substâncias perigosas. Além disso, há a possibilidade de ocorrerem impactos ambientais inesperados, principalmente durante o transporte, pois o produto perigoso transportado está exposto a situações imprevisíveis. (CORDEIRO, 2014).

Juntamente com a necessidade de utilização e conseqüente transporte de produtos perigosos, deve-se considerar o risco ambiental. Para isso devem ser criadas ferramentas que permitam avaliar os custos ambientais associados a um acidente no transporte de produtos perigosos. Pode-se também utilizar técnicas e/ou regras para minimizar os custos e impactos ao meio ambiente, à infraestrutura construída e seus habitantes (MINGARRO, 2015).

Os riscos associados ao transporte de produtos perigosos suscitam muitas questões sobre a probabilidade de ocorrência, potenciais consequências, vulnerabilidade e resiliência dos territórios atravessados. Por esta razão, há necessidade de avaliar a vulnerabilidade territorial e a resiliência, gerenciar o território e os riscos inerentes ao transporte de produtos perigosos (GARBOLINO et al., 2013).

O grande aumento ocorrido nas últimas décadas no transporte de mercadorias perigosas por rodovia implica em um risco substancialmente maior, tanto para a vida humana como para o meio ambiente. Consequentemente se torna necessária a implementação de medidas preventivas destinadas a aumentar a segurança do transporte e, portanto, é fundamental desenvolver modelos que permitam identificar áreas de maior risco. Desta forma, podem ser tomadas medidas para reduzir o risco ou simplesmente para evitar essas áreas, selecionando rotas alternativas (MARTÍNEZ-ALEGRÍA; ORDÓÑES; TABOADA, 2003).

Os acidentes com produtos perigosos no transporte terrestre podem ser considerados eventos adversos que tem potencial para causar danos de diferentes magnitudes às pessoas e ao meio ambiente. Estes eventos podem ser explosões, incêndios, vazamentos ou emissões de produtos perigosos (BELTRAMI; FREITAS; MACHADO, 2012).

O risco associado a essa atividade está essencialmente relacionado à possibilidade de um acidente com consequências negativas para o meio ambiente e a saúde pública. Gerenciar o risco e reduzir os potenciais impactos negativos do transporte de produtos perigosos é uma tarefa importante para comunidades, governos, produtores e expedidores de produtos perigosos e, por esta razão, vários sistemas foram desenvolvidos para suporte à decisão ao longo das últimas décadas (TORRETTA; CAPODAGLIO, 2017).

Para Taboada et al. (2006), o aumento contínuo do volume de produtos perigosos transportados por rodovias implica em um risco crescente para as populações e para o meio ambiente. Em seu estudo recomenda que inicialmente sejam desenvolvidas e aperfeiçoadas metodologias de análise de riscos que possam ser utilizadas na minimização dos riscos, seja reduzindo a probabilidade da ocorrência de acidentes ou reduzindo o nível de exposição do meio ambiente mais vulnerável e dos elementos populacionais.

As principais falhas e lacunas, identificadas nas avaliações de risco pela pesquisa da NASEM (2013), foram relacionadas com: a validação dos modelos anteriores e fontes dos dados utilizados; padronização de métodos e processos; e a falta de conhecimento pelas partes interessadas da gama de modelos e conjuntos de dados disponíveis. Algumas das principais recomendações da NASEM (2013) para o desenvolvimento de modelos de avaliação de riscos foram a busca de um modelo único padronizado para todos os modos de transporte, com compartilhamento de dados de um único repositório; a padronização dos métodos de consulta a especialistas e de sua aplicabilidade aos problemas normalmente abordados; e a criação de estruturas documentais, com listas de verificação específicas, para incentivar uma maior adoção dos princípios de gerenciamento de riscos e tomada de decisões, incluindo as melhores práticas dos setores público e privado.

Para o apoio à tomada de decisão, a modelagem da propagação de produtos perigosos lançados em caso de acidentes rodoviários é um elemento importante para a avaliação de ameaças relacionadas ao uso do transporte rodoviário de produtos perigosos (BRZOZOWSKA, 2016), e do impacto da liberação acidental de produtos perigosos que pode ser minimizado mediante a provisão de informações precisas e do gerenciamento adequado das principais equipes de resposta a incidentes (ALHAJRAF et al., 2005).

Um exemplo de implantação de ação de emergência integradora é dado por Giaccone, Navarretta e Bratta (2016), que apresentam o projeto *PTA-DESTINATION*, criado pelo Programa Operacional para a Cooperação Transfronteiriça entre a Itália e a Suíça (2007-2013). Este projeto tinha o objetivo de reunir o resultado de dois projetos anteriores, o *PTA (Alpine Technological Platform)* e *DESTINATION (Dangerous transport To New preventive Instruments)*. O principal resultado do projeto *DESTINATION*, que terminou em maio de 2014, foi a definição de um modelo de análise de risco no transporte rodoviário de produtos perigosos, que resultou no desenvolvimento de um sistema de informação compartilhado chamado *GIIS (Global Integrated Information System)*, que inclui dados ambientais, territoriais e técnicos relevantes para atender às necessidades das autoridades locais e das partes interessadas privadas. Desta forma apoia processos de decisão e definição de diretrizes relacionadas ao transporte rodoviário de produtos perigosos (segurança preventiva), fornece assistência às empresas através do monitoramento em tempo real (segurança ativa); e auxilia na mitigação dos impactos humanos e ambientais no caso de acidentes provendo funcionalidades específicas voltadas para a avaliação e o gerenciamento de emergências

(segurança passiva). Para o desenvolvimento deste modelo foram realizadas pesquisas de vulnerabilidade antrópica e ambiental, identificação dos pontos mais críticos para se concentrar no monitoramento do tráfego de produtos perigosos, e foi instalada uma rede de monitoramento com câmeras em 30 pórticos (capazes de reconhecer o painel de segurança com o número de risco e o número da ONU, placas laranjas). O sistema *GIIS* gera um mapa de risco de toda a área do projeto capaz de exibir o risco em uma escala local, dependendo das necessidades do usuário. Os recursos de simulação também estão disponíveis de acordo com as necessidades das partes interessadas públicas e privadas. O projeto *PTA-DESTINATION* visa enriquecer o conjunto de dados disponíveis na plataforma desenvolvida no projeto anterior *PTA*, para melhorar a metodologia de análise de risco e otimizar as funcionalidades *GIIS*. Um dos objetivos do projeto *PTA-DESTINATION* foi o de implementar algumas aplicações móveis para a visualização de mapas de risco do transporte de produtos perigosos e a avaliação das áreas de danos, em caso de acidente, com o intuito de apoiar a avaliação e o gerenciamento de emergências.

## 2.2 AVALIAÇÃO DO RISCO POTENCIAL DE ACIDENTES

A utilização de um modelo analítico clássico para a avaliação do risco no transporte de produtos perigosos, que tem uma grande diversidade de substâncias transportadas e cenários dinâmicos de acidente, seria excessivamente complexo. Por esta razão, torna-se mais racional a utilização de modelos empíricos (MARTÍNEZ-ALEGRÍA; ORDÓÑES; TABOADA, 2003).

O conceito de Risco (R) foi definido pelo Departamento dos Transportes dos EUA (US DOT, 1994) como o produto da gravidade de um potencial dano (G) e a probabilidade de ocorrência de um acidente (P). A Equação 1 expressa esta definição:

$$R = P \times G \tag{1}$$

Onde:

R = risco de um acidente;

P = probabilidade de ocorrência de um acidente;

G = gravidade de um potencial dano.

O modelo proposto por Martínez-Alegría, Ordóñez e Taboada (2003) baseou-se no conceito de risco definido pelo Departamento dos Transportes dos Estado Unidos (US DOT, 1994), como o produto da gravidade de um potencial dano e a probabilidade de ocorrência de um acidente (Equação 1), resultando na Equação 2:

$$R = P \times P_e \times (H_{hg} + V) \quad (2)$$

Onde:

R = risco de um acidente;

P = probabilidade de ocorrência de um acidente;

$P_e$  = perigo intrínseco a um acidente classificado por tipos de acidente (imobilização do veículo, danos ao contentor, vazamento, incêndio e explosão);

$H_{hg}$  = dano potencial inerente a um produto (inflamabilidade, reatividade, toxicidade / corrosividade e oxidação);

V = vulnerabilidade (soma dos valores atribuídos à vulnerabilidade ambiental e populacional).

As principais adaptações propostas neste modelo foram: (i) o uso de fatores de probabilidade na determinação de P (TABOADA et al., 2006; MATÍAS et al., 2007); (ii) a normalização da classificação dos valores atribuídos ao  $P_e$ , em um intervalo de 0 a 1 (CORDEIRO, 2014; CORDEIRO et al., 2016); (iii) inclusão do índice de efeitos ao meio ambiente e a saúde humana no  $H_{hg}$  (SILVA, 2007); (iv) melhor separação e classificação referenciada dos fatores da V (TABOADA et al., 2006; MATÍAS et al., 2007; PEDRO, 2006; PEDRO; COSTA, 2009; CORDEIRO, 2014; FERNÁNDEZ, 2014; MINGARRO, 2015; CORDEIRO et al., 2016); (v) determinar o R por segmento rodoviário (TABOADA et al., 2006; MATÍAS et al., 2007); (vi) aplicar o AHP para ponderação dos fatores e características (CORDEIRO, 2014; CORDEIRO et al., 2016); (vii) classificar o R utilizando técnicas de aprendizado de máquinas (TABOADA et al., 2006; MATÍAS et al., 2007); e (viii) atribuir o mesmo peso a todos os fatores (SILVA, 2007).

Segundo Rao et al. (2004) para a classificação do perigo do transporte de um produto químico por um índice deve-se considerar: o índice de classificação do perigo médio ponderado do produto químico, a quantidade de material transportado, distância do ponto de

vazamento do produto químico até a habitação mais próxima, taxa de dispersão do produto químico, e a probabilidade de um acidente. O estudo de Rao et al. (2004) propôs um método para estimativa de índices de perigo de produtos químicos no transporte fundamentado na multiplicação de quatro fatores: (i) índice de classificação do perigo médio ponderado do produto químico, (ii) quantidade de material transportado, (iii) distância de habitações e (iv) dispersão. O cálculo do índice de classificação do perigo médio ponderado do produto químico é baseado nos índices de classificação de perigo da NFPA referentes a perigos à saúde, perigo de inflamabilidade, perigo de instabilidade e perigos especiais.

O modelo proposto por Tena-Chollet et al. (2013) é baseado em três elementos principais: a fonte de perigo, a propagação dos efeitos no meio ambiente, e os elementos de alto risco (classificados em uma tipologia). O nível de risco resulta assim da contribuição de dois índices: (i) a gravidade do acidente, que leva em conta a intensidade das consequências, a frequência de acidentes com produtos perigosos e a taxa de acidentes na rodovia; (ii) a vulnerabilidade dos elementos de alto risco ao longo das rotas de transporte de produtos perigosos. Para calcular esses dois índices principais, que são necessários para avaliar o nível de risco de um território, a discretização espacial deve ser realizada. Este princípio pode ser aplicado usando uma malha geográfica composta de um conjunto de células que têm um tamanho específico determinado em função da precisão dos dados utilizados e das áreas de impacto dos fenômenos acidentais. Para cada célula, cada índice pode ser calculado em ordem: a gravidade, a vulnerabilidade e, finalmente, o nível de risco. Os dois primeiros índices são normalizados usando uma escala específica para avaliar o risco. A principal vantagem dessa abordagem é que ela fornece mapeamento visual dos resultados e ajuda a entender os elementos (gravidade e vulnerabilidade) que contribuem para o nível de risco. A avaliação da vulnerabilidade é baseada no método desenvolvido por Tixier et al. (2006), no trabalho realizado durante o projeto europeu ARAMIS, utilizando o AHP.

O projeto PTA-DESTINATION (GIACONE; NAVARRETTA; BRATTA, 2016) utiliza um modelo para a análise de risco no transporte de produtos perigosos com alguns conceitos semelhantes ao modelo de Martínez-Alegría, Ordóñez e Taboada (2003). Estes conceitos são expressos pela Equação 3:

$$R_i = P_{is,i} \times \sum_j \left( P_{ADR,ij} \times \sum_k \left( P_{sc,ijk} \times \sum_m \left( F_{p,m} \times E_{ikm} \times S_{km} \times (1 - C_{ff,ikm}) \right) \right) \right) \quad (3)$$

Onde:

$R_i$  = risco para a comunidade (social/ambiental) em referência ao  $i$ -ésimo segmento [mortes/segmento/ano] [ $m^2_{eq}$  com dano/segmento/ano];

$P_{is,i}$  = perigo intrínseco da rodovia em relação ao  $i$ -ésimo segmento [veículos envolvidos em acidentes/segmento/ano];

$P_{ADR, ij}$  = probabilidade de ocorrência de um acidente com veículo transportando um  $j$ -ésimo produto perigoso em relação ao  $i$ -ésimo segmento [veículos transportando produtos perigosos envolvidos em acidentes/veículos envolvidos em acidentes];

$P_{sc,ijk}$  = probabilidade de ocorrência de um  $k$ -ésimo cenário com área de danos conhecida e limitada ( $k$ ), (envolvendo o produto perigoso  $j$ ), com referência ao  $i$ -ésimo segmento [acidentes/veículos transportando produtos perigosos envolvidos em acidentes];

$F_{p,m}$  = fator presença/peso do objetivo potencialmente exposto  $m$  [equivalente à população presente/população equivalente exposta] [ $m^2_{eq}/m^2$  expostos];

$E_{ikm}$  =  $m$ -ésimo objetivo potencialmente exposto ao  $k$ -ésimo cenário de acidente com área de danos conhecida e limitada (envolvendo o  $j$ -ésimo produto perigoso) em referência ao  $i$ -ésimo [equivalente de população exposta/evento de acidente] [ $m^2$  exposto/acidente];

$S_{km}$  = vulnerabilidade do  $m$ -ésimo objetivo potencialmente exposto no  $k$ -ésimo cenário de acidentes com área de danos conhecida e limitada [mortes/habitantes equivalentes], [ $m^2_{eq}$  danificado/ $m^2_{eq}$  expostos];

$C_{ff,ikm}$  = capacidade de resposta à emergências em relação ao objetivo  $m$  potencialmente exposto ao  $k$ -ésimo cenário de acidente com área de danos conhecida e limitada (envolvendo o  $j$ -ésimo produto perigoso) em referência ao  $i$ -ésimo segmento;

$i$  = segmento da rodovia;

$j$  = produto perigoso;

$k$  = cenário de incidente com área de danos conhecida e limitada;

$m$  = tipo e suscetibilidade de objetivos (pontos de interesse).

Assim, o risco acumulado do projeto *PTA-DESTINATION* ( $R_{dest}$ ) é resultante do somatório dos riscos para a comunidade (social/ambiental) de todos segmentos ( $R_i$ ). Considera o perigo intrínseco da rodovia ( $P_{is,i}$ ), a probabilidade de um acidente rodoviário com uma determinada substância classificada pelo Acordo Europeu relativo ao Transporte Internacional de Produtos perigosos por Rodovias, do inglês *European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR)* ( $P_{ADR,ij}$ ), a probabilidade do

cenário de acidente em determinada área envolvendo substância *ADR* ( $P_{sc,ijk}$ ), o fator de presença na área delimitada exposta ( $F_{p,m}$ ), o tipo de evento com substância *ADR* em determinado cenário ( $E_{ikm}$ ), a vulnerabilidade de determinada área exposta em relação ao cenário de acidente ( $S_{km}$ ), e a capacidade de resposta a cenário de danos do acidente com substância *ADR* em área potencialmente exposta ( $1 - C_{ff,ikm}$ ) (PASTORELLI; SEMINATI, 2014).

Segundo Pastorelli e Seminati, 2014, formulações parciais do modelo de risco do projeto *PTA-DESTINATION* podem ser utilizadas para a determinação de alguns fatores importantes para o uso prático, tais como: (i) Risco individual dos pontos de interesse local; (ii) Probabilidade de acidente no transporte de produtos perigosos; (iii) Danos associados ao tipo de acidente com produtos perigosos; e (iv) Magnitude das consequências com área de danos conhecida e limitada. Os mesmos conceitos de estimativa de risco também foram utilizados nas pesquisas de Giaccone et al. (2012), Studer et al. (2012), e Borghetti et al. (2015).

## 2.3 ANÁLISE DOS PRINCIPAIS FATORES E CARACTERÍSTICAS

Nesta seção são delineados os principais fatores utilizados na avaliação do risco potencial de acidentes no transporte rodoviários de produtos perigosos. A seleção baseia-se nos estudos e modelos revisados. Para facilitar o entendimento parte-se do conceito apresentado na seção anterior, pela Equação 1, de que o risco potencial de um acidente resulta do produto entre a probabilidade de ocorrer um acidente e a gravidade do dano causado por um acidente. Estes componentes do risco são ponderados usando fatores cuja importância é estimada avaliando a influência de cada característica. São também abordadas as pesquisas que buscaram a integrar os principais fatores e as características que determinam a probabilidade e a gravidade de acidentes para determinar do risco potencial.

### 2.3.1 Probabilidade potencial de acidentes

Diversos autores de estudos de análises de risco, no transporte rodoviário de produtos perigosos, fizeram muitas considerações a respeito das dificuldades encontradas para estimar a probabilidade de ocorrência de acidentes. Para a obtenção de dados estatísticos válidos são



necessários longos períodos de coleta (MARTÍNEZ-ALEGRÍA; ORDÓÑES; TABOADA, 2003; TINOCO; NODARI; PEREIRA, 2016). Os acidentes com produtos perigosos não são frequentes, tem probabilidade muito baixa (ZOGRAFOS; ANDROUTSOPOULOS, 2008; BERSANI et al., 2010; KAZANTZI; KAZANTZIS; GEROGIANNIS, 2011; GARBOLINO, 2013; MINGARRO, 2015; TINOCO; NODARI; PEREIRA, 2016). Os dados estatísticos não se aplicam a trechos curtos e/ou específicos de rodovias (BUBBICO, FERRARI, MAZZAROTTA, 2000; TABOADA et al., 2006; MATÍAS et al., 2007). Ausência de registros adequados de histórico de acidentes consistentes e suficientes (TABOADA et al., 2006; MATÍAS et al., 2007; SILVA, 2007; KAZANTZI; KAZANTZIS; GEROGIANNIS, 2011; TINOCO; NODARI; PEREIRA, 2016). Os acidentes são eventos altamente influenciados pelo acaso (KAZANTZI; KAZANTZIS; GEROGIANNIS, 2011; TINOCO; NODARI; PEREIRA, 2016).

Para estimar a probabilidade de acidente no transporte rodoviário de produtos perigosos alguns autores propuseram a alternativa de utilizar um modelo paramétrico (TABOADA et al., 2006; MATÍAS et al., 2007; SILVA, 2007; ZOGRAFOS; ANDROUTSOPOULOS, 2008; CORDEIRO, 2014; CORDEIRO et al., 2016; TINOCO; NODARI; PEREIRA, 2016). A probabilidade de acidentes é obtida baseando-se nas características da rodovia (TABOADA et al., 2006; MATÍAS et al., 2007; SILVA, 2007; ZOGRAFOS; ANDROUTSOPOULOS, 2008; CORDEIRO, 2014; CORDEIRO et al., 2016; TINOCO; NODARI; PEREIRA, 2016). Esta abordagem evidencia os locais com concentração de acidentes por causas específicas e identifica pontos críticos (TINOCO; NODARI; PEREIRA, 2016) e não se baseia em dados históricos (TABOADA et al., 2006; MATÍAS et al., 2007; SILVA, 2007; ZOGRAFOS; ANDROUTSOPOULOS, 2008; TINOCO; NODARI; PEREIRA, 2016).

Nos estudos de Taboada et al. (2006) e Matías et al. (2007), foram utilizados 21 fatores para determinar a probabilidade de um acidente. Nestas pesquisas, dado o número de fatores que determinam o estado de um segmento rodoviário específico, os autores entenderam que os únicos métodos estatísticos viáveis para a implementação do modelo foram técnicas de aprendizado de máquinas, como redes de perceptron multicamadas (*MLPs - Multilayer Perceptron Networks*), árvores de classificação (*CARTs - Classification And Regression Trees*) e máquinas de vetor de suporte (*SVMs - Support Vector Machines*).

Uma alternativa apresentada no estudo de Tinoco, Nodari e Pereira (2016) para possibilitar a análise da segurança na ausência de registros adequados de histórico de acidentes é a utilização da revisão de segurança viária para avaliar o potencial de ocorrência de acidentes em rodovias. A revisão de segurança viária utilizada para a avaliação do risco viário potencial de segmentos da rodovia baseou-se no modelo proposto por Nodari (2003). O estudo de Tinoco, Nodari e Pereira (2016) utiliza a revisão de segurança viária em vias existentes para avaliar o potencial de ocorrência de acidentes em rodovias. A revisão de segurança viária utilizada para a avaliação do risco viário potencial de segmentos da rodovia baseou-se no modelo proposto por Nodari (2003). Em alguns estudos os trechos da rodovia são divididos em segmentos para a avaliação da probabilidade (TABOADA et al., 2006; MATÍAS et al., 2007; ZOGRAFOS; ANDROUTSOPOULOS, 2008; TINOCO; NODARI; PEREIRA, 2016).

A análise das metodologias revisadas demonstra a aplicabilidade genérica da revisão de segurança viária proposta por Tinoco, Nodari e Pereira (2016) para a estimativa da probabilidade potencial de acidentes no transporte rodoviário de produtos perigosos. Esta abordagem não depende de dados estatísticos de longos períodos de coleta de dados influenciados pelo acaso e pode ser aplicada em trechos delimitados de qualquer rodovia seguindo critérios pré-definidos.

### **2.3.2 Gravidade potencial do dano causado pelo acidente**

Alguns estudos avaliaram a gravidade potencial de acidentes com produtos perigosos por segmentos de trechos de rodovias (TABOADA et al., 2006; MATÍAS et al., 2007; GIACONE et al., 2012; STUDER et al., 2012; PASTORELLI; SEMINATI, 2014; BORGHETTI et al., 2015; GIACONE; NAVARRETTA; BRATTA, 2016). Segundo Studer et al., esta abordagem possibilita obtenção de resultados intermediários úteis que permitem quantificar os fatores e características mais relevantes dentro de cada área de interesse. Taboada et al. (2006) propuseram a construção de uma modelagem que levasse em consideração a avaliação da gravidade por especialistas, para um conjunto de trechos previamente selecionados, como forma de simplificar o problema e possibilitar a aplicação das técnicas de redução de dimensionalidade. Para Montoya (2015) a investigação da gravidade de um acidente no transporte de materiais perigosos é valiosa por destacar

características particulares do sistema afetado, como a vulnerabilidade populacional e ambiental.

No decorrer deste estudo serão apresentados os principais parâmetros identificados de forma mais detalhada. Observa-se na determinação da gravidade das consequências de um acidente no transporte rodoviário de produtos perigosos, vários autores atribuem importância de diferentes formas, que é relevante considerar: o tipo de acidente rodoviário, as características inerentes aos produtos transportados, as vulnerabilidades da população, do meio ambiente e das infraestruturas, e a resiliência.

### 2.3.2.1 Perigo intrínseco ao tipo de acidente

O estudo de Martínez-Alegría, Ordóñez e Taboada (2003) propôs que fossem atribuídos valores para o perigo intrínseco ao tipo de acidente com base na experiência e levando em conta as possíveis consequências de um acidente. Para isso apoiou-se na classificação de 5 tipos de acidentes estabelecida pelo governo espanhol (ESPAÑA, 1996) apresentada no Quadro 1, e elaborou a escala de valores apresentada no Quadro 2.

Quadro 1 – Classificação dos tipos de acidentes rodoviários

Tipo de acidente	Descrição do Acidente
Tipo 1	Avaria ou acidente em que o veículo não pode continuar sua viagem, porém os recipientes utilizados para o transporte dos produtos perigosos estão em perfeitas condições e não houve capotamento.
Tipo 2	Em consequência do acidente, o recipiente foi danificado ou ocorreu o capotamento, porém não houve vazamento ou derramamento do conteúdo.
Tipo 3	Em consequência do acidente, o recipiente foi danificado e houve vazamento ou derramamento do conteúdo.
Tipo 4	Houve danos ou incêndio no recipiente e vazamento do conteúdo com chamas.
Tipo 5	Explosão de conteúdo destruindo o recipiente.

Fonte: Adaptado de España (1996)

Uma escala de valores para estes 5 tipos de acidentes proposta por Martínez-Alegría, Ordóñez e Taboada (2003) foi adaptada por alguns autores. Onde os tipos de acidentes descritos pelas suas principais características foram classificados com valores entre 1 e 6, da menor para a maior importância dos danos causados. A adaptação feita por Silva (2007) propôs atribuir o valor de zero para  $P_e$  ao acidente tipo 1, onde não há qualquer tipo de dano ao recipiente, por pressupor que neste cenário não há qualquer tipo de risco para as

populações ou para o ambiente. Para os demais valores, atribuiu a metade do valor por julgar mais coerente, visto que não encontrou justificativa para as diferenças no estudo original. Assim, a escala ficou com valores de zero a três. O estudo de Mingarro (2015) utiliza uma escala para o produto de  $K_{Pe} \times P_e$ , onde  $K_{Pe}$  é uma constante com valor de  $1/6$  e o valor máximo da escala é 1. Considera que este perigo não esteja relacionado ao território por ser um valor associado ao tipo de acidente e que seu valor seja constante em todo o espaço. Cordeiro (2014) propôs a normalização dos valores atribuídos, dentro de um intervalo de 0 a 1 para possibilitar a combinação dos fatores. Martínez-Alegría, Ordóñez e Taboada (2003), Pedro e Costa (2009), Fernández (2014) e Mingarro (2015) recomendam que em estudos preditivos deve-se adotar um critério conservador considerando o pior tipo de acidente possível, ou seja, atribuindo o valor máximo da escala de tipos de acidentes. Estas propostas de escalas de valores são sintetizadas no Quadro 2. A escala de  $P_e$  de Martínez-Alegría, Ordóñez e Taboada (2003) também foi abordada nas pesquisas de: Pedro (2006), Taboada et al. (2006), Matías et al. (2007), Pedro e Costa (2009), Cordeiro, Bezerra e Peixoto (2012), e Cordeiro et al. (2016).

Quadro 2 – Classificação dos tipos de acidentes rodoviários

Classificação (ESPAÑA, 1996)	Valor do Perigo ( $P_e$ ) proposto por Martínez-Alegría; Ordóñez; Taboada (2003)	Valor do Perigo ( $P_e$ ) adaptado por Silva (2007)	Valor do Perigo proposto como $K_{Pe} \times P_e$ por Mingarro (2015)	Valor do Perigo ( $P_e$ ) normalizado por Cordeiro (2014)
Tipo 1	1	0	$1/6 \times 1 = 1/6$	0,17
Tipo 2	2	1	$1/6 \times 2 = 1/3$	0,33
Tipo 3	4	2	$1/6 \times 4 = 2/3$	0,67
Tipo 4	6	3	$1/6 \times 6 = 1$	1,00
Tipo 5	6	3	$1/6 \times 6 = 1$	1,00

Fonte: Adaptado de Martínez-Alegría, Ordóñez e Taboada (2003) Silva (2007), Cordeiro (2014) e Mingarro (2015)

No projeto DESTINATION (PASTORELLI; SEMINATI, 2014), as consequências do tipo de acidente são avaliadas dentro do parâmetro suscetibilidade (S), onde os danos associados foram ponderados para objetivos humanos e não humanos. No caso de objetivos humanos a suscetibilidade do dano depende de forma determinante da distância dos objetivos da fonte e dos tempos de exposição. No caso de objetivos não humanos a suscetibilidade pode estar relacionada tanto à vulnerabilidade de aquíferos a vazamentos quanto a possibilidade de propagação de incêndio a uma floresta.

### 2.3.2.2 Potencial de dano inerente ao produto

Martínez-Alegría, Ordóñez e Taboada (2003) relacionaram o potencial de dano inerente (H<sub>hg</sub>) as características agressivas intrínsecas de cada produto perigoso, causadoras de impactos negativos, em caso de acidentes. Assim, criaram 4 grupos de características: inflamabilidade, toxicidade, reatividade e oxidação. Para estas características foram criadas escalas para mensurar o potencial de dano, e atribuídas pontuações conforme apresentadas no Quadro 3. A classificação apresentada por Martínez-Alegría, Ordóñez e Taboada (2003) foi utilizada integralmente por alguns autores posteriormente (MARTÍNEZ-ALEGRÍA, 2005; PEDRO, 2006; PEDRO; COSTA, 2009; CORDEIRO BEZERRA, PEIXOTO, 2012) e de forma adaptada por outros (SILVA, 2007; PEDRO e COSTA, 2009; MINGARRO, 2015; CORDEIRO et al., 2016).

Quadro 3 - Índices de classificação de grupos de características de produtos perigosos

Inflamabilidade	H <sub>i</sub>	Toxicidade	H <sub>t</sub>	Reatividade	H <sub>r</sub>	Oxidação	H <sub>go</sub>
Não inflamável: o material não queima	<b>0</b>	Perigo mínimo	<b>0</b>	Não reage	<b>0</b>	Não comburente ou moderada contribuição de oxigênio para inflamar materiais combustíveis nas proximidades	<b>0</b>
Pode inflamar outros materiais combustíveis e/ou liberar gases inflamáveis durante a reação.	<b>1</b>	Perigos decorrentes de fumos, vapores liberados durante a decomposição do material. Materiais com baixo nível de radiação.	<b>1</b>	Estável, mas torna-se instável com o aquecimento. Os recipientes podem explodir quando aquecidos.	<b>1</b>	Comburente muito poderoso: reage de forma violenta ou explosiva com muitos materiais.	<b>1</b>
Precisa ser pré-aquecido para queimar, pode arder, mas não explodirá facilmente.	<b>2</b>	Moderadamente perigoso: queimaduras, irritação. Materiais com nível moderado de radiação.	<b>2</b>	Possíveis mudanças químicas violentas a altas temperaturas. Polimerização explosiva com o aquecimento.	<b>2</b>		
Pode queimar rapidamente e/ou inflamar fazendo contato com o ar ou umidade.	<b>3</b>	Muito perigoso: pode produzir lesões graves. Materiais radioativos que podem produzir um alto nível de radiação.	<b>3</b>	Reação explosiva à fonte iniciadora, a alta temperatura ambiente, ao superaquecimento, e a fricção. Reação explosiva ao contato com água e combustíveis.	<b>3</b>		
Altamente inflamável: gases, líquidos e sólidos inflamáveis; materiais pirofósforicos.	<b>4</b>	Tóxico e extremamente perigosos. Materiais que podem causar a morte.	<b>4</b>	Capaz de detonar em condições ambiente. Perigo de explosão em massa.	<b>4</b>		

Fonte: Adaptado de Martínez-Alegría, Ordóñez e Taboada (2003)

Rao et al. (2004) propuseram um método semelhante para estimar o perigo dos produtos químicos no transporte pelo cálculo de um índice para classificação do perigo médio

ponderado usando as classificações de perigo da NFPA para perigos à saúde, perigo de inflamabilidade, perigo de instabilidade e perigos especiais (perigo da reatividade com a água e perigo da oxidação acelerar a combustão). O índice é obtido pela soma ponderada da contribuição de cada uma das quatro escalas de perigo para a classificação geral é proporcional ao valor numérico da classificação individual. Estes fatores foram classificados em escalas ordinais de 0 a 4. Os resultados do cálculo do índice para classificação do risco no transporte dos produtos químicos avaliados foram classificados em uma escala de nível de perigo.

O *padrão NFPA 704* (NFPA, 2017) se diferencia de outros padrões de rotulagem de produtos perigosos por ter sido desenvolvido com o propósito de fornecer informações sobre os perigos que ocorrem durante a resposta a uma emergência. Seu uso é recomendado no exterior de construções, em portas e tanques, de forma a serem visíveis para os intervenientes de emergência durante o derramamento, vazamento ou incêndio. Este padrão apresenta um sistema de marca simples, prontamente reconhecido e facilmente compreensível, que fornece um senso geral imediato dos perigos de um material e a gravidade desses perigos em relação à resposta a emergência. Aborda os perigos à saúde, a inflamabilidade, a instabilidade e os perigos relacionados que são apresentados por exposição aguda a curto prazo a um material em condições de incêndio, derramamento ou emergências semelhantes. O sistema também prevê o reconhecimento de reatividade intensa incomum com a água, alto poder oxidante, e gases mais asfixiantes. Os rótulos NFPA 704 fornecem um sinal ou alerta adequado para a proteção do pessoal de resposta de emergência, ajudam no planejamento de operações eficazes de controle de incêndio e emergência, incluindo a limpeza. O trabalho sobre este padrão se iniciou em 1957, a partir de pesquisas desenvolvidas a partir de 1952 pelo Comitê Seccional da NFPA referente a Classificação, Rotulagem e Propriedades de Líquidos Inflamáveis. As classificações da NFPA 704 são comumente designadas como Diagrama de perigo NFPA, ou Diamante de Hommel. Esta denominação é devida a forma de "losango quadrado", com diferentes colorações.

O sistema de rotulagem identifica os perigos de um material em termos de três categorias principais: saúde, inflamabilidade e instabilidade. Indica o grau de gravidade por uma classificação numérica que varia de 4, indicando perigo grave, para 0, indicando perigo mínimo. A informação é apresentada por um arranjo espacial de classificações numéricas, com a classificação de saúde sempre na posição das nove horas, a classificação de inflamabilidade sempre às doze horas, a classificação de instabilidade sempre na posição das

três horas. Cada classificação é localizada em um campo de ponto-a-ponto (comumente referido como um diamante), cada um dos quais é atribuído uma cor da seguinte maneira: (1) azul para perigo para a saúde, (2) vermelho por perigo de inflamabilidade, e (3) amarelo para perigo de instabilidade. O quarto quadrante, na posição das seis horas, é reservado para indicar perigos especiais, e tem um fundo branco. Os perigos especiais em uso incluem W, OX e SA. O W indica uma reatividade incomum com a água e é uma advertência sobre o uso de água tanto na proteção contra incêndio quanto no controle de derramamento. O OX indica que o material é um oxidante. O SA indica que o material é um gás asfixiante simples (nitrogênio, hélio, néon, argônio, criptônio e xenônio), e também deve ser usado para sistemas de retirada de vapor de dióxido de carbono liquefeito, e onde grandes quantidades de gelo seco são usadas em áreas confinadas (NFPA, 2017). Em recente revisão do padrão NFPA 704 (NFPA, 2017) foram apresentados critérios para classificação do Perigo da Reatividade com a Água, com uma escala de 0 a 4. No padrão NFPA 400 (NFPA, 2016) foram apresentados critérios para classificação do Perigo da Oxidação, com uma escala de 0 a 4. A Figura 3 sintetiza as informações deste sistema de rotulagem.

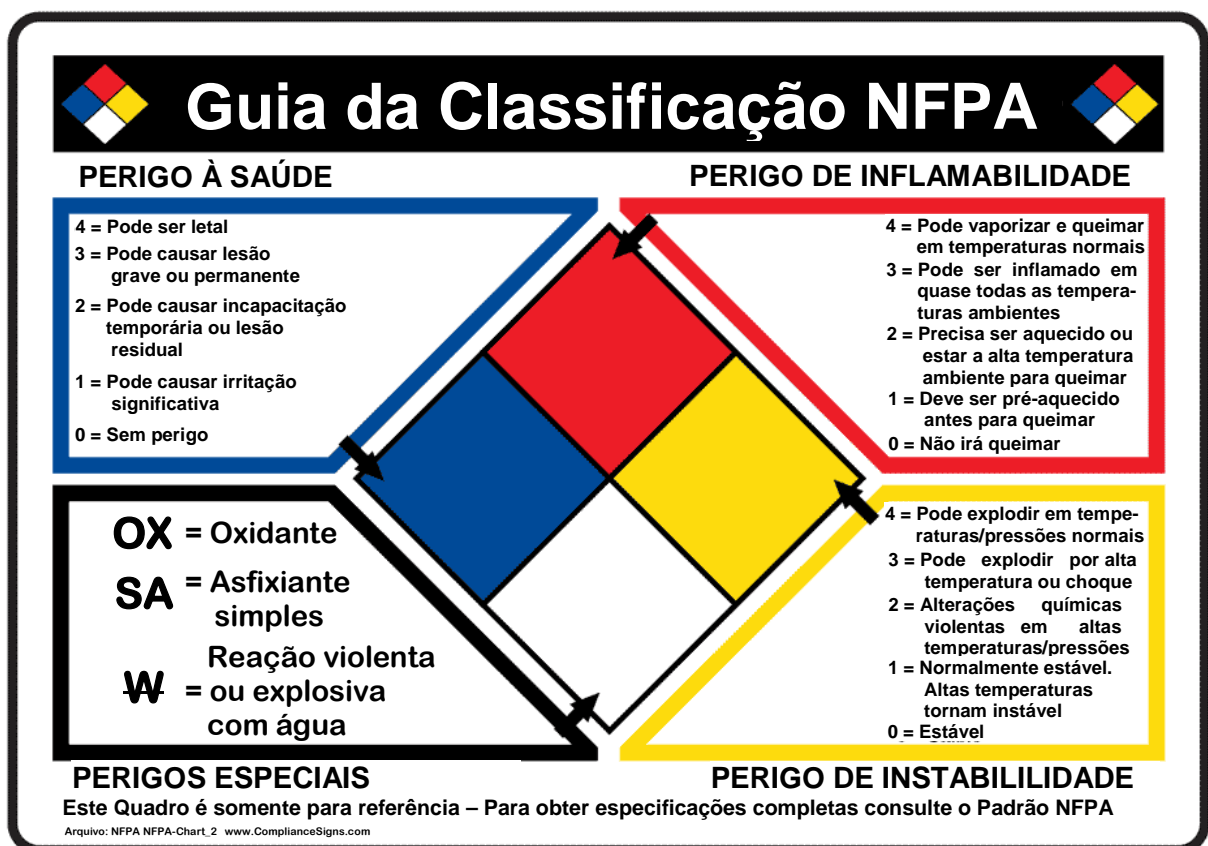


Figura 3 - Referências resumidas no diagrama de perigo padrão NFPA 704

Fonte: Adaptado de ComplianceSigns (2017)

A avaliação de perigos para determinar as classificações de perigo corretas para um material específico deve ser realizada por pessoas tecnicamente competentes e experientes na interpretação dos critérios de perigo estabelecidos no padrão NFPA 704. Esta classificação baseia-se em fatores que abrangem o conhecimento dos perigos inerentes ao material, incluindo a extensão da mudança de comportamento a ser antecipada sob condições de exposição ao fogo ou procedimentos de controle de incêndio. O sistema baseia-se em valores relativos e não absolutos, exigindo que seja levado a considerável julgamento. Quando misturas de produtos químicos são avaliadas, os dados reais da própria mistura são utilizados para obter as classificações de saúde, inflamabilidade e instabilidade (NFPA, 2017). Geralmente os utilizadores da rotulagem de produtos no padrão NFPA 704 obtém o diagrama com a classificação preenchida na FISPQ (Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico) elaborada pelo fabricante ou gerador do material. As Fichas fornecem informações sobre diversos aspectos dos produtos químicos, quanto à segurança, saúde, proteção e meio ambiente. Elas devem ser elaboradas em conformidade integral com a Norma Técnica NBR-14.725 (ABNT, 2009). O NPFA 704 (NFPA, 2017) define alguns princípios básicos para as classificações de perigo adotadas.

Uma alternativa para a classificação do perigo dos produtos químicos ao meio ambiente, e a utilização do Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos – GHS, em inglês *Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals* (UNECE, 2017). No GHS existe uma a classificação dos perigos ao ambiente aquático. Este sistema foi desenvolvido pela Organização das Nações Unidas (ONU) com o intuito de estabelecer critérios harmonizados para a classificação e rotulagem dos perigos de produtos químicos, informando esses perigos aos seus usuários por meio de pictogramas, frases em rótulos e fichas de dados de segurança (SDS – Safety Data Sheet) (UNECE, 2017).

Cabe ressaltar que o Diagrama NPFA 704 não indica as substâncias perigosas, mas apenas os perigos envolvidos. Assim, deve ser sempre acompanhado de outras formas de identificação. Além disso, esta forma de identificação não é obrigatória pela legislação brasileira (CBMERJ, 2004; ARAÚJO, 2005; NETO, 2016), apesar de ser encontrada com frequência nas em embalagens de produtos e amplamente utilizada pelas empresas que produzem, transportam e manuseiam produtos perigosos. Inclusive é utilizada na maioria das FISPQ das grandes empresas químicas brasileiras, sendo utilizada pela CETESB (2016) e



diversas universidades brasileiras em seus laboratórios. Nos padrões e normas técnicas dos Corpos de Bombeiros de diversos estados brasileiros, é admitida a possibilidade de utilização alternativa da NPFA 704 (CBPMESP, 2006, 2018; CBMPR, 2012; CBMERJ, 2006, 2013; CBMES, 2016; CBMGO, 2017). Atualmente a obtêm-se Diagramas de Perigos NFPA 704 para praticamente qualquer produto químico industrializado, pois são incluídos nas Fichas de Informação de Segurança dos Produtos Químicos (FISPQ, ou em inglês *MSDS*). A utilização de Diagramas de Perigos NFPA 704 na FISPQ não é obrigatória em todos os países, porém sua utilização é usual mundialmente. Porém a elaboração da FISPQ pelos fabricantes e/ou geradores dos produtos perigosos é obrigatória.

### 2.3.2.3 Vulnerabilidade

A maior parte dos estudos sobre a vulnerabilidade do entorno de rodovias a acidentes com produtos perigosos se referem a vulnerabilidade ambiental e populacional (MARTÍNEZ-ALEGRÍA; ORDÓÑES; TABOADA, 2003; TABOADA et al., 2006; GRIOT, 2007; MATÍAS et al., 2007; CETESB, 2012; TENA-CHOLLET et al., 2013; SOTO, 2015; CORDEIRO et al., 2016; GIACONE; NAVARRETTA; BRATTA, 2016; TINOCO; NODARI; PEREIRA, 2016; SIQUEIRA et al., 2017; MACHADO et al., 2018). Alguns estudos consideram a vulnerabilidade de infraestruturas considerando os locais expostos, objetivos dos cenários de acidentes, e custos envolvidos (MARTÍNEZ-ALEGRÍA; ORDÓÑES; TABOADA, 2003; TABOADA et al., 2006; MATÍAS et al., 2007; GARBOLINO; LACHTAR, 2012; STUDER et al., 2012; GARBOLINO et al., 2013; TENA-CHOLLET et al., 2013; BORGHETTI et al., 2015; SOTO, 2015. GIACONE; NAVARRETTA; BRATTA, 2016).

As principais vulnerabilidades ambientais consideradas foram referentes aos recursos hídricos e a vegetação (CETESB, 2012; GIACONE et al., 2012; BORGHETTI et al., 2015; CORDEIRO et al., 2016; GIACONE; NAVARRETTA; BRATTA, 2016; TINOCO; NODARI; PEREIRA, 2016; SIQUEIRA et al., 2017; MACHADO et al., 2018). Para a ponderação da vulnerabilidade ambiental há estudos que consideram a textura dos solos (FEPAM, 2001; PEDRO; COSTA, 2009; CORDEIRO et al., 2016; SIQUEIRA et al., 2017; MACHADO et al., 2018), a inclinação do terreno (FEPAM, 2001; CORDEIRO et al., 2016; SIQUEIRA et al., 2017; MACHADO et al., 2018) e a fauna (CORDEIRO, 2014; CORDEIRO et al., 2016). A rede de drenagem já é considerada em alguns estudos sobre vulnerabilidade

ambiental dos recursos hídricos (PEDRO; COSTA, 2009; TINOCO; NODARI; PEREIRA, 2016; SIQUEIRA, 2016; SIQUEIRA et al., 2017; MACHADO et al., 2018). A vulnerabilidade populacional é considerada de diversas formas diferentes, destacando-se duas formas de classificação com melhor padronização: pela densidade populacional (PEDRO; COSTA, 2009; CORDEIRO et al., 2016) e pela ocupação humana na área de influência da rodovia (CETESB, 2012; TINOCO; NODARI; PEREIRA, 2016).

Martínez-Alegría, Ordóñez e Taboada (2003) consideraram a vulnerabilidade ambiental e a vulnerabilidade populacional. A vulnerabilidade ambiental depende de características da área quanto a fragilidade do meio ambiente as substâncias poluentes emitidas por um acidente no transporte rodoviário de produtos perigosos. A vulnerabilidade populacional foi descrita em termos de características sociais e tecnológicas. Aplicando as características quando a população pode ser diretamente afetada pelo acidente. As características tecnológicas são consideradas quando população é afetada indiretamente. Para estas características de vulnerabilidade foram atribuídos valores que oscilam entre 0 e 4, onde 0 indica que não há vulnerabilidade e 4 indica que a vulnerabilidade é extremamente alta.

Os estudos desenvolvidos por Taboada et al. (2006) e Matías et al. (2007) avaliaram a vulnerabilidade de fatores populacionais e ambientais agrupando-os em três categorias: (i) uso do solo (terras irrigadas / não irrigadas, terras florestais, urbano, indústria / extração e infraestruturas), (ii) morfologia do terreno natural (inclinação natural e estabilidade), e (iii) hidrologia superficial (rios e escoamento superficial) e subterrânea (aquíferos). Os fatores foram classificados em escalas ordinais de 0 a 10, onde 0 representa o menor nível de perigo e 10 o mais alto nível de perigo.

Pedro e Costa (2009) atribuíram a vulnerabilidade ambiental as seguintes características: a rede de drenagem, o uso da terra e a textura do solo. A estimativa da vulnerabilidade ambiental foi feita construindo-se uma matriz ponderada de valores de 0 a 4, onde 0 indica baixa vulnerabilidade e 4, vulnerabilidade extremamente elevada. A vulnerabilidade da rede de drenagem considera o impacto causado por produtos perigosos em caso de acidentes com vazamento e derramamento. Os menores valores foram dados para lagos, represas e drenagem superficial; e os maiores para rios. O uso da terra afeta a severidade do evento na biodiversidade. O solo exposto tem menores valores devido ao ambiente estar muito degradado e pouco vulnerável. Os maiores valores são conferidos às

matas, mata de galeria e várzeas. A importância da textura do solo se deve a maior probabilidade do produto vazado atingir o lençol freático. Os solos argilosos têm menores valores, pela sua menor velocidade de infiltração; e o solo hidromórfico tem maiores valores, por estar muito próximo do lençol freático. Os valores de vulnerabilidade populacional também foram avaliados por uma escala de 0 a 4, onde o valor 4 foi atribuído para regiões densamente urbanizadas e valores menores para áreas inabitadas. A escala para a pontuação da vulnerabilidade populacional utilizou a terminologia utilizada pela EMBRAPA (2003): (i) inabitado, (ii) em urbanização, (iii) urbano, e (iv) urbano denso. A vulnerabilidade populacional está relacionada à densidade populacional, pois em caso de acidente em locais densamente povoados, o problema torna-se mais significativo. Para sua estimativa foi considerada a densidade de população de cada área dentro do município definidas geograficamente por polígonos que definem as zonas de densidade.

Os estudos de Garbolino e Lachtar (2012), e Garbolino et al. (2013) desenvolveram um modelo espacial para caracterizar o nível de vulnerabilidade na relação ao transporte de produtos perigosos. Estes autores propuseram um índice de vulnerabilidade territorial para avaliar a exposição de pessoas, propriedades e infraestruturas, a um cenário específico de acidente. A pesquisa considerou os fatores vulneráveis de todos os elementos do território que podem ser afetados por um evento perigoso. Para determinar a população, o nível de vulnerabilidade é calculado diretamente com a quantidade de pessoas expostas na área letal, utilizando escala baseada em legislação francesa (FRANCE, 2005). Os estabelecimentos de uso público consideram os hospitais, as escolas, os estádios, as igrejas e outros de usos semelhantes. Os estabelecimentos com atividades de alto risco de acidentes graves são identificados utilizando-se a Diretiva Seveso II (EUROPEAN UNION, 1997), em função da quantidade e tipologia de substâncias perigosas passíveis de se encontrarem presentes no local. As áreas de serviço são os postos de abastecimento de combustíveis em áreas separadas das rodovias. O tráfego rodoviário médio diário foi validado com os parceiros e beneficiários do projeto. O Quadro 4 reúne os diferentes níveis de vulnerabilidade de acordo com os elementos territoriais considerados.

Quadro 4 - Definição dos níveis de vulnerabilidade dos elementos territoriais

Elementos territoriais	Moderado (0)	Sério (1)	Importante (2)	Catastrófico (3)	Desastroso (4)
População (POP)	POP = 0	$0 \leq \text{POP} < 1$	$1 \leq \text{POP} < 10$	$10 \leq \text{POP} < 100$	$\text{POP} \geq 100$
Estabelecimentos de uso público (ERP)	ERP = 0	ERP = 1	ERP = 2	$3 \leq \text{ERP} \leq 4$	$\text{ERP} \geq 4$

Estabelecimentos com atividades de alto risco (SEVESO)	SEVESO = 0	SEVESO = 1	SEVESO = 2	SEVESO = 3	SEVESO $\geq$ 4
Áreas de serviço (SS)	SS = 0	SS = 1	SS = 2	SS = 3	SS $\geq$ 4
Tráfego rodoviário médio diário (DART)	DART = 0	$0 \leq$ DART < 1	$1 \leq$ DART < 10	$10 \leq$ DART < 20	DART $\geq$ 20

Fonte: Adaptado de Garbolino et al. (2013)

A pesquisa de Tena-Chollet et al. (2013) foi desenvolvida uma metodologia para avaliar a vulnerabilidade existente no entorno de rotas rodoviárias utilizadas para o transporte de produtos perigosos. A vulnerabilidade foi obtida através da definição de um índice que representa a presença de três diferentes categorias de alvos em uma determinada área de estudo: (i) humanos (habitações privadas, pessoas presentes em edifícios de reunião de público, usuários de redes de comunicação); (ii) ambiental (área agrícola, área natural, área natural específica, e áreas húmidas); e (iii) infraestrutura (instalação industrial, infraestrutura de utilidade pública, estrutura privada, e estrutura pública). O índice de vulnerabilidade foi calculado por combinação linear ponderada, em inglês *Weighted Linear Combination* (WLC), do número de diferentes tipos de alvos (humanos, ambientais e materiais) e, para cada categoria de alvo foi atribuído um peso referente a cada um dos efeitos físicos representativos de sua vulnerabilidade por AHP. Um SIG foi utilizado para identificar e quantificar os alvos. A quantificação dos alvos foi obtida por meio de definição adimensional, variável na faixa de 0 a 1, que representa o valor quantitativo de cada alvo em relação ao valor máximo esperado, em que 0, indica ausência total do alvo na área e 1 indica a presença máxima do alvo. Desta forma os fatores de quantificação visam à obtenção de uma contagem normalizada de cada tipo de detalhado de alvo.

No projeto DESTINATION (PASTORELLI; SEMINATI, 2014), as vulnerabilidades são abordadas pelos parâmetros fator de presença / ponderação) e objetivos potencialmente expostos (E). Estes parâmetros são usados para caracterizar objetivos humanos ou não humanos. No caso de objetivos humanos (fator de presença), quantifica a fração dos objetivos que são considerados com pessoas efetivamente presentes em relação a todos os objetivos potencialmente expostos. Para determinar o fator de presença são pontuados 7 tipos objetivos em 4 tipos de cenários. Os tipos de objetivos designados são: (i) população residente, (ii) população turística flutuante, (iii) funcionários de indústrias e serviços, (iv) trabalhadores / usuários de serviços de saúde, (v) funcionários / usuários de instalações escolares, (vi) usuários e funcionários dos centros comerciais, (vii) usuários de rodovias

enfileirados. Os tipos de cenários são: i) cenário de referência central, (ii) cenário diurno durante o dia útil, (iii), cenário noturno, e (iv) cenário do feriado público durante o dia. No caso de objetivos humanos (fator de ponderação), é dado um peso adimensional para possibilitar somar algebricamente os riscos associados a objetivos físicos diversos. Para a ponderação são utilizados 5 tipos de usos do solo, podendo ser aplicados 2 tipos de fatores agravantes. Os tipos de usos do solo são: (i) áreas urbanizadas, (ii) áreas agrícolas, (iii) áreas de florestas, (iv) áreas de patrimônio cultural, e (v) áreas de água superficial. Os tipos de agravantes são: (i) águas subterrâneas vulneráveis e / ou (ii) áreas protegidas.

Os estudos desenvolvidos por Borghetti et al. (2015) utilizaram o método AHP para quantificar a importância dos fatores não humanos na avaliação do risco (social para exposição humana e ambiental para exposições não humanas), no transporte rodoviário de produtos perigosos. A avaliação das áreas expostas a danos foi realizada nas regiões abrangidas pelo projeto PTA-Destination, desenvolvido por entidades da Itália e Suíça. A abordagem considerou o tipo de cobertura do solo (áreas urbanizadas, áreas agrícolas, áreas arborizadas, patrimônio cultural, e águas superficiais), e em relação às condições de qualidade ambiental (áreas de proteção e águas subterrâneas). A abordagem do AHP visa quantificar a importância recíproca de cada tipo de cobertura do solo (alternativas). O terreno com a pontuação mais baixa é considerado como unidade de medida básica (superfície equivalente  $m^2$  ou  $m^2_{eq}$ ); a razão entre as pontuações das outras coberturas e a tomada como referência (normalização) define os fatores de equivalência, permitindo a conversão de superfícies físicas (expressas em  $m^2$ ) em superfícies equivalentes (expressas em  $m^2_{eq}$ ). Para este propósito uma estrutura hierárquica de três níveis foi utilizada. Os resultados obtidos demonstraram um alinhamento substancial da sensibilidade dos especialistas consultados em relação aos fatores considerados.

Os critérios utilizados por Cordeiro (2014) e Cordeiro et al. (2016), na estimativa da vulnerabilidade ambiental foram os seguintes: (i) hidrografia (nascente, rio com captação pública, rio sem captação pública, e rio com recreação); (ii) topografia (declividade fraca, declividade moderada, declividade moderada a forte, declividade forte, declividade muito forte, e declividade extremamente forte); (iii) textura do solo (arenoso, textura média, textura média argilosa, e hidromórfico); (iv) uso e ocupação do solo (agropecuária, urbano, industrial, e vegetação nativa); (v) vegetação (fragmento florestal, várzea, unidade de conservação, e área de preservação permanente); e (vi) fauna (aquática, e terrestre). Na estimativa da

vulnerabilidade populacional foram os seguintes: (i) localização da cidade (cidade próxima a rodovia); e (ii) densidade populacional (alta, média e baixa). Estas características foram sintetizadas em mapas temáticos a partir dos quais foram estimadas as vulnerabilidades ambientais e populacionais. Os critérios foram ponderados por AHP e combinados por WLC.

A vulnerabilidade ambiental dos solos foi estudada pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental do Estado do Rio Grande do Sul (FEPAM, 2001), que elaborou um Mapa de Classificação dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul quanto à Resistência a Impactos Ambientais. Nesta classificação foram utilizados critérios que representam fatores do solo ou do terreno que foram interpretados para uma classificação genérica de resistência a impactos não especificados, conforme sintetizado no Quadro 5. A vulnerabilidade ambiental da área é influenciada fortemente pela possibilidade de infiltração de produtos nocivos no solo causando danos ao lençol freático, quando ocorre um acidente com derrame de produtos químicos perigosos. A probabilidade do produto vazado atingir o lençol freático depende da textura do solo. Em solos argilosos, com menor velocidade de infiltração, o lençol freático está menos vulnerável em comparação com o solo hidromórfico, que está muito próximo do lençol freático.

Quadro 5 - Classificação de solos quanto a resistência a impactos ambientais

Fator do solo ou do terreno	Classes de resistência à impactos ambientais			
	Alta (A)	Média (B)	Baixa (C)	Muito baixa (D)
Profundidade	> 150 cm	100 a 150 cm	50 a 100 cm	< 50 cm
Textura	Argilosa (>35% argila)	Média (15 a 35% argila)	Arenosa (<15% argila)	Arenosa (<15% argila)
Gradiente textural	Sem ou pouco	Com	Abrupto	Com ou sem
Drenagem	Bem ou moderada	Forte ou acentuada	Imperfeita ou excessiva	Mal ou muito mal
Lençol freático	Ausente	Ausente ou eventualmente suspenso	Alto	Superficial
Lençol suspenso	Não	Não	Sim	Sim
Risco de inundação	Nulo	Nulo	Raro	Ocasional a frequente
Erodibilidade	Ligeira a moderada	Moderada a forte	Forte	Forte a muito forte
Relevo	Plano, suave ondulado ou ondulado	Ondulado	Forte ondulado	Forte ondulado ou montanhoso
Declividade	<3% e 3-8%	8-20%	20-45%	>45%

Aptidão agrícola	Boa	Boa a regular	Regular a restrita	Restrita
Classes de Solo (Embrapa, 1999)	PVd3, LVdf1, LVaf, NVdf1, CHa2, PVd4, PVAA3, PVAd5, LVd3, PVd5, LVdf2, NVdf2, PVd7 e LBA1.	CHa1, PVd1, PVAe2, PVAd4, TCo, LVd1, LVd2, LBA2, PVAa1, PVd6, PVe e PVAa2.	VEo1, SXe2, TPo, PVAe1, APo, MTf1, VEo2, MTK, PVAd1, PVAa1, MXo2, MTo2, ACt, PVAd2, APt2, SXe1, PVd2, MEO, APt3, PVAd6, PVAd6, MEK, MTo1 e TcP.	GXe, RLd1, RLe1, GMe1, RQg1, RQ1, FTe1, RU, RLd2, RLd3, RLe3, RQ2, GMe2, RQg2, RLe2, SGe2, RQo, RLe4, SGe3, RLd4, CIa, RLd5, OJs, SGe1 e MXo1.

Fonte: Adaptado de FEPAM (2001)

Fernández (2014) e Mingarro (2015), desenvolveram avaliações da vulnerabilidade que consideraram a vulnerabilidade da população diretamente exposta a um acidente, e a vulnerabilidade ambiental que afeta indiretamente população. A vulnerabilidade da população foi obtida a partir da densidade populacional de áreas geograficamente delimitadas. A avaliação da vulnerabilidade ambiental é estimada de acordo com as características da área onde as emissões de substâncias potencialmente contaminantes podem ocorrer e onde seus efeitos são previsíveis. Nesses estudos foram considerados quatro elementos vulneráveis ao meio ambiente: (i) Rede hidrográfica: considerando a magnitude e classe de cada rio, reservatório ou canal; (ii) Hidrogeologia: levando em consideração a impermeabilidade do solo e a possível infiltração de substâncias perigosas e a contaminação dos aquíferos; (iii) Usos e ocupação do solo: consideram os tipos de uso e vegetação presentes em cada área; e (iv) Rede de espaços naturais: acentua as características dos espaços ambientais especialmente sensíveis. Mapas de zonas vulneráveis foram elaborados a partir destes quatro elementos e suas características. A partir dessas informações espaciais, os coeficientes foram atribuídos e os mapas foram produzidos com informações sobre vulnerabilidade. Cada pixel foi classificado com um valor de 0 a 4.

O método de análise hierárquica AHP foi utilizado por Soto (2015) para a avaliação quantitativa da vulnerabilidade territorial, dentro de um estudo mais abrangente de avaliação de riscos tecnológicos (uso industrial e transporte de produtos perigosos), na região metropolitana de Lion, na França. Para a avaliação da vulnerabilidade foram estabelecidas três classes de recursos (humanos, materiais e ambientais), e para cada classe foram estabelecidos fatores de vulnerabilidade característicos com escalas de ponderação. A partir dos resultados das consultas aos especialistas foram calculadas funções que determinam as ponderações. A área estudada foi dividida em quadrados de 100 m x 100 m. As classes de recursos foram então ponderados usando funções previamente estabelecidas pelos

especialistas de acordo com o tipo e também de acordo com sua cobertura no campo em cada um dos quadrados da grade. Um fator de quantificação foi definido como uma variável sem dimensão que varia de 0 a 10. A pontuação 0 mostra que não há ativo no quadrado da grade e 10 significa que a quantidade do ativo é maior do que nos outros quadrados da grade. Este fator permite a racionalização dos níveis de vulnerabilidade para cada classe de recursos e representações padronizadas da vulnerabilidade territorial.

Siqueira (2016), Siqueira et al. (2017) e Machado et al. (2018) estudaram a vulnerabilidade ambiental a derramamentos de produtos perigosos no entorno de rodovias de Minas Gerais. As estimativas da vulnerabilidade ambiental nos cenários avaliados pelo estudo demonstraram a heterogeneidade dos fatores considerados, com algumas áreas com menor, e outras com maior potencial de risco de contaminação dos recursos hídricos e outros recursos ambientais, no caso de acidentes com produtos perigosos. O que evidencia a relevância dos estudos sobre a avaliação da vulnerabilidade em escala regional e a aplicabilidade da modelagem espacial multicritério na gestão de riscos ambientais relacionados ao transporte rodoviário de produtos perigosos. Além disso, foram aplicadas ferramentas para o diagnóstico rápido da vulnerabilidade ambiental no transporte de produtos perigosos, utilizando o software IDRISI Selva, que inclui módulos de ferramentas incorporadas no Sistema de Informação Geográfica (SIG), que permitem a análise, processamento e combinação de dados de terreno, e agrupa um conjunto de módulos dedicados ao processo de tomada de decisão, denominados algoritmos para análise multicritérios, hierarquia analítica e combinação linear. Sendo aplicados o método de WLC e AHP. Os critérios identificados e utilizados neste estudo de vulnerabilidade ambiental foram: (i) densidade de drenagem ( $\text{km}/\text{km}^2$ ), (ii) distância de curso de água (m), (iii) declividade do terreno (%), (iv) classe de solos (latossolos, argissolos, nitossolos, gleissolos e cambissolos), e (v) uso e ocupação do solo (culturas anuais, pastagem, florestas, e áreas urbanas).

A pesquisa de Tinoco, Nodari e Pereira (2016) ressalta que a preocupação com os impactos sociais e ambientais causados por acidentes viários originaram vários estudos de análises de risco, e de vulnerabilidade ambiental e social. Salienta que a análise de vulnerabilidade multicritérios permite avaliar os aspectos de sensibilidade dos elementos ambientais (hídricos e vegetação) e sociais (ocupação humana) na área de influência da rodovia, na ocorrência de acidentes com produtos perigosos. Este estudo resultou na determinação de um índice de vulnerabilidade para cada trecho analisado da rodovia, que permitiu



identificar trechos críticos a ser priorizados na adoção de ações preventivas para reduzir o risco de acidentes no transporte de produtos perigosos ou reduzir os efeitos sobre o ambiente e a população. A abordagem metodológica de análise da vulnerabilidade ambiental e social associada ao transporte de produtos químicos perigosos, proposta e aplicada por Tinoco, Nodari e Pereira (2016), está fundamentada na sensibilidade de aspectos ambientais e sociais na ocorrência de possíveis acidentes com produtos químicos perigosos. Para as estimativas de sensibilidade ambiental e social foi aplicada a técnica da quadrícula em mapas (CETESB, 2012). A técnica consistiu na sobreposição de duas quadrículas de 1km<sup>2</sup> de área, constituídas de 100 quadrados cada uma, no mapa da região contendo o trecho da rodovia em estudo e a delimitação dos quilômetros avaliados e da área de influência da rodovia. A cada quilômetro analisado na área de influência da rodovia (2km) foram aplicadas as quadrículas e calculados os percentuais de cobertura da vegetação, dos recursos hídricos e da ocupação humana. De acordo com o percentual de cobertura foi atribuído um valor de sensibilidade (de 0 a 10) em cada um dos aspectos avaliados. A sensibilidade dos recursos hídricos considerou a classificação do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2005). A sensibilidade da vegetação foi atribuída utilizando-se critérios do Código Florestal (BRASIL, 2000) e do Mapa de Vegetação do Brasil (IBGE, 2012). A sensibilidade da ocupação humana no trecho em estudo foi fundamentada em trabalhos da literatura (BUBBICO; DI CAVE; MAZZAROTTA, 2004; Li, 2010; CETESB, 2012) e considerou a estimativa do percentual de cobertura da ocupação humana a cada quilômetro analisado. O Quadro 6 apresenta uma síntese das escalas de ponderação utilizadas.

Quadro 6 - Escala de ponderação da sensibilidade dos aspectos de vulnerabilidade

Vegetação		Recursos hídricos		Ocupação humana		Sensibilidade
Descrição	Escala	Descrição	Escala	Descrição	Escala	
Presença de Unidade de Proteção.	9 a 10	Pontes sobre rio e margens de lagoa (até 100m) para águas classes: especial, 1, 2 e 3; com captação pública até 5km da rodovia.	9 a 10	Urbana: ocupação humana com cobertura de assentamentos maior que 70% da área do trecho analisado.	9 a 10	Crítica
Áreas de serra e floresta densa de mata nativa.	7 a 9	Águas classes: especial, 1, 2 e 3; até 2km da rodovia; com captação pública até 5km da rodovia.	5 a 9	Suburbana: ocupação humana com cobertura de assentamentos entre 40% e 70% da área do trecho analisado.	5 a 9	Elevada

Áreas de formações pioneiras.	3 a 7	Águas classes: especial, 1, 2 e 3; fora da área de influência; com captação pública até 5km da rodovia.	2 a 5	Rural: ocupação humana com cobertura de assentamentos entre 10% e 40% da área do trecho analisado.	2 a 5	Moderada
Áreas alagadas, banhados, formações pioneiras fora da área de influência.	0 a 3	Águas classes: especial, 1, 2 e 3; fora da área de influência; sem captação pública até 5km da rodovia.	0 a 2	Remota: ocupação humana com cobertura de assentamentos menor que 10% da área do trecho analisado.	0 a 2	Baixa

Fonte: Adaptado de CETESB (2012) e Tinoco, Nodari e Pereira (2016)

#### 2.3.2.4 Resiliência territorial

Dentre as informações utilizadas para apoiar planos de ação de emergência também poderão ser incluídas informações sobre a capacidade de resiliência no entorno da rodovia onde há o transporte de produtos perigosos. As pesquisas desenvolvidas por Garbolino e Lachtar (2012) e Garbolino et al. (2013), ressaltam a necessidade de avaliar a vulnerabilidade e a resiliência territorial, para gerenciar os riscos gerados nestas áreas. A implementação destes indicadores no sistema de informação geográfica fornece mapas de vulnerabilidade e resiliência que podem ser usados pelos tomadores de decisão para apoiar suas atividades na gestão territorial, prevenção de riscos e gerenciamento de crises. Os fatores resilientes são instalações de bombeiros, hospitais, polícias e militares. Para serem considerados fatores resilientes, esses elementos devem estar localizados a menos de 4 km do evento perigoso e não devem estar expostos a este evento. Esta distância foi escolhida tendo em conta que os meios de emergência intervêm em um tempo muito curto, menos de 15 minutos. É importante entender que, enquanto esses elementos não forem expostos às consequências de um evento perigoso, eles contribuem para a resiliência do território. No entanto, se esses elementos estão expostos às consequências de um perigo, eles aumentam a vulnerabilidade do território. O Quadro 7 mostra os níveis de resiliência de cada elemento resiliente de acordo com a sua distância a um elemento exposto área de um acidente no transporte de produtos perigosos.

Quadro 7 - Níveis de resiliência de cada elemento de acordo com sua distância de uma área acidental

Elementos Territoriais	Bombeiros ( $R_{FS}$ )	Hospitais ( $R_H$ )	Policias ( $R_{PM}$ )
Muito importante	$R_{FS} < 500$ m	$R_H < 500$ m	$R_{PM} < 500$ m
Importante	$500 \text{ m} \leq R_{FS} < 1000$ m	$500 \text{ m} \leq R_H < 1000$ m	$500 \text{ m} \leq R_{PM} < 1000$ m
Média Importância	$1000 \text{ m} \leq R_{FS} < 2000$ m	$1000 \text{ m} \leq R_H < 2000$ m	$1000 \text{ m} \leq R_{PM} < 2000$ m

Pouca Importância	$2000 \text{ m} \leq R_{FS} < 3000 \text{ m}$	$2000 \text{ m} \leq R_H < 3000 \text{ m}$	$2000 \text{ m} \leq R_{PM} < 3000 \text{ m}$
Muito Pouca Importância	$3000 \text{ m} \leq R_{FS} < 4000 \text{ m}$	$3000 \text{ m} \leq R_H < 4000 \text{ m}$	$3000 \text{ m} \leq R_{PM} < 4000 \text{ m}$

Fonte: Adaptado de Garbolino et al. (2013)

No projeto *DESTINATION* (PASTORELLI; SEMINATI, 2014) foram desenvolvidos dois métodos para a avaliação da resiliência. No método *Regione Lombardia* a resiliência do território caracteriza-se pela disponibilidade dos seguintes recursos: (i) distribuição no território dos comandos / destacamentos de bombeiros; (ii) distribuição no território de placas de sinalização com o número do telefone de emergência; (iii) distribuição no território de postos de polícia / quartéis; (iv) distribuição no território dos departamentos / laboratórios de agências de proteção ambiental. No método *Regione Piemonte* obtêm-se um valor para a capacidade de resposta nível provincial, com base em um questionário destinado a avaliar sistematicamente os vários recursos de resiliência: (i) Sistema de Monitoramento, (ii) Sistema de Alerta, (iii) Medidas para proteger a população, (iv) Medidas de proteção de infraestruturas e serviços, e (iv) medidas de assistência. A resiliência territorial também foi considerada em outros estudos relacionados ao projeto *DESTINATION* (GIACONE et al., 2012; STUDER et al., 2012; GARBOLINO et al., 2013; BORGHETTI et al., 2015; GIACONE; NAVARRETTA; BRATTA, 2016).

## 2.4 INTEGRAÇÃO DOS PRINCIPAIS FATORES E CARACTERÍSTICAS

A análise dos modelos desenvolvidos para avaliar o risco potencial de acidentes no transporte rodoviário de produtos perigosos demonstrou que existem alguns métodos, ferramentas e técnicas que foram utilizados com mais frequência nos estudos revisados. Nos modelos analisados, o risco foi expresso em função de seus componentes conceituais por uma equação desenvolvida para considerar a influência dos principais fatores identificados em cada cenário do acidente (MARTÍNEZ-ALEGRÍA; ORDÓÑES; TABOADA, 2003; RAO et al., 2004; TENA-CHOLLET et al., 2013; GIACONE; NAVARRETTA; BRATTA, 2016). Estes fatores foram quantificados a partir das características classificadas em escalas ordinais, por notas ou pontuações baseadas em inspeções de campo (NODARI, 2003; TABOADA et al., 2006; MATÍAS et al., 2007; TINOCO; NODARI; PEREIRA, 2016), em mapas temáticos (CORDEIRO et al., 2016; SIQUEIRA et al., 2017; MACHADO et al., 2018), na literatura técnica (RAO et al., 2004; PEDRO; COSTA, 2009; SOUZA et al., 2009; SOTO, 2015; TINOCO; NODARI; PEREIRA, 2016), em legislações (SILVA, 2007; SOTO, 2015;

TINOCO; NODARI; PEREIRA, 2016; GARBOLINO et al., 2013), e na avaliação de especialistas (TABOADA et al., 2006; MATÍAS et al., 2007; TENA-CHOLLET et al., 2013; BORGHETTI et al., 2015; SOTO (2015); CORDEIRO et al., 2016; TINOCO; NODARI; PEREIRA, 2016).

Em alguns estudos foram aplicadas ferramentas e técnicas da análise multicritérios, como ponderação, normalização e combinação, para estimar a importância de componentes do risco e dos fatores, principalmente em relação gravidade potencial dos danos (CORDEIRO, 2014; CORDEIRO et al., 2016), e as vulnerabilidades (TENA-CHOLLET et al., 2013; SOTO, 2015; SIQUEIRA, 2016; SIQUEIRA et al., 2017; MACHADO et al., 2018). Nos estudos de Cordeiro (2014) e Cordeiro et al. (2016) o peso do dano inerente dos produtos perigosos foi ponderado juntamente com as vulnerabilidades para a determinação da gravidade por AHP.

O método multicritério para ponderação mais utilizado foi o AHP (TENA-CHOLLET et al., 2013; CORDEIRO, 2014; PASTORELLI; SEMINATI, 2014; BORGHETTI et al., 2015; SOTO, 2015; CORDEIRO et al., 2016; SIQUEIRA, 2016; SIQUEIRA et al., 2017; MACHADO et al., 2018). Segundo Borghetti et al. (2015), a utilização do AHP ocorreu devido à necessidade quantificar em um fator o valor da importância de uma área delimitada do entorno da rodovia, quanto a características sociais, ambientais e de infraestruturas, onde vários fatores e características poderiam se sobrepor por estarem presentes simultaneamente, como no caso de um uso da terra (urbano, cultural, florestal, agrícola, superficial) e de condições de qualidade ambiental (áreas de proteção e águas subterrâneas). Com base nos fatores e características foram elaborados mapas temáticos identificando os principais fatores e o risco no entorno das rodovias, utilizando escalas ordinais para classificação e cores para identificação.

Para a integração dos mapas foram utilizados o SIG, o AHP e o WLC em softwares especializados (CORDEIRO, 2014; CORDEIRO et al., 2016; SIQUEIRA, 2016; SIQUEIRA et al., 2017; MACHADO et al., 2018). Em estudos de vulnerabilidade mais recentes os valores obtidos utilizando o AHP são inseridos pelo módulo WEIGHT do software de sistema de informação geográfica IDRISI Selva, para a geração de imagens de mapas de vulnerabilidade do entorno de rodovias à acidentes no transporte produtos perigosos (SIQUEIRA, 2016; SIQUEIRA et al., 2017; MACHADO et al., 2018).

### 2.4.1 Análise de decisão multicritério

Abordagens de análise de decisão multicritério normalmente requerem a inserção de dados, como: pontuações em várias dimensões associadas a diferentes alternativas e resultados; e pesos relacionados a compensações entre essas dimensões. Uma abordagem básica e típica é calcular a pontuação do valor total para uma alternativa como uma soma ponderada linear de suas pontuações em vários critérios. Utiliza-se usualmente uma estrutura hierárquica dividindo uma dimensão em várias subdimensões, com pontuações provenientes das alternativas da subdimensões (HUANG; KEISLER; LINKOV, 2011).

O que todos os métodos multicritério têm em comum é a visão de que a maioria das decisões tomadas podem ser melhoradas pela decomposição da avaliação geral das alternativas em avaliações sobre um número de critérios, geralmente conflitantes, relevantes para o problema. Os critérios podem ser definidos em termos bastante gerais, mas devem estar associados a um atributo mensurável que forneça uma escala quantitativa ou qualitativa para avaliar o desempenho no critério subjacente. Os métodos multicritério diferem principalmente de acordo com a forma como (a) avaliam os desempenhos em cada atributo e (b) agregam avaliações entre os atributos para chegar a uma avaliação geral ou global (DURBACH; STEWART, 2012). Os aspectos críticos da análise de decisão multicritério são: (i) a avaliação de pesos para os critérios; (ii) a normalização dos critérios; e (iii) a combinação de critérios (RAMOS; MENDES, 2001).

### 2.4.2 Processo hierárquico analítico

O Processo Analítico Hierárquico, em inglês *Analytic Hierarchy Process* (AHP), foi desenvolvido por Thomas Saaty na década de 70. Trata-se de uma abordagem básica para a avaliação de alternativas para a tomada de decisão que considera aspectos racionais e intuitivos para a seleção das melhores alternativas, considerando diversos critérios pré-estabelecidos. Na aplicação do processo, o avaliador executa julgamentos de comparação em pares, escolhendo a melhor alternativa. Desta forma, após etapas sucessivas, é possível desenvolver prioridades gerais para classificar as alternativas, verificar se há inconsistência nos julgamentos, e buscar formas de melhorar a consistência. A figura 4 apresenta uma representação da estrutura hierárquica básica do método AHP. (SAATY e VARGAS, 2012).



Figura 4 – Representação da estrutura hierárquica básica do método AHP  
Fonte: Adaptado de Saaty e Vargas (2012).

Para Saaty e Vargas (2012), a forma mais simples de estruturar um problema de decisão é utilizar uma hierarquia de três níveis. Coloca-se o objetivo da decisão no nível superior, seguido de um segundo nível consistindo nos critérios pelos quais as alternativas, localizadas no terceiro nível, serão avaliadas. Esta forma de decomposição hierárquica de sistemas complexos parece ser um dispositivo básico utilizado pela mente humana para lidar com a diversidade. Os fatores que afetam a decisão são organizados em etapas graduais. Os fatores de importância geral são colocados nos níveis superiores da hierarquia, enquanto que os de relevância particular nos níveis inferiores. A construção desta estrutura visa tornar possível a avaliação da importância dos elementos de um determinado nível em relação a alguns ou a todos os elementos do nível imediatamente acima.

A tarefa de estabelecer prioridades exige que os critérios, os subcritérios, as propriedades ou características das alternativas sejam comparados entre eles em relação aos elementos do próximo nível superior. Após terem sido julgados sobre o impacto de todos os elementos, as prioridades são calculadas para a hierarquia como um todo. O julgamento dos critérios emparelhados pelo AHP deve ser realizado em pares de elementos homogêneos. Para atribuir valores que representem as intensidades dos julgamentos é utilizada a escala fundamental de valores apresentada no Quadro 8. Esta escala foi validada pela eficácia em

muitas aplicações por várias pessoas, e também por meio de justificativa teórica (SAATY e VARGAS, 2012).

Quadro 8 - Escala fundamental para julgamentos comparativos

Intensidade da importância	Definição	Explicação
1	Igualdade de importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
2	Fraca importância	
3	Importância moderada	A experiência e o julgamento favorecem ligeiramente uma atividade sobre outra
4	Mais que importância moderada	
5	Forte importância	A experiência e o julgamento favorecem uma atividade em detrimento de outra.
6	Mais que forte importância	
7	Muito forte ou significativa importância	Uma atividade é favorecida muito fortemente sobre outra, seu domínio é demonstrado na prática
8	Muito, muito forte importância	
9	Extrema importância	A evidência que favorece uma atividade sobre outra é da mais alta ordem possível de afirmação
Recíproca positiva	Se uma atividade $i$ tiver um dos números não nulos acima atribuídos a ele quando comparado com a atividade $j$ , então $j$ tem o valor recíproco quando comparado com $i$	Uma suposição razoável
Racionalidades	Razões resultantes da escala	Se a consistência tiver que ser forçada para obter $n$ valores numéricos para completar a matriz

Fonte: Adaptado de Saaty e Vargas (2012)

Para a estimativa dos pesos relativos dos critérios de decisão nos níveis hierárquicos, e verificação da consistência das avaliações comparativas efetuadas, calcula-se os autovalores e autovetores das matrizes geradas. De acordo com Saaty e Vargas (2012), há várias formas de calcular o vetor de prioridades da matriz  $(a_{ij})$ . Porém, a necessidade de verificar a consistência dos julgamentos leva à formulação do autovalor  $Aw = nw$ . As prioridades  $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$  em relação a um único critério são conhecidas. Sendo  $n$  o número de critérios, e  $A$  a matriz das comparações dos pares de critérios. Assim, gera-se a matriz de comparações e multiplica-se à direita por  $w$  para obter  $n_w$  da seguinte maneira:

$$A \times w = n \times w$$

(4)

$$\begin{pmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \frac{w_3}{w_1} & \frac{w_3}{w_2} & \dots & \frac{w_3}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} = n \times \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} \quad (5)$$

Onde:

$A$  = matriz das comparações dos pares de critérios;

$w$  = prioridade;

$n$  = número de critérios;

$w_1, w_2, \dots, w_n$  = prioridades em relação aos critérios (1, ..., n)

Se  $a_{ij}$  representa a importância da alternativa  $i$  sobre a alternativa  $j$ , e  $a_{jk}$  representa a importância da alternativa  $j$  sobre a alternativa  $k$ , e  $a_{ik}$  a importância da alternativa  $i$  sobre a alternativa  $k$ , então  $a_{ij}a_{jk} = a_{ik}$  para que os julgamentos sejam considerados consistentes. Assim, se não existir uma escala não será possível derivar valores precisos para  $w_i / w_j$ , pois só se obtêm estimativas. O principal problema é a obtenção do valor de  $A \cdot w = \lambda_{max} w$ , onde  $\lambda_{max}$  é o maior ou principal autovalor de  $A = (a_{ij})$ . Para simplificar a notação, continua-se a escrever  $A w = \lambda_{max} w$ , onde  $A$  é a matriz das comparações emparelhadas. Conforme a equação (1)

$$A \times w = \lambda_{max} \times w$$

(6)

Onde:

$A$  = matriz de julgamentos (quadrada, recíproca e positiva);

$w$  = autovetor principal, referente aos pesos;

$\lambda_{max}$  = autovalor principal de  $A$ .

A solução para o cálculo é obtida aumentando a matriz  $A$  a uma potência suficientemente grande, e depois somar as linhas e normalizá-las para obter o vetor de prioridade  $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ . O processo é interrompido quando a diferença entre os componentes do vetor de prioridade obtidos na potência  $k$ -ésima e na potência  $(k + 1)$ -ésima é menor do que um valor pequeno pré-determinado. O vetor de prioridades é a escala derivada



associada à matriz de comparações dos critérios. Os autores atribuíram nesta escala o valor zero para um elemento que não é comparável com os elementos considerados. Uma maneira fácil de obter uma aproximação às prioridades é normalizar a média geométrica das linhas. Este resultado coincide com o autovetor para  $n \leq 3$ . Uma segunda maneira de obter uma aproximação é normalizando os elementos em cada coluna da matriz de julgamento e depois calcular a média em cada linha. Uma maneira simples de obter o valor exato (ou uma estimativa) de  $\lambda_{\max}$  quando o valor exato (ou uma estimativa) de  $w$  está disponível na forma normalizada é adicionar as colunas de  $A$  e multiplicar o vetor resultante pelo vetor de prioridade  $w$ . (SAATY; VARGAS, 2012).

De acordo com Saaty e Vargas (2012), se o autovetor de prioridades  $w$  for obtido ao resolver o problema de descobrir qual é a precisão estimada de  $w$ , então a matriz cujas entradas  $w_i/w_j$  deve ser uma matriz consistente, por ser uma estimativa consistente da matriz  $A$ . A matriz original  $A$  não precisa ser consistente, e nem as entradas de  $A$  precisam ser transitivas; ou seja,  $A_1$  pode ser preferido em relação ao  $A_2$  e  $A_2$  em relação ao  $A_3$ , mas  $A_3$  pode ser preferido em relação ao  $A_1$ . Desta forma se busca uma medida do erro devido à inconsistência.

A matriz  $A$  é consistente se e somente se  $\lambda_{\max} = n$ , e sempre que se tem  $\lambda_{\max} \geq n$ . A variância do erro incorrido na estimativa de  $a_{ij}$  é  $(\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$ . O que é demonstrado escrevendo  $a_{ij} = (w_i/w_j) \varepsilon_{ij}$ ,  $\varepsilon_{ij} > 0$ ,  $\varepsilon_{ij} = 1 + \delta_{ij}$ ,  $\delta_{ij} > -1$ , e substituindo na expressão para  $\lambda_{\max}$ . O  $\delta_{ij}$  é o componente de erro e seu valor  $|\delta_{ij}| < 1$  uma estimativa imparcial. A medida da inconsistência pode ser usada para melhorar sucessivamente a consistência dos julgamentos. O índice de consistência (CI) de uma matriz de comparações é dado pela Equação 7.

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (7)$$

Onde:

CI = índice de consistência

$\lambda_{\max}$  = maior ou principal autovalor de  $A$

$n$  = número de critérios.

A razão de consistência (CR) é obtida comparando o índice de consistência (CI) com o valor apropriado do conjunto de números do quadro 9, cada um dos quais é um índice de consistência aleatória médio derivado de uma amostra de matrizes recíprocas geradas

aleatoriamente usando a escala 1/9, 1/8, ..., 1, ..., 8, 9. Se não for inferior a 0,10, o problema deve ser estudado novamente e os julgamentos revisados. O AHP inclui um índice de consistência para toda uma hierarquia. Uma inconsistência de 10 por cento ou menos implica que o ajuste é pequeno em comparação com os valores reais das entradas do autovetor. Os resultados obtidos são apresentados de forma adimensional, por isso os pesos obtidos devem ser normalizados. (SAATY e VARGAS, 2012). A consistência de uma matriz de comparação deve ser confirmada para verificar a lógica da opinião do respondente. Uma matriz inconsistente não pode ser usada para tomar decisões. A taxa de consistência só pode ser medida com mais de dois critérios ( $n > 2$ ). Se houver apenas um critério, não poderá haver comparação. Assim, um julgamento consistente não é necessário. Se houver apenas dois critérios, o julgamento dos tomadores de decisão deve ser sempre consistente (GIRSANG; TSAI; YANG, 2014). Qualquer matriz de ordem 2, recíproca e positiva, é consistente (TAHA, 2007; SAATY, 2008).

Quadro 9 – Índice médio de consistência aleatória (CI)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice de consistência aleatória (CI)	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Fonte: Adaptado de Saaty e Vargas (2012).

### 2.4.3 Normalização

O processo de normalização consiste em transformar todos os valores de avaliação de diferentes critérios, expressos em grandezas e valores não comparáveis entre si, para uma mesma escala de valores, visando possibilitar a sua combinação (EASTMAN, 1997; RAMOS, 2000). Os fatores que contribuem para a avaliação do nível de risco na área estudada são normalizados, são considerados como variáveis adimensionais, assumindo valores na faixa entre 0 a 1, onde 0 indica a ausência da variável e 1 indica o valor máximo esperado (TENACHOLLET et al., 2013). A normalização ajusta a escala de valores de cada atributo de forma que os valores fiquem em pequenos intervalos, tais como de -1 a 1, ou de 0 a 1, para evitar que alguns atributos, por apresentarem uma escala de valores maior que outros, influenciem de forma tendenciosa a avaliação (GOLDSCHMIDT; PASSOS, 2005). A seguir são apresentados os principais métodos de normalização.

### 2.4.3.1 Normalização Linear

A normalização linear, também denominada normalização por interpolação linear, considera os valores mínimo e máximo de cada atributo no ajuste de escala, onde os valores dos atributos ficam restritos a um intervalo fechado de 0 até 1 e mantém as distâncias relativas entre os valores normalizados e os originais (GOLDSCHMIDT; PASSOS, 2005). Para Almeida et al. (2015), este procedimento usa uma escala de intervalo e os valores de  $A'$  podem ser interpretados como a porcentagem do intervalo ( $A_{máx} - A_{mín}$ ), o zero significa o valor mínimo  $A_{mín}$  e não é mantida a proporcionalidade de  $A$ . Segundo Goldschmidt e Passos (2005), este método é recomendado somente quando o domínio do atributo está entre os valores mínimo e máximo considerados). O valor normalizado é calculado através da Equação 8:

$$A' = (A - A_{mín}) / (A_{máx} - A_{mín}) \quad (8)$$

Onde:

$A'$  = valor normalizado;

$A$  = valor do atributo a ser normalizado;

$A_{mín}$  = valor mínimo do atributo a ser normalizado;

$A_{máx}$  = valor máximo do atributo a ser normalizado.

### 2.4.3.2 Normalização por Desvio Padrão

A normalização por desvio padrão, também denominada normalização Z-Score ou Zero Mean, considera a posição média dos valores de um atributo, assim como os graus de dispersão desses valores em relação à posição média. Este método de normalização é útil quando os valores mínimo e máximo do atributo são desconhecidos (GOLDSCHMIDT; PASSOS, 2005). O valor normalizado é calculado através da Equação 9:

$$A' = (A - \bar{A}) / \sigma \quad (9)$$

Onde:

$A'$  = valor normalizado;

$A$  = valor do atributo a ser normalizado;

$\bar{A}$  = média entre os valores do atributo a ser normalizado;

$\sigma$  = desvio padrão.

#### 2.4.3.3 Normalização pela Soma dos Elementos

A normalização pela soma dos elementos consiste em dividir cada valor do atributo que esteja sendo normalizado pelo somatório de todos os valores deste atributo. A desvantagem deste método é que alguns valores podem tornarem-se muito pequenos (GODLSCHMIDT; PASSOS, 2005). Segundo Almeida et al. (2015), este procedimento é amplamente aplicado na normalização de pesos de critérios, mantém a proporcionalidade de  $A$  e usa uma escala de proporção onde os valores de  $A'$  podem ser interpretados como a porcentagem da soma de todas as consequências, indicando a distância até a alternativa de maior valor da matriz de consequências, e o zero significa  $A = 0$ . O valor normalizado é calculado através da Equação 10:

$$A' = A/\Sigma A \quad (10)$$

Onde:

$A'$  = valor normalizado;

$A$  = valor do atributo a ser normalizado;

$\Sigma A$  = somatório de todos os valores do atributo.

#### 2.4.3.4 Normalização pelo Valor Máximo dos Elementos

A normalização pelo valor máximo dos elementos consiste em dividir cada valor do atributo que esteja sendo normalizado pelo maior valor dentre todos os valores de tal atributo (GOLDSCHMIDT; PASSOS, 2005). Segundo Almeida et al. (2015), este procedimento mantém a proporcionalidade de  $A$ , com o uso de uma escala de razão e os valores de  $A'$  podem ser interpretados como a porcentagem do valor máximo de  $A$ , indicando a distância da alternativa de maior valor na matriz de consequências, e o zero significa  $A = 0$ . O valor normalizado é calculado através da Equação 11:

$$A' = A/A_{m\acute{a}x}$$

(11)

Onde:

A' = valor normalizado;

A = valor do atributo a ser normalizado;

A<sub>máx</sub> = valor máximo do atributo a ser normalizado.

#### 2.4.4 Combinação

Um dos métodos mais utilizados em estudos para avaliação da vulnerabilidade no entorno das rodovias foi a combinação linear ponderada, em inglês *Weighted Linear Combination (WLC)* (CORDEIRO, 2014; CORDEIRO et al., 2016; SIQUEIRA, 2016; SIQUEIRA et al., 2017; MACHADO et al., 2018). Após a normalização dos escores dos critérios em um intervalo fixado estes podem ser agregados de acordo com a regra de decisão (MALCZEWSKI, 1999; EASTMAN, 2009). No WLC os critérios são padronizados em uma mesma escala numérica, recebem pesos, e são combinados por meio de uma média ponderada (VOOGD, 1983), conforme expresso pela Equação 12:

$$S = \sum_i^n w_i x_i$$

(12)

Onde:

S = escore final da escala;

w<sub>i</sub> = peso do critério i

x<sub>i</sub> = valor normalizado para o mesmo critério i

n = número de critérios

Nos estudos revisados (CORDEIRO, 2014; CORDEIRO et al., 2016; SIQUEIRA, 2016; SIQUEIRA et al., 2017; MACHADO et al., 2018) foram gerados mapas temáticos com o GIS, onde cada fator (critério) foi multiplicado pelo seu peso e depois todos os resultados foram somados. Com esta combinação dos fatores foram criados mapas identificando os níveis de vulnerabilidade das áreas.

### 3 METODOLOGIA DE PESQUISA

Este capítulo apresenta as etapas de como foi elaborado o método integrado genérico para a avaliação do risco potencial de acidentes no transporte rodoviário de produtos perigosos. A abordagem proposta busca integrar os modelos identificados nos estudos sobre o tema, considerando a influência de vários fatores e características, e a aplicabilidade a qualquer trecho de rodovia. Além disso, considera a capacidade de resiliência como fator atenuante do risco. Assim, o desenvolvimento do método segue as seguintes etapas:

- i. Estruturação:
  - a. Identificação dos fatores e características que influenciam o IRP;
  - b. Descrição dos fatores e características da estrutura analítica;
  - c. Elaboração da estrutura analítica para estimar o IRP.
- ii. Integração:
  - a. Estimação dos fatores e suas características;
  - b. Sistematização do levantamento de dados;
  - c. Estimação do IRP.
- iii. Avaliação:
  - a. Elaboração de escalas para classificação dos resultados;
  - b. Elaboração da apresentação dos resultados;
  - c. Avaliação dos resultados.
- iv. Aplicação:
  - a. Cenário de estudo – Trecho de rodovia;
  - b. Produtos Perigosos Transportados na rodovia;
  - c. Registros de acidentes no transporte de produtos perigosos pela rodovia;
  - d. Ponderação da importância dos fatores e características avaliados por AHP;
  - e. Risco Viário Potencial;
  - f. Perigo Intrínseco ao Tipo de Acidente rodoviário;
  - g. Dano Inerente do Produto Perigoso;
  - h. Vulnerabilidade Ambiental;
  - i. Vulnerabilidade Populacional;
  - j. Vulnerabilidade das Infraestruturas;
  - k. Déficit de Resiliência Territorial;
  - l. Índice de Risco Potencial de Acidentes (IRP);
  - m. Síntese dos resultados;
  - n. Mapa do risco potencial de acidentes por segmento do trecho da rodovia;
  - o. Avaliação dos resultados.

### 3.1 ESTRUTURAÇÃO

A etapa de estruturação consiste em dispor de forma ordenada o objetivo de estimar o IRP, com os fatores e suas características que influenciam na estimativa do nível de risco potencial de acidentes no transporte rodoviário de produtos perigosos. Esta abordagem proporciona uma visão geral adequada da importância de cada elemento da estrutura na composição do nível de risco. Para elaborar esta estrutura analítica hierárquica os fatores selecionados e suas características foram identificados e descritos.

#### 3.1.1 Identificação dos fatores e características que influenciam o IRP

O desenvolvimento do método parte do conceito de Risco (R) definido pelo Departamento dos Transportes dos EUA (US DOT, 1994) como o produto da probabilidade de ocorrência de um acidente (P) e da gravidade de um potencial dano (G). A partir dos componentes deste modelo buscou-se referências, em estudos específicos, com o intuito de estabelecer critérios adequados para determinar a influência dos principais fatores e características identificados. O método tornou-se integrado por ter sido elaborado a partir de metodologias desenvolvidas em estudos anteriores, e por incorporar vários fatores e características. Nesta abordagem buscou-se alternativas que possibilitassem a avaliação genérica do risco de acidentes em quaisquer trechos de rodovias.

##### 3.1.1.1 *Identificação dos elementos que influenciam a probabilidade potencial de acidentes*

Com a análise das metodologias existentes constatou-se que a probabilidade potencial (P) de ocorrer um acidente no transporte de produtos perigosos em segmentos da rodovia pode ser estimada com base em fatores ou variáveis que consideram as características físicas das rodovias (TABOADA et al., 2006; MATÍAS et al., 2007; SILVA, 2007; ZOGRAFOS; ANDROUTSOPOULOS, 2008; CORDEIRO, 2014; CORDEIRO et al., 2016; TINOCO; NODARI; PEREIRA, 2016). Dentre os estudos analisados optou-se pela utilização da pesquisa realizada por Tinoco, Nodari e Pereira (2016), atribuindo a probabilidade potencial de ocorrer um acidente (P) ao Risco Viário (RV).

### 3.1.1.2 Identificação dos elementos que influenciam a gravidade potencial dos danos

A gravidade de um potencial dano foi considerada para a avaliação do risco potencial de acidentes no modelo proposto por Martínez-Alegría, Ordóñez e Taboada (2003) conforme apresentado pela Equação 13, e com a designação da magnitude das consequências do modelo adotado pelo projeto PTA-DESTINATION (GIACONE; NAVARRETTA; BRATTA, 2016) apresentado pela Equação 14. Estas equações são apresentadas as seguir.

$$G = P_e \times (H_{hg} + V_p + V_a) \quad (13)$$

Onde:

G = gravidade potencial de um dano;

$P_e$  = perigo intrínseco implícito a um acidente;

$H_{hg}$  = dano potencial inerente a um produto;

$V_p$  = vulnerabilidade populacional;

$V_a$  = vulnerabilidade ambiental.

$$M = \sum_m (F_{p,m} \times E_{ikm} \times S_{km} \times (1 - C_{ff,ikm})) \quad (14)$$

Onde:

M = Magnitude das consequências em cenário de incidente com área de danos conhecida e limitada; estima o dano associado a evolução de um cenário de acidente.

$F_{p,m}$  = fator presença/peso do objetivo potencialmente exposto m [equivalente à população presente/população equivalente exposta] [ $m^2eq/m^2$  expostos];

$E_{ikm}$  = m-ésimo objetivo potencialmente exposto ao k-ésimo cenário de acidente com área de danos conhecida e limitada (envolvendo o j-ésimo produto perigoso) em referência ao i-ésimo [equivalente de população exposta/evento de acidente] [ $m^2$  exposto/acidente];

$S_{km}$  = vulnerabilidade do m-ésimo objetivo potencialmente exposto no k-ésimo cenário de acidentes com área de danos conhecida e limitada [mortes/habitantes equivalentes], [ $m^2eq$  danificado/ $m^2$  eq expostos];

$C_{ff,ikm}$  = capacidade de resposta a emergências em relação ao objetivo m potencialmente exposto ao k-ésimo cenário de acidente com área de danos conhecida e limitada (envolvendo o j-ésimo produto perigoso) em referência ao i-ésimo segmento;



i = segmento da rodovia;

j = produto perigoso;

k = cenário de incidente com área de danos conhecida e limitada;

m = tipo e suscetibilidade de objetivos (pontos de interesse).

Comparando-se estas metodologias percebe-se que a gravidade potencial dos danos (G) e magnitude das consequências (M) tem significados semelhantes e a determinação de fatores e características relacionadas com: o tipo de cenário do acidente rodoviário com produto perigoso, propriedades do produto perigoso, e a exposição da população, do meio ambiente e das infraestruturas. A vulnerabilidade ambiental foi considerada nos dois modelos.

A vulnerabilidade populacional proposta por Martínez-Alegría, Ordóñez e Taboada (2003) inclui elementos sociais (populações expostas diretamente) e elementos tecnológicos (afetam indiretamente as populações). Giacone, Navarretta e Bratta (2016) consideram as vulnerabilidades humanas (objetivos com ocupação humana) e não humanas (objetivos sem ocupação humana), e acrescentam a capacidade de resposta a emergências (resiliência). Com base nestes modelos, propõe-se com os seguintes fatores para compor a estrutura analítica multicritérios: perigo intrínseco implícito a um acidente ( $P_e$ ), dano potencial inerente a um produto perigoso ( $H_{hg}$ ), vulnerabilidade ambiental ( $V_a$ ), vulnerabilidade populacional ( $V_p$ ), vulnerabilidade das infraestruturas ( $V_i$ ) e resiliência territorial ( $R_t$ ).

### 3.1.2 Descrição dos fatores e características da estrutura analítica

A avaliação da interação entre os fatores e suas características possibilitou reconhecer como foram integrados nos diversos estudos revisados. Com base nas relações e hierarquias identificadas entre estes elementos foi elaborada a estrutura analítica hierárquica do modelo proposto.

#### 3.1.2.1 Risco viário (RV)

O risco viário foi estimado por revisão de segurança viária da rodovia utilizando-se a metodologia proposta por Tinoco, Nodari e Pereira (2016), considerando-se a influência de 34 características que forma agrupadas em 9 macrocategorias, como apresentado no Quadro 10.

Quadro 10 - Macrocategorias e características que compõem o Risco Viário

Macro-categorias	Características		Macro-categorias	Características	
Superfície do pavimento	1	Buracos na pista	Elementos longitudinais	19	Suavização de rampas
	2	Resistência à derrapagem		20	Oportunidades de ultrapassagem
	3	Formação de espelhos d'água		21	Distâncias de visibilidade
	4	Eliminação de cascalho solto na pista	Elementos da seção transversal	22	Larguras das faixas e acostamentos
	5	Desnível entre faixa de tráfego e acostamento		23	Pavimentação dos acostamentos
Curvas	6	Suavização de curvas horizontais	Usuários vulneráveis	24	Taludes laterais suaves
	7	Adoção de superlargura		25	Largura da faixa e acostamentos em pontes
	8	Adoção de superelevação	Laterais da via	26	Tráfego de ciclistas/pedestres
	9	Incidência de curvas		27	Travessias para pedestres
	10	Combinação entre alinhamento horizontal e vertical		28	Presença de elementos perigosos na lateral da via
Interseções / acessos	11	Faixas adicionais e canalizações		29	Acessos a propriedade e comércio lindeiro
	12	Iluminação artificial nas interseções		30	Localização e layout de pontos de ônibus
Sinalizações vertical e horizontal	13	Linhas demarcadoras das faixas de rolamento	Elementos gerais	31	Quantidade de outdoors comerciais
	14	Uso de tachas refletivas nas linhas		32	Transição entre ambientes rural/urbano
	15	Credibilidade da sinalização vertical e horizontal		33	Compatibilidade entre velocidade regulamentada e diretriz
	16	Quantidade adequada de placas de sinalização		34	Proteção contra a invasão de animais de grande porte
	17	Uso de balizadores,			
	18	Legibilidade e conspicuidade da sinalização vertical e horizontal			

Fonte: Adaptado de Nodari (2003)

### 3.1.2.2 Perigo intrínseco implícito ao acidente ( $Pe$ )

A estimativa do perigo intrínseco para cada tipo de acidente baseou-se na classificação de tipos de acidentes do governo espanhol (ESPAÑA, 1996). O Quadro 1 apresenta as 5 situações consideradas.

### 3.1.2.3 Dano Potencial Inerente a um Produto Perigoso ( $H_{hg}$ )

Propõe-se a estimativa do Dano Inerente Potencial ( $H_{hg}$ ) baseando-se nas classificações padronizadas NFPA 704 (NFPA, 2017), NFPA 400 (NFPA, 2016), e GHS (UNECE, 2017). Entende-se que a gravidade das consequências de um acidente é influenciada pelas características físicas e químicas do produto. O perigo associado é proporcional as características agressivas intrínsecas que potencializam os impactos negativos

de acidentes. Sendo considerados na avaliação seis grupos de características: (i) inflamabilidade, (ii) toxicidade, (iii) reatividade, (iv) forte reação com a água, (v) facilidade de liberação de oxigênio, e (vi) efeito no meio ambiente.

#### 3.1.2.4 *Vulnerabilidade Ambiental ( $V_a$ )*

Para a estimativa da vulnerabilidade ambiental propõe-se considerar: (i) a vulnerabilidade dos recursos hídricos, (ii) a vulnerabilidade da vegetação e (iii) a vulnerabilidade do solo. A estimativa da vulnerabilidade dos recursos hídricos e da vulnerabilidade da vegetação considera os resultados das pesquisas de Tinoco, Nodari e Pereira (2016), onde a sensibilidade da vegetação foi atribuída partir do tipo de cobertura vegetal e da consideração de Unidade de Proteção ou Área de Proteção Ambiental, conforme critérios utilizados no Código Florestal vigente; Lei 9985 de 18/07/00 e categorização da vegetação de acordo com Mapa de Vegetação do Brasil – IBGE (2012), e a classificação da sensibilidade do recurso hídrico em cada trecho de análise considerou a classificação dos recursos hídricos conforme a Resolução CONAMA 357 de 14/03/05, a proximidade com a rodovia e a existência de captação pública até uma distância de 5 Km.

Estas estimativas de sensibilidade da vegetação e dos recursos hídricos foram validadas pela aplicação da técnica da quadrícula em mapas proposta pela CETESB (2012) que será detalhada na próxima seção. A estimativa da vulnerabilidade do solo foi realizada baseando-se na classificação da resistência do solo a impactos ambientais proposta pela FEPAM (2001) e em mapas de tipos de solo do IBGE (2017).

#### 3.1.2.5 *Vulnerabilidade Populacional ( $V_p$ )*

Para a estimativa da vulnerabilidade populacional propõe-se considerar: (i) a ocupação humana e (ii) a densidade populacional. A avaliação da sensibilidade da ocupação humana considera os resultados das pesquisas de Tinoco, Nodari e Pereira (2016), onde foi estimado o percentual de cobertura da ocupação humana e aplicada a técnica da quadrícula em mapas proposta pela CETESB (2012) para a validação. Os dados de densidade populacional foram obtidos do Mapa da Densidade demográfica 2010 do IBGE (2013), com a utilização das mesmas escalas de hab/km<sup>2</sup>, como apresentado a seguir no Quadro 15 e Figura 12.

### 3.1.2.6 *Vulnerabilidade das Infraestruturas ( $V_i$ )*

Para estimativa da vulnerabilidade das infraestruturas considerou-se os seguintes tipos de elementos territoriais: (i) comunicação, (ii) eletricidade, (iii) combustível, (iv) água potável e (v) transportes. A escolha destes tipos de elementos territoriais baseou-se nos estudos de Martínez-Alegría, Ordóñez e Taboada (2003), Garbolino e Lachtar (2012), Garbolino et al. (2013), Tena-Chollet et al. (2013) e Soto (2015). A avaliação da vulnerabilidade das infraestruturas baseou-se nos estudos Garbolino et al. (2013), em que o índice de vulnerabilidade territorial foi estimado pela soma dos níveis de vulnerabilidade de cada tipo de elemento territorial, obtidos pela avaliação do número de elementos territoriais de cada tipo.

### 3.1.2.7 *Resiliência Territorial ( $R_t$ )*

A estimativa da resiliência territorial baseou-se no estudo de Garbolino et al. (2013), em que o índice de resiliência territorial é estimado pela soma dos níveis de resiliência de cada tipo de elemento territorial, obtidos pela avaliação da distância em relação a área onde pode ocorrer um acidente. Os elementos territoriais propostos por Garbolino et al. (2013) para a avaliação da resiliência foram: bombeiros, hospitais e polícias.

Com base no estudo de Garbolino et al. (2013), propõe-se: que o elemento bombeiros considere também equipes de emergência e guinchos; que o elemento hospitais seja designado serviços médicos, considerando ambulâncias e hospitais; e acrescenta-se o elemento monitoramentos, considerando-se câmeras, radares e placas com o número do telefone de emergência. Assim, foi considerada a avaliação dos seguintes elementos: (i) policiais, (ii) bombeiros (bombeiros, guinchos e equipes de emergência), (iii) serviços médicos (ambulâncias e hospitais), (iv) monitoramentos (câmeras, placas com número do telefone de emergência e radares).

## 3.1.3 **Elaboração da estrutura analítica para estimar o IRP.**

Com base na descrição dos fatores e suas características elabora-se uma estrutura hierárquica analítica para representar o modelo para a avaliação do IRP. O Figura 5 apresenta uma visão geral que visa facilitar a compreensão do modelo.

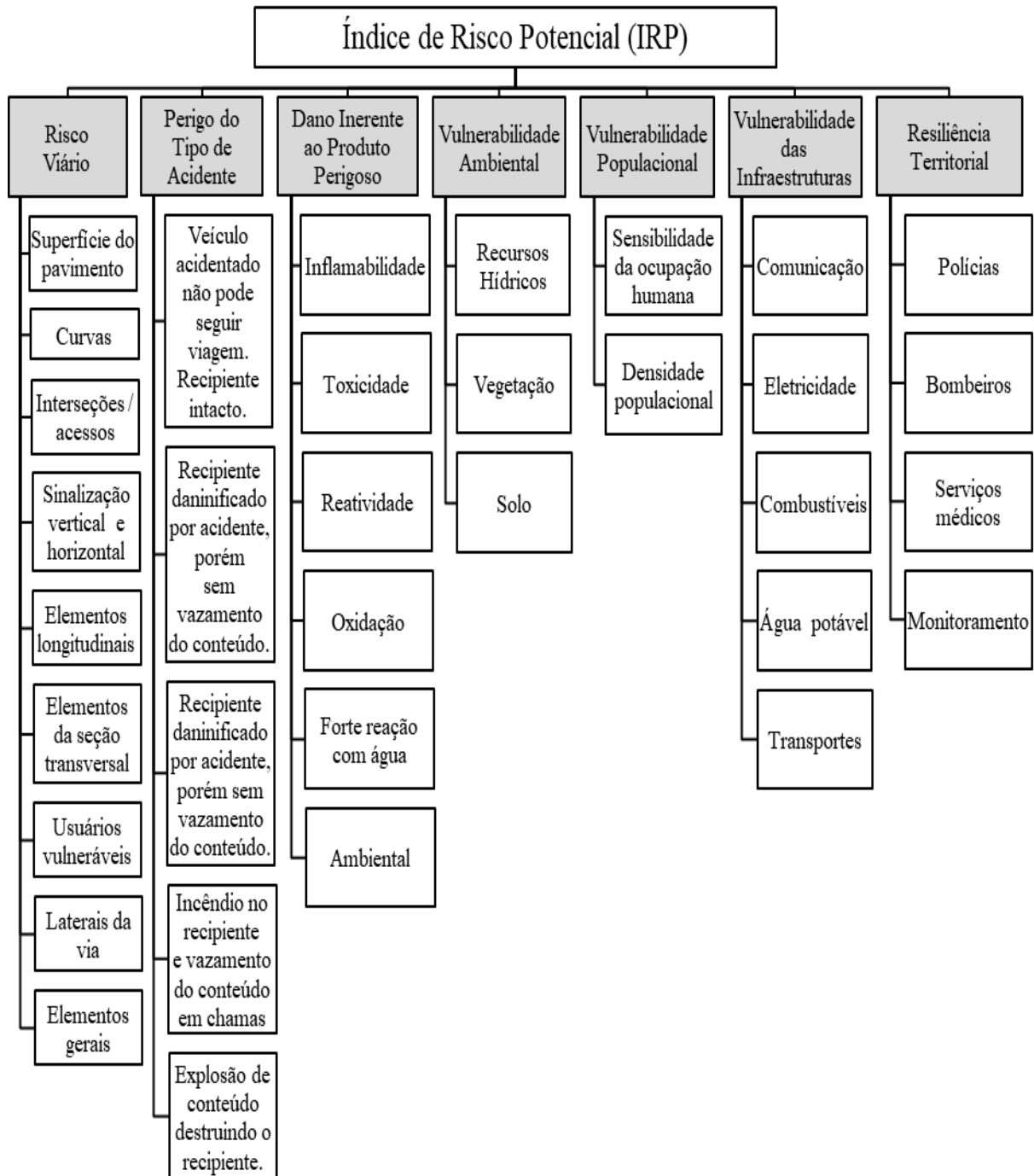


Figura 5 – Representação da estrutura hierárquica básica para estimativa do IRP  
 Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.2 INTEGRAÇÃO

Com a definição da estrutura hierárquica analítica pode-se compreender melhor o modelo e construir as equações para estimar o IRP. Estas equações foram elaboradas com

base nos estudos revisados levando em consideração particularidades específicas de cada elemento da estrutura, por esta razão não foram desenvolvidas da mesma forma.

### 3.2.1 **Estimação dos fatores e suas características**

Nesta etapa apresenta-se as equações e/ou escalas utilizadas para a estimativa da importância dos fatores e de suas características. Para integração dos resultados das diferentes equações estimativas adotou-se alguns métodos de avaliação multicritérios identificados nos estudos revisados. Assim, as equações e as escalas para a estimativa de todos elementos da estrutura analítica, foram adaptadas para que os resultados se situem na faixa de 0 a 1 (normalização) para possibilitar a combinação adequada dos resultados.

#### 3.2.1.1 *Estimativa do RV*

A estimativa do RV foi realizada com base no método de revisão de segurança viária em vias existentes proposto por Nodari (2003), onde através de um procedimento padronizado de coleta de dados em campo são atribuídas notas de 0 a 10 por especialistas, quilômetro a quilômetro, para as 34 características definidas pelo modelo. Quanto maior a nota numérica, melhor a condição da via.

O peso relativo de cada característica agrupada dentro das 9 macrocategorias é obtido pelo método de normalização pela soma dos elementos. O índice de RV de cada macrocategoria, para cada trecho de 1 quilômetro de extensão, resulta do somatório do produto entre este peso e a nota das características abrangidas por cada macrocategoria, conforme a Equação 15 adotada por Tinoco, Nodari e Pereira (2016).

$$RV_j = \sum_{i=1}^m (p_{i,j} \times n_{i,j}) \quad (15)$$

Onde:

$RV_j$  = Risco Viário da macrocategoria  $j$  para um segmento de 1 quilômetro de extensão;

$p_i$  = peso relativo da característica  $i$  dentro de cada macrocategoria;

$n_i$  = nota da característica  $i$  resultante da inspeção em campo;

$m$  = quantidade de características dentro da macrocategoria.

Segundo Tinoco, Nodari e Pereira (2016) os pesos representam o grau de influência potencial de cada característica da rodovia na ocorrência de acidentes. As notas das características representam o estado vigente de cada característica no período da análise. A presença de uma característica em nível alto compensa a presença de outra característica em nível baixo. O índice de risco viário potencial geral de cada segmento de um quilômetro avaliado ( $RV_{Gk}$ ) é estimado através da média geométrica os  $RV_j$  parciais de cada macrocategoria, conforme a Equação 16.

$$RV_{Gk} = \sqrt[9]{RV_{sp} \times RV_{cv} \times RV_{it} \times RV_{sn} \times RV_{lg} \times RV_{tr} \times RV_{vl} \times RV_{lt} \times RV_{eg}} \quad (16)$$

Onde:

$RV_{Gk}$  = Risco Viário Global do segmento k;

$RV_{sp}$  = Risco Viário da macrocategoria “superfície do pavimento”;

$RV_{cv}$  = Risco Viário da macrocategoria “curvas”;

$RV_{it}$  = Risco Viário da macrocategoria “interseções/ acessos”;

$RV_{sn}$  = Risco Viário da macrocategoria “sinalização vertical e horizontal”;

$RV_{lg}$  = Risco Viário da macrocategoria “elementos longitudinais”;

$RV_{tr}$  = Risco Viário da macrocategoria “elementos da seção transversal”;

$RV_{vl}$  = Risco Viário da macrocategoria “usuários vulneráveis”;

$RV_{lt}$  = Risco Viário da macrocategoria “laterais da via”;

$RV_{eg}$  = Risco Viário da macrocategoria “elementos gerais”;

k = segmentos da rodovia de com 1 quilômetro de extensão.

Para possibilitar a agregação de todos os valores obtidos para o  $RV_{Gk}$  do segmento do trecho de rodovia avaliado, com os outros fatores para a estimativa do IRP de cada segmento da rodovia, aplica-se a normalização linear conforme a Equação 17.

$$RV_{Gk}^{\wedge} = (RV_{Gk} - RV_{G\text{mín}}) / (RV_{G\text{máx}} - RV_{G\text{mín}}) \quad (17)$$

Onde:

$RV_{Gk}^{\wedge}$  = valor normalizado do Risco Viário Global do segmento k;

$RV_{Gk}$  = valor a ser normalizado do Risco Viário Global do segmento k;

$RV_{Gk\text{mín}}$  = valor mínimo do Risco Viário Global;

$RV_{Gk \text{ máx}}$  = valor máximo do Risco Viário Global.

### 3.2.1.2 Perigo intrínseco ao tipo de acidente rodoviário ( $P_e$ )

Para a estimativa do  $P_e$  adapta-se a proposta de Martínez-Alegría, Ordóñez e Taboada (2003) de elaborar uma escala de valores para ponderar o perigo intrínseco com base na classificação de 5 tipos de acidentes do governo espanhol (ESPAÑA, 1996) apresentada no Quadro 1. Considera-se os acidentes Tipo 4 e 5 com o peso máximo da escala, por serem provocarem danos mais graves por vazamento, incêndio e explosão, da mesma forma que Martínez-Alegría, Ordóñez e Taboada (2003). Além disso, segue-se a argumentação de Cordeiro (2014) quanto a normalização da classificação de valores atribuídos para possibilitar a agregação com outros fatores. Entende-se que no acidente Tipo 1 há perigo intrínseco, pois mesmo que o recipiente não tenha sido danificado pelo acidente ainda existe uma situação com potencial de causar danos por haver produto perigoso no cenário do acidente. O Quadro 11 apresenta a escala proposta.

Quadro 11 – Classificação dos tipos de acidentes rodoviários

Tipo	Descrição do Acidente	Proposta de valores $P_e$
1	Avaria ou acidente em que o veículo não pode continuar sua viagem, porém os recipientes utilizados para o transporte dos produtos perigosos estão em perfeitas condições e não houve capotamento. (ESPAÑA, 1996)	0,1
2	Em consequência do acidente, o recipiente foi danificado ou ocorreu o capotamento, porém não houve vazamento ou derramamento do conteúdo. (ESPAÑA, 1996)	0,3
3	Em consequência do acidente, o recipiente foi danificado e houve vazamento ou derramamento do conteúdo. (ESPAÑA, 1996)	0,7
4	Houve danos ou incêndio no recipiente e vazamento do conteúdo, com chamas. (ESPAÑA 1996)	1,0



5	Explosão de conteúdo destruindo o recipiente. (ESPAÑA, 1996)	1,0
---	--	-----

Fonte: Elaborado pelo autor com base na classificação de tipos de acidentes proposta por España (1996)

### 3.2.1.3 Dano inerente potencial do produto perigoso ( $H_{hg}$ )

A estimativa do  $H_{hg}$  foi elaborada considerando os 6 grupos de características propostas com base nas classificações padronizadas NFPA 704 (NFPA, 2017), NFPA 400 (NFPA, 2016), e GHS (UNECE, 2017): (i) inflamabilidade, (ii) toxicidade, (iii) reatividade, (iv) forte reação com a água, (v) facilidade de liberação de oxigênio, e (vi) efeito no meio ambiente. Para cada grupo de características foi utilizada a classificação ordinal de 0 a 4 apresentada no Quadro 12. Quanto maior o valor obtido, mais agressivo é o produto, e maior o potencial de causar danos. Para calcular o valor do  $H_{hg}$  de cada produto perigoso propõe-se a soma dos índices atribuídos para os grupos de características conforme apresentado na Equação 18.

$$H_{hg} = H_{tóx} + H_{inf} + H_{rea} + H_{w} + H_{oxi} + H_{env} \quad (18)$$

Onde:

$H_{hg}$  = Dano Inerente Potencial do Produto Perigoso

$H_{tóx}$  = Perigo de Toxicidade

$H_{inf}$  = Perigo de Inflamabilidade

$H_{rea}$  = Perigo de Reatividade

$H_{w}$  = Perigo de Forte Reação com Água

$H_{oxi}$  = Perigo de Oxidação

$H_{env}$  = Perigo Ambiental

Para possibilitar a agregação de todos os valores obtidos para o  $H_{hg}$  de cada produto perigoso identificado no trecho de rodovia avaliado, com os outros fatores para a estimativa do IRP de cada segmento da rodovia, aplica-se a normalização linear conforme a Equação 19.

$$H_{hg} \text{ `} = \left( H_{hg} - H_{hg_{mín}} \right) / \left( H_{hg_{máx}} - H_{hg_{mín}} \right) \quad (19)$$

Onde:

$H_{hg}^{\wedge}$  = valor normalizado do Dano Inerente Potencial do Produto Perigoso;

$H_{hg}$  = valor a ser normalizado do Dano Inerente Potencial do Produto Perigoso;

$H_{hg \text{ mín}}$  = valor mínimo do Dano Inerente Potencial do Produto Perigoso;

$H_{hg \text{ máx}}$  = valor máximo do Dano Inerente Potencial do Produto Perigoso.

Quadro 12 - Classificação de grupos de características de produtos químicos perigosos

Perigo de Toxicidade ( $H_t$ )	Perigo de Inflamabilidade ( $H_i$ )	Perigo de Reatividade ( $H_r$ )	Perigo de Forte Reação com Água ( $H_w$ )	Perigo de Oxidação ( $H_o$ )	Perigo Ambiental ( $H_e$ )	Valor do Dano Inerente Potencial ( $H_{hg}$ )
Materiais que podem ser letais.	Materiais que vaporizam rápida ou completamente à temperatura e pressão ambiente normal.	Materiais que podem explodir em temperaturas e pressões normais.	Não aplicável (descrição da Tabela E2 da NFPA 704 (2012)).	Oxidante que pode explodir, por contaminação / choque térmico / físico, e que aumenta a taxa de combustão de combustíveis com os quais ele entra em contato.	Muito tóxico para a vida aquática com efeitos duradouros.	4
Materiais que podem causar lesões graves ou permanentes.	Materiais que podem ser inflamados à temperatura ambiente.	Materiais que podem explodir, mas que requerem uma forte fonte de iniciação ou aquecimento sob confinamento.	Materiais que reagem de forma explosiva com a água sem necessidade de calor ou com calor de mistura maior ou igual a 600 cal/g.	Oxidante que causa um aumento severo na taxa de combustão dos combustíveis com os quais ele entra em contato.	Tóxico para a vida aquática com efeitos duradouros.	3
Materiais que podem causar incapacidade temporária ou lesão residual.	Materiais que devem ser moderadamente aquecidos ou expostos a temperaturas ambiente relativamente altas antes que a ignição possa ocorrer.	Materiais que sofrem alterações químicas violentas em altas temperaturas e pressões.	Materiais que reagem violentamente com a água, incluindo a capacidade de ferver água ou gerar gases inflamáveis ou tóxicos.	Oxidante que causa um aumento moderado da taxa de combustão dos materiais combustíveis com os quais entra em contato.	Nocivo para a vida aquática com efeitos duradouros.	2
Materiais que podem causar irritação significativa.	Os materiais que devem ser pré-aquecidos antes da ignição poder ocorrer.	Materiais que em si mesmos são normalmente estáveis, mas que podem se tornar instáveis em temperaturas e pressões	Materiais que reagem vigorosamente com a água ou com calor de mistura é igual ou superior a 30 cal/g e menos de 100 cal/g.	Oxidante que não aumenta de forma moderada a taxa de combustão dos materiais combustíveis com os quais entra em	Pode causar efeitos nocivos duradouros para a vida aquática.	1

Perigo de Toxicidade (H <sub>t</sub> )	Perigo de Inflamabilidade (H <sub>i</sub> )	Perigo de Reatividade (H <sub>r</sub> )	Perigo de Forte Reação com Água (H <sub>w</sub> )	Perigo de Oxidação (H <sub>o</sub> )	Perigo Ambiental (H <sub>e</sub> )	Valor do Dano Inerente Potencial (H <sub>hg</sub> )
		elevadas.		contato.		
Materiais que não ofereçam perigos além dos materiais combustíveis comuns.	Materiais que não queimam em condições típicas de incêndio.	Materiais que são normalmente estáveis, mesmo em condições de incêndio.	Não reativo abaixo de 30 cal/g.	Não oxidante.	Não há perigo ambiental.	0

Fonte: Baseado no NFPA 704 (NFPA, 2017), NFPA 400 (NFPA, 2016), e GHS (UNECE, 2017)

#### 3.2.1.4 Avaliação da vulnerabilidade ambiental (Ve)

A estimativa da vulnerabilidade ambiental foi elaborada considerando as 3 características propostas: (i) a vulnerabilidade dos recursos hídricos, (ii) a vulnerabilidade da vegetação e (iii) a vulnerabilidade do solo. A seguir são detalhados os critérios adotados para a avaliação das vulnerabilidades no entorno de rodovias.

Para a vulnerabilidade da vegetação e dos recursos hídricos utiliza-se as escalas de sensibilidade propostas por Tinoco, Nodari e Pereira (2016) e pelo Programa de Gerenciamento de Riscos da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2012), apresentadas no Quadro 6. Por estes critérios pode-se classificar a vulnerabilidade da vegetação e dos recursos hídricos no entorno de cada segmento de 1 km da rodovia nos dois sentidos. Segundo Tinoco, Nodari e Pereira (2016) estas estimativas foram validadas pela aplicação da técnica da quadrícula em mapas. A técnica consiste na sobreposição de duas quadrículas de 1 km<sup>2</sup> de área, constituídas de 100 quadrados cada uma, no mapa da região contendo o trecho da rodovia em estudo e a delimitação dos quilômetros avaliados e da área de influência da rodovia. A cada quilômetro analisado na área de influência da rodovia (2 km) aplica-se as quadrículas e calcula-se os percentuais de cobertura da vegetação e dos recursos hídricos e da ocupação humana. De acordo com o percentual de cobertura atribui-se um valor de vulnerabilidade (de 0 a 10) em cada um dos aspectos avaliados. Os valores finais da vulnerabilidade da vegetação e dos recursos hídricos em cada trecho resultam da média dos valores atribuídos em avaliações locais utilizando as escalas de sensibilidade e da análise das quadrículas em mapas. Os valores obtidos na primeira quadrícula (de 0 a 1 km da rodovia) tem peso de 70 % no cálculo da média, e aos valores de sensibilidade da segunda quadrícula

tem peso de 30 % (de 1 a 2 km), pois o impacto de acidentes com produtos perigosos será maior nos aspectos ambientais próximos da rodovia.

A estimativa vulnerabilidade dos solos baseia-se na classificação quanto a resistência a impactos ambientais proposta pela FEPAM (2001) apresentada no Quadro 5 e nas no Programa de Gerenciamento de Riscos para Administradores de Rodovias para o Transporte de Produtos Perigosos da CETESB (2013). Pela classe do solo pode-se estimar a resistência a impactos ambientais de cada área entorno da rodovia utilizando o Mapa de Solos do Brasil do IBGE (2001). Seguindo-se as orientações da CETESB (2012), considerou-se uma área de influência de 300 metros a partir dos bordos da pista para o levantamento das características ambientais do entorno da rodovia. Para estimar um valor para a vulnerabilidade do solo no entorno da rodovia propõe-se uma escala numérica inversa a resistência a impactos ambientais conforme apresentada no Quadro 13. O valor da vulnerabilidade do solo de cada segmento de 1 km da rodovia e entorno de 300 m da borda da pista é ponderada pela soma dos produtos do percentual de área de estudo e do valor da resistência a impactos ambientais da respectiva área. Para esta estimativa aplica-se a Equação 20.

Quadro 13 - Classificação da vulnerabilidade dos solos

Resistência a impactos ambientais do solo (FEPAM, 2001)	Classe de solo (EMBRAPA, 1999; FEPAM, 2001)	Vulnerabilidade ambiental do solo	Valor proposto para a $Vsl$	Áreas ( $m^2$ )
Alta	PVd3, LVdf1, LVaf, NVdf1, CHa2, PVd4, PVAA3, PVAd5, LVd3, PVd5, LVdf2, NVdf2, PVd7 e LBA1.	Baixa	$Vsl_{bk} = 1$	$S_{bk}$
Média	CHa1, PVd1, PVAe2, PVAd4, TCo, LVd1, LVd2, LBA2, PVAA1, PVd6, PVE e PVAA2.	Moderada	$Vsl_{mk} = 3$	$S_{mk}$
Baixa	VEo1, SXe2, TPo, PVAe1, APo, MTf1, VEo2, MTK, PVAd1, PVAA1, MXo2, MTo2, ACt, PVAd2, APt2, SXe1, PVd2, MEo, APt3, PVAd6, PVAd6, MEk, MTo1 e TCp.	Elevada	$Vsl_{ek} = 7$	$S_{ek}$
Muito baixa	GXe, RLd1, RLe1, GMe1, RQg1, RQ1, FTe1, RU, RLd2, RLd3, RLe3, RQ2, GMe2, RQg2, RLe2, SGe2, RQo, RLe4, SGe3, RLd4, CJa, RLd5, OJs, SGe1, MXo, áreas com risco de inundação e lençol freático superficial.	Crítica	$Vsl_{ek} = 1$	$S_{ck}$

Fonte: Elaborado pelo autor baseado em EMBRAPA (1999) e FEPAM (2001)

$$Vsl_k = (S_{b_k} \times Vsl_{b_k} + S_{m_k} \times Vsl_{m_k} + S_{e_k} \times Vsl_{e_k} + S_{c_k} \times Vsl_{c_k}) \div ST_k \quad (20)$$

Onde:

$Vsl_k$  = Valor da vulnerabilidade dos solos do segmento k;

$S_{b_k}$ ,  $S_{m_k}$ ,  $S_{e_k}$  e  $S_{c_k}$  = Áreas do segmento k com 1 km de extensão e 300 metros de largura tomada a partir da borda da rodovia, com vulnerabilidade do solo conforme escala do Quadro 13 aplicada ao Mapa de Solos do Brasil do IBGE (2001);

$Vsl_{b_k}$ ,  $Vsl_{m_k}$ ,  $Vsl_{e_k}$  e  $Vsl_{c_k}$  = Valor atribuído para vulnerabilidade do solo do segmento k conforme a classificação apresentada no Quadro 13;

$ST_k$  = Área Total do segmento k com 1 km de extensão e 300 metros de largura tomada a partir da borda da rodovia.

Para possibilitar a agregação de todos os valores obtidos para da Ve do segmento do trecho de rodovia avaliado, com os outros fatores para a estimativa do IRP de cada segmento da rodovia, aplica-se a normalização linear conforme a Equação 21 e a estimativa dos pesos das vulnerabilidades por AHP conforme apresentado na Equação 22 e 23.

$$Ve_i^{\text{`}} = (Ve_i - Ve_{i_{\text{mín}}}) / (Ve_{i_{\text{máx}}} - Ve_{i_{\text{mín}}}) \quad (21)$$

Onde:

$Ve_i^{\text{`}}$  = valor normalizado da vulnerabilidade ambiental i, entre 0 e 1;

$Ve_i$  = valor da vulnerabilidade ambiental i a ser normalizada ( $Ve_i \leq 10$ );

$Ve_{i_{\text{mín}}}$  = valor mínimo da vulnerabilidade ambiental i;

$Ve_{i_{\text{máx}}}$  = valor máximo da vulnerabilidade ambiental i;

i = vulnerabilidade ambiental dos recursos hídricos, da vegetação ou dos solos.

$$Ve_k^{\text{`}} = \sum_i^n w_{ev_{ki}} \times Ve_{ki}^{\text{`}} \quad (22)$$

Onde:

$Ve_k^{\text{`}}$  = valor normalizado da vulnerabilidade ambiental para o segmento k;

$w_{ev_{ki}}$  = peso da vulnerabilidade ambiental i obtido por AHP, entre 0 e 1;

$Ve_{ki}^{\text{`}}$  = valor normalizado para a vulnerabilidade ambiental i, entre 0 e 1;

n = número de vulnerabilidades = 3;

$i$  = vulnerabilidade ambiental dos recursos hídricos, da vegetação ou dos solos;

$k$  = segmentos da rodovia com 1 quilômetro de extensão.

$$Ve_k = w_{wrk} \times V_{wr} + w_{vgk} \times V_{vg} + w_{slk} \times V_{sl} \quad (23)$$

Onde:

$Ve_k$  = valor normalizado da vulnerabilidade ambiental do segmento  $k$ ;

$w_{wrk}$  = peso da vulnerabilidade dos recursos hídricos obtido por AHP;

$V_{wr}$  = valor normalizado da vulnerabilidade dos recursos hídricos;

$w_{vgk}$  = peso da vulnerabilidade da vegetação obtido por AHP;

$V_{vg}$  = valor normalizado da vulnerabilidade da vegetação;

$w_{slk}$  = peso da vulnerabilidade do solo obtido por AHP;

$V_{sl}$  = valor normalizado da vulnerabilidade do solo;

$k$  = segmentos da rodovia com 1 quilômetro de extensão.

### 3.2.1.5 Avaliação da vulnerabilidade populacional ( $V_p$ )

A estimativa da vulnerabilidade população foi elaborada considerando as 2 características propostas: (i) a ocupação humana e (ii) a densidade populacional. Para a vulnerabilidade do tipo de ocupação humana utilizou-se as escalas de sensibilidade propostas por Tinoco, Nodari e Pereira (2016) e pelo Programa de Gerenciamento de Riscos da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2012), apresentadas no Quadro 6. Para a estimativa da vulnerabilidade do tipo de ocupação humana segue-se as mesmas etapas utilizadas para vulnerabilidade dos recursos hídricos e da vegetação apresentadas no item anterior. A estimativa vulnerabilidade da densidade populacional baseia-se no Programa de Gerenciamento de Riscos para Administradores de Rodovias para o Transporte de Produtos Perigosos da CETESB (2013) e no Mapa da Densidade demográfica 2010 do IBGE (2013). A densidade populacional considera que um acidente em local densamente povoado se torna mais significativo. Seguindo as orientações da CETESB (2013), considerou-se uma área de influência de 300 metros a partir dos bordos da pista para o levantamento das características ambientais do entorno da rodovia. Para calcular um valor para a vulnerabilidade populacional no entorno da rodovia propõe-se a escala numérica conforme a densidade populacional apresentada no Quadro 14. O valor da vulnerabilidade populacional de cada segmento de 1 km da rodovia e entorno de 300 m da borda da pista é ponderado pela soma dos produtos do

percentual de área estudada e do valor da densidade populacional da respectiva área, conforme apresentado pela Equação 24.

Quadro 14 - Classificação da vulnerabilidade da populacional

Densidade Populacional (hab/km <sup>2</sup> ) Censo Demográfico 2010 (IBGE, 2013)	Valor proposto para a Vpd	Áreas (m <sup>2</sup> )
0 a 1	$Vpd_1 = 1$	$S_{1k}$
1,1 a 5	$Vpd_2 = 2$	$S_{2k}$
5,1 a 10	$Vpd_3 = 3$	$S_{3k}$
10,1 a 15	$Vpd_4 = 4$	$S_{4k}$
15,1 a 20	$Vpd_5 = 5$	$S_{5k}$
20,1 a 50	$Vpd_6 = 6$	$S_{6k}$
50,1 a 100	$Vpd_7 = 7$	$S_{7k}$
100,1 a 250	$Vpd_8 = 8$	$S_{8k}$
250,1 a 500	$Vpd_9 = 9$	$S_{9k}$
Acima de 500	$Vpd_{10} = 10$	$S_{10k}$

Fonte: Elaborado pelo autor baseado em IBGE (2013)

$$Vpd_k = ((S_{1k} \times Vpd_{1k}) + (S_{2k} \times Vpd_{2k}) + \dots + (S_{10k} \times Vpd_{10k})) \div ST_k \quad (24)$$

Onde:

$Vpd_k$  = Valor da vulnerabilidade populacional do segmento k;

$S_{1k}, S_{2k}, \dots, S_{10k}$  = Áreas do segmento k com 1 km de extensão e 300 metros de largura tomada a partir da borda da rodovia, com densidade populacional conforme escala do Mapa da Densidade demográfica 2010 do IBGE (2013);

$Vpd_{1k}, Vpd_{2k}, \dots, Vpd_{10k}$  = Valor atribuído para vulnerabilidade populacional do segmento k conforme a classificação apresentada no Quadro 15;

$ST_k$  = Área Total do segmento k com 1 km de extensão e 300 metros de largura tomada a partir da borda da rodovia.

Para possibilitar a agregação de todos os valores obtidos para o Vp do segmento do trecho de rodovia avaliado, com os outros fatores para a estimativa do IRP de cada segmento da rodovia, aplica-se a normalização linear conforme a Equação 25 e a estimativa dos pesos das vulnerabilidades por AHP conforme apresentado na Equação 26 e 27.

$$Vp_j' = (Vp_j - Vp_{j_{\min}}) / (Vp_{j_{\max}} - Vp_{j_{\min}}) \quad (25)$$

Onde:

$Vp_j^{\wedge}$  = valor normalizado da vulnerabilidade populacional  $j$ , entre 0 e 1;

$Vp_j$  = valor da vulnerabilidade populacional  $j$  a ser normalizada ( $Vp_i \leq 10$ );

$Vp_{j\text{ m\u00edn}}$  = valor m\u00ednimo da vulnerabilidade populacional  $j$ ;

$Vp_{j\text{ m\u00e1x}}$  = valor m\u00e1ximo da vulnerabilidade populacional  $j$ ;

$j$  = vulnerabilidade populacional pela ocupa\u00e7\u00e3o humana ou densidade populacional.

$$(26) \quad Vp_k^{\wedge} = \sum_j^n w_{pvj} \times Vp_{jk}^{\wedge}$$

Onde:

$Vp_k^{\wedge}$  = valor normalizado da vulnerabilidade populacional do segmento  $k$ ;

$w_{pvi}$  = peso da vulnerabilidade populacional  $i$  obtido por AHP, entre 0 e 1;

$Vp_{ik}^{\wedge}$  = valor normalizado para a vulnerabilidade populacional  $i$ , entre 0 e 1, do segmento  $k$ ;

$n$  = n\u00famero de vulnerabilidades populacionais = 2;

$j$  = vulnerabilidade populacional pela ocupa\u00e7\u00e3o humana ou densidade populacional;

$k$  = segmentos da rodovia com 1 quil\u00f4metro de extens\u00e3o.

$$(27) \quad Vp_k^{\wedge} = w_{ho} \times V_{ho k}^{\wedge} + w_{pd} \times V_{pd k}^{\wedge}$$

Onde:

$Vp_k^{\wedge}$  = valor normalizado da vulnerabilidade populacional do segmento  $k$ ;

$w_{ho}$  = peso da vulnerabilidade da ocupa\u00e7\u00e3o humana obtido por AHP;

$V_{ho k}^{\wedge}$  = valor normalizado da vulnerabilidade da ocupa\u00e7\u00e3o humana do segmento  $k$ ;

$w_{pd}$  = peso da vulnerabilidade da densidade populacional obtido por AHP;

$V_{pd k}^{\wedge}$  = valor normalizado da vulnerabilidade da densidade populacional do segmento  $k$ ;

$k$  = segmentos da rodovia com 1 quil\u00f4metro de extens\u00e3o.

### 3.2.1.6 Avalia\u00e7\u00e3o da vulnerabilidade das infraestruturas (Vif)

A estimativa da vulnerabilidade das infraestruturas foi elaborada *considerando* 5 tipos de elementos territoriais: (i) comunica\u00e7\u00e3o, (ii) eletricidade, (iii) combust\u00edvel, (iv) \u00e1gua pot\u00e1vel, e (v) transportes. A gravidade das consequ\u00eancias de um acidente \u00e9 influenciada pelo impacto direto \u00e0s infraestruturas, com preju\u00edzos imediatos e abrangentes. O quadro 15 apresenta exemplos dos elementos territoriais considerados para cada tipo de infraestrutura.



Quadro 15 – Exemplos de elementos territoriais vulneráveis por tipo de infraestrutura

Comunicação	Eletricidade	Combustíveis	Água potável	Transportes
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Antenas de rádio</li> <li>• Cabos de fibra óptica</li> <li>• Linha telefônica</li> <li>• Antenas de celular</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Linhas de transmissão</li> <li>• Geradores</li> <li>• Transformadores</li> <li>• Subestações</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Postos de combustíveis</li> <li>• Revendas de gás liquefeito de petróleo (GLP)</li> <li>• Tanques de armazenagem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rede hidráulica</li> <li>• Estações de tratamento de água</li> <li>• Elevatórias</li> <li>• Reservatórios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pontes</li> <li>• Viadutos</li> <li>• Túneis</li> <li>• Pontes</li> <li>• Passarelas</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor

Para avaliar a vulnerabilidade de cada tipo de infraestrutura propõe-se a classificação apresentada no Quadro 16 atribuindo um valor de acordo com o número de elementos do mesmo tipo de infraestrutura em cada segmento de 1 km de rodovia, considerando-se uma área de influência de 300 metros a partir dos bordos da pista de cada segmento da rodovia, em cada sentido de tráfego.

A partir da contagem dos elementos de infraestrutura identificados, e dos pesos atribuídos pelos especialistas por AHP estima-se o  $Vif_k$  para cada segmento de 1 km da rodovia. As Equações 28 e 29 apresentam a síntese dos conceitos apresentados.

Quadro 16 - Classificação da vulnerabilidade da infraestrutura pelo número de elementos

Vulnerabilidade da comunicação ( $V_{cm}$ )	Vulnerabilidade da eletricidade ( $V_{el}$ )	Vulnerabilidade de combustíveis ( $V_{fl}$ )	Vulnerabilidade da água potável ( $V_{pw}$ )	Vulnerabilidade dos transportes ( $V_{tp}$ )	Escala de valor proposta
$V_{cm} \geq 4$ elementos	$V_{el} \geq 4$ elementos	$V_{fl} \geq 4$ elementos	$V_{pw} \geq 4$ elementos	$V_{tp} \geq 4$ elementos	10
$V_{cm} = 3$ elementos	$V_{el} = 3$ elementos	$V_{fl} = 3$ elementos	$V_{pw} = 3$ elementos	$V_{tp} = 3$ elementos	7
$V_{cm} = 2$ elementos	$V_{el} = 2$ elementos	$V_{fl} = 2$ elementos	$V_{pw} = 2$ elementos	$V_{tp} = 2$ elementos	3
$V_{cm} \leq 1$ elemento	$V_{el} \leq 1$ elemento	$V_{fl} \leq 1$ elemento	$V_{pw} \leq 1$ elemento	$V_{tp} \leq 1$ elemento	1

Fonte: Elaborado pelo autor

Por exemplo, se em um segmento de rodovia, em um determinado sentido de tráfego, houver dois postos de gasolina e uma central de revenda de GLP o valor da  $V_{fl}$  será 7, se houver uma ponte e um viaduto o valor de  $V_{tp}$  será 3, e se não houver torres de comunicação  $V_{cm}$  será igual a 1.

$$(28) \quad Vif_k = \sum_g^n w_{ifg} \times Vif_g$$

Onde:

$Vif_k$  = valor da vulnerabilidade das infraestruturas do segmento k;

$w_{if_g}$  = peso da vulnerabilidade da infraestrutura g obtido por AHP, entre 0 e 1;

$Vif_{gk}$  = valor da vulnerabilidade da infraestrutura g do segmento k ;

n = número de tipos de vulnerabilidades das infraestruturas = 5 ;

g = vulnerabilidade das infraestruturas de comunicação, de eletricidade, de combustíveis, água potável ou transportes;

k = segmentos da rodovia com 1 quilômetro de extensão.

$$Vif_k = w_{cm} \times V_{cmk} + w_{el} \times V_{elk} + w_{fl} \times V_{flk} + w_{pw} \times V_{pwk} + w_{tp} \times V_{tpk} \quad (29)$$

Onde:

$Vif_k$  = valor da vulnerabilidade das infraestruturas do segmento k;

$w_{cm}$  = peso da vulnerabilidade da comunicação obtido por AHP;

$V_{cmk}$  = vulnerabilidade da comunicação do segmento k;

$w_{el}$  = peso da vulnerabilidade da eletricidade obtido por AHP;

$V_{elk}$  = vulnerabilidade da eletricidade do segmento k;

$w_{fl}$  = peso da vulnerabilidade dos combustíveis obtido por AHP;

$V_{flk}$  = vulnerabilidade dos combustíveis do segmento k;

$w_{pw}$  = peso da vulnerabilidade da água potável obtido por AHP;

$V_{pwk}$  = vulnerabilidade da água potável do segmento k;

$w_{tp}$  = peso da vulnerabilidade dos transportes obtido por AHP;

$V_{tpk}$  = vulnerabilidade dos transportes do segmento k;

k = segmentos da rodovia com 1 quilômetro de extensão.

Para possibilitar a agregação de todos os valores obtidos para a  $Vif$  do segmento do trecho de rodovia avaliado, com os outros fatores para a estimativa do IRP de cada segmento da rodovia, aplica-se a normalização linear conforme a Equação 30.

$$Vif'_g = (Vif_g - Vif_{g\ min}) / (Vif_{g\ máx} - Vif_{g\ min}) \quad (30)$$

Onde:

$Vif'_g$  = valor normalizado da vulnerabilidade da infraestrutura i, entre 0 e 1;

$Vif_g$  = valor da vulnerabilidade da infraestrutura i a ser normalizada ( $Vif_i \leq 10$ );

$Vif_{g\text{ m\u00edn}}$  = valor m\u00ednimo da vulnerabilidade da infraestrutura  $i$  ;

$Vif_{g\text{ m\u00e1x}}$  = valor m\u00e1ximo da vulnerabilidade da infraestrutura  $i$  ;

$g$  = vulnerabilidade das infraestruturas de comunica\u00e7\u00e3o, de eletricidade, de combust\u00edveis, \u00e1gua pot\u00e1vel ou transportes.

### 3.2.1.7 Avalia\u00e7\u00e3o da resili\u00eancia territorial

A gravidade das consequ\u00eancias de um acidente \u00e9 atenuada pela exist\u00eancia de elementos para aviso, detec\u00e7\u00e3o e/ou capacidade de resposta para a\u00e7\u00e3o de emerg\u00eancia a uma dist\u00e2ncia m\u00e1xima de 15 km do evento perigoso. Estimou-se esta dist\u00e2ncia baseando-se no tempo m\u00e1ximo de chegada ao local no prazo m\u00e9dio de 15 (quinze) minutos para atendimento m\u00e9dico de emerg\u00eancia e de socorro mec\u00e2nico, estipulado pela Ag\u00eancia Nacional de Transportes Terrestres (ANTT, 2016) para Rodovias Federais concedidas. O tempo de chegada \u00e9 calculado entre o momento de identifica\u00e7\u00e3o do incidente ou necessidade do recurso at\u00e9 o momento da chegada do ve\u00edculo no local da ocorr\u00eancia (verificado com base no sistema de gest\u00e3o operacional da concession\u00e1ria). Para esta estimativa da dist\u00e2ncia prop\u00f5e-se a velocidade m\u00e9dia de 60 km/h.

Nestas situa\u00e7\u00f5es entende-se que quanto antes for identificado o acidente, menor ser\u00e1 o tempo para ocorrerem interven\u00e7\u00f5es. S\u00e3o considerados na avalia\u00e7\u00e3o cinco elementos de resili\u00eancia territorial: policiais, bombeiros (equipes de emerg\u00eancia e guinchos), servi\u00e7os m\u00e9dicos (ambul\u00e2ncias e hospitais), monitoramentos (c\u00e2meras, radares e placas com telefones de emerg\u00eancia). Quanto maior a dist\u00e2ncia dos elementos de resili\u00eancia ao local do acidente menor ser\u00e1 o valor atribu\u00eddo a resili\u00eancia. Com base na dist\u00e2ncia dos elementos de resili\u00eancia ao segmento da rodovia avaliado prop\u00f5e-se a classifica\u00e7\u00e3o apresentada no Quadro 17.

Quadro 17 - Classifica\u00e7\u00e3o dos elementos de resili\u00eancia territorial

Resili\u00eancia pela pol\u00edcia ( $R_{pc}$ )	Resili\u00eancia pelos bombeiros ( $R_{bb}$ )	Resili\u00eancia por servi\u00e7os m\u00e9dicos ( $R_{sm}$ )	Resili\u00eancia pelo monitoramento ( $R_{mt}$ )	Escala de valor proposta para a $R_t$
$R_{pc} < 5$ km	$R_{ff} < 5$ km	$R_{ms} < 5$ km	$R_{mt} < 1$ km	10
$5 \text{ km} \leq R_{pc} < 10$ km	$5 \text{ km} \leq R_{ff} < 10$ km	$5 \text{ km} \leq R_{ms} < 10$ km	$1 \text{ km} \leq R_{mt} < 2$ km	7
$10 \text{ km} \leq R_{pc} < 15$ km	$10 \text{ km} \leq R_{ff} < 15$ km	$10 \text{ km} \leq R_{ms} < 15$ km	$2 \text{ km} \leq R_{mt} < 5$ km	3
$R_{pc} \geq 15$ km	$R_{ff} \geq 15$ km	$R_{ms} \geq 15$ km	$R_{mt} \geq 5$ km	1

Fonte: Elaborado pelo autor

A partir dos elementos de resiliência identificados e dos pesos atribuídos pelos especialistas por AHP estima-se o  $Rt_k$  para cada segmento de 1 km da rodovia. As equações 31 e 32 apresentam a síntese dos conceitos apresentados.

$$(31) \quad Rt_k = \sum_q^n w_{tr\ q} \times Rt_{q\ k}$$

Onde:

$Rt_k$  = valor da resiliência territorial do segmento k;

$w_{tr\ q}$  = peso da resiliência territorial ambiental q obtido por AHP, entre 0 e 1;

$Rt_{q\ k}$  = valor da resiliência territorial q, entre 0 e 1;

n = número de resiliências territoriais = 4;

q = elementos de resiliência territorial: polícia, bombeiros, serviços médicos ou monitoramento.

k = segmentos da rodovia com 1 quilômetro de extensão.

$$(32) \quad Rt_k = w_{pc} \times R_{pc} + w_{ff} \times R_{ff} + w_{ms} \times R_{ms} + w_{mt} \times R_{mt}$$

Onde:

$Rt_k$  = valor da resiliência territorial do segmento k;

$w_{pc}$  = peso da resiliência das polícias obtido por AHP;

$R_{pc\ k}$  = resiliência das polícias do segmento k;

$w_{ff}$  = peso da resiliência dos bombeiros obtido por AHP;

$R_{ff\ k}$  = resiliência dos bombeiros do segmento k;

$w_{ms}$  = peso da resiliência dos serviços médicos por AHP;

$R_{ms\ k}$  = resiliência dos serviços médicos do segmento k;

$w_{mt}$  = peso da resiliência pelos monitoramentos obtido por AHP;

$R_{mt\ k}$  = resiliência pelos monitoramentos do segmento k;

k = segmentos da rodovia com 1 quilômetro de extensão.

Para possibilitar a agregação de todos os valores obtidos para a  $Rt$  do segmento do trecho de rodovia avaliado, com os outros fatores para a estimativa do IRP de cada segmento da rodovia, aplica-se a normalização linear conforme a Equação 33.

$$Rt_q^{\text{`}} = \left( Rt_q - Rt_{q \text{ m\u00edn}} \right) / \left( Rt_{q \text{ m\u00e1x}} - Rt_{q \text{ m\u00edn}} \right)$$

(33)

Onde:

$Rt_q^{\text{`}}$  = valor normalizado da resili\u00eancia territorial  $i$  normalizada, entre 0 e 1;

$Rt_q$  = valor da resili\u00eancia territorial  $i$  a ser normalizada ( $Rt_q \leq 10$ );

$Rt_{q \text{ m\u00edn}}$  = valor m\u00ednimo da resili\u00eancia territorial  $q$  ;

$Rt_{q \text{ m\u00e1x}}$  = valor m\u00e1ximo da resili\u00eancia territorial  $q$  ;

$q$  = elementos de resili\u00eancia territorial: pol\u00edcia, bombeiros, servi\u00e7os m\u00e9dicos ou monitoramento.

### 3.2.2 Sistematiza\u00e7\u00e3o do levantamento de dados

Nesta subse\u00e7\u00e3o prop\u00f5e-se uma sistematiza\u00e7\u00e3o para o levantamento dos dados necess\u00e1rios para a avalia\u00e7\u00e3o do risco potencial de acidentes no transporte rodovi\u00e1rio de produtos perigosos. Para a obten\u00e7\u00e3o das informa\u00e7\u00f5es considerou-se as peculiaridades de cada fator e as propostas encontradas na revis\u00e3o dos estudos sobre o tema.

#### 3.2.2.1 Risco Vi\u00e1rio

Para a obten\u00e7\u00e3o dos dados referentes ao RV adota-se o proposto no estudo de Tinoco, Nodari e Pereira (2016) onde as caracter\u00edsticas f\u00edsicas do trecho vi\u00e1rio s\u00e3o avaliadas por dois especialistas com base no gabarito de notas do m\u00e9todo apresentado na Figura 6. As notas s\u00e3o lan\u00e7adas em uma folha de verifica\u00e7\u00e3o de campo como a mostrada na Figura 7 para depois serem inseridas em uma planilha de c\u00e1lculo. Nessa planilha s\u00e3o calculados os valores do  $RV_{Gk}$ . Os valores mais altos indicam maior risco vi\u00e1rio potencial de ocorr\u00eancias de acidentes decorrentes de problemas associados a elementos f\u00edsicos e geom\u00e9tricos da via.

		NOTA				
		1	3	7	10	
ITENS DO QUESTIONÁRIO						
superf	1	Buracos na superfície	não tem	eventuais	freqüentes	constantes
	2	Resistência à derrapagem da superfície (verificar a formação de espelhamento)	não tem	eventuais	freqüentes	constantes
	3	Formação de espelhos d'água	não tem	eventuais	freqüentes	constantes
	4	Cascalho solto na pista	não tem	eventuais	freqüentes	constantes
	5	Desnível entre faixa de tráfego e acostamento (verificar se a saída do veículo pode implicar perda de controle o	não tem	permite retorno	permite a parada e depois o retorno	não permite retorno
curva	6	Severidade das Curvas (verificar necessidade de reduzir velocidade)	sem curva	curva sem redução velocidade	moderada redução vel.	redução acentuada de vel
	7	Superlargura	sem curva	visível	talvez existente	sem superlargura
	8	Superelevação	sem curva	suficiente	insuficiente	invertida
	9	Quantidade de curvas no segmento (tortuosidade)	sem tortuosidade	eventuais	freqüentes	constantes
	10	Combinação entre alinhamento horizontal e vertical (verificar se pode levar a má interpretação do ambiente por parte do motorista)	não tem	compromete pouco a interpretação	compromete moderadamente a interpretação	compromete muito a interpretação
inters.	11	Interseções (verificar uso de canalizações e faixas adicionais)	não tem	bom projeto	projeto regular	projeto deficiente
	12	Iluminação artificial nas interseções	não tem interseção	boa iluminação	iluminação deficiente	sem iluminação

Figura 6 - Recorte parcial do gabarito de notas usado na auditoria de segurança viária

Fonte: Nodari (2003)

<b>informe:</b>											
km inicial da inspeção:		<input type="text"/>	rodovia:		<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> continuação					
km final da inspeção:		<input type="text"/>	trecho:		<input type="text"/>						
hora da inspeção:		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
condições do tempo:		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
segmento: (km inicial / final)		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
sentido da inspeção:		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
superf	1	Buracos na superfície	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	2	Resistência da superf. à derrap.	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	3	Formação de espelhos d'água	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	4	Presença de cascalho na pista	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	5	Desnível entre faixa e acostam.	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
curva	6	Curvas acentuadas	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	7	Deficiências na superlargura	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	8	Deficiências na superelevação	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	9	Incidências de curvas	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	10	Combinação entre alinham.H e V	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
inters.	11	Projeto das interseções	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	12	Iluminação nas interseções	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Figura 7 - Recorte parcial da folha de verificação usada em campo

Fonte: Nodari (2003)

Esses procedimentos têm por objetivo orientar e padronizar o processo de inspeção. Dessa forma, busca-se reduzir a variabilidade resultante de inspeções realizadas por diferentes profissionais, a fim de permitir a comparabilidade dos índices obtidos em diferentes pontos do tempo e do espaço. (TINOCO; NODARI; PEREIRA, 2016).

### 3.2.2.2 Perigo intrínseco de um acidente

Para determinar o valor do perigo intrínseco em um estudo preditivo do risco potencial de acidentes no transporte de produtos perigosos recomenda-se que seja avaliado o pior tipo de acidente possível (Martínez-Alegría; Ordóñez; Taboada, 2003; Pedro; Costa, 2009; Fernández, 2014; Mingarro, 2015). Pela classificação de tipos de acidentes rodoviários apresentada no Quadro 12 o acidente mais grave é o Tipo 5 - Explosão de conteúdo

destruindo o recipiente (ESPAÑA, 1996). Por esta razão adota-se o valor máximo da tabela normalizada ( $Pe=1$ ).

### 3.2.2.3 *Dano potencial inerente a um produto perigoso*

Para estimar o dano potencial inerente dos produtos perigosos transportados em uma rodovia é necessário primeiro identificá-los e depois buscar informações sobre os grupos de características identificados para calcular o  $H_{hg}$ . Para a identificação dos produtos transportados na rodovia adota-se a metodologia proposta no Programa de Gerenciamento de Riscos para Administradores de Rodovias para o Transporte de Produtos Perigosos da CETESB (2013). Para isso são necessárias 30 amostragens em períodos de 4 horas ininterruptas, realizadas em até 90 dias. Para rodovias com Volume Diário Médio (VDM) inferior a 10.000, podem ser realizadas 30 amostragens em períodos de duas horas ininterruptas. As amostragens devem contemplar classes e subclasses de risco e número ONU do produto. Deve-se evitar a realização de amostragens em dias/períodos atípicos (feriados, vésperas de feriados, meses de férias escolares, períodos de safra de cana, soja). As amostragens devem ocorrer em horários alternados. Os pontos de amostragens devem ser selecionados de modo a caracterizar a movimentação de produtos perigosos em diversos trechos da rodovia.

A partir do nome ou do número da ONU de cada produto perigoso podem ser obtidas as informações sobre as suas características pela Ficha de Informações de Segurança do Produto Químico (FISPQ). A elaboração da FISPQ pelos fabricantes e/ou geradores dos produtos perigosos é obrigatória pelo Decreto nº 2657 de 1998 (BRASIL, 1998). Geralmente os fabricantes disponibilizam a FISPQ de seus produtos em seus sites da internet. Os Diagramas de Perigos NFPA 704 geralmente estão incluídos na FISPQ. A utilização de Diagramas de Perigos NFPA 704 na FISPQ não é obrigatória em todos os países, porém sua utilização é usual mundialmente. O GHS deve constar obrigatoriamente na FISPQ conforme a Norma Regulamentadora 26 (BRASIL, 2011). Com os valores atribuídos a cada grupo de características calcula-se o  $H_{hg}$  para cada produto perigoso identificado na rodovia.

### 3.2.2.4 *Vulnerabilidade ambiental*

Para a obtenção dos dados referentes a vulnerabilidade ambiental pelas características da vegetação e dos recursos hídricos adota-se o proposto no estudo de Tinoco, Nodari e Pereira (2016), onde as são avaliadas por em duas avaliações em campo por especialistas com



base na classificação apresentada no Quadro 6. As notas são lançadas em uma folha de verificação de campo apresentadas na Figura 8 para a sensibilidade da vegetação e Figura 9 para a sensibilidade dos recursos hídricos.

### Sensibilidade da Vegetação na área de influência da rodovia

SENTIDO: OSÓRIO - TORRES (NORTE)

Trecho (km)		Sentido da rodovia	Município	Tipo de Cobertura Vegetal	Unidade de Conservação?	Sensibilidade	
Início	Fim					1	2
0	1						
1	2						
2	3						

Figura 8 - Recorte parcial do gabarito de notas usado na avaliação da sensibilidade da vegetação  
Fonte: Tinoco, Nodari e Pereira (2016)

### Sensibilidade dos Recursos Hídricos na área de influência da rodovia

SENTIDO: OSÓRIO - TORRES (NORTE)

Trecho (km)		Sentido da rodovia	Município	Denominação do recurso hídrico	Classe de uso	Captação até 5 Km ou Ponte?	Sensibilidade	
Início	Fim						1	2
0	1							
1	2							
2	3							

Figura 9 - Recorte parcial do gabarito de notas usado na avaliação da sensibilidade dos recursos hídricos  
Fonte: Tinoco, Nodari e Pereira (2016)

Nestes levantamentos devem ser coletadas as coordenadas a cada quilometro com a utilização de equipamento de georreferenciamento. A aplicação da quadrícula pode ser realizada por meio da utilização do software Google Earth Pro (7.3.2.5491, 64-bit, 2018) no sistema WGS84. A Figura 10 exemplifica a aplicação da quadrícula em um segmento de rodovia.



Figura 10 – Quadrícula aplicada em segmento entre os km 64 e 65

Fonte: Tinoco, Nodari e Pereira (2016)

Para identificação dos solos das áreas entorno das rodovias são utilizados os mapas de solos do IBGE (2003). A delimitação das áreas do entorno de 300 metros das bordas das pistas em cada sentido de tráfego pode ser realizada com o software QGIS (3.0.3-Girona, 32-bit, 2018) e Google Earth Pro (7.3.2.5491, 64-bit, 2018). A Figura 11 exemplifica o tipo de mapa utilizado.





informações depois são inseridas em mapas do Google Earth Pro (7.3.2.5491, 64-bit, 2018). A Figura 12 exemplifica o tipo de mapa utilizado.

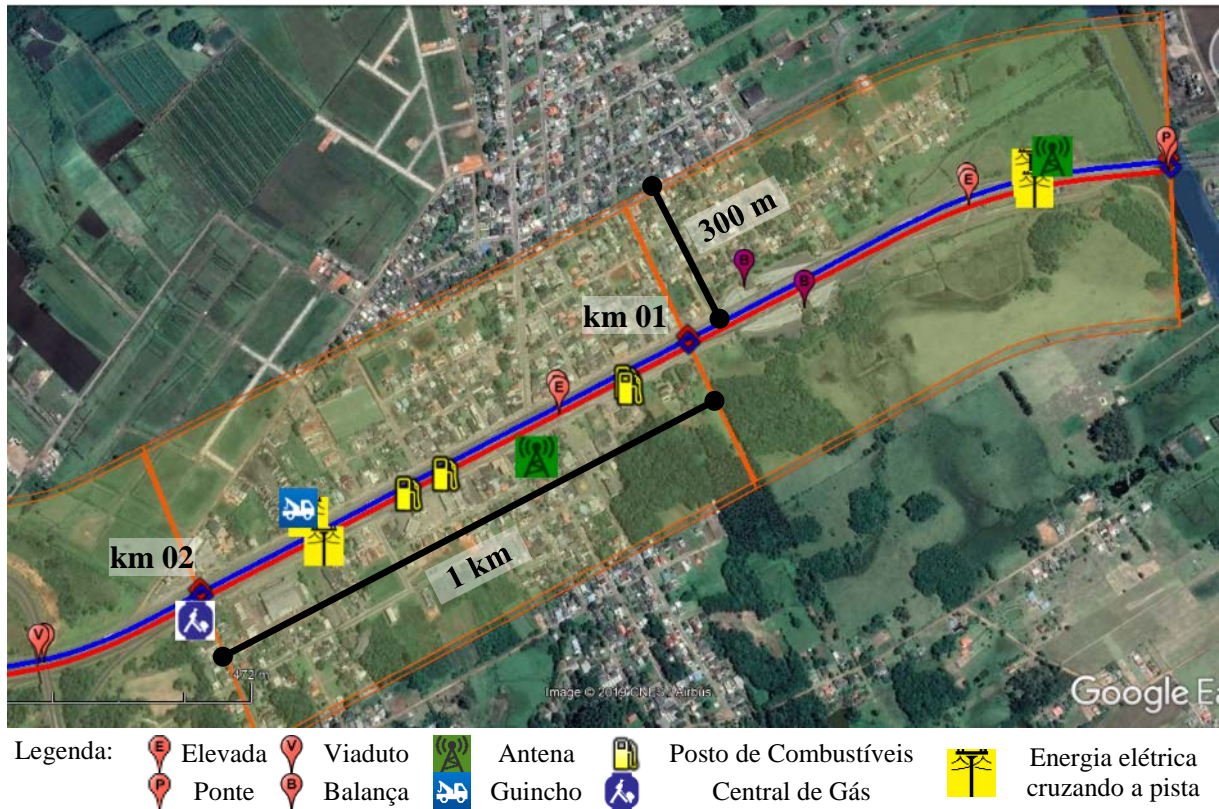


Figura 12 – Mapa para a identificação de infraestruturas  
 Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.2.2.6 Vulnerabilidade populacional

Para a obtenção dos dados referentes a vulnerabilidade populacional pela ocupação humana adota-se o proposto no estudo de Tinoco, Nodari e Pereira (2016), realizando duas avaliações em campo por especialistas com base na classificação apresentada no Quadro 6. As notas são lançadas em uma folha de verificação de campo apresentadas na Figuras 13. Os levantamentos das quadriculas são realizados juntamente com a sensibilidade da vegetação e recursos hídricos.

#### Sensibilidade da Ocupação Humana na área de influência da rodovia

SENTIDO: OSÓRIO - TORRES (NORTE)

Trecho (km)		Sentido da rodovia	Município	Tipo de ocupação	Classe	Sensibilidade	
Início	Fim					1	2
0	1						
1	2						
2	3						

Figura 13 - Recorte parcial do gabarito de notas usado na avaliação da sensibilidade da ocupação humana  
 Fonte: Tinoco, Nodari e Pereira (2016)

Para identificação da densidade populacional das áreas entorno das rodovias foi utilizado o mapa da Densidade Demográfica de 2010 do IBGE (2013). A delimitação das áreas do entorno de 300 metros das bordas das pistas em cada sentido de tráfego pode ser realizada com o software QGIS (3.0.3-Girona, 32-bit, 2018) e Google Earth Pro (7.3.2.5491, 64-bit, 2018). A partir da análise dos mapas gerados estima-se o valor médio da  $V_{dp}$  considerando aos valores das classificações das áreas entorno de cada segmento da rodovia propostas no Quadro 14 e os respectivos percentuais de ocupação de cada uma destas áreas. A Figura 14 apresenta um recorte do Mapa de Densidade Demográfica de 2010 com a classificação utilizada.

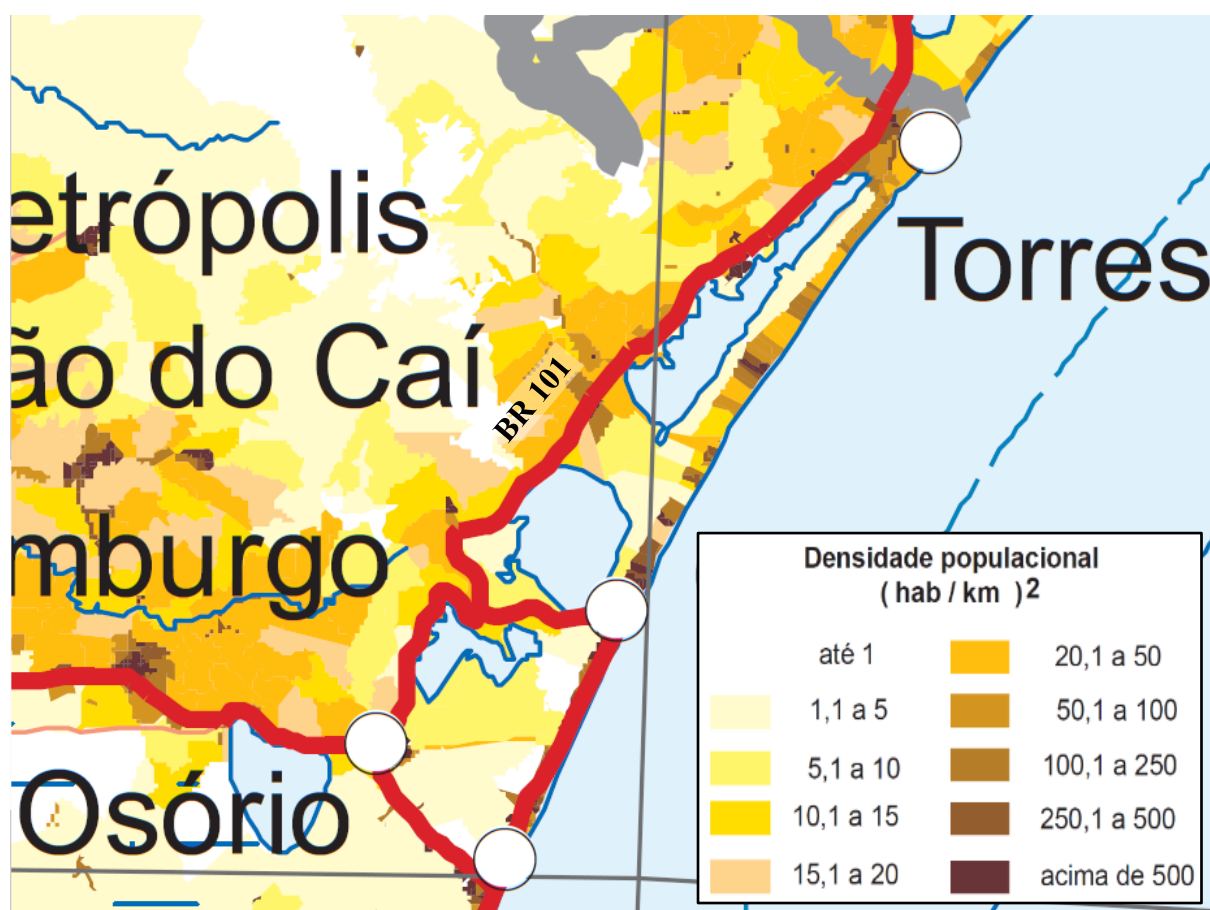
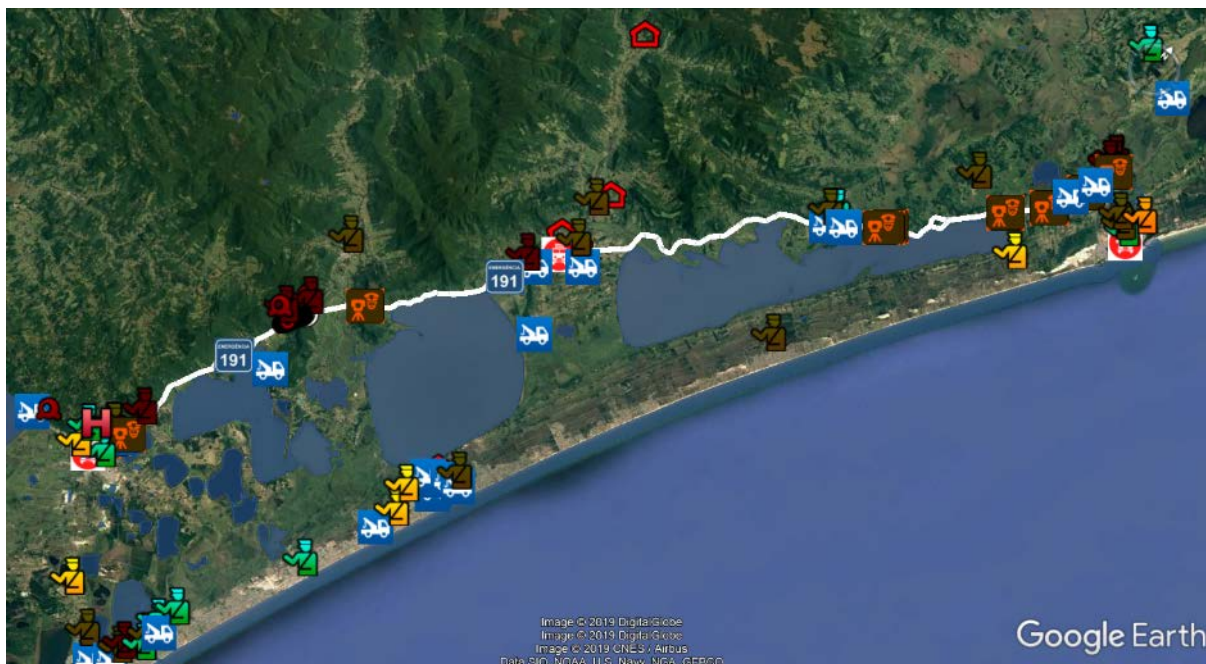


Figura 14 - Recorte do Mapa da Densidade Demográfica no entorno da BR 101 entre Torres e Osório/RS  
Fonte: IBGE (2013)

### 3.2.2.7 Resiliência Territorial

Para a identificação dos elementos de resiliência territorial existentes das áreas entorno das rodovias devem ser realizados levantamentos com a coleta das coordenadas de localização no sistema WGS84 com a utilização de equipamento de georreferenciamento nas áreas do

entorno em até 15 km das bordas das pistas em cada sentido de tráfego. Estas informações depois são inseridas em mapas do Google Earth Pro (7.3.2.5491, 64-bit, 2018). A partir da análise dos mapas gerados estima-se a  $Rt_k$  de cada segmento da rodovia conforme as classificações propostas no Quadro 17. A Figura 15 exemplifica o tipo de mapa utilizado.



Legenda:

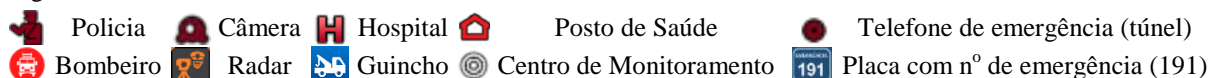


Figura 15 – Imagem com a localização dos elementos de resiliência em trecho de rodovia

Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.2.3 Estimação do IRP

Para estimar o IRP considera-se os fatores e características selecionados apresentados na estrutura hierárquica apresentada na Figura 5, os fatores e estruturas das equações 14 e 15, e as técnicas para análises multicritérios apresentados na seção 2.4. A normalização dos fatores possibilita a agregação dos fatores em uma equação. O peso dos fatores  $H_{hg}$ ,  $Ve_k$ ,  $Vp_k$ ,  $Vif_k$  e  $Rt_k$  na estimativa do IRP é obtido com a utilização do AHP consultando-se especialistas. Estes fatores são ponderados conjuntamente devido aos efeitos danosos causados por um acidente no transporte de produtos perigosos poderem se sobrepor nas mesmas áreas. Aplica-se o AHP também na determinação do peso das características dos fatores  $Ve_k$ ,  $Vp_k$ ,  $Vif_k$  e  $Rt_k$ . Na avaliação do fator  $H_{hg}$  considera-se que todos os grupos de características dos produtos químicos tenham o mesmo peso.

Para a aplicação do AHP elaboram-se questionários utilizando planilhas sequenciais no software Excel 2016, utilizando algoritmos para adequar as perguntas pareadas conforme a sequência hierárquica escolhida pelo especialista, com avisos sobre problemas de preenchimento e inconsistências nas repostas. Os questionários são enviados por e-mail com uma breve apresentação explicando o objetivo da pesquisa, além de instruções para responder o questionário. Os fatores e características são explicados em um texto sucinto em cada tela. No primeiro questionário os respondentes são solicitados a ordenar os fatores que influenciam na gravidade de um acidente no transporte rodoviário de produtos perigosos da maior para a menor importância. No questionário seguinte os fatores aparecem na ordem hierárquica escolhida com perguntas comparativas pareadas para que os especialistas indiquem o grau de importância relativa de um fator em relação a outro. Preenchido o questionário, os especialistas enviam o arquivo para autor do estudo. Os questionários recebidos são agregados para realizar a avaliação geral do painel de especialistas. Para isso utiliza-se a média geométrica dos dados individuais, pois esta foi a técnica de agregação proposta por Saaty e Vargas (2012) no caso da obtenção das comparações pareadas a partir de respostas de especialistas. Considerando-se que o IRP é estimado pelo produto da probabilidade de ocorrência de um acidente e da gravidade potencial dos danos, propõe-se a Equação 34. Como as estimativas do RV e da G foram elaboradas para possibilitar a avaliação por segmento da rodovia, o mesmo se aplica ao IRP.

$$IRP_k = RV_k \left( P_e \left( w_{hg} \times H_{hg} + w_{ev} \times Ve_k + w_{pv} \times Vp_k + w_{iv} \times Vif_k + w_{re} \times (1 - Rt_k) \right) \right) \quad (34)$$

Onde:

$IRP_k$  = Índice de Risco Potencial normalizado do segmento k de um trecho da rodovia;

$RV_k$  = Risco Viário normalizado do segmento k de um trecho da rodovia;

$Pe_k$  = perigo intrínseco implícito a um acidente normalizado do segmento k;

$w_{hg}$  = peso do dano inerente ao produto químico obtido por AHP;

$H_{hg}$  = dano potencial inerente a um produto;

$w_{ev}$  = peso da vulnerabilidade ambiental obtido por AHP;

$Ve_k$  = vulnerabilidade ambiental normalizada do segmento k;

$w_{pv}$  = peso da vulnerabilidade populacional obtido por AHP;

$Vp_k`$  = vulnerabilidade populacional normalizada do segmento k;

$w_{iv}$  = peso da vulnerabilidade das infraestruturas obtido por AHP;

$Vif_k`$  = vulnerabilidade de infraestruturas normalizada do segmento k;

$w_{re}$  = peso da resiliência territorial obtido por AHP;

$Rt_k`$  = resiliência territorial normalizada do segmento k.

Na Equação 34 considera-se a resiliência territorial como um fator cuja a deficiência pode aumentar o risco potencial de acidentes no transporte rodoviário de produtos perigosos, pela possibilidade do agravamento dos danos causados pela falta de monitoramento da rodovia e de recursos para o pronto atendimento para minimizar as consequências. Por esta razão insere-se na Equação 34 a resiliência territorial na forma  $(1 - Rt_k`)$  para representar o déficit de resiliência territorial. Esta alternativa para considerar a influência da capacidade de resposta a emergências em relação ao objetivo cenário de acidente baseou-se na forma  $(1 - C_{ff,ikm})$  utilizada na estimativa da magnitude das consequências no projeto PTA-DESTINATION (GIACONE; NAVARRETTA; BRATTA, 2016), representada pela Equação 14.

Para possibilitar a classificação dos valores obtidos para o IRP do segmento do trecho de rodovia avaliado de forma padronizada com todos os outros fatores que foram normalizados para a estimativa do IRP de cada segmento da rodovia, aplica-se a normalização linear conforme a Equação 35.

$$IRP_k` = (IRP_k - IRP_{mín}) / (IRP_{máx} - IRP_{mín})$$

(35)

Onde:

$IRP_k`$  = valor normalizado do índice de risco potencial de acidentes no segmento k normalizado;

$IRP_k$  = valor do índice de risco potencial de acidentes no segmento k a ser normalizado;

$IRP_{mín}$  = valor mínimo do índice de risco potencial de acidentes do trecho da rodovia;

$IRP_{máx}$  = valor máximo do índice de risco potencial de acidentes do trecho da rodovia;

k = segmentos da rodovia com 1 quilômetro de extensão.

### 3.3 AVALIAÇÃO



Nesta seção são apresentadas as etapas do tratamento das informações visando facilitar a avaliação dos resultados. A proposta prevê a apresentação dos dados obtidos de forma sucinta para propiciar a efetiva utilização na prática pelos gestores de rodovias

### 3.3.1 Elaboração de escalas para classificação dos resultados

A revisão dos estudos apresentados na Seção 2.3 demonstra que muitos autores utilizaram diferentes escalas para a classificação dos resultados obtidos. A metodologia proposta busca a padronização dos resultados. Por esta razão propõe-se uma escala única normalizada para a avaliação dos resultados. Para facilitar a identificação da importância de cada parâmetro nos painéis e mapas utilizados para a apresentação dos resultados propõe-se a utilização de uma escala de cores. A escala apresentada no Quadro 18 sintetiza esta proposição.

Quadro 18 - Escala de classificação dos resultados

Classificação	Escala	Cores
Crítico	$> 0,75$	Red
Elevado	$> 0,50 \text{ a } \leq 0,75$	Yellow
Moderado	$> 0,25 \text{ a } \leq 0,50$	Green
Baixo	$\leq 0,25$	White

Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.3.2 Elaboração da apresentação dos resultados

A finalidade da elaboração da apresentação dos resultados é facilitar a uso das informações sintetizadas pelos gestores de rodovias. Os dados obtidos utilizando seguindo os procedimentos propostos nas etapas anteriores são utilizados para a elaboração de tabelas, painéis e mapas para a apresentação dos resultados da avaliação do risco potencial de acidentes no transporte rodoviário de produtos perigosos para trechos de rodovias.

### 3.3.2.1 Risco Viário

Para a apresentação dos valores normalizados obtidos para o risco viário propõe-se que os dados sejam sintetizados conforme o exemplo apresentado na Tabela 1. A classificação da importância segue a escala do Quadro 18.

Tabela 1 - Risco viário por segmento da rodovia

km	RV <sub>Gk</sub>	km	RV <sub>Gk</sub>	km	RV <sub>Gk</sub>	km	RV <sub>Gk</sub>	km	RV <sub>Gk</sub>	km	RV <sub>Gk</sub>	km	RV <sub>Gk</sub>
37	0,74	38	0,61	39	0,28	40	0,15	41	0,85	42	0,21	43	0,29
Legenda:		B = Baixo			M = Moderado		E = Elevado			C = Crítico			

Fonte: Baseado em dados de Tinoco, Nodari e Pereira (2016)

### 3.3.2.2 Dano Inerente do Produto Perigoso

Para a apresentação dos valores normalizados obtidos para o Dano Inerente do Produto Perigoso propõe-se que os dados sejam sintetizados conforme o exemplo apresentado na Tabela 2. A classificação da importância segue a escala do Quadro 18.

Tabela 2 - Dano inerente potencial dos produtos perigosos ( $H_{hg}$ ) transportados na rodovia

Nº ONU	Classe	PRODUTO PERIGOSO (ANTT-5232/16)	Estado Físico	$H_{tóx}$	$H_{inf}$	$H_{rea}$	$H_w$	$H_{oxi}$	$H_{env}$	$H_{hg}$	$H_{hg}$
1066	2	NITROGÊNIO, COMPRIMIDO	Gás	3	0	0	0	0	0	3	0,19
1073	2	OXIGÊNIO, LÍQ. REFRIGERADO	Líquido	3	0	0	4	0	0	7	0,44
1170	3	ETANOL (ÁLCOOL ETÍLICO)	Líquido	2	3	0	0	1	4	10	0,63
2032	8	ÁCIDO NÍTRICO VERMELHO FUMEG.	Líquido	3	0	2	3	2	4	14	0,88
		$H_{hg} \text{ médio} = 0,47$	$H_{hg} \text{ min} = 0,00$	$H_{hg} \text{ máx} = 1,00$							
Legenda:		B = Baixo			M = Moderado		E = Elevado			C = Crítico	

Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.3.2.3 Vulnerabilidade Ambiental

Para a apresentação dos valores normalizados obtidos para a vulnerabilidade ambiental referente aos recursos hídricos, vegetação e solo propõe-se que os dados sejam sintetizados conforme o exemplo apresentado na Tabela 3. A classificação da importância segue a escala do Quadro 18.

Tabela 3 - Vulnerabilidade ambiental por segmento da rodovia

km	$V_{wr}$	$V_{vg}$	$V_{sl}$	km	$V_{wr}$	$V_{vg}$	$V_{sl}$	km	$V_{wr}$	$V_{vg}$	$V_{sl}$	km	$V_{wr}$	$V_{vg}$	$V_{sl}$
22	1,00	0,28	0,57	23	0,48	0,16	0,24	24	0,45	0,16	0,00	25	0,35	0,47	0,15
Legenda:			B = Baixo			M = Moderado			E = Elevado			= Crítico			

Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.3.2.4 Vulnerabilidade Populacional

Para a apresentação dos valores normalizados obtidos para a vulnerabilidade populacional referente a ocupação humana e densidade populacional propõe-se que os dados sejam sintetizados conforme o exemplo apresentado na Tabela 4. A classificação da importância segue a escala do Quadro 18.

Tabela 4 - Vulnerabilidade populacional por segmento da rodovia

km	$V_{ho}$	$V_{pd}$	km	$V_{ho}$	$V_{pd}$	km	$V_{ho}$	$V_{pd}$	km	$V_{ho}$	$V_{pd}$			
30	0,26	0,37	31	0,37	0,81	32	0,63	0,79	33	0,20	0,10			
Legenda:			B = Baixo			M = Moderado			E = Elevado			C = Crítico		

Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.3.2.5 Vulnerabilidade Populacional

Para a apresentação dos valores normalizados obtidos para a vulnerabilidade populacional referente a ocupação humana e densidade populacional propõe-se que os dados sejam sintetizados conforme o exemplo apresentado na Tabela 5. A classificação da importância segue a escala do Quadro 18.

Tabela 5 - Vulnerabilidade das infraestruturas por segmento da rodovia

km	$V_{cm}$	$V_{el}$	$V_{fl}$	$V_{pw}$	$V_{tr}$	km	$V_{cm}$	$V_{el}$	$V_{fl}$	$V_{pw}$	$V_{tr}$	km	$V_{cm}$	$V_{el}$	$V_{fl}$	$V_{pw}$	$V_{tr}$	km	$V_{cm}$	$V_{el}$	$V_{fl}$	$V_{pw}$	$V_{tr}$
81	0,1	0,7	0,1	0,1	0,1	82	0,1	0,7	0,1	0,1	0,0	83	0,1	1,0	0,1	0,1	0,1	84	0,0	0,3	0,1	0,1	0,3
Legenda:			B = Baixo			M = Moderado			E = Elevado			C = Crítico											

Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.3.2.6 Déficit de Resiliência Territorial

Para a apresentação dos valores normalizados obtidos para o déficit de resiliência territorial referentes a polícia, bombeiros, serviços de saúde e monitoramentos propõe-se que os dados sejam sintetizados conforme o exemplo apresentado na Tabela 6. A classificação da importância segue a escala do Quadro 18.

Tabela 6 – Déficit de Resiliência Territorial por segmento da rodovia

km	RD <sub>pl</sub>	RD <sub>ff</sub>	RD <sub>ms</sub>	RD <sub>mt</sub>	km	RD <sub>pl</sub>	RD <sub>ff</sub>	RD <sub>ms</sub>	RD <sub>mt</sub>	km	RD <sub>pl</sub>	RD <sub>ff</sub>	RD <sub>ms</sub>	RD <sub>mt</sub>	km	RD <sub>pl</sub>	RD <sub>ff</sub>	RD <sub>ms</sub>	RD <sub>mt</sub>					
59	0,30	0,30	0,70	0,70	60	0,70	0,30	0,70	0,90	61	0,70	0,30	0,70	0,70	62	0,70	0,30	0,90	0,30					
Legenda:					B = Baixo					M = Moderado					E = Elevado					C = Crítico				

Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.3.2.7 Índice de Risco Potencial de Acidentes (IRP)

Para a apresentação dos valores Índice de Risco Potencial de Acidentes por segmentos do trecho de rodovia avaliado propõe-se que os dados sejam sintetizados conforme o exemplo apresentado na Tabela 7. A classificação da importância segue a escala do Quadro 18.

Tabela 7 - Painel resumo do risco por produto perigoso por segmento da rodovia

ONU	P <sub>e</sub>	H <sub>hg</sub>	ÍNDICE DE RISCO POTENCIAL DE ACIDENTES DA RODOVIA																			
			km 31 - 40																			
1203	1,00	0,44	0,29	0,25	0,71	0,74	0,52	0,58	0,69	0,58	0,26	0,14										
1830	1,00	0,63	0,32	0,27	0,77	0,81	0,57	0,64	0,76	0,64	0,28	0,16										
3082	1,00	0,31	0,27	0,23	0,66	0,69	0,49	0,55	0,65	0,55	0,24	0,14										
3295	1,00	0,56	0,31	0,26	0,75	0,79	0,55	0,62	0,74	0,62	0,27	0,15										
Legenda:			B = Baixo					M = Moderado					E = Elevado					C = Crítico				

Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.3.2.8 Mapa do risco potencial de acidentes por segmento do trecho da rodovia

Para identificar o risco potencial de acidentes por segmento da rodovia de 1 km aplica-se a escala de cores proposta no Quadro 18 ao traçado da rodovia. Os mapas são gerados utilizando-se o Google Earth Pro (7.3.2.5491, 64-bit, 2018), e QGIS (3.0.3-Girona, 32-bit, 2018). A Figura 16 apresenta um exemplo de um mapa com a áreas de um 1 km de comprimento de rodovia e 300 metros de largura medidos a partir da borda da rodovia, com o risco avaliado classificado com as cores propostas no Quadro 18.

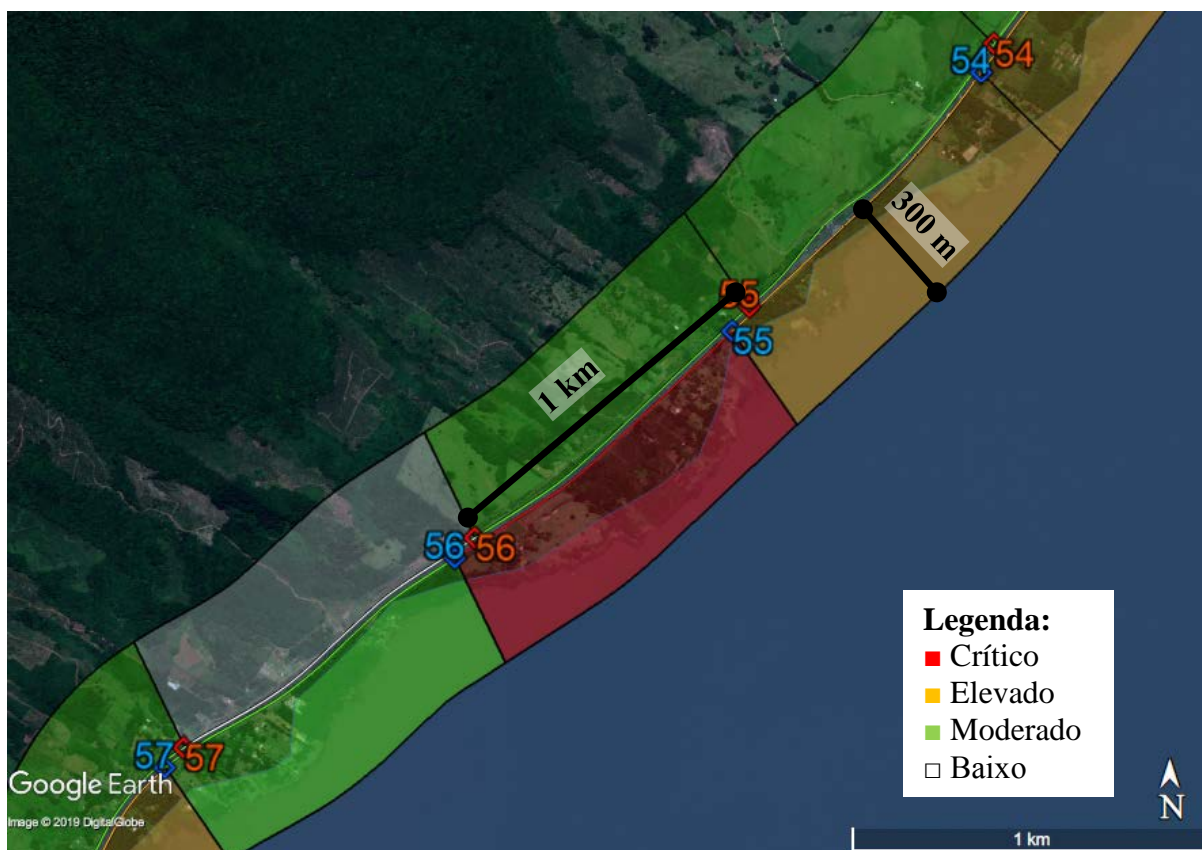


Figura 16 – Imagem identificando a classificação dos riscos das áreas entorno de rodovia  
 Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.3.3 Avaliação dos resultados

Avaliação dos resultados obtidos tem o objetivo de identificar os segmentos da rodovia com maior risco potencial de causar danos de nível elevado e crítico. Para realizar este reconhecimento adota-se a avaliação pelo tipo de acidente com mais graves consequências, que na classificação adotada apresentada no Quadro 1 é o Tipo 5 - Explosão de conteúdo destruindo o recipiente. Com o conhecimento dos segmentos com risco elevado e crítico, os gestores das rodovias podem implantar medidas para atenuar os riscos nestas áreas.

## 3.4 APLICAÇÃO

Nesta seção apresenta-se a aplicação do Método Integrado Genérico de Avaliação do Risco Potencial de Acidentes no Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos a um trecho de uma importante rodovia do sul do Brasil. Inicialmente apresenta-se informações para caracterizar a rodovia e os produtos perigosos transportados nos veículos que utilizam este trecho da rodovia, e os dados relativos a acidentes desta natureza pelo órgão de fiscalização ambiental. As etapas seguintes apresentam como são estimados os fatores propostos.

### 3.4.1 Cenário de estudo – Trecho de rodovia

O presente estudo foi desenvolvido com base nos dados e nas necessidades do trecho da rodovia BR-101 entre os municípios de Osório e Torres, do tronco Rodoviário BR-101/BR-290, que constitui-se em uma das principais rotas de transporte da América do Sul visto que atende regiões que respondem por grande parte do PIB do continente. Esta rodovia tem grande importância por servir de ligação com outros países do Mercosul, e consequentemente ter um grande tráfego de produtos perigosos. Segundo Troglio, Nodari e Callegaro (2018), a duplicação do trecho da rodovia BR-101, entre os municípios de Osório e Torres no Estado do Rio Grande do Sul foi inaugurado oficialmente em 2012. Atualmente a rodovia apresenta bom estado de conservação do pavimento e um conjunto adequado de sinalização que inclui placas específicas para o tráfego de produtos perigosos. A rodovia passa por áreas de preservação ambiental, áreas indígenas, áreas urbanas densamente povoadas, bacias de captação de água para abastecimento de populações, túneis com 1.800 metros de extensão, diversos viadutos, várias pontes, e diversos empreendimentos lindeiros.

### 3.4.2 Produtos perigosos transportados na rodovia

A base de dados analisada, fornecida pela equipe de Gestão de Riscos em Desastres da UFRGS, constituiu-se de 461 registros de veículos transportando produtos perigosos. Foram identificados 64 produtos perigosos. Os produtos perigosos de Classe 3 – Líquidos Inflamáveis representam a maioria dos veículos registrados (54%), seguidos pelos de Classe 2 – Gases (20,4 %) e Classe 8 (11,7 %). Estas informações estão representadas na Figura 17.

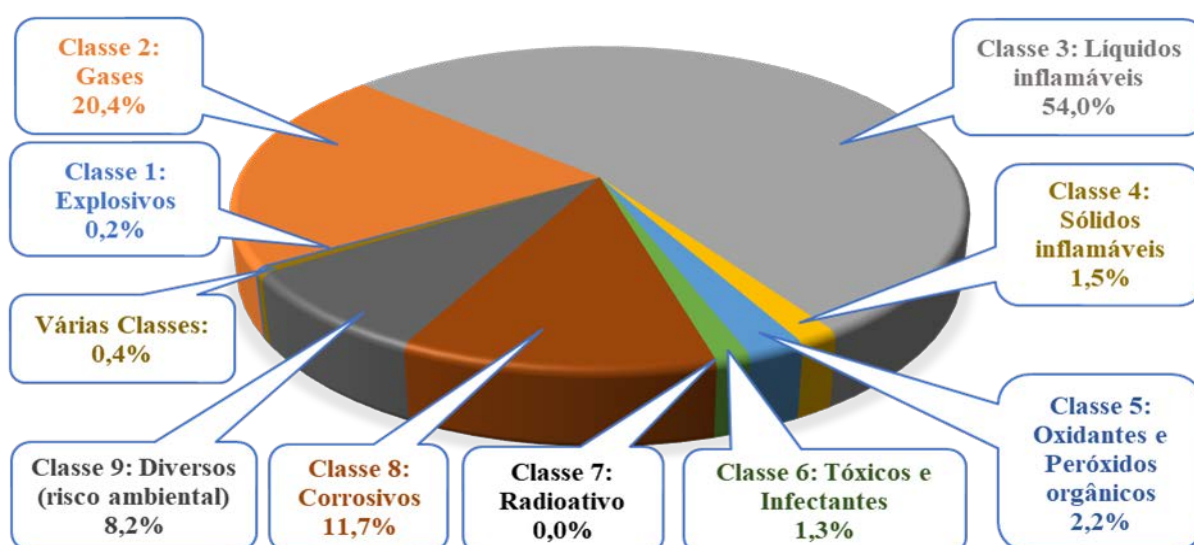


Figura 17 - Classes de produtos perigosos identificados na rodovia BR-101 entre Torres e Osório

Fonte: Elaborado pelo autor



Apesar de serem identificados 64 produtos perigosos nos 461 veículos observados, com a identificação de apenas 4 produtos obtêm-se a maioria dos registros da fiscalização (56,62 %). São eles o GLP (16,70%), a Gasolina (16,27%), o Diesel (11,93%), e o Etanol (11,71%). Com 12 produtos perigosos obtêm-se mais de 80% dos veículos registrados na fiscalização. Estas informações estão representadas na Figura 18.

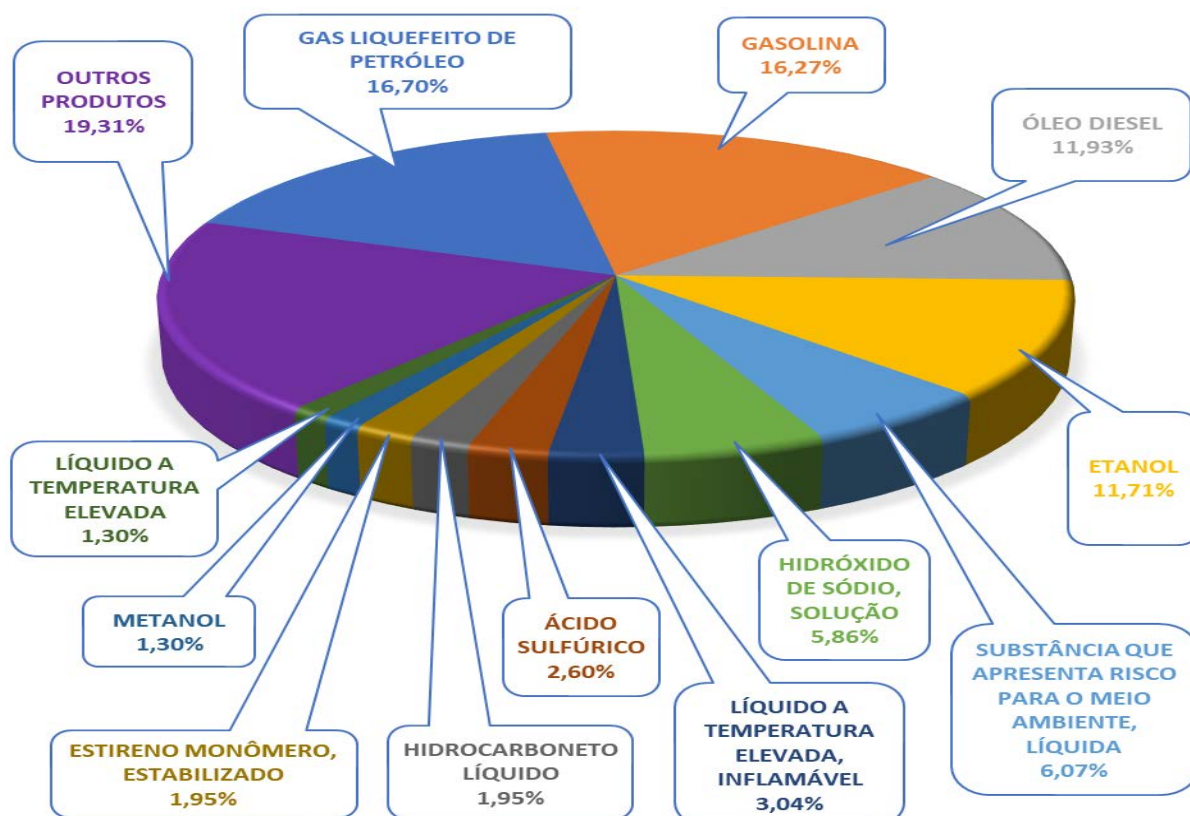


Figura 18 - Produtos perigosos identificados na rodovia BR-101 entre Torres e Osório  
Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.4.3 Registros de acidentes no transporte de produtos perigosos pela rodovia

No Estado do Rio Grande do Sul, a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (FEPAM) tem a atribuição de atender emergências com danos ambientais, mantendo para isto o Serviço de Emergência Ambiental. Pela internet é possível acessar ao site da FEPAM, e acessar a relação de acidentes no transporte de produtos e resíduos perigosos atendidos. Nestes registros de ocorrência de acidentes constam: a data, a localização, o produto e o modo de transporte. Consultando o site da FEPAM, verificou-se que no período entre dezembro de 1994 e setembro de 2017, os produtos perigosos de Classe 3 – Líquidos Inflamáveis representam a maioria dos veículos envolvidos em acidentes (58,2%), seguidos pelos de Classe 9 – substâncias com risco ao meio ambiente (14,5%), Classe 8 (10,97%), e Classe 2 (7,3%). Estas informações estão representadas na Figura 19.

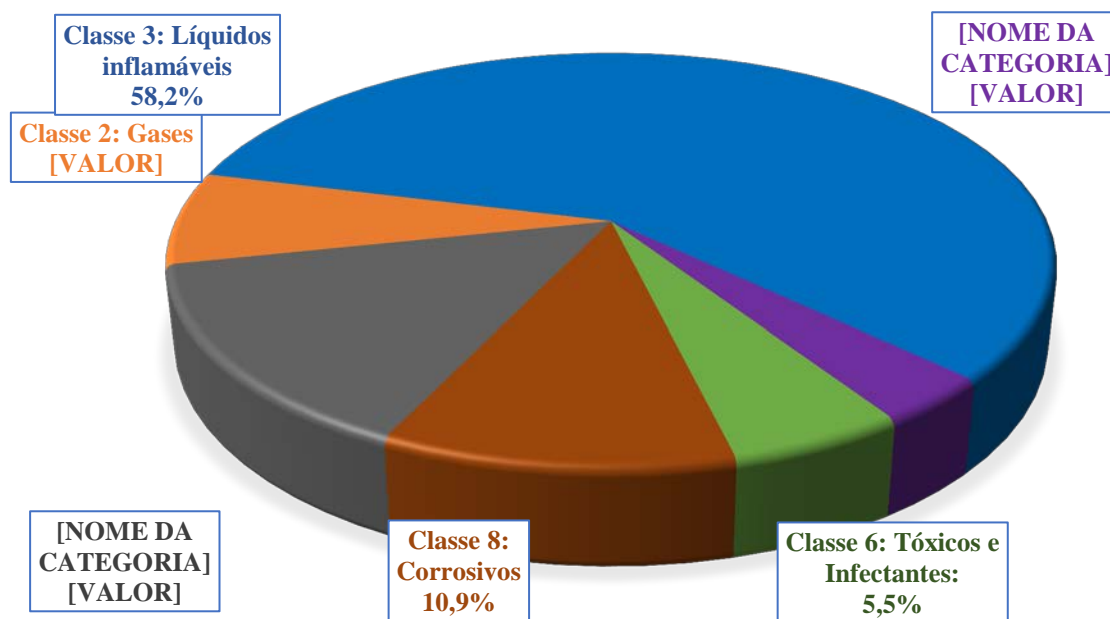


Figura 19 - Classes de produtos perigosos envolvidos em acidentes de 1994 a 2017 na rodovia BR-101 entre Torres e Osório

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 3.4.4 Ponderação da importância dos fatores e características avaliados por AHP

O AHP foi respondido por 4 especialistas selecionados. Os questionários foram aplicados utilizando planilhas sequenciais elaboradas no software Excel 2016, utilizando algoritmos para adequar as perguntas pareadas conforme a sequência hierárquica escolhida pelo especialista, com avisos sobre problemas de preenchimento e inconsistências nas repostas. Os questionários foram distribuídos por e-mail e incluíam uma breve explicação do processo e de alguns conceitos importantes na pesquisa, além das instruções para o preenchimento do questionário. Em seguida, foram apresentados os diferentes grupos de fatores, com breves explicações sobre seu significado e, após os respondentes eram solicitados a ordenar os atributos de maior a menor importância dentro de cada grupo em relação aos fatores que influenciam a gravidade de um acidente no transporte rodoviário de produtos perigosos. Na etapa seguinte os especialistas atribuíram um grau de importância comparando cada fator ou característica com os demais, utilizando uma escala pré-estabelecida, levando em conta o objetivo e a hierarquia estabelecidos na pesquisa. Preenchido o questionário, os especialistas enviaram o arquivo ao autor do estudo. Os questionários recebidos foram agregados para realizar a avaliação geral do painel de especialistas. Para isso foi utilizada a média geométrica dos dados individuais, já que esta foi a técnica de agregação proposta por Saaty e Vargas (2012) no caso da obtenção das



comparações pareadas a partir de respostas de especialistas. Com a utilização do AHP foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 8. Todos os resultados atendem ao critério de consistência do método AHP (Índice de Consistência < 0,1).

Tabela 8 – Resumo dos resultados da consulta a especialistas utilizado AHP

RESUMO DOS RESULTADOS (AHP)		PESOS ATRIBUÍDOS POR ESPECIALISTAS				Média
		1	2	3	4	
Dano Inerente ao Produto Perigoso		0,032	0,419	0,320	0,257	0,257
Vulnerabilidade Ambiental		0,328	0,365	0,171	0,098	0,240
Vulnerabilidade Populacional		0,341	0,082	0,372	0,548	0,336
Vulnerabilidade de Infraestrutura		0,109	0,033	0,045	0,060	0,062
Resiliência Territorial		0,191	0,102	0,092	0,036	0,105
<i>Índice de consistência (IC &lt; 0,1)</i>		<i>0,062</i>	<i>0,091</i>	<i>0,046</i>	<i>0,074</i>	<i>0,068</i>
Vulnerabilidade Ambiental	Vegetação	0,143	0,467	0,158	0,083	0,213
	Recursos Hídricos	0,429	0,467	0,655	0,724	0,569
	Solo	0,429	0,067	0,187	0,193	0,219
	<i>Índice de consistência</i>	<i>0,000</i>	<i>0,000</i>	<i>0,025</i>	<i>0,057</i>	<i>0,020</i>
Vulnerabilidade Populacional	Ocupação Humana	0,167	0,250	0,500	0,167	0,271
	Densidade Demográfica	0,833	0,750	0,500	0,833	0,729
	<i>Índice de consistência</i>	<i>0,000</i>	<i>0,000</i>	<i>0,000</i>	<i>0,000</i>	<i>0,000</i>
Vulnerabilidade de Infraestrutura	Comunicação	0,042	0,101	0,167	0,029	0,085
	Eletricidade	0,077	0,221	0,087	0,209	0,148
	Combustíveis	0,166	0,045	0,339	0,054	0,151
	Água Potável	0,548	0,587	0,339	0,485	0,490
	Transportes	0,166	0,045	0,068	0,224	0,126
	<i>Índice de consistência</i>	<i>0,059</i>	<i>0,099</i>	<i>0,033</i>	<i>0,095</i>	<i>0,072</i>
Resiliência Territorial	Polícia	0,079	0,068	0,389	0,138	0,168
	Bombeiros	0,201	0,251	0,153	0,540	0,286
	Serviços Médicos	0,201	0,614	0,389	0,275	0,369
	Monitoramentos	0,519	0,068	0,069	0,047	0,176
	<i>Índice de consistência</i>	<i>0,016</i>	<i>0,079</i>	<i>0,016</i>	<i>0,091</i>	<i>0,051</i>

Fonte: Elaborado pelo autor

O fator avaliado de maior peso foi a vulnerabilidade populacional (33,6%), com forte influência da característica de densidade demográfica (72,9%). Destacam-se também os fatores relativos ao dano inerente ao produto perigoso (25,7%) e a vulnerabilidade ambiental (24,0%). O fator vulnerabilidade ambiental foi fortemente influenciado pela característica recursos hídricos (56,9%). O fator resiliência territorial (10,5%) teve maior influência da disponibilidade da característica de serviços médicos (56,9%). No fator vulnerabilidade de infraestrutura (6,2 %) destacou-se a importância dada à característica água potável (49,0%). Um resumo dos resultados é apresentado no Tabela 9 .

Tabela 9 - Coeficientes de ponderação

Fatores	Coeficiente do Fator	Características	Coeficientes das Características
Dano Inerente ao Produto Perigoso	$W_{hg} = 0,257$	Inflamabilidade Toxicidade Reatividade Oxidação Forte reação com água Ambiental	Para o Dano Inerente do Produto Perigoso todas as características foram consideradas com o mesmo peso.
Vulnerabilidade Ambiental	$W_{ev} = 0,240$	Recursos Hídricos  Vegetação  Solo	$W_{wr} = 0,569$  $W_{vg} = 0,213$  $W_{sl} = 0,219$
Vulnerabilidade Populacional	$W_{pv} = 0,336$	Ocupação Humana  Densidade Demográfica	$W_{ho} = 0,271$  $W_{dd} = 0,729$
Vulnerabilidade de Infraestrutura	$W_{iv} = 0,062$	Comunicação  Eletricidade  Combustíveis  Água Potável  Transportes	$W_{cm} = 0,085$  $W_{el} = 0,148$  $W_{fl} = 0,151$  $W_{wp} = 0,490$  $W_{tr} = 0,126$
Resiliência Territorial	$W_{tr} = 0,105$	Polícia  Bombeiros / Equipes de Emergência  Serviços Médicos	$W_{pc} = 0,168$  $W_{ff} = 0,286$  $W_{ms} = 0,369$

		Monitoramentos	$W_{mt} = 0,176$
--	--	----------------	------------------

Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.4.5 Risco Viário

Para a estimativa da probabilidade potencial de acidentes foi utilizada a revisão de segurança viária realizada na rodovia BR-101, entre Osório e Torres, apresentada no estudo de Tinoco, Nodari e Pereira (2016). A auditoria de segurança viária no segmento da rodovia em estudo foi realizada por equipes da área de Gestão de Riscos em Desastres da UFRGS, em 2014. Utilizando um procedimento padronizado de coleta de dados em campo, o método considerou 34 características em cada quilômetro do trecho da rodovia estudada, em que o Risco Viário (RV) foi obtido pelo produto entre os pesos estimados para as características viárias e as notas atribuídas em inspeções em campo (TINOCO; NODARI; PEREIRA, 2016).

Os valores obtidos foram normalizados para possibilitar a agregação com outros fatores. De acordo com a Equação 17 foram obtidos os valores para o Risco Viário Global Normalizado por segmento da rodovia ( $RV_{Gk}$ ) apresentados nas Tabelas 10 e 11. A seguir é apresentado um exemplo deste cálculo:

$$RV_{G\text{mín}} = 1,07$$

$$RV_{G\text{máx}} = 2,77$$

$$RV_{G80} = 2,57$$

$$RV_{G80} = (2,57 - 1,07) / (2,77 - 1,07) = \mathbf{0,88}$$
 (Indicado na Tabela 10)

Tabela 10 - Risco viário na BR-101 no sentido de Osório a Torres (Norte)

km	$RV_{Gk}$	km	$RV_{Gk}$	km	$RV_{Gk}$	km	$RV_{Gk}$	km	$RV_{Gk}$	km	$RV_{Gk}$	km	$RV_{Gk}$		
1	0,46	12	0,32	23	0,38	34	0,83	45	0,12	56	0,86	67	0,09	78	0,16
2	0,28	13	0,12	24	0,41	35	0,55	46	0,22	57	0,52	68	0,19	79	0,31
3	0,41	14	0,14	25	0,51	36	0,62	47	0,27	58	0,61	69	0,47	80	0,88
4	0,46	15	0,34	26	0,22	37	0,74	48	0,28	59	0,88	70	0,06	81	0,56
5	0,53	16	0,35	27	0,34	38	0,61	49	0,14	60	0,83	71	0,24	82	0,53
6	0,39	17	0,27	28	0,24	39	0,28	50	0,18	61	0,75	72	0,56	83	0,53
7	0,36	18	0,37	29	0,42	40	0,15	51	0,24	62	0,59	73	0,51	84	0,37
8	0,33	19	0,31	30	0,75	41	0,85	52	0,28	63	0,67	74	0,58	85	0,50
9	0,33	20	0,41	31	0,30	42	0,21	53	0,57	64	0,51	75	0,23	86	1,00
10	0,12	21	0,58	32	0,28	43	0,29	54	0,79	65	0,64	76	0,56	87	0,65

11	0,59	22	0,34	33	0,75	44	0,19	55	0,70	66	0,11	77	0,30	88	0,85
Legenda:		B = Baixo			M = Moderado			E = Elevado			C = Crítico				

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados de Tinoco, Nodari e Pereira (2016)

Tabela 11 - Risco viário na BR-101 no sentido de Torres a Osório (Sul)

km	RV <sub>Gk</sub>	km	RV <sub>Gk</sub>	km	RV <sub>Gk</sub>	km	RV <sub>Gk</sub>	km	RV <sub>Gk</sub>	km	RV <sub>Gk</sub>	km	RV <sub>Gk</sub>	km	RV <sub>Gk</sub>
1	0,18	12	0,14	23	0,26	34	0,50	45	0,05	56	0,41	67	0,06	78	0,32
2	0,19	13	0,00	24	0,36	35	0,36	46	0,10	57	0,29	68	0,09	79	0,28
3	0,31	14	0,14	25	0,30	36	0,37	47	0,12	58	0,49	69	0,29	80	0,64
4	0,32	15	0,15	26	0,14	37	0,52	48	0,10	59	0,40	70	0,17	81	0,52
5	0,34	16	0,37	27	0,07	38	0,28	49	0,14	60	0,41	71	0,17	82	0,54
6	0,21	17	0,19	28	0,08	39	0,19	50	0,19	61	0,28	72	0,40	83	0,39
7	0,22	18	0,09	29	0,20	40	0,24	51	0,27	62	0,35	73	0,40	84	0,21
8	0,10	19	0,19	30	0,46	41	0,60	52	0,22	63	0,54	74	0,39	85	0,71
9	0,16	20	0,54	31	0,23	42	0,15	53	0,43	64	0,37	75	0,37	86	0,71
10	0,21	21	0,31	32	0,27	43	0,28	54	0,44	65	0,34	76	0,42	87	0,54
11	0,33	22	0,15	33	0,56	44	0,06	55	0,56	66	0,07	77	0,28	88	0,71
Legenda:		B = Baixo			M = Moderado			E = Elevado			C = Crítico				

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados de Tinoco, Nodari e Pereira (2016)

### 3.4.6 Perigo Intrínseco ao Tipo de Acidente rodoviário

Para a avaliação do risco no transporte rodoviário de produtos perigosos no trecho da rodovia BR-101 entre Osório e Torres/RS, considera-se a grau máximo de perigo apresentado no Quadro 11 de valores para a determinação do perigo em função do tipo de acidente, que é 1,00. Este valor máximo aplica-se a cenários de acidentes em ocorre vazamento, incêndio ou explosão do produto.

### 3.4.7 Dano Inerente do Produto Perigoso

Com a identificação dos produtos perigosos transportados, obtida através de coleta de dados realizada na rodovia BR-101, determina-se o dano inerente potencial. A partir do número da ONU de cada produto identificado são obtidas as informações sobre as características dos produtos perigosos na Ficha de Informações de Segurança do Produto Químico (FISPQ), em inglês *Material Safety Data Sheets (MSDS)*. As informações foram obtidas dos sites especializados da CETESB (2016), do NIOSH (2017), e de fabricantes dos produtos perigosos. De acordo com a Equação 18 foram obtidos os valores da Tabela 12. Com a Equação 19 os valores são normalizados. A seguir apresenta-se como exemplo, o cálculo do  $H_{hg}$  para o etanol (álcool etílico – ONU 1170). O resultado obtido está indicado na Tabela 12.

$$H_{hg \text{ etanol}} = 2 + 3 + 1 + 4 = 10 \quad H_{hg \text{ mín}} = 0 \quad H_{hg \text{ máx}} = 16$$

$$H_{hg \text{ etanol}}^{\wedge} = (10 - 0) / (16 - 0) = \mathbf{0,63} \quad (\text{elevado})$$

Tabela 12 - Dano inerente potencial dos produtos transportados na Rodovia BR-101

ONU	Classe	Produto Perigoso (ANTT-5232/16)	Estado	H <sub>tóx</sub>	H <sub>inf</sub>	H <sub>rea</sub>	H <sub>w</sub>	H <sub>oxi</sub>	H <sub>env</sub>	H <sub>hg</sub>	H <sub>hg</sub> <sup>∧</sup>
1001	2	ACETILENO, DISSOLVIDO	Gás	0	4	3	0	0	0	7	0,44
1005	2	AMÔNIA, ANIDRA	Gás	3	1	0	0	2	4	10	0,63
1006	2	ARGÔNIO, COMPRIMIDO	Gás	0	0	0	0	0	0	0	0,00
1013	2	DIÓXIDO DE CARBONO	Gás	2	0	0	0	0	0	2	0,13
1049	2	HIDROGÊNIO, COMPRIMIDO	Gás	0	4	0	0	0	0	4	0,25
1066	2	NITROGÊNIO, COMPRIMIDO	Gás	3	0	0	0	0	0	3	0,19
1072	2	OXIGÊNIO, COMPRIMIDO	Gás	3	0	0	4	0	0	7	0,44
1073	2	OXIGÊNIO, LÍQ. REFRIGERADO	Líquido	3	0	0	4	0	0	7	0,44
1075	2	GÁS LÍQUIDO. PETRÓLEO ou GLP	Gás	2	4	0	0	0	0	6	0,38
1120	3	BUTANÓIS	Líquido	1	3	0	0	0	2	6	0,38
1170	3	ETANOL (ÁLCOOL ETÍLICO)	Líquido	2	3	0	0	1	4	10	0,63
1173	3	ACETATO DE ETILA	Líquido	1	3	0	0	1	4	9	0,56
1193	3	ETILMETILCETONA	Líquido	1	3	0	0	0	3	7	0,44
1202	3	ÓLEO DIESEL	Líquido	2	2	0	0	0	2	6	0,38
1203	3	GASOLINA	Líquido	1	3	0	0	0	3	7	0,44
1210	3	TINTA P/ IMPRESSÃO, inflamável	Líquido	1	3	0	0	0	2	6	0,38
1219	3	ISOPROPANOL (ÁLCOOL)	Líquido	1	3	0	0	1	2	7	0,44
1230	3	METANOL	Líquido	1	3	0	0	0	2	6	0,38
1263	3	TINTA	Líquido	1	3	0	0	0	3	7	0,44
1268	3	DERIVADOS DE PETRÓLEO, N.E.	Líquido	2	2	0	0	0	2	6	0,38
1294	3	TOLUENO	Gás	2	3	0	0	0	3	8	0,50
1301	3	ACETATO DE VINILA, estabilizado	Líquido	2	3	2	0	0	3	10	0,63
1350	4	ENXOFRE	Sólido	2	1	0	0	0	4	7	0,44
1498	5	NITRATO DE SÓDIO	Sólido	2	0	2	1	0	2	7	0,44
1778	8	ÁCIDO FLUORSILÍCICO	Líquido	3	0	1	0	2	4	10	0,63
1805	8	ÁCIDO FOSFÓRICO, SOLUÇÃO	Líquido	3	0	2	0	1	2	8	0,50
1823	8	HIDRÓXIDO DE SÓDIO, SÓLIDO	Sólido	3	0	1	0	2	2	8	0,50
1824	8	HIDRÓXIDO DE SÓDIO, SOLUÇÃO	Líquido	3	0	1	0	2	2	8	0,50
1830	8	ÁCIDO SULFÚRICO, > 51% ácido	Líquido	3	0	2	0	3	2	10	0,63
1863	3	QUEROSENE DE AVIAÇÃO	Líquido	2	2	0	0	0	3	7	0,44
1866	3	RESINA SOLUÇÃO, inflamável	Líquido	1	3	1	0	0	3	8	0,50
1921	3	PROPILENOIMINA, ESTABILIZADA	Líquido	4	3	2	0	2	3	14	0,88
1950	2	AEROSSÓIS	Gás	2	4	0	0	0	2	8	0,50
1971	2	METANO, COMPRIMIDO	Gás	2	4	0	0	0	0	6	0,38
1979	2	MISTURA GASES RAROS, COMP.	Gás	1	0	0	0	0	0	1	0,06
2014	5	PERÓXIDO HIDROGÊNIO, Sol. Aq.	Líquido	3	0	1	3	0	3	10	0,63
2031	8	ÁCIDO NÍTRICO	Líquido	4	0	0	2	1	2	9	0,56
2032	8	ÁCIDO NÍTRICO VERMELHO FUMEG.	Líquido	3	0	2	3	2	4	14	0,88
2055	3	ESTIRENO MONÔMERO, ESTABIL.	Líquido	2	3	2	0	0	3	10	0,63
2078	6	DIISOCIANATO DE TOLUENO	Líquido	3	1	3	0	2	2	11	0,69
2187	2	DIÓXIDO CARBONO, LÍQ. REFRIG.	Gás	3	0	0	0	0	3	6	0,38
209	8	FORMALDEÍDO SOLUÇÃO	Líquido	3	2	0	0	1	2	8	0,50
2211	9	POLÍMEROS GRANULADOS, EXP.	Sólido	1	3	0	0	0	2	6	0,38
2370	3	1-HEXENO	Líquido	1	3	0	0	0	3	7	0,44
2582	8	CLORETO FÉRRICO SOLUÇÃO	Líquido	2	0	2	0	1	3	8	0,50
2586	8	ÁCIDO ALQUILSULFÔNICO, LÍQ.	Líquido	3	1	1	0	0	3	8	0,50
2794	8	BATERIAS elétricas, ÚMID., C/ ÁCIDO	Líquido	4	0	0	0	0	2	6	0,38
2810	6	LÍQUIDO TÓXICO, ORGÂNICO., N.E.	Líquido	3	2	2	0	1	2	10	0,63
2814	6	SUBSTÂNCIA INFECTANTE	Sólido	1	0	0	0	0	4	5	0,31
3027	6	PESTICIDA C/ CUMARINA, TÓXICA.	Sólido	3	1	0	0	0	4	8	0,50
3052	4	DICLORETO DE ETILALUMÍNIO	Líquido	3	4	3	0	3	3	16	1,00
3077	9	SUBST. PERIGO MEIO AMB. SOL., N.E.	Sólida	2	1	0	0	0	3	6	0,38
3082	9	SUBST. PERIGO MEIO AMB. LÍQ. N.E.	Líquido	0	2	0	0	0	3	5	0,31
3109	5	PERÓXIDO ORGÂNICO, TIPO F, LÍQ.	Líquido	1	2	4	3	0	4	14	0,88
3256	3	LÍQ. TEMP. ELEVADA INFLAM., N.E.	Líquido	1	2	0	0	0	4	7	0,44
3257	9	LÍQ. TEMP. ELEV., N.E., ≥100°C	Líquido	1	1	0	0	0	4	6	0,38
3295	3	HIDROCARBONETO(S), LÍQ., N.E.	Líquido	0	4	2	0	0	3	9	0,56

3341	4	DIÓXIDO DE TIOURÉIA	Sólido	2	0	3	0	0	2	7	0,44
3348	6	PESTICIDA ÁCIDO FENOXIACÉTICO	Líquido	2	0	0	0	0	4	6	0,38
3373	6	SUBST. BIOLÓGICA, CATEG. B	Sólido	1	0	0	0	0	2	3	0,19
3375	5	NITRATO DE AMÔNIO	Líquido	0	0	3	2	0	2	7	0,44

$H_{hg \text{ médio}} = 0,47$        $H_{hg \text{ mín}} = 0,00$        $H_{hg \text{ máx}} = 1,00$

Legenda:      B = Baixo      M = Moderado      E = Elevado      C = Crítico

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da FISPQ dos produtos perigosos

### 3.4.8 Vulnerabilidade Ambiental

Para a avaliação da vulnerabilidade ambiental foram utilizados os resultados das análises de sensibilidade ambiental da vegetação e recursos hídricos realizada na rodovia BR-101, entre Osório e Torres, apresentada no estudo de Tinoco, Nodari e Pereira (2016), atribuindo pontuação pelo grau de vulnerabilidade. A avaliação da resistência do solo a impactos ambientais foi elaborada a partir de mapa do estado do Rio Grande do Sul da FEPAM (2001) e em mapas de classificação de solos do IBGE (2017). O grau de vulnerabilidade do solo a impactos ambientais foi avaliado conforme apresentado no Quadro 13, para cada segmento da rodovia, em ambos os sentidos de tráfego (norte e sul). A Figura 20 exemplifica o tipo de imagens utilizadas na avaliação, geradas utilizando-se o Google Earth Pro (7.3.2.5491, 64-bit, 2018), e QGIS (3.0.3-Girona, 32-bit, 2018).

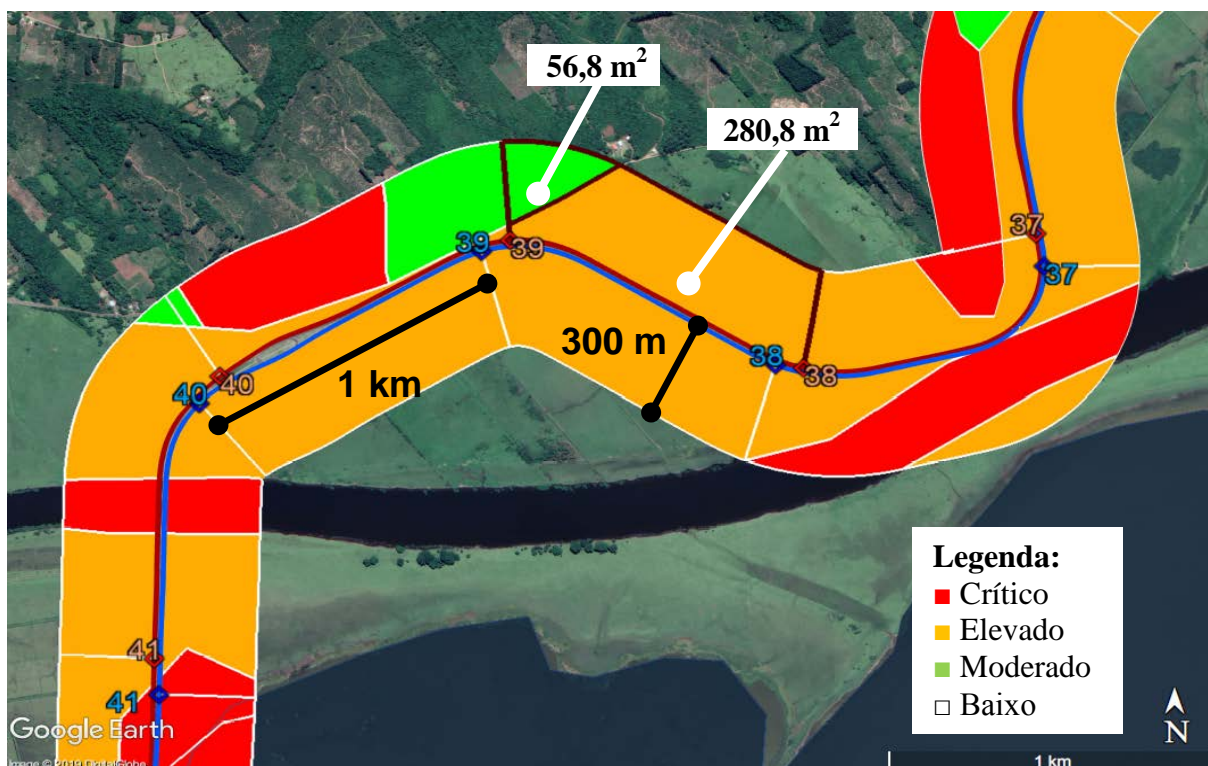


Figura 20 – Imagens da classificação da resistência do solo a impactos ambientais entorno da rodovia BR-101 entre Torres e Osório

Fonte: Elaborado pelo autor no Google Earth Pro com base no mapa grade\_id15 do IBGE (2017)

A estimativa da vulnerabilidade do solo de cada segmento da rodovia foi ponderada utilizando-se a Equação 20. Para possibilitar a agregação com o valor de outras características ambientais aplica-se a normalização linear expressa pela Equação 21. O valor normalizado é apresentado nas Tabelas 13 e 14.

Tabela 13 - Características da vulnerabilidade ambiental no sentido de Osório a Torres (Norte)

km	V <sub>wr</sub>	V <sub>vg</sub>	V <sub>sl</sub>	km	V <sub>wr</sub>	V <sub>vg</sub>	V <sub>sl</sub>	km	V <sub>wr</sub>	V <sub>vg</sub>	V <sub>sl</sub>	km	V <sub>wr</sub>	V <sub>vg</sub>	V <sub>sl</sub>				
1	0,80	0,64	0,00	23	0,48	0,16	0,24	45	0,00	0,73	0,54	67	0,34	0,67	1,00				
2	0,30	0,52	0,00	24	0,45	0,47	0,00	46	0,00	0,62	0,20	68	0,30	0,50	0,76				
3	0,30	0,54	0,37	25	0,35	0,62	0,15	47	0,00	0,53	0,00	69	0,00	0,32	1,00				
4	0,00	0,64	0,57	26	0,34	0,66	0,08	48	0,40	0,68	0,36	70	0,30	0,73	1,00				
5	0,00	0,80	0,67	27	0,60	0,61	0,01	49	0,00	0,72	0,57	71	0,41	0,67	1,00				
6	0,30	0,63	0,67	28	0,65	0,44	0,05	50	0,00	0,76	0,57	72	0,68	0,55	0,70				
7	0,30	0,64	0,57	29	0,77	0,34	0,18	51	0,00	0,72	0,57	73	0,69	0,51	0,57				
8	0,30	0,64	0,57	30	0,95	0,63	0,09	52	0,00	0,70	0,57	74	0,64	0,41	0,68				
9	0,30	0,64	0,57	31	0,70	0,67	0,23	53	1,00	0,67	0,57	75	0,61	0,51	0,57				
10	0,50	0,64	0,57	32	1,00	0,66	0,31	54	0,90	0,63	0,57	76	0,46	0,65	0,74				
11	0,50	0,64	0,57	33	0,70	0,16	0,24	55	1,00	0,46	0,09	77	1,00	0,34	0,80				
12	0,90	0,64	0,57	34	0,45	0,57	0,04	56	0,92	0,32	0,03	78	0,81	0,30	0,73				
13	0,90	0,64	0,44	35	0,43	0,60	0,14	57	0,94	0,37	0,09	79	0,59	0,43	0,86				
14	0,90	0,64	0,44	36	0,58	0,38	0,13	58	0,92	0,35	0,00	80	0,70	0,46	0,82				
15	0,80	0,76	0,88	37	0,70	0,42	0,58	59	0,95	0,30	0,00	81	0,60	0,49	0,84				
16	0,79	0,64	0,21	38	0,89	0,52	0,66	60	0,97	0,33	0,00	82	0,03	0,63	0,89				
17	0,99	0,28	0,00	39	0,80	0,52	0,48	61	0,94	0,41	0,04	83	0,70	0,62	0,58				
18	0,99	0,28	0,00	40	0,80	0,56	0,57	62	0,70	0,74	0,00	84	0,56	0,62	0,81				
19	0,90	0,28	0,53	41	1,00	0,59	0,62	63	0,40	0,83	0,00	85	1,00	0,40	0,81				
20	0,90	0,28	0,57	42	0,90	0,44	0,63	64	0,30	0,88	0,37	86	0,90	0,44	0,76				
21	0,90	0,28	0,55	43	0,70	0,59	0,57	65	0,00	0,82	1,00	87	0,80	0,06	0,80				
22	1,00	0,28	0,57	44	0,30	0,99	0,57	66	1,00	0,32	1,00	88	0,00	0,00	0,82				
Legenda:				B = Baixo				M = Moderado				E = Elevado				C = Crítico			

Fonte: Elaborado pelo autor baseado em informações de Tinoco, Nodari e Pereira (2016) e IBGE (2017)

Tabela 14 - Características da vulnerabilidade ambiental no sentido de Torres a Osório (Sul)

km	V <sub>wr</sub>	V <sub>vg</sub>	V <sub>sl</sub>	km	V <sub>wr</sub>	V <sub>vg</sub>	V <sub>sl</sub>	km	V <sub>wr</sub>	V <sub>vg</sub>	V <sub>sl</sub>	km	V <sub>wr</sub>	V <sub>vg</sub>	V <sub>sl</sub>
1	0,80	0,58	0,00	23	0,70	0,28	0,39	45	0,30	0,77	0,52	67	0,70	0,84	1,00
2	0,30	0,40	0,00	24	0,00	0,28	0,03	46	0,30	0,68	0,00	68	0,47	0,64	0,83
3	0,00	0,64	0,34	25	0,00	0,64	0,06	47	0,30	0,61	0,00	69	0,00	0,64	1,00
4	0,30	0,64	0,16	26	0,30	0,92	0,57	48	0,30	0,62	0,46	70	0,30	0,86	0,93
5	0,30	0,72	0,57	27	0,30	0,92	0,57	49	0,30	0,66	0,82	71	0,30	0,83	0,67
6	0,30	0,75	0,57	28	0,30	0,92	0,57	50	0,00	0,71	0,60	72	0,30	0,80	0,57
7	0,40	0,79	0,57	29	0,00	0,92	0,75	51	0,00	0,72	0,57	73	0,30	0,79	0,58
8	0,30	0,78	0,57	30	0,00	0,92	0,50	52	0,00	0,80	0,57	74	0,30	0,83	0,57
9	0,30	0,84	0,57	31	0,00	0,92	0,56	53	0,00	0,71	0,57	75	0,00	0,84	0,57
10	0,30	0,79	0,52	32	1,00	0,86	0,28	54	1,00	0,73	0,64	76	0,00	0,86	0,73
11	0,30	0,78	0,48	33	0,50	0,92	0,57	55	0,50	0,83	0,76	77	0,00	0,82	0,66
12	0,30	0,87	0,63	34	0,00	0,80	0,57	56	0,30	0,88	0,48	78	0,30	0,83	0,65
13	0,30	0,83	0,71	35	0,30	0,64	0,57	57	0,00	0,84	0,54	79	0,30	0,84	0,57
14	0,40	0,83	0,65	36	0,30	0,64	0,57	58	0,30	0,88	0,76	80	0,40	0,83	0,57
15	0,00	0,84	0,69	37	0,00	0,64	0,57	59	0,30	0,84	0,89	81	0,30	0,84	0,57
16	0,33	0,84	0,76	38	0,30	0,64	0,81	60	0,30	0,92	0,83	82	0,30	0,84	0,57
17	0,00	0,76	0,93	39	0,00	0,64	0,57	61	0,30	0,92	0,55	83	0,30	0,95	0,57
18	0,00	0,76	0,89	40	0,30	0,64	0,57	62	0,30	0,84	0,44	84	0,30	1,00	0,88



km	$V_{wr}$	$V_{vg}$	$V_{sl}$	km	$V_{wr}$	$V_{vg}$	$V_{sl}$	km	$V_{wr}$	$V_{vg}$	$V_{sl}$	km	$V_{wr}$	$V_{vg}$	$V_{sl}$
19	0,40	0,64	0,77	41	1,00	0,40	0,72	63	0,30	0,88	0,00	85	0,40	0,99	0,98
20	0,30	0,64	0,70	42	0,04	0,51	0,82	64	0,30	0,88	0,56	86	0,30	0,88	0,63
21	0,30	0,54	0,30	43	0,30	0,69	0,57	65	1,00	0,82	1,00	87	0,30	0,88	0,21
22	1,00	0,63	0,57	44	0,40	0,51	0,57	66	1,00	0,76	1,00	88	0,30	0,88	0,00
Legenda:				B = Baixo			M = Moderado			E = Elevado			C = Crítico		

Fonte: Elaborado pelo autor baseado em informações de Tinoco, Nodari e Pereira (2016) e IBGE (2017)

A seguir é apresentado um exemplo do cálculo realizado para estimar a vulnerabilidade do solo no segmento entre os km 38 e 39 ( $V_{sl_{39}}$ ) utilizando-se as equações 20 e 21. O resultado obtido é inserido conforme indicado na Tabela 13.

$$V_{sl_{39}} = (56,8 \times 3 + 280,8 \times 7) / (56,8 + 280,8) = 6,33 \quad V_{sl_{\min}} = 3,00 \quad V_{sl_{\max}} = 10,00$$

$$V_{sl_{39}} = (6,33 - 3,00) / (10,00 - 3,00) = 0,48 \text{ (moderado)}$$

Com os valores normalizados para a vulnerabilidade dos recursos hídricos, da vegetação e dos solos, calcula-se a vulnerabilidade ambiental do segmento da rodovia. A seguir apresenta-se um exemplo do cálculo vulnerabilidade do solo no segmento entre os km 38 e 39 ( $V_{sl_{39}}$ ) com a Equação 23. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 15.

$$V_{e_{39}} = 0,57 \times 0,8 + 0,21 \times 0,52 + 0,22 \times 0,48 = 0,65 \text{ (elevado)}$$

Tabela 15 - Exemplo da avaliação da vulnerabilidade ambiental entre Osório e Torres/ RS

VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA RODOVIA BR-101 - NORTE				Segmento km 38 – 39
Fator	Recursos Hídricos	Vegetação	Solos	$V_{e_{39}}$
Coefficiente	$w_{wr} = 0,57$	$w_{sv} = 0,21$	$w_{sl} = 0,22$	0,65 Elevado
Nível	0,80	0,52	0,48	

Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.4.9 Vulnerabilidade Populacional

Para a avaliação da vulnerabilidade populacional foram utilizados os resultados das análises de sensibilidade da ocupação humana realizada na rodovia BR-101, entre Osório e Torres, apresentada no estudo de Tinoco, Nodari e Pereira (2016), atribuindo pontuação pelo grau de vulnerabilidade. O nível de vulnerabilidade populacional pela densidade demográfica da população foi avaliado utilizando mapas do IBGE (2017). A Figura 21 exemplifica o tipo de imagens utilizadas na avaliação, geradas utilizando-se o Google Earth Pro (7.3.2.5491, 64-bit, 2018), e QGIS (3.0.3-Girona, 32-bit, 2018).



A estimativa da densidade populacional de cada segmento da rodovia foi calculada utilizando-se a Equação 24. Para possibilitar a agregação com o valor de outras características ambientais aplica-se a normalização linear expressa pela Equação 25. O valor normalizado é apresentado nas Tabelas 16 e 17.

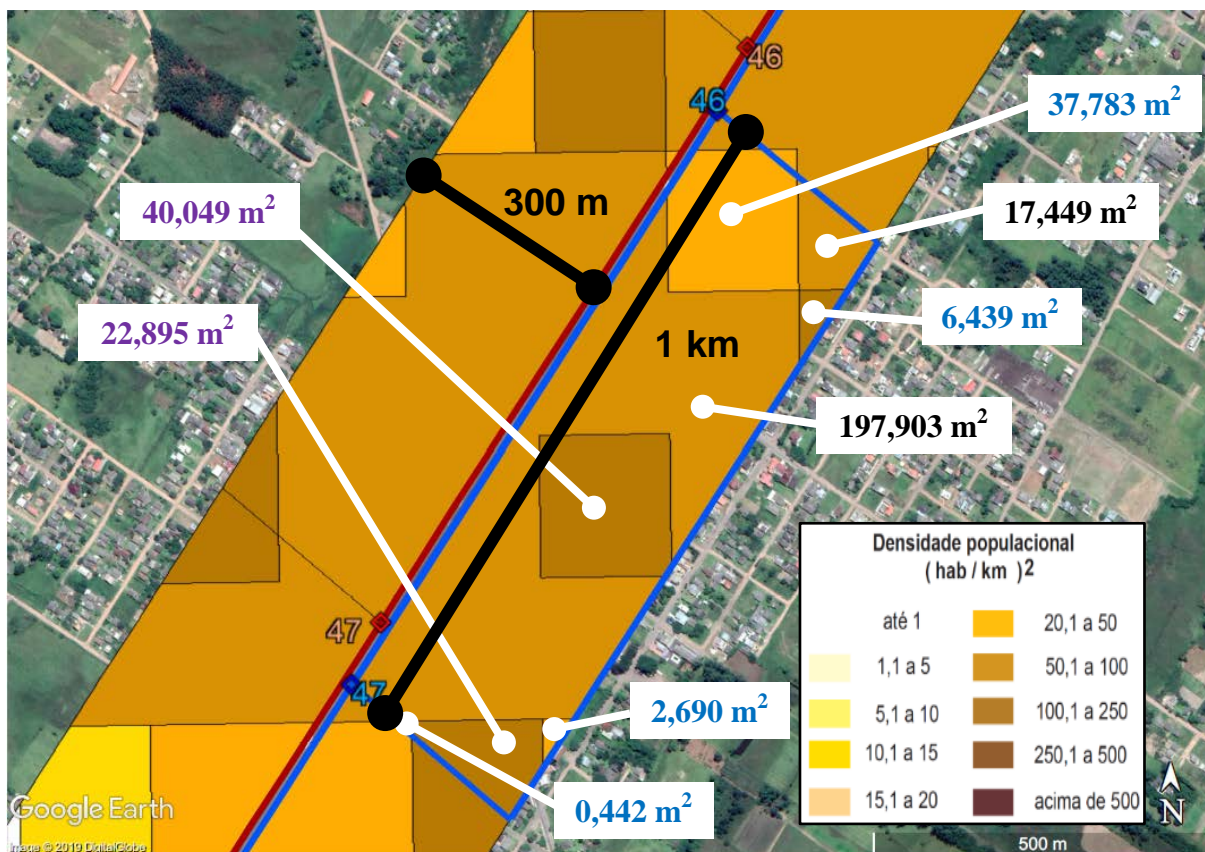


Figura 21 – Imagens da densidade demográfica entorno da rodovia BR-101 entre Osório e Torres  
Fonte: Elaborado pelo autor no Google Earth Pro com base no mapa SH22\_pedo\_area do IBGE (2017)

A seguir é apresentado um exemplo do cálculo realizado para estimar a vulnerabilidade do solo no segmento entre os km 46 e 47 ( $Vpd_{47}$ ) utilizando-se as equações 24 e 25. O resultado obtido é indicado na Tabela 16.

$$\text{Área } S_{6\ 47} (20,1 \text{ a } 50 \text{ hab/km}^2) = 37,783 + 6,439 + 2,69 + 0,442 = 40,473 \text{ m}^2$$

$$\text{Área } S_{7\ 47} (50,1 \text{ a } 100 \text{ hab/km}^2) = 197,903 + 17,449 = 215,352 \text{ m}^2$$

$$\text{Área } S_{8\ 47} (100,1 \text{ a } 250 \text{ hab/km}^2) = 40,049 + 22,895 = 62,944 \text{ m}^2$$

$$\text{Área do segmento } ST_{47} = 318,769 \text{ m}^2$$

$$Vpd_{\min} = 1,00 \quad Vpd_{\max} = 8,00$$

$$Vpd_{47} = (40,473 \times 6 + 215,352 \times 7 + 62,944 \times 8) / 318,769 = 7,07$$

$$Vpd_{47}' = (7,07 - 1,00) / (8,00 - 1,00) = \mathbf{0,87} \text{ (crítico)}$$

Com os valores normalizados da vulnerabilidade da ocupação humana e da densidade populacional calcula-se a vulnerabilidade populacional do segmento da rodovia. A seguir apresenta-se um exemplo da ponderação da vulnerabilidade populacional no segmento entre os km 46 e 47 ( $V_{p\ 47}$ ) com a Equação 27. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 18.

Tabela 16 - Características da vulnerabilidade populacional no sentido de Osório a Torres (Norte)

km	$V_{ho}$	$V_{pd}$	km	$V_{ho}$	$V_{pd}$	km	$V_{ho}$	$V_{pd}$	km	$V_{ho}$	$V_{pd}$
1	0,09	0,37	23	0,26	0,37	45	0,14	0,45	67	0,01	0,72
2	0,18	0,77	24	0,37	0,81	46	0,40	0,57	68	0,04	0,30
3	0,17	0,14	25	0,63	0,79	47	0,52	0,87	69	1,00	0,03
4	0,07	0,36	26	0,20	0,10	48	0,28	0,70	70	0,10	0,30
5	0,09	0,33	27	0,07	0,48	49	0,05	0,86	71	0,19	0,00
6	0,27	0,25	28	0,02	0,79	50	0,04	0,82	72	0,09	0,17
7	0,23	0,34	29	0,00	0,71	51	0,09	0,75	73	0,07	0,28
8	0,50	0,37	30	0,05	0,75	52	0,06	0,09	74	0,19	0,17
9	0,18	0,11	31	0,05	0,68	53	0,03	0,22	75	0,10	0,25
10	0,25	0,22	32	0,14	0,34	54	0,04	0,02	76	0,06	0,03
11	0,09	0,71	33	0,10	0,71	55	0,04	0,39	77	0,04	0,00
12	0,06	0,61	34	0,11	0,78	56	0,04	0,70	78	0,16	0,02
13	0,10	0,17	35	0,04	0,76	57	0,04	0,57	79	0,09	0,10
14	0,08	0,29	36	0,06	0,71	58	0,06	0,75	80	0,09	0,11
15	0,05	0,10	37	0,02	0,71	59	0,03	0,52	81	0,11	0,00
16	0,03	0,70	38	0,01	0,62	60	0,03	0,57	82	0,12	0,07
17	0,00	0,43	39	0,02	0,62	61	0,07	0,45	83	0,11	0,28
18	0,01	0,13	40	0,01	0,60	62	0,06	0,81	84	0,13	0,15
19	0,11	0,53	41	0,03	0,50	63	0,06	0,32	85	0,21	0,00
20	0,16	0,37	42	0,01	0,53	64	0,06	0,66	86	0,32	0,06
21	0,18	0,29	43	0,09	0,92	65	0,03	0,58	87	0,77	0,43
22	0,05	0,01	44	0,07	0,87	66	0,03	0,40	88	0,83	0,21

Legenda: B = Baixo M = Moderado E = Elevado C = Crítico

Fonte: Elaborado pelo autor baseado em informações de Tinoco, Nodari e Pereira (2016) e IBGE (2017)

Tabela 17 - Características da vulnerabilidade populacional no sentido de Torres a Osório (Sul)

km	$V_{ho}$	$V_{pd}$	km	$V_{ho}$	$V_{pd}$	km	$V_{ho}$	$V_{pd}$	km	$V_{ho}$	$V_{pd}$
1	0,25	0,14	23	0,16	0,35	45	0,14	0,29	67	0,03	0,67
2	0,14	0,70	24	0,31	0,84	46	0,28	0,78	68	0,08	0,40
3	0,05	0,26	25	0,23	0,80	47	0,39	0,87	69	1,00	0,00
4	0,05	0,22	26	0,02	0,03	48	0,32	0,65	70	0,10	0,27
5	0,05	0,35	27	0,02	0,51	49	0,06	0,83	71	0,00	0,20
6	0,05	0,55	28	0,02	0,73	50	0,03	0,78	72	0,09	0,47
7	0,06	0,40	29	0,06	0,66	51	0,04	0,72	73	0,03	0,27
8	0,05	0,13	30	0,02	0,57	52	0,06	0,29	74	0,06	0,28
9	0,05	0,18	31	0,02	0,50	53	0,06	0,16	75	0,04	0,27
10	0,05	0,48	32	0,10	0,47	54	0,02	0,08	76	0,05	0,04
11	0,06	0,47	33	0,02	0,66	55	0,02	0,26	77	0,06	0,12
12	0,05	0,47	34	0,03	0,91	56	0,02	0,71	78	0,04	0,15
13	0,04	0,18	35	0,03	0,48	57	0,02	0,57	79	0,04	0,14
14	0,06	0,10	36	0,03	0,60	58	0,02	0,76	80	0,04	0,12

15	0,03	0,48	37	0,07	0,34	59	0,02	0,33	81	0,04	0,13
16	0,03	0,54	38	0,02	0,48	60	0,02	0,18	82	0,05	0,15
17	0,02	0,28	39	0,02	0,12	61	0,02	0,36	83	0,13	0,17
18	0,01	0,00	40	0,02	0,28	62	0,02	0,86	84	0,07	0,20
19	0,17	0,14	41	0,02	0,29	63	0,03	0,66	85	0,03	0,42
20	0,13	0,23	42	0,02	0,47	64	0,02	0,71	86	0,05	0,56
21	0,05	0,36	43	0,04	1,00	65	0,01	0,37	87	0,06	0,80
22	0,04	0,03	44	0,14	0,42	66	0,04	0,18	88	0,05	0,75
Legenda:		B = Baixo			M = Moderado		E = Elevado		C = Crítico		

Fonte: Elaborado pelo autor baseado em informações de Tinoco, Nodari e Pereira (2016) e IBGE (2017)

$$V_{p47} = 0,27 \times 0,52 + 0,73 \times 0,87 = 0,76 \text{ (crítica)} \text{ (crítico)}$$

Tabela 18 - Exemplo da avaliação da vulnerabilidade populacional

VULNERABILIDADE POPULACIONAL DA RODOVIA BR-101 - NORTE			Trecho km 46 – 47
Fator	Ocupação Humana	Densidade Demográfica	$V_{p47}$
Coefficiente	$w_{ho} = 0,27$	$w_{pd} = 0,73$	0,76 Crítica
Nível	0,52	0,87	

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 3.4.10 Vulnerabilidade das Infraestruturas

As informações sobre as infraestruturas existentes entorno da rodovia foram obtidas pela equipe do Projeto de Pesquisa sobre a Gestão de Riscos aplicada a Engenharia de Transporte, intitulado “Desenvolvimento de Estratégias e Sistemas de Gestão de Acidentes Envolvendo o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos”, pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. O nível de vulnerabilidade das infraestruturas foi avaliado conforme apresentado no Quadro 16. A Figura 22 exemplifica o tipo de imagens utilizadas na avaliação, geradas utilizando-se o Google Earth Pro (7.3.2.5491, 64-bit, 2018).

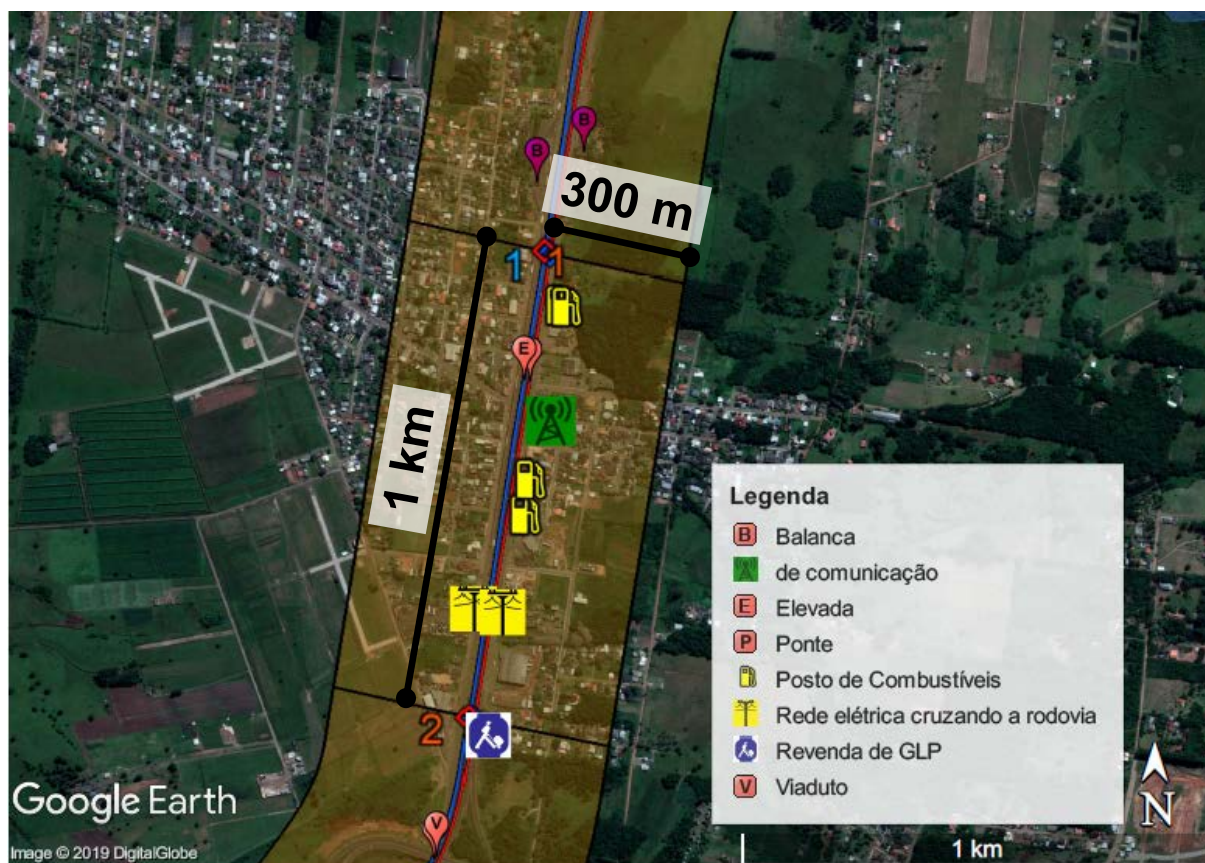


Figura 22 – Imagens utilizadas na avaliação da vulnerabilidade das infraestruturas no entorno da rodovia BR-101 entre Torres e Osório / RS  
Fonte: Elaborado pelo autor

A estimativa da vulnerabilidade das infraestruturas de cada segmento da rodovia foi ponderada utilizando-se a Equação 29. Para possibilitar a agregação com o valor de outras características ambientais aplica-se a normalização linear expressa pela Equação 30. O valor normalizado é apresentado nas Tabelas 19 e 20. A seguir é apresentado um exemplo do cálculo realizado para estimar a vulnerabilidade das infraestruturas no segmento entre os km 01 e 02 ( $V_{if\ 02}$ ) utilizando-se as equações 29 e 30. O resultado obtido é indicado na Tabela 19 e detalhado na Tabela 21.

$$V_{cm\ 02} = 0,1 \text{ ( 1 torre de comunicação)}$$

$$V_{el\ 02} = 0,3 \text{ ( 1 linha de transmissão cruzando e 1 paralela ao segmento da rodovia)}$$

$$V_{ff\ 02} = 1,0 \text{ ( 4 postos de combustíveis)}$$

$$V_{pw\ 02} = 0,1 \text{ ( 0 infraestrutura importante de água potável)}$$

$$V_{tp\ 02} = 0,1 \text{ ( 1 infraestrutura de rodovia elevada)}$$

$$V_{if\ 02} = 0,09 \times 0,1 + 0,15 \times 0,3 + 0,15 \times 1,0 + 0,49 \times 0,1 + 0,13 \times 0,1 = 2,91$$

$$V_{if\ mín} = 1,0 \quad V_{if\ máx} = 2,91$$

$$V_{if\ 02} = (2,91 - 1,00) / (2,91 - 1,00) = \mathbf{1,00} \text{ (crítica)}$$



Tabela 19 - Características da vulnerabilidade das infraestruturas no sentido de Osório a Torres (Norte)

km	V <sub>cm</sub>	V <sub>el</sub>	V <sub>fl</sub>	V <sub>pw</sub>	V <sub>tr</sub>	km	V <sub>cm</sub>	V <sub>el</sub>	V <sub>fl</sub>	V <sub>pw</sub>	V <sub>tr</sub>	km	V <sub>cm</sub>	V <sub>el</sub>	V <sub>fl</sub>	V <sub>pw</sub>	V <sub>tr</sub>	km	V <sub>cm</sub>	V <sub>el</sub>	V <sub>fl</sub>	V <sub>pw</sub>	V <sub>tr</sub>
1	0,10	0,70	0,10	0,10	0,7	23	0,10	1,00	0,10	0,10	0,10	45	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	67	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10
2	0,10	0,30	1,00	0,10	0,10	24	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	46	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	68	0,10	0,10	0,10	0,10	0,30
3	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	25	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	47	0,10	0,70	0,10	0,10	0,10	69	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
4	0,10	0,70	0,10	0,10	0,10	26	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	48	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	70	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
5	0,10	0,70	0,10	0,10	0,10	27	0,10	0,70	0,10	0,10	0,10	49	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	71	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
6	0,10	0,70	0,10	0,10	0,10	28	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	50	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	72	0,10	0,70	0,10	0,10	0,10
7	0,10	1,00	0,10	0,10	0,10	29	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	51	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	73	0,10	0,70	0,10	0,10	0,10
8	0,10	1,00	0,10	0,10	0,10	30	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	52	0,10	1,00	0,10	0,10	0,10	74	0,10	1,00	0,10	0,10	0,10
9	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	31	0,10	0,70	0,10	0,10	0,30	53	0,10	0,30	0,10	0,10	0,30	75	0,10	1,00	0,10	0,10	0,10
10	0,10	1,00	0,10	0,10	0,10	32	0,10	0,10	0,10	0,10	0,30	54	0,10	0,70	0,10	0,10	0,10	76	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10
11	0,10	1,00	0,10	0,10	0,10	33	0,10	0,70	0,10	0,10	0,10	55	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	77	0,10	0,70	0,10	0,10	0,10
12	0,10	0,70	0,10	0,10	0,10	34	0,10	0,70	0,10	0,10	0,10	56	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	78	0,10	1,00	0,10	0,10	0,10
13	0,10	1,00	0,10	0,10	0,10	35	0,10	1,00	0,10	0,10	0,10	57	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	79	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10
14	0,10	1,00	0,10	0,10	0,10	36	0,10	1,00	0,10	0,10	0,30	58	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	80	0,10	0,70	0,10	0,10	0,10
15	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	37	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	59	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	81	0,10	0,70	0,10	0,10	0,10
16	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	38	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	60	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	82	0,10	0,70	0,10	0,10	0,10
17	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	39	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	61	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	83	0,10	1,00	0,10	0,10	0,10
18	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	40	0,10	0,70	0,10	0,10	0,30	62	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	84	0,10	0,30	0,10	0,10	0,30
19	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	41	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	63	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	85	0,10	1,00	0,10	0,10	0,30
20	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	42	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	64	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	86	0,10	0,70	0,10	0,10	0,10
21	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	43	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	65	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	87	0,10	1,00	0,10	0,10	0,30
22	0,10	0,10	0,10	0,10	0,30	44	0,10	1,00	0,10	0,10	0,10	66	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	88	0,10	0,30	0,10	0,10	0,70
Legenda:					B = Baixo	M = Moderado	E = Elevado	C = Crítico															

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 20 - Características da vulnerabilidade das infraestruturas no sentido de Torres a Osório (Sul)

km	V <sub>cm</sub>	V <sub>el</sub>	V <sub>fl</sub>	V <sub>pw</sub>	V <sub>tr</sub>	km	V <sub>cm</sub>	V <sub>el</sub>	V <sub>fl</sub>	V <sub>pw</sub>	V <sub>tr</sub>	km	V <sub>cm</sub>	V <sub>el</sub>	V <sub>fl</sub>	V <sub>pw</sub>	V <sub>tr</sub>	km	V <sub>cm</sub>	V <sub>el</sub>	V <sub>fl</sub>	V <sub>pw</sub>	V <sub>tr</sub>
1	0,10	0,70	0,10	0,10	0,70	23	0,10	1,00	0,10	0,10	0,10	45	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	67	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
2	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	24	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	46	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	68	0,10	0,10	0,10	0,10	0,30
3	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	25	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	47	0,10	0,70	0,10	0,10	0,10	69	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
4	0,10	0,70	0,10	0,10	0,10	26	0,10	0,70	0,10	0,10	0,10	48	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	70	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10
5	0,10	0,70	0,10	0,10	0,10	27	0,10	1,00	0,10	0,10	0,10	49	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	71	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
6	0,10	1,00	0,10	0,10	0,10	28	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	50	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	72	0,10	0,70	0,10	0,10	0,10
7	0,10	1,00	0,10	0,10	0,10	29	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	51	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	73	0,10	1,00	0,10	0,10	0,10
8	0,10	1,00	0,10	0,10	0,10	30	0,10	0,70	0,10	0,10	0,10	52	0,10	0,70	0,10	0,10	0,10	74	0,10	1,00	0,10	0,10	0,10
9	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	31	0,10	0,70	0,10	0,10	0,10	53	0,10	0,70	0,10	0,10	0,30	75	0,10	1,00	0,10	0,10	0,10
10	0,10	1,00	0,10	0,10	0,30	32	0,10	0,10	0,10	0,10	0,70	54	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	76	0,10	0,70	0,10	0,10	0,10
11	0,10	1,00	0,10	0,10	0,10	33	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	55	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	77	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10
12	0,10	0,70	0,10	0,10	0,10	34	0,10	1,00	0,10	0,10	0,10	56	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	78	0,10	1,00	0,10	0,10	0,10
13	0,10	1,00	0,10	0,10	0,10	35	0,10	1,00	0,10	0,10	0,10	57	0,10	0,70	0,10	0,10	0,10	79	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10
14	0,10	1,00	0,10	0,10	0,10	36	0,10	1,00	0,10	0,10	0,30	58	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	80	0,10	1,00	0,10	0,10	0,10
15	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	37	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	59	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	81	0,10	0,70	0,10	0,10	0,10
16	0,10	0,70	0,10	0,10	0,10	38	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	60	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	82	0,10	1,00	0,10	0,10	0,10
17	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	39	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	61	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	83	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10
18	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	40	0,10	0,70	0,10	0,10	0,30	62	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	84	0,10	1,00	0,10	0,10	0,30
19	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	41	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	63	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	85	0,10	0,70	0,10	0,10	0,30
20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	42	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	64	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	86	0,10	1,00	0,10	0,10	0,10
21	0,10	0,70	0,10	0,10	0,10	43	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	65	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	87	0,10	0,30	0,10	0,10	0,30
2	0,10	0,10	0,10	0,10	0,30	44	0,10	1,00	0,10	0,10	0,10	66	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	88	0,10	0,10	0,10	0,10	0,70
Legenda:					B = Baixo	M = Moderado	E = Elevado	C = Crítico															

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 21 - Exemplo da avaliação da vulnerabilidade de infraestruturas

VULNERABILIDADE INFRAESTRUTURAS DA RODOVIA BR-101 - NORTE						Trecho km 84 – 85
Fator	Comunicação	Eletricidade	Combustíveis	Água Potável	Transportes	$V_{if2}$
Coefficiente	$w_{cm} = 0,09$	$w_{el} = 0,15$	$w_{ft} = 0,15$	$w_{ap} = 0,49$	$w_{tr} = 0,13$	<b>1,00 Crítica</b>
Nível	0,10	0,3	1,0	0,1	0,1	

Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.4.11 Resiliência Territorial

As informações para a avaliação da resiliência territorial do entorno da rodovia foram obtidas pela mesma equipe mencionada no item anterior. O nível de resiliência territorial foi avaliado conforme apresentado no Quadro 17. A Figura 23 exemplifica o tipo de imagens utilizada na avaliação, geradas utilizando-se o Google Earth Pro (7.3.2.5491, 64-bit, 2018).

A estimativa da resiliência territorial de cada segmento da rodovia foi ponderada utilizando-se a Equação 32. Para possibilitar a agregação com o valor de outras características ambientais aplica-se a normalização linear expressa pela Equação 33. O valor normalizado é apresentado nas Tabelas 22 e 23.



Figura 23 – Imagens da avaliação da vulnerabilidade das infraestruturas no entorno da rodovia BR-101 entre Torres e Osório / RS

Fonte: Elaborado pelo autor

A seguir é apresentado um exemplo do cálculo realizado para estimar a resiliência territorial no segmento entre os km 87 e 88 (Rt<sub>88</sub>) utilizando-se as equações 32 e 33. O resultado obtido é inserido conforme indicado na Tabela 22 e detalhado na Tabela 24. Para a avaliação do risco potencial de acidentes avalia-se o déficit de resiliência.

$$R_{pc\ 88} = 1,0 \text{ (polícia a menos de 5 km do segmento analisado)}$$

$$R_{ff\ 88} = 1,0 \text{ (serviços de guincho a menos de 5 km do segmento analisado)}$$

$$R_{ms\ 88} = 1,0 \text{ (serviços médicos a menos de 5 km do segmento analisado)}$$

$$R_{mt\ 88} = 1,0 \text{ (monitoramento por radar e placa com número de emergência a menos de 1 km do segmento avaliado)}$$

$$Rt_{88} = 0,17 \times 1,0 + 0,29 \times 1,0 + 0,37 \times 1,0 + 0,18 \times 1,0 = 1,0$$

$$Rt_{mín} = 0,26 \quad Rt_{máx} = 1,00 \quad Rt_{88}^{\prime} = (1,00 - 0,26) / (1,00 - 0,26) = 1,00$$

$$\text{Déficit de Resiliência (DR}_{88}^{\prime}) = 1 - Rt_{88}^{\prime} = 1,00 - 1,00 = 0 \text{ (baixo)}$$

Tabela 22 – Características do Déficit de Resiliência Territorial no sentido de Osório a Torres (Norte)

km	RD <sub>pl</sub>	RD <sub>ff</sub>	RD <sub>ms</sub>	RD <sub>mt</sub>	km	RD <sub>pl</sub>	RD <sub>ff</sub>	RD <sub>ms</sub>	RD <sub>mt</sub>	km	RD <sub>pl</sub>	RD <sub>ff</sub>	RD <sub>ms</sub>	RD <sub>mt</sub>	km	RD <sub>pl</sub>	RD <sub>ff</sub>	RD <sub>ms</sub>	RD <sub>mt</sub>
1	0,00	0,00	0,30	0,00	23	0,00	0,00	0,90	0,30	45	0,00	0,00	0,00	0,00	67	0,90	0,00	0,90	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	24	0,00	0,00	0,90	0,00	46	0,00	0,00	0,00	0,00	68	0,90	0,00	0,90	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,30	25	0,00	0,00	0,90	0,00	47	0,00	0,00	0,00	0,00	69	0,90	0,00	0,90	0,00
4	0,00	0,00	0,30	0,70	26	0,00	0,00	0,90	0,00	48	0,00	0,00	0,00	0,00	70	0,70	0,00	0,90	0,00
5	0,00	0,00	0,30	0,30	27	0,00	0,00	0,90	0,30	49	0,00	0,00	0,00	0,30	71	0,70	0,00	0,90	0,30
6	0,30	0,00	0,30	0,00	28	0,00	0,00	0,90	0,70	50	0,00	0,00	0,00	0,70	72	0,70	0,00	0,90	0,30
7	0,30	0,00	0,30	0,00	29	0,30	0,00	0,90	0,90	51	0,00	0,00	0,00	0,90	73	0,70	0,30	0,90	0,00
8	0,30	0,00	0,30	0,30	30	0,30	0,30	0,90	0,70	52	0,00	0,30	0,30	0,90	74	0,70	0,30	0,70	0,00
9	0,30	0,00	0,70	0,00	31	0,30	0,30	0,70	0,30	53	0,00	0,30	0,30	0,90	75	0,30	0,30	0,70	0,30
10	0,30	0,00	0,70	0,00	32	0,30	0,30	0,70	0,00	54	0,00	0,30	0,30	0,90	76	0,30	0,30	0,70	0,70
11	0,70	0,30	0,70	0,00	33	0,30	0,30	0,70	0,00	55	0,30	0,30	0,30	0,70	77	0,30	0,30	0,70	0,90
12	0,70	0,30	0,70	0,30	34	0,70	0,30	0,70	0,00	56	0,30	0,30	0,30	0,30	78	0,30	0,30	0,70	0,90
13	0,70	0,30	0,70	0,70	35	0,70	0,70	0,70	0,30	57	0,30	0,70	0,70	0,00	79	0,30	0,30	0,30	0,90
14	0,70	0,30	0,90	0,90	36	0,70	0,70	0,30	0,70	58	0,30	0,30	0,70	0,30	80	0,00	0,30	0,30	0,70
15	0,30	0,30	0,90	0,90	37	0,30	0,70	0,30	0,90	59	0,30	0,30	0,70	0,70	81	0,00	0,30	0,30	0,30
16	0,30	0,00	0,90	0,90	38	0,30	0,30	0,30	0,90	60	0,70	0,30	0,70	0,90	82	0,00	0,30	0,30	0,00
17	0,30	0,00	0,90	0,70	39	0,30	0,30	0,30	0,90	61	0,70	0,30	0,70	0,70	83	0,00	0,00	0,30	0,00
18	0,30	0,00	0,90	0,30	40	0,30	0,30	0,30	0,90	62	0,70	0,30	0,90	0,30	84	0,00	0,00	0,00	0,30
19	0,30	0,00	0,90	0,00	41	0,30	0,30	0,00	0,70	63	0,70	0,00	0,90	0,00	85	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,90	0,00	42	0,00	0,30	0,00	0,30	64	0,70	0,00	0,90	0,30	86	0,00	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,90	0,90	43	0,00	0,00	0,00	0,00	65	0,90	0,00	0,90	0,70	87	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,90	0,70	44	0,00	0,00	0,00	0,00	66	0,90	0,00	0,90	0,30	88	0,00	0,00	0,00	0,00

Legenda: B = Baixo M = Moderado E = Elevado C = Crítico

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 23 – Características do Déficit de Resiliência Territorial no sentido de Torres a Osório (Sul)

km	RD <sub>pl</sub>	RD <sub>ff</sub>	RD <sub>ms</sub>	RD <sub>mt</sub>	km	RD <sub>pl</sub>	RD <sub>ff</sub>	RD <sub>ms</sub>	RD <sub>mt</sub>	km	RD <sub>pl</sub>	RD <sub>ff</sub>	RD <sub>ms</sub>	RD <sub>mt</sub>	km	RD <sub>pl</sub>	RD <sub>ff</sub>	RD <sub>ms</sub>	RD <sub>mt</sub>
1	0,00	0,00	0,30	0,00	23	0,00	0,00	0,90	0,30	45	0,00	0,00	0,00	0,00	67	0,90	0,00	0,90	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	24	0,00	0,00	0,90	0,00	46	0,00	0,00	0,00	0,00	68	0,90	0,00	0,90	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	25	0,00	0,00	0,90	0,00	47	0,00	0,00	0,00	0,00	69	0,90	0,00	0,90	0,00
4	0,00	0,00	0,30	0,30	26	0,00	0,00	0,90	0,00	48	0,00	0,00	0,00	0,00	70	0,70	0,00	0,90	0,00
5	0,00	0,00	0,30	0,30	27	0,00	0,00	0,90	0,30	49	0,00	0,00	0,00	0,30	71	0,70	0,00	0,90	0,30
6	0,30	0,00	0,30	0,00	28	0,00	0,00	0,90	0,70	50	0,00	0,00	0,00	0,70	72	0,70	0,00	0,90	0,30
7	0,30	0,00	0,30	0,00	29	0,30	0,00	0,90	0,90	51	0,00	0,00	0,00	0,90	73	0,70	0,30	0,90	0,00
8	0,30	0,00	0,30	0,30	30	0,30	0,30	0,90	0,70	52	0,00	0,30	0,30	0,90	74	0,70	0,30	0,70	0,00
9	0,30	0,00	0,70	0,00	31	0,30	0,30	0,70	0,30	53	0,00	0,30	0,30	0,90	75	0,30	0,30	0,70	0,30
10	0,30	0,00	0,70	0,00	32	0,30	0,30	0,70	0,00	54	0,00	0,30	0,30	0,90	76	0,30	0,30	0,70	0,70
11	0,70	0,30	0,70	0,00	33	0,30	0,30	0,70	0,00	55	0,30	0,30	0,30	0,70	77	0,30	0,30	0,70	0,90
12	0,70	0,30	0,70	0,30	34	0,70	0,30	0,70	0,00	56	0,30	0,30	0,30	0,30	78	0,30	0,30	0,70	0,90
13	0,70	0,30	0,70	0,70	35	0,70	0,70	0,70	0,30	57	0,30	0,70	0,70	0,00	79	0,30	0,30	0,30	0,90
14	0,70	0,30	0,90	0,90	36	0,70	0,70	0,30	0,70	58	0,30	0,30	0,70	0,30	80	0,00	0,30	0,30	0,70
15	0,30	0,30	0,90	0,90	37	0,30	0,70	0,30	0,90	59	0,30	0,30	0,70	0,70	81	0,00	0,30	0,30	0,30
16	0,30	0,00	0,90	0,90	38	0,30	0,30	0,30	0,90	60	0,70	0,30	0,70	0,90	82	0,00	0,30	0,30	0,00
17	0,30	0,00	0,90	0,70	39	0,30	0,30	0,30	0,90	61	0,70	0,30	0,70	0,70	83	0,00	0,00	0,30	0,00
18	0,30	0,00	0,90	0,30	40	0,30	0,30	0,30	0,90	62	0,70	0,30	0,90	0,30	84	0,00	0,00	0,00	0,30
19	0,30	0,00	0,90	0,00	41	0,30	0,30	0,00	0,70	63	0,70	0,00	0,90	0,00	85	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,90	0,00	42	0,00	0,30	0,00	0,30	64	0,70	0,00	0,90	0,30	86	0,00	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,90	0,90	43	0,00	0,00	0,00	0,00	65	0,90	0,00	0,90	0,70	87	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,90	0,70	44	0,00	0,00	0,00	0,00	66	0,90	0,00	0,90	0,30	88	0,00	0,00	0,00	0,00

Legenda: B = Baixo M = Moderado E = Elevado C = Crítico

Fonte: Elaborado pelo autor



Tabela 24 - Exemplo da avaliação do Déficit de Resiliência Territorial da Rodovia BR-101

DÉFICIT DE RESILIÊNCIA DA RODOVIA BR-101					Trecho km 87 – 88
$DR_{88} = (1 - Rt_{88})$					
Fator	Polícia	Bombeiros	Serviços Médicos	Monitoramento	$DR_{88}$
Coefficiente	$w_{pl} = 0,17$	$w_{ff} = 0,29$	$w_{ms} = 0,37$	$w_{mt} = 0,18$	0 Baixo
Nível	0	0	0	0	

Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.4.12 Índice de Risco Potencial de Acidentes (IRP)

Seguindo o método proposto foi realizado o cálculo do risco potencial de acidentes no transporte de produtos perigosos na rodovia BR-101, entre os municípios de Osório e Torres no Estado do Rio Grande do Sul. Para cada segmento de um quilometro (1 km) foram avaliadas as características de vulnerabilidade e resiliência. A Tabela 25 exemplifica o potencial de risco de acidentes com alguns produtos químicos, no cenário mais grave de acidente, com vazamento, incêndio ou explosão entre o km 61 e 62. A seguir é apresentado o cálculo do IRP de um acidente Tipo 5 no transporte de etanol, com ponderação pela aplicação da Equação 34 e normalização linear pela Equação 35. O resultado obtido é indicado e detalhado na Tabela 25 e indicado na Figura 24.

Tabela 25 - Exemplo da avaliação do risco potencial de produtos transportados

ONU	C L A S S E	PRODUTO PERIGOSO (ANTT-5232/16)	RISCO POTENCIAL POR SEGMENTO DO TRECHO DA RODOVIA BR-101 Norte (entre km 0 e 88)							
			km 61 – 62							
			$Pe$	$RV_{62}$	$H_{hg}$	$Ve_{62}$	$Vp_{62}$	$Vif_{62}$	$DR_{62}$	$IRP_{62}$
Escala de ponderação de 0 a 1			$w_{hg} = w_{ev} = w_{pv} = w_{iv} = w_{re} =$							
			0,26	0,24	0,34	0,06	0,11			
1075	2	GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO (GLP)	1,00	0,59	0,38	0,55	0,58	0,13	0,82	0,57
1170	3	ETANOL (ÁLCOOL ETÍLICO)	1,00	0,59	0,63	0,55	0,58	0,13	0,82	0,64
1202	3	ÓLEO DIESEL	1,00	0,59	0,38	0,55	0,58	0,13	0,82	0,57
1203	3	GASOLINA	1,00	0,59	0,44	0,55	0,58	0,13	0,82	0,59
1230	3	METANOL	1,00	0,59	0,38	0,55	0,58	0,13	0,82	0,57
1824	8	HIDRÓXIDO DE SÓDIO SOLUÇÃO	1,00	0,59	0,50	0,55	0,58	0,13	0,82	0,61
1830	8	ÁCIDO SULFÚRICO > de 51% de ácido	1,00	0,59	0,63	0,55	0,58	0,13	0,82	0,64
2055	3	ESTIRENO MONÔMERO, ESTABILIZADO	1,00	0,59	0,63	0,55	0,58	0,13	0,82	0,64
3082	9	SUBST. RISCO P/ MEIO AMB., LÍQ., N.E.	1,00	0,59	0,31	0,55	0,58	0,13	0,82	0,56
3256	3	LÍQ. TEMP. ELEVADA INFLAMÁVEL N.E.	1,00	0,59	0,44	0,55	0,58	0,13	0,82	0,59
3257	9	LÍQUIDO TEMP. ELEVADA, N.E., > 100°C	1,00	0,59	0,38	0,55	0,58	0,13	0,82	0,57
3295	3	HIDROCARBONETO, LÍQUIDO, N.E.	1,00	0,59	0,56	0,55	0,58	0,13	0,82	0,63

Fonte: Elaborado pelo autor

$$IRP_{62 \text{ etanol}} = 0,59 \times (1 \times (0,26 \times 0,63 + 0,24 \times 0,55 + 0,34 \times 0,58 + 0,06 \times 0,13 + 0,11 \times 0,82) = 0,35$$

$$IRP_{\text{mín}} = 0,00 \quad IRP_{\text{máx}} = 0,54$$

$$IRP_{62 \text{ etanol}} = (0,35 - 0,00) / (0,54 - 0,00) = 0,64 \text{ (baixo)}$$

### 3.4.13 Representação da avaliação do IRP

Para facilitar a avaliação dos resultados obtidos propõe-se relacionar os produtos perigosos transportados utilizando a rodovia com o risco potencial do tipo de acidente com consequências mais graves em relação aos fatores estudados. Desta forma elaborou-se uma imagem para resumir a avaliação do risco de acidentes com vazamento e/ou explosão de produto perigoso em cada segmento da rodovia BR-101 nos dois sentidos de fluxo com base na escala de cores que representem o nível de risco em cada segmento da rodovia de acordo com as propriedades características de cada produto perigoso. Estas imagens são apresentadas na Figura 24 para o sentido norte (Osório para Torres / RS) e na Figura 25 para o sentido sul (Torres para Osório / RS).

Com os resultados obtidos também elaborou-se mapas para representar o risco médio considerando-se todos os produtos perigosos identificados nas cargas transportadas pela rodovia. Estes mapas são apresentados na Figura 26 para o sentido norte (Osório para Torres / RS) e na Figura 27 para o sentido sul (Torres para Osório / RS).

Assim, as imagens das planilhas (Figura 24 e 25) e dos mapas (Figura 26 e 27) a seguir visam sintetizar os resultados obtidos, para facilitar a análise dos gestores das rodovias e demais partes interessadas. Apresentam uma visão geral dos riscos potenciais da rodovia BR-101, entre Osório, e Torres, por segmento, em ambos os sentidos de fluxo de transporte rodoviário de produtos perigosos.



ONU	P <sub>e</sub>	H <sub>hg</sub>	RISCO POTENCIAL POR TRECHO DA RODOVIA BR-101 - SENTIDO SUL							
			km 0 - 10	km 11 - 20	km 21 - 30	km 31 - 40	km 41 - 50	km 51 - 60	km 61 - 70	km 71 - 80
1001	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
1005	Red	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
1006	Red	White	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
1013	Red	White	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
1049	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
1066	Red	White	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
1072	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
1073	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
1075	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
1120	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
1170	Red	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
1173	Red	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
1193	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
1202	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
1203	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
1210	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
1219	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
1230	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
1263	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
1268	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
1294	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
1301	Red	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
1350	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
1498	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
1778	Red	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
1805	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
1823	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
1824	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
1830	Red	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
1863	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
1866	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
1921	Red	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
1950	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
1971	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
1979	Red	White	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
2014	Red	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
2031	Red	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
2032	Red	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
2055	Red	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
2078	Red	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
2187	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
2209	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
2211	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
2370	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
2582	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
2586	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
2794	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
2810	Red	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
2814	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
3027	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
3052	Red	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
3077	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
3082	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
3109	Red	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
3256	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
3257	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
3295	Red	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
3341	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
3348	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
3373	Red	White	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
3375	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Média	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green

Figura 25 - Imagem resumo da avaliação do risco de acidente com vazamento e/ou explosão de produto perigoso em cada segmento da rodovia BR-101 no sentido Torres – Osório (Sul)

Fonte: Elaborado pelo autor

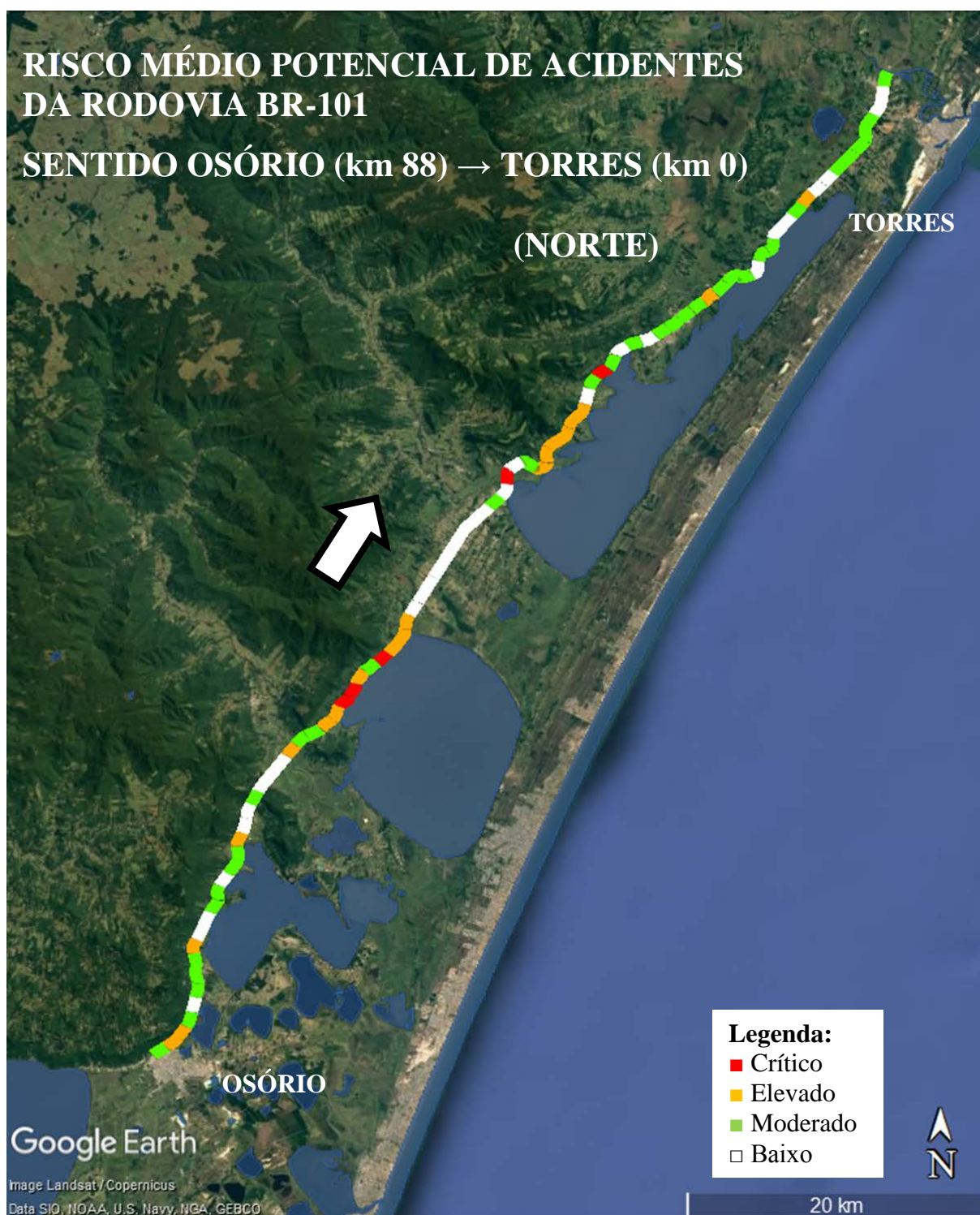


Figura 26 - Mapa com o risco médio potencial de acidente com vazamento e/ou explosão de produto perigoso em cada segmento da rodovia BR-101 no sentido Osório - Torres (Norte)

Fonte: Elaborado pelo autor





Figura 27 - Mapa com o risco médio potencial de acidente com vazamento e/ou explosão de produto perigoso em cada segmento da rodovia BR-101 no sentido Torres – Osório (Sul)

Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.4.13.1 Avaliação do índice de risco potencial de acidentes da rodovia

Os resultados obtidos com a utilização do IRP, sintetizados em planilhas e mapas, permitem uma rápida visualização do cenário complexo de riscos potenciais de acidentes no transporte rodoviário de produtos perigosos no trecho da Rodovia BR-101 entre Torres e Osório, em ambos sentidos de fluxo da rodovia. Observa-se claramente que os riscos potenciais de acidentes variam em razão dos fatores considerados ao longo da rodovia, evidenciando que a situação de risco potencial de acidentes desta natureza não é homogênea ao longo da rodovia, como seria desejável.

As maiores variações no risco potencial encontram-se no sentido de fluxo de Osório a Torres (sentido norte), em que foram identificados alguns segmentos com níveis de risco críticos e elevados mais próximos entre si. A seguir são apresentadas considerações sobre os principais segmentos com riscos potenciais de acidentes críticos e elevados salientados nas Figuras 28 e 29.

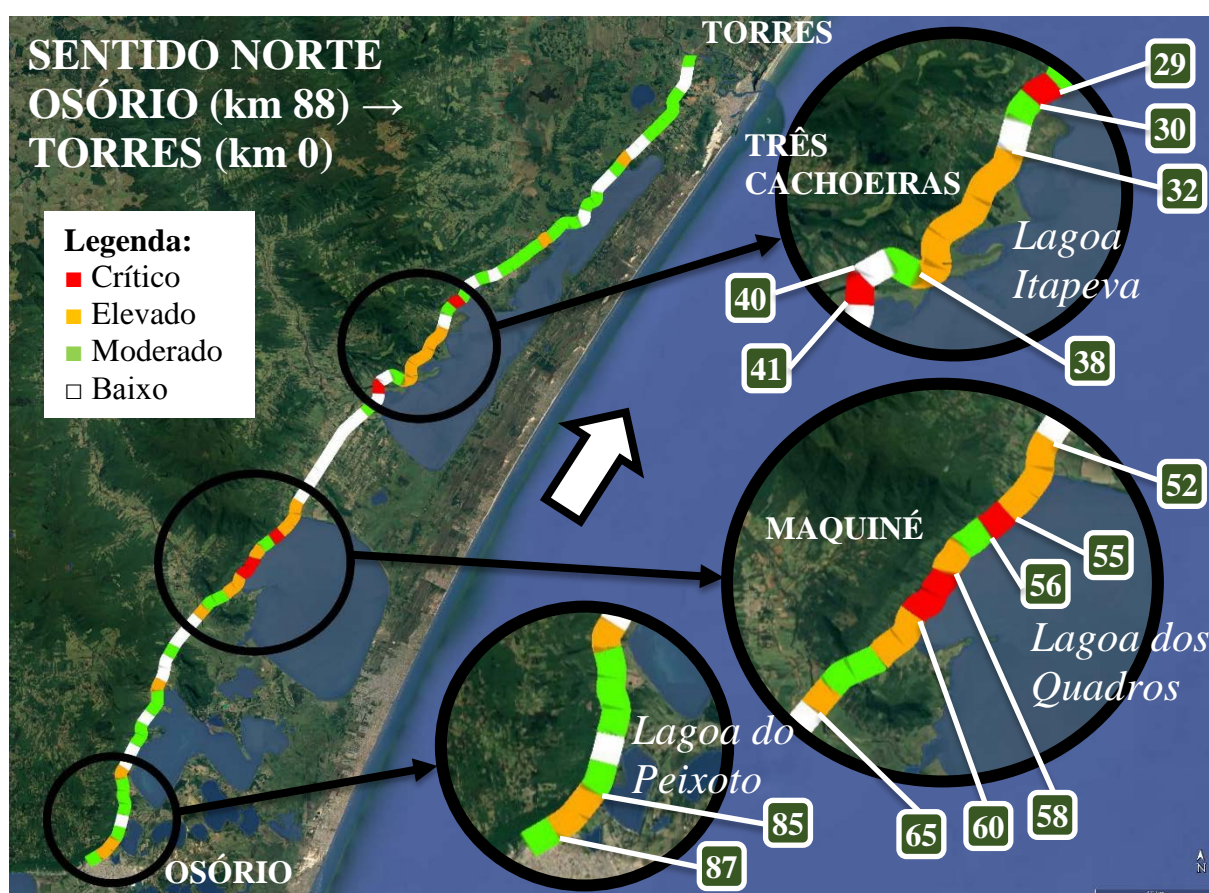


Figura 28 - Mapa de identificação dos segmentos com maior risco médio potencial de acidente com vazamento e/ou explosão de produto perigoso em cada segmento da rodovia BR-101 no sentido Osório - Torres (Norte)

Fonte: Elaborado pelo autor



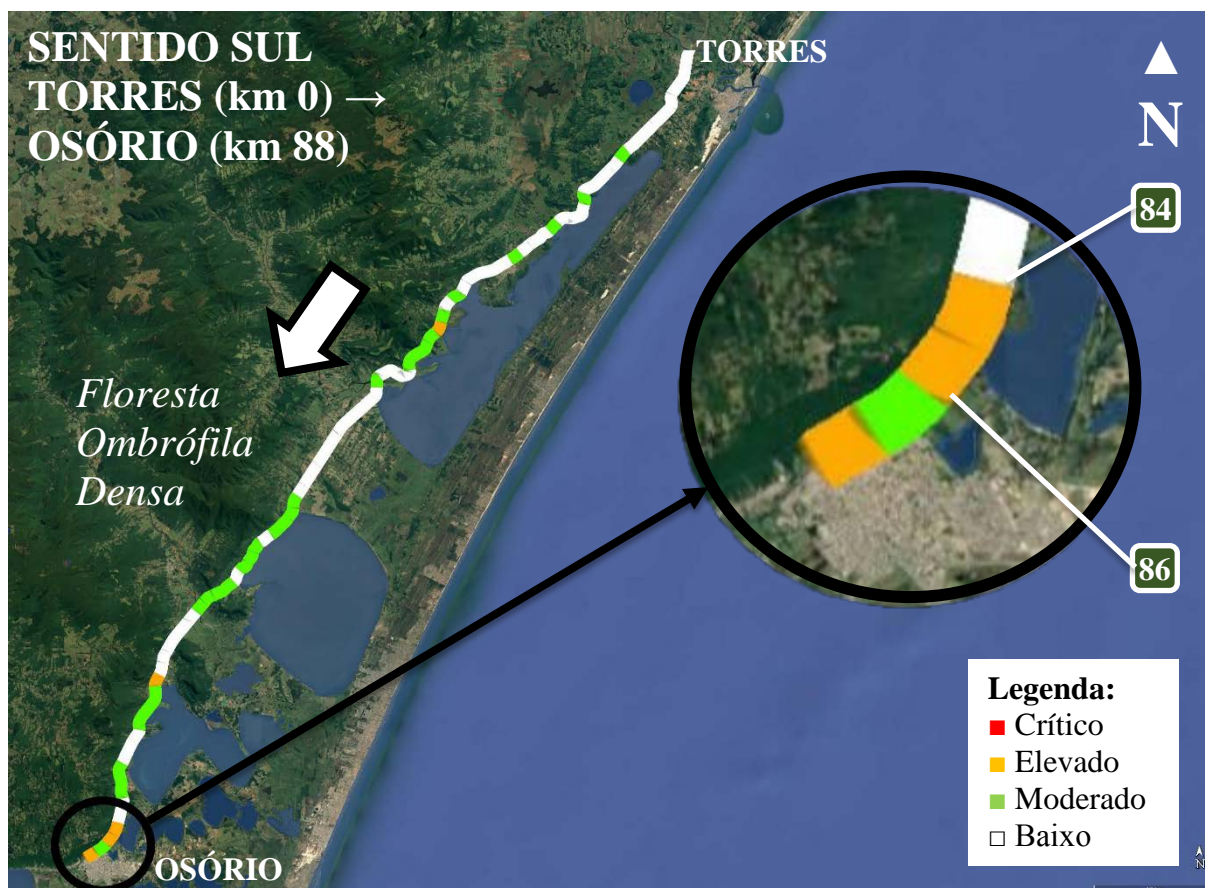


Figura 29 - Mapa de identificação dos segmentos com maior risco médio potencial de acidente com vazamento e/ou explosão de produto perigoso em cada segmento da rodovia BR-101 no sentido Torres - Osório (Sul)

Os seguintes trechos foram classificados com risco potencial crítico: (i) km 29 e 30 (sentido norte) - Elevada vulnerabilidade ambiental e populacional, e déficit de resiliência territorial. Este trecho da rodovia passa a poucos metros da Lagoa Itapeva, e possui 70 % da área entorno da rodovia com densidade populacional entre 20,1 e 50,0 hab/km<sup>2</sup> e 30 % com densidade populacional entre 50,1 e 100,0 hab/km<sup>2</sup>, e fica distante de serviços médicos; (ii) km 40 e 41 (sentido norte) - Vulnerabilidade ambiental crítica devido a Ponte sobre Rio Três Forquilhas, as áreas de banhado, e a Reserva Biológica Estadual Mata Paludosa; (iii) km 55 e 56, e km 58 e 60 (sentido norte) - Elevada vulnerabilidade ambiental e elevado risco viário. Este trecho da rodovia passa a poucos metros da Lagoa dos Quadros e é um dos trechos de maior risco viário da rodovia.

Os seguintes trechos tiveram mais de dois km contínuos de risco potencial elevado: (i) km 32 e 38 (sentido norte) - Elevada vulnerabilidade ambiental, populacional e de infraestruturas. Este trecho da rodovia passa a poucos metros da Lagoa Itapeva, tem populações de 20,1 e 50,0 hab/km<sup>2</sup> na maior parte das áreas, e possuem muitas infraestruturas



de eletricidade; (ii) km 52 e 55 (sentido norte) - Vulnerabilidade ambiental crítica. Este trecho da rodovia passa a poucos metros da Lagoa dos Quadros; (iii) km 85 a 87 (sentido norte) – Elevado risco viário, e elevadas vulnerabilidades ambientais e de infraestruturas. Possui de segmento com o maior risco viário deste trecho da rodovia. A vulnerabilidade ambiental é elevada devido à proximidade da Lagoa do Peixoto e ao solo arenoso. Esta área possui muitas infraestruturas de eletricidade, como uma grande subestação elétrica e cabos de alta tensão cruzando a rodovia. (iv) km 84 a 86 (sentido norte) – Elevadas vulnerabilidades ambientais e de infraestruturas. A vulnerabilidade ambiental é elevada devido à APA Municipal de Osório (Morro da Borússia) e ao solo arenoso. Esta área possui muitas infraestruturas de eletricidade, inclusive cabos de alta tensão cruzando a rodovia.

Pela análise dos resultados estimou-se que 5 km dos segmentos tem risco crítico (2,84 %), 24 km tem risco elevado (13,64 %), 64 km tem risco moderado (36,78%) e 83 km tem risco baixo (47,16 % ). O estudo de Tinoco, Nodari e Pereira (2016) estimou na mesma rodovia que 8 (4,55%) km apresentam vulnerabilidade crítica e 38 km (21,59%) apresentam vulnerabilidade elevada. Verifica-se também que os riscos potenciais de acidentes são mais altos no sentido de fluxo norte devido à grande quantidade de lagoas no lado leste da rodovia.

## 4 COMENTÁRIOS FINAIS

Este trabalho teve por objetivo propor um método integrado genérico de avaliação do risco potencial de acidentes no transporte rodoviário de produtos perigosos que contribua para a validação de modelos anteriores e fontes de dados, e possa ser utilizado pelos gestores de rodovias. Como objetivos específicos propõe um índice de risco potencial de acidentes para aplicação genérica em rodovias e aplicar o método integrado genérico a uma rodovia.

As principais contribuições advindas do desenvolvimento do método foram: (i) a integração de vários métodos para possibilitar a aplicação genérica a qualquer rodovia; (ii) a possibilidade de auxiliar aos gestores de rodovias no planejamento do processo de tomada de decisões em operações de emergência, por poder disponibilizar informações específicas padronizadas da rodovia sobre todos os fatores relevantes; (iii) a perspectiva de que as informações obtidas possam apoiar a priorização das ações preventivas e definição de políticas públicas, pela identificação dos fatores que tornam alguns segmentos da rodovia com riscos potenciais de acidentes críticos ou elevados; (iv) a aplicabilidade da revisão de segurança de viária para a estimativa da probabilidade de acidentes no transporte rodoviário de produtos perigosos, podendo ser utilizada pelos gestores onde não há registros estatísticos ponderáveis; (iv) a aplicabilidade na avaliação de segmentos rodoviários curtos, em trechos específicos, que possibilita a simular o efeito da implantação de melhorias nas infraestruturas da rodovia e nos recursos humanos alocados para apoiar as solicitações de investimentos pelos gestores das rodovias e partes interessadas; (vi) a ponderação dos fatores que influenciam o IRP utilizando o AHP com o respaldo da avaliação por especialistas, que pode melhorar a assertividade dos resultados obtidos; (vii) a proposição de utilizar a resiliência territorial como fator atenuante do IRP; (viii) a proposta de ponderar o dano potencial dos produtos perigosos pela classificação NFPA 704 e GHS, pela facilidade de utilização e obtenção de informações dos fabricantes.

Ao longo do desenvolvimento do método, foram selecionados os seguintes fatores para estimar o IRP: (i) o perigo intrínseco implícito a um acidente ( $P_e$ ), (ii) o dano potencial inerente a um produto perigoso ( $H_{hg}$ ), (iii) a vulnerabilidade ambiental ( $V_a$ ), (iv) a vulnerabilidade populacional ( $V_p$ ), (v) a vulnerabilidade das infraestruturas ( $V_i$ ) e (vi) a resiliência territorial ( $R_t$ ). Com estes fatores que influenciam o risco potencial de acidentes no

transporte rodoviário de produtos perigosos tornou-se necessário encontrar uma forma de ponderar a influência dos fatores escolhidos para a aplicação no método proposto. Por essa razão, foi utilizada o, por especialistas, como forma de determinar a importância desses fatores e de suas principais características. O fator avaliado de maior peso foi a vulnerabilidade populacional (33,6%), com forte influência da característica de densidade demográfica (72,9%). Destacam-se também os fatores relativos ao dano inerente ao produto perigoso (25,7%) e a vulnerabilidade ambiental (24,0%). O fator vulnerabilidade ambiental foi fortemente influenciado pela característica recursos hídricos (56,9%). O fator resiliência territorial (10,5%) teve maior influência da disponibilidade da característica de serviços médicos (56,9%). No fator vulnerabilidade de infraestrutura (6,2 %) destacou-se a importância dada à característica água potável (49,0%).

Quanto as falhas e lacunas identificadas pela pesquisa do NASEM (2013) buscou-se validar algumas técnicas utilizadas em estudos anteriores em que destacam-se: (i) revisão de segurança viária aplicada a vias existentes para estimativa do risco viário (NODARI, 2003; TINOCO; NODARI; PEREIRA, 2016); (ii) uso de quadrículas para estimar vulnerabilidades ambientais (CETESB, 2012; TINOCO; NODARI; PEREIRA, 2016); (iii) classificação do tipo de acidente rodoviário com produtos perigosos (ESPAÑA, 1996; MARTÍNEZ-ALEGRÍA; ORDÓÑES; TABOADA, 2003); (iv) classificação do dano inerente dos produtos perigosos baseado em escalas de propriedades características (MARTÍNEZ-ALEGRÍA; ORDÓÑES; TABOADA, 2003; RAO et al., 2004); (v) uso do AHP para a avaliação do risco de acidentes no transporte de produtos perigosos (BORGHETTI et al., 2015; (vi) CORDEIRO et al., 2016); (vii) divisão da rodovia em segmentos para a avaliação do risco (TABOADA et al., 2006; MATÍAS et al., 2007; TINOCO; NODARI; PEREIRA, 2016); e (viii) avaliação da resiliência territorial (Garbolino et al., 2013). Também buscou padronizar estes métodos e processos, e consultar especialistas.

O estudo de caso desenvolvido foi a aplicação do método determinando IRP para cada segmento da Rodovia BR-101 entre Osório e Torres (88 km) em ambos os sentidos (norte e sul). Baseando-se no IRP obtido para cada segmento (1 km) da rodovia foi classificado conforme o risco potencial de acidentes: crítico, elevado, moderado e baixo. O principal objetivo desta classificação é identificar os trechos mais críticos para ações de prevenção, para a busca das desejadas condições de risco potencial de acidentes homogêneas ao longo da rodovia. Uma vantagem do método utilizar a classificação por segmentos é a possibilidade de

simular com facilidade o efeito da implantação de melhorias na rodovia, para a elaboração de justificativas para investimentos. No caso de redução do risco viário pela melhoria de alguma das 34 características avaliadas em um determinado segmento da rodovia, ou do aumento da resiliência pela implantação de serviços ou equipamentos para atendimento ou prevenção de acidentes próximos a vários segmentos da rodovia, o IRP do segmento poderia reduzir. O conhecimento do grau de risco potencial de acidentes por segmento possibilita o direcionamento de ações de melhoria que efetivamente irão alterar o grau de risco de um ou mais segmentos. Desta forma, o modelo proposto pode auxiliar os gestores de rodovias no planejamento do processo de tomada de decisões em operações de emergência, a partir da identificação de áreas com maior risco potencial de acidentes no transporte de produtos perigosos. Poderão ser direcionados investimentos em melhorias para minimizar os riscos de acidentes dos trechos mais críticos. Os resultados obtidos também revelaram que no trecho da Rodovia BR-101 entre Osório e Torres, trafegaram 22.983,46 toneladas (10,03% do total de cargas do Estado), das quais 3.882,90 toneladas (12,05% do total) de cargas perigosas. Estas informações comprovam a importância deste trecho da BR 101 na movimentação de cargas rodoviárias no Rio Grande do Sul e especialmente das cargas com produtos perigosos.

Recomenda-se, para trabalhos futuros, a aplicação do método utilizado para identificar possibilidades de melhoria em outras rodovias, e também para contribuir com a sua validação. O modelo pode tornar-se mais assertivo e abrangente com a inclusão de outros fatores e características para ponderação, que aumentem a abrangência dos fatores e características consideradas. Tais como: (i) característica fauna, para o fator vulnerabilidade ambiental; (ii) característica sistemas de tratamento de esgotos, para o fator vulnerabilidade de infraestrutura; e (iii) característica sistemas de retenção e contenção, para derramamentos de produtos perigosos, para o fator resiliência territorial.

Seria importante para o desenvolvimento de novos estudos, o direcionamento de recursos e pesquisas no sentido de prover condições para melhorar a qualidade da coleta de dados sobre a rodovia e o seu entorno, bem como da forma de armazenamento e disponibilização dos dados. Algumas rodovias possuem câmeras, com softwares de reconhecimento ótico de caracteres, nos acessos de entrada, para identificação das cargas transportadas pelo painel de segurança, onde consta o número da ONU. Desta forma são obtidas informações importantes sobre o produto perigoso transportado, para emergências e para o banco de dados.

Outra oportunidade de estudo para complementar essa pesquisa poderia ser o desenvolvimento de algoritmos e a aplicação de softwares adequados para a identificação e classificação das classes de risco por segmento da rodovia. Com a delimitação de áreas em mapas temáticos do IBGE podem ser desenvolvidos algoritmos para classificação ponderada de algumas características no entorno da rodovia, como: vegetação, população, solo, recursos hídricos, e outros. Com a identificação de pontos georreferenciados em mapas podem ser desenvolvidos algoritmos para contagem e classificação ponderada de muitas características no entorno da rodovia, como: postos de gasolina, pontes, hospitais, centrais de bombeiros, sistemas de retenção de derramamentos, e outros. Poderiam ser utilizados métodos aprendizado de máquina, por máquina de vetor suporte, para que a margem de separação entre as classes de classificação de risco potencial de acidentes fosse a máxima. Esta aplicação justifica-se pela quantidade de fatores que determinam o estado de cada segmento rodoviário específico. A utilização do modelo proposto pelos gestores de rodovias pode ser ampliada, com o desenvolvimento de ferramentas adequadas, que facilitem o levantamento e tratamento de dados.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). **O transporte terrestre de produtos perigosos no Mercosul**, Brasília: ANTT, 2012. 20p.

\_\_\_\_\_. **Manual de Fiscalização de Rodovias Federais Concedidas**, Brasília: ANTT, 2016. 108 p.

ALHAJRAF, S.; AL-AWADHI, L.; AL-FADALA, S.; AL-KHUBAIZI, A.; KHAN, A.R.; BABY, S. Real-time response system for the prediction of the atmospheric transport of hazardous materials. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 18, 520–525. 2005.

ALMEIDA, A. T., CAVALCANTE, C. A. V., ALENCAR, M. H., FERREIRA, R. J. P., DE ALMEIDA-FILHO, A. T., GARCEZ, T. V. Preventive maintenance decisions. In: **Multicriteria and Multiobjective Models for Risk, Reliability and Maintenance Decision Analysis**. Springer, Cham, 2015. p. 215-232.

ARAÚJO, G. M. de. **Segurança na Armazenagem, Manuseio e Transporte de Produtos Perigosos: Gerenciamento de Emergência Química**. 2. ed. Rio de Janeiro: Gerenciamento verde, 2005. 944p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14725-4: Produtos químicos — Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente Parte 4: Ficha de informações de segurança de produtos químicos (FISPQ)**. Rio de Janeiro, 2009.

BELTRAMI, A. C.; FREITAS, C. M.; MACHADO, J. H. M. Acidentes com produtos perigosos no Brasil, no período 2006-2009: análise dos dados dos sistemas de informações como subsídio às ações de vigilância em saúde ambiental. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 21, p. 439-448, 2012.

BERSANI, C.; MINCIARDI, R.; TOMASONI, A. M.; SACILE, R. Risk averse routing of hazardous materials with scheduled delays. In: **Security and Environmental Sustainability of Multimodal Transport**. Springer, Dordrecht, 2010. p. 23-36.

BORGHETTI, F.; GANDINI, P.; IULIANO, R.; PASTORELLI, G.; STUDER, L. Assessment of Areas Exposed to Damage by Dangerous Goods Transportation: Application of Analytic Hierarchy Process Method for Land Covers Weighing. **Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2015 IEEE 18th International Conference on**. IEEE, 2015. p. 2551-2556.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2000; 19 jul.

\_\_\_\_\_. Decreto nº 2.657, de 3 de julho de 1998. Promulga a Convenção nº 170 da OIT, relativa à Segurança na Utilização de Produtos Químicos no Trabalho, assinada em Genebra, em 25 de junho de 1990. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 1998; 6 jul.

\_\_\_\_\_. Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água, dá diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece condições e padrões de lançamento de efluentes. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 18 mar. 2005, págs. 58-63.

\_\_\_\_\_. Ministério dos Transportes. Secretaria de Política Nacional de Transportes. Plano Nacional de Logística e Transporte: projeto de reavaliação de estimativas e metas do PNL. **Relatório final**. Brasília: Ministério dos Transportes: 2012

\_\_\_\_\_. Ministério do Trabalho e Emprego (MTE). Portaria nº 229, de 24 de maio de 2011. Altera a Norma Regulamentadora 26 – Sinalização de Segurança. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 27 maio 2011.

\_\_\_\_\_. Resolução da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) nº 5232, de 14 de dezembro de 2016. Aprova as Instruções Complementares ao Regulamento do Transporte Terrestre de produtos Perigosos, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 14 dez. 2016.

BRZOZOWSKA, L. **Computer simulation of impacts of a chlorine tanker truck accident. Transportation research part D: transport and environment**, v. 43, p. 107-122, 2016.

BUBBICO, R., CONFORTI, M., MAZZAROTTA, B., TrHazGis: Metodologia GIS di analisi di rischio nel trasporto stradale di sostanze pericolose (TrHazGis: GIS methodology for hazardous goods transportation risk analysis). **In: Proceedings of the Conference VGR – Risk Management and Evaluation, 17– 19 October 2006**, Pisa, Italy. 2006.

BUBBICO, R.; DI CAVE, S.; MAZZAROTTA, B. Risk analysis for road and rail transport of hazardous materials: a GIS approach. **Journal of loss Prevention in the Process Industries**, Amsterdam, v. 17, n. 6, p. 483-488, 2004.

BUBBICO, R., FERRARI, C. E MAZZAROTTA, B. Risk analysis of LPG transport by road and rail. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, Amsterdam, v. 13, p. 27-31, 2000.

CHAKRABORTY, J.; ARMSTRONG, M. P. Using geographic plume analysis to assess community vulnerability to hazardous accidents. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 19, p. 341–356, 1995.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **CONSULTA Nº 02/2012**. Programa de Gerenciamento de Riscos para Administradores de Rodovias para o Transporte de Produtos Perigosos. São Paulo, 2012.

\_\_\_\_\_. **Emergências Químicas: Manual de Produtos Químicos**. São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/emergencias-quimicas/manual-de-produtos-quimicos>>. Acesso em: 30/05/2018.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Plano CNT de Transporte e Logística 2011**. Brasília, 2011. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/Paginas/Plano-CNT-de-Logística.aspx>>. Acesso em: 17 de julho de 2017.

COMPLIANCE SIGNS.COM. **NFPA 704 Hazard Rating Explanation Guide**. Chadwick, 2017. Disponível em: < [https://www.compliancesigns.com/NFPA-Chart\\_2.shtml](https://www.compliancesigns.com/NFPA-Chart_2.shtml)>. Acesso em: 17 de julho de 2017.

CORDEIRO, F. G.; BEZERRA, B. S.; PEIXOTO, A. S. P.; RAMOS, R. A. R. Methodological aspects for modeling the environmental risk of transporting hazardous materials by road. **Transportation research part D: transport and environment**, v. 44, p. 105-121, 2016.

CORDEIRO, F.G. (2014). **Método para avaliação de risco ambiental de acidentes de trânsito envolvendo produtos perigosos usando análise multicritério**. 2014 189 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Bauru.

CORDEIRO, F. G.; BEZERRA, B. S.; PEIXOTO, A. S. P. Methodological aspects for modelling environmental risk of road accidents with transportation of hazardous materials. **International Co-operation on Theories and Concepts in Traffic Safety**, v. 1, p. 1-11, 2012.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO (CBPMESP). **Coletânea de Manuais Técnicos de Bombeiros – 21: Atendimento às Emergências com Produtos Perigosos**. São Paulo, 2006.

\_\_\_\_\_. **Instrução Técnica nº 32/2018: Produtos perigosos em edificações e áreas de risco**. São Paulo, 2018. Disponível em: <[http://www.ccb.policiamilitar.sp.gov.br/icb/wp-content/uploads/2018/03/it\\_32\\_2018.pdf](http://www.ccb.policiamilitar.sp.gov.br/icb/wp-content/uploads/2018/03/it_32_2018.pdf)>. Acesso em: 30/05/2018.

CORPO DE BOMBEIROS DO PARANÁ (CBMPR). **Norma de Procedimento Técnico NPT 032 - Produtos perigosos em edificações e áreas de risco**. Curitiba, 2012. Disponível em: <<http://www.bombeiros.pr.gov.br/arquivos/File/bombeiros/vistoria/NPT03211Produtosperigososemedificacoesareasderisco.pdf>>. Acesso em: 30/05/2018.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DE GOIÁS (CBMGO). **Manual operacional de bombeiros: produtos perigosos**. Goiânia: 2017. 123 p. Disponível em: <<http://www.bombeiros.go.gov.br/wp-content/uploads/2015/12/01-MOB-Produtos-Perigosos-CBMGO-2017-Corrigido.pdf>>. Acesso em: 30/05/2018.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (CBMERJ). Grupamento de Operações com Produtos Perigosos (GOPP). **Manual básico de operações com produtos perigosos**. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **Procedimento Operacional Padrão - 14: Incêndio em armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis**. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <[http://pop.cbmerj.rj.gov.br/arquivos/POP\\_Incendio\\_TANQUES.pdf](http://pop.cbmerj.rj.gov.br/arquivos/POP_Incendio_TANQUES.pdf)> Acesso em: 30/05/2018.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO (CBMES). **Apostila do Curso de Formação de Brigadistas Profissionais: Módulo Emergências Químicas** BP. Espírito Santo: 2016. 52 p. Disponível em: <<https://cb.es.gov.br/Media/CBMES/PDF's/CEIB/SCE/Material%20Didatico/CFBP-EMERGENCIAS%20QUIMICAS%20-2016.pdf>>. Acesso em: 30/05/2018.



DURBACH, I. N.; STEWART, T. J. Modeling uncertainty in multi-criteria decision analysis. **European Journal of Operational Research**, v. 223, n. 1, p. 1-14, 2012.

EASTMAN, J. R. **Idrisi Taiga**: Guide to GIS and image processing. Worcester: Clark Labs, 2009. 325 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Agenda 21 do município de Campinas-SP**. Núcleo de Monitoramento Ambiental. 2003. Campinas, 2003.

ESPAÑA. Real Decreto 387, de 1 de marzo de 1996. Aprueba la Directriz básica de planificación de protección civil ante el riesgo de accidentes en los transportes de mercancías peligrosas por carretera y ferrocarril. Ministerio de Justicia e Interior. **Boletín Oficial del Estado**, Madrid, núm. 71, p. 10998, 22 marzo 1996.

EUROPEAN UNION (EU). Seveso II Directive [Council Directive 96/82/EC of December 9, 1996 on the control of major-accident hazards involving dangerous substances. **Official Journal of the European Communities**, vol. L 10, January 14, 1997, Luxembourg, 1997.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIS ROESSLER (FEPAM). **Mapa de Classificação dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul quanto à Resistência a Impactos Ambientais**. Porto Alegre, 2011.

\_\_\_\_\_. **Relação Acidentes de Transporte de Cargas Perigosas Atendidos Pelo Serviço De Emergência**. Porto Alegre, 2017. Disponível em [http://www.fepam.rs.gov.br/emergencia/rel\\_acidentes.asp](http://www.fepam.rs.gov.br/emergencia/rel_acidentes.asp) Acesso em 15/10/2017.

FERNÁNDEZ, D. C. **Desarrollo de un Sistema de Gestión y Seguimiento de Mercancías Peligrosas**. 2014. 286 p. Trabajo Fin de Grado - Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática - Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Valladolid, Valladolid, 2014.

FRANCE. Arrêté du 29 septembre 2005, relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation. **Journal Officiel**, n° 234 du 7 octobre 2005, Paris.

GARBOLINO E.; LACHTAR D. Vulnérabilité et résilience du territoire face aux transports de marchandises dangereuses (TMD) dans un contexte transfrontalier. Chiara Bersani and Roberto Sacile editors. **Sécurité des Transports des Marchandises dans l'Eurorégion Alpes-Méditerranéennes**, DIST-UNIGE, p. 186-255 - Chapitre 2, 2012.

GARBOLINO, E., LACHTAR, D., SACILE, R., BERSANI, C. Vulnerability and resilience of the territory concerning risk of dangerous goods transportation (DGT): proposal of a spatial model. **Chemical Engineering Transactions**, v. 32, p. 91-96, 2013.

GIACONE, M. O.; NAVARRETTA, A.; BRATTA, F. PTA-DESTINATION: A Decision Support System To Ensure Human And Environmental Protection. **WIT Transactions on The Built Environment**, v. 160, p. 133-143, 2016.

GIACONE, M. O., BRATTAA, F., GANDINIB, P., & STUDER, L. Dangerous goods transportation by road: a risk analysis model and a global integrated information system to

monitor hazardous materials land transportation in order to protect territory. **CHEMICAL ENGINEERING**, v. 26, 2012.

GIRSANG, A. S.; TSAI, C. W.; YANG, C. S. Multi-objective particle swarm optimization for repairing inconsistent comparison matrices. **International Journal of Computers and Applications**, v. 36, n. 3, p. 101-109, 2014.

GOLDSCHMIDT, R.; PASSOS, E. L. **Data mining: um guia prático: conceitos, técnicas, ferramentas, orientações e aplicações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005. 261 p.

GRIOT, C. Vulnerable Territories Faced with a Major Risk: The Transport of Hazardous Materials. **Géocarrefour**, v. 82, n. 1, p. 51-63, 2007.

HUANG, I. B.; KEISLER, J.; LINKOV, I. Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: ten years of applications and trends. **Science of the total environment**, v. 409, n. 19, p. 3578-3594, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Relatório de Acidentes Ambientais**. Disponível em: <[http://www.ibama.gov.br/phocadownload/relatorios/acidentes\\_ambientais](http://www.ibama.gov.br/phocadownload/relatorios/acidentes_ambientais)>. Acesso em: 16 jul. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 1272 p.

\_\_\_\_\_. **Mapa da Densidade demográfica 2010**. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <[ftp://geofp.ibge.gov.br/cartas\\_e\\_mapas/mapas\\_do\\_brasil/sociedade\\_e\\_economia/mapas\\_murais/densidade\\_populacional\\_2010.pdf](ftp://geofp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/mapas_do_brasil/sociedade_e_economia/mapas_murais/densidade_populacional_2010.pdf)>. Acesso em: 16 jul. 2017.

KAZANTZI, V., KAZANTZIS, N., GEROGIANNIS, V.C. Risk informed optimization of a hazardous material multi-periodic transportation model. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 24, n. 6, p. 767-773, 2011.

KRŠÁK, E.; HERKT, P. **Technical Infrastructure for Monitoring the Transportation of Oversized and Dangerous Goods**. Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems, 2012.

LI, F.; BI, J.; HUANG, L.; QU, C.; YANG, J.; BU, Q. Mapping human vulnerability to chemical accidents in the vicinity of chemical industry parks. **Journal of hazardous materials**, v. 179, n. 1-3, p. 500-506, 2010.

MACHADO, E. R.; VALLE JÚNIOR, R. F.; FERNANDES, L. F. S.; PACHECO, F. A. L. The vulnerability of the environment to spills of dangerous substances on highways: A diagnosis based on Multi Criteria Modeling. **Transportation research part D: transport and environment**, v. 62, p. 748-759, 2018.

MALCZEWSKI, J. On the use of weighted linear combination method in GIS: Common and best practice approaches. **Transactions in GIS**, v. 4, n. 1, p. 5-22, 2000.

MALCZEWSKI, J. **GIS and Multicriteria Decision Analysis**, John Wiley and Sons, New York, p. 392, 1999.

MARTÍNEZ-ALEGRÍA, R. **Riesgos ambientales en el tráfico de mercancías peligrosas por carretera**. Tesis Doctoral – Departamento de Ingeniería de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente. Universidad de Vigo, Vigo, España. 2005. 319p

MARTÍNEZ-ALEGRÍA, R.; ORDÓÑEZ, C.; TABOADA, J. A conceptual model for analyzing the risks involved in the transportation of hazardous goods: implementation in a Geographic Information System. **Human and Ecological Risk Assessment**, Philadelphia, v. 9, n. 3, p. 857-879, 2003.

MATÍAS, J. M.; TABOADA, J.; ORDÓÑEZ, C.; NIETO, P. G. Machine learning techniques applied to the determination of road suitability for the transportation of dangerous substances. **Journal of hazardous materials**, v. 147, n. 1-2, p. 60-66, 2007.

MILANEZ, P. V. M. Situação dos transportes de carga no Rio Grande do Sul. **Estudos Deplan**, Porto Alegre, nº3, p. 34-45, 2015.

MILAZZO, M. F.; LISI, R.; MASCHIO, G.; ANTONIONI, G.; BONVICINI, S.; SPADONI, G. HazMat transport through Messina town: from risk analysis suggestions for improving territorial safety. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**. v. 15, 347–356, 2002.

MILAZZO, M. F.; LISI, R.; MASCHIO, G.; ANTONIONI, G.; SPADONI, G. A study of land transport of dangerous substances in Eastern Sicily. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**. 23, 393–403. 2010.

MINGARRO, A. S. **Evolución del modelo de evaluación del riesgo en el transporte de mercancías**. 2015. 373 p. Trabajo Fin de Grado - Ingeniería en Organización Industrial - Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Valladolid, Valladolid, 2014.

MONTOYA, C. Y. O. **Propuesta metodológica para la evaluación del riesgo ambiental debido al manejo de materiales peligrosos en el estado de San Luis Potosí**. Tesis (Doctorado en Ciencias Ambientales) - Programas Multidisciplinarios de Posgrado en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 2015.

NETO, J. C. S. **Níveis de atendimento em ocorrências envolvendo produtos perigosos: proposta de padronização ao corpo de bombeiros militar de Santa Catarina**. 2016. 109 p. **Monografia** (Curso de Formação de Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina) - Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, Academia Bombeiro Militar. Florianópolis, 2016.

NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE (NASEM). Hazardous Materials Transportation Risk Assessment: State of the Practice. Washington, DC: The National Academies Press, Washington, DC. 2013. <https://doi.org/10.17226/22544>

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION (NFPA). **NFPA 400: Hazardous Materials Code**. Quincy, 2016.

\_\_\_\_\_. **NFPA 704: standard system for the identification of the hazards of materials for emergency response**. Quincy, 2017.

NODARI C. **Método de avaliação da segurança potencial de segmentos da rodovia rurais de pista simples**, Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2003

NOWACKI, G.; KRYSIUK, C.; KOPCZEWSKI, R. Dangerous Goods Transport Problems in the European Union and Poland, **The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation**, v. 10, n. 1, 2016.

PASTORELLI, G.; SEMINATI, P. **Analisi di rischio da Trasporto Merci Pericolose (Dangerous substances transportation)**. In: Conferenza Finale Progetto Destination (Destination Project Final Conference), 5 February 2014, Turin, Italy. 2014.

PEDRO, F. G. **Acidentes com transporte rodoviário de produtos perigosos: análise e aplicação de modelo conceitual georreferenciado para avaliação de risco ambiental no município de Campinas-SP**. 2006. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, 2006.

PEDRO, F. G.; COSTA, D. C. Vulnerabilidade e Gravidade Ambiental Devido a Acidentes com Transporte Rodoviário de Combustíveis no Município de Campinas – SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 61, 2009.

QUARANTA, N.; DEMARTINI, A.; BELLASIO, R.; BIANCONI, R.; MARIONI, M. A decision support system for the simulation of industrial accidents. **Environmental Modelling & Software**, v. 17, p. 497–504. 2002.

RAMOS, R.A.R. E MENDES, J.F.G. Avaliação da Aptidão do Solo para Localização Industrial: O Caso de Valença. 2001. **Revista Engenharia Civil**, Universidade do Minho, Portugal, nº10, p. 7-29, 2001.

RAO, K. R.; RAO, S. V.; CHARY, V. Estimation of risk indices of chemicals during transportation. *Process safety progress*, v. 23, n. 2, p. 149-154, 2004.

RIO GRANDE DO SUL (estado). Secretaria de Transportes. **Plano Estadual de Logística e Transportes do Rio Grande do Sul (PELT/RS)**. Relatório Parcial com as Hipóteses de Referência, Porto Alegre, 2014. Disponível em: <http://www.peltrs.stm.rs.gov.br/images/produtos/Produto%209.1.pdf>. Acessado em 11/01/2016.

SAATY, T. L. Relative measurement and its generalization in decision making why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors the analytic hierarchy/network process. **RACSAM-Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Fisicas y Naturales. Serie A. Matematicas**, v. 102, n. 2, p. 251-318, 2008.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. **Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process** (2 ed., International Series in Operations Research & Management Science, 175). New York: Springer. 345 p., 2012.

SILVA, F. N. da. **Avaliação do risco associado a atividades industriais e de transporte de substâncias perigosas**, 2007. 128 f. – Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Departamento de ambiente e ordenamento, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2007.

SIQUEIRA, H. E. **Vulnerabilidade ambiental dos recursos hídricos interceptados por rodovias na bacia do Rio Uberaba**. 2016. 54 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, São Paulo, 2016.

SIQUEIRA, H. E.; PISSARRA, T. C. T.; VALLE JUNIOR, R. F.; FERNANDES, L. F. S.; PACHECO, F. A. L. A. Multi criteria analog model for assessing the vulnerability of rural catchments to road spills of hazardous substances. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 64, p. 26-36, 2017.

SOTO, D.; RENARD, F. New prospects for the spatialisation of technological risks by combining hazard and the vulnerability of assets. **Natural Hazards**, v. 79, n. 3, p. 1531-1548, 2015.

STUDER, L., BORGHETTI, F., GANDINI, P., MAJA, R., & TODESCHINI, V. Improving Knowledge of Risk in Dangerous Goods Transport. In: **19th ITS World Congress**. ITS World Congress, 2012. p. 1-9.

TENA-CHOLLET, Florian et al. Development of a spatial risk assessment tool for the transportation of hydrocarbons: Methodology and implementation in a geographical information system. **Environmental modelling & software**, v. 46, p. 61-74, 2013;

TABOADA, J.; MATÍAS, J. M.; SAAVEDRA, A.; ORDÓÑEZ, C.; MARTÍNEZ-ALEGRÍA, R. Neural network models for assessing road suitability for dangerous goods transport. **Human and Ecological Risk Assessment**, 12(1), 174-191, 2006.

TAHA, H. A. **Pesquisa Operacional: uma visão geral**. Pearson Prentice Hall, 8ª Ed. São Paulo, 2007.

TINOCO, M. A. C.; NODARI, C. T.; PEREIRA, K, R, S. Vulnerabilidade ambiental, social e viária em acidentes com transporte de produtos perigosos: estudo de caso na BR-101 entre Osório e Torres, Rio Grande do Sul, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 32, n. 9, 2016.

TORRETTA, V.; CAPODAGLIO, A. G. Strategic environmental assessment: a critical review of procedural soundness and reliability. **Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)**, v. 16, n. 1, 2017.

TORRETTA, V.; RABONI, M.; COPELLI, S.; URBINI, G. Application of a decision support system to the transport of hazardous materials. **Environmental Engineering and Management Journal**, v. 12, p. 2031–2039, 2013.

TROGLIO, J.; NODARI, C. T.; CALLEGARO, A. M. Proposta de método para avaliação do risco potencial de acidentes no transporte rodoviário de produtos perigosos. In: Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 32., 2018. **Anais...** Gramado: ANPET, 2018.

UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE (UNECE). **Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS)**. 7th Rev. United Nations New York and Geneva, 2017.

UNITED NATIONS. **Recommendations on the Transport of Dangerous Goods - Manual of Tests and Criteria**, 6<sup>th</sup> ed.; United Nations. New York, 2015.

\_\_\_\_\_. **Recommendations on the transport of dangerous goods: Model regulations.** 20th ed. , New York and Geneva, United Nations Publications, 2017.

UNITED STATES DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (US DOT) **Guidelines for applying criteria to designate routes for transportation hazardous materials.** FHWA-SA-94-083. Federal Highway Administration, Washington DC, USA, 1994.

\_\_\_\_\_. **Code of Federal Regulations. Title 49: Transportation,** Chapter I - Pipeline And Hazardous Materials Safety Administration, Department Of Transportation, Subchapter C: Hazardous Materials Regulations, Part 171: General Information, Regulations, and Definitions. US Government Printing Office, Washington, October 1, 2011.

VOOGD, H. **Multicriteria evaluation for urban and regional planning.** London: Plo, 1983. 125p.

YILMAZ, Z.; EROL, S.; APLAK, H. S. Transportation of hazardous materials (hazmat) a literature survey. Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, 22(1). (2016).

ZHAO, L.; WANGA, X.; QIAN, Y. Analysis of factors that influence hazardous material transportation accidents based on Bayesian networks: a case study in China. Safety Science, v. 50, p. 1049–1055, 2012.

ZOGRAFOS K. G. AND ANDROUTSOPOULOS K.N. A decision support system for integrated hazardous materials routing and emergency response decisions. Transportation Research Part C, v. 16, p. 684-703, 2008.

ZOGRAFOS, K. G.; VASILAKIS, G. M.; GIANNOULI, I. M. Methodological framework for developing decision support systems (DSS) for hazardous materials emergency response operations. Journal of Hazardous Materials, v. 71, p. 503–521, 2000.

## APÊNDICE

### APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO MULTICRITÉRIOS (AHP)

#### Risco Potencial de Acidentes no Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos

##### *Apresentação*

Prezado(a) Senhor(a),

O presente questionário faz parte da minha pesquisa de mestrado desenvolvida no LASTRAN/UFRGS. O estudo trata do desenvolvimento de um "Método de Avaliação do Risco Potencial de Acidentes no Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos".

Este questionário tem por objetivo ponderar fatores que influem na gravidade potencial de um acidente no transporte rodoviário de produtos perigosos consultando especialistas.

Gostaríamos muito de contar com sua colaboração no desenvolvimento deste estudo, e, desde já agradecemos a sua participação.

Ao responder o questionário, caso as respostas não tenham obtido a consistência exigida pelo método, serão emitidos avisos solicitando a revisão das respostas. Ao finalizar, por favor salve o arquivo e o envie para [jefferson.troglio@gmail.com](mailto:jefferson.troglio@gmail.com).

Atenciosamente,

Eng. Jefferson Troglio - Aluno de Mestrado Profissional

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Christine Tessele Nodari

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (PPGEP/UFRGS)



Continuar

## Risco Potencial de Acidentes no Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos

### Fatores que Influenciam a Gravidade das Consequências de um Acidente

1. Ordene os cinco fatores abaixo, sendo 1 o mais importante e 5 o menos importante.

Letra	Critérios	Descrição
a	Dano Inerente do Produto Perigoso	A gravidade é influenciada pelas características físicas e químicas do produto. O perigo associado é proporcional as características agressivas intrínsecas que potencializam os impactos negativos de acidentes. São considerados na avaliação quatro grupos de características: inflamabilidade, toxicidade / corrosão, reatividade e facilidade de liberação de oxigênio.
b	Vulnerabilidade Ambiental	A gravidade é influenciada pela fragilidade do meio ambiente as substâncias emitidas. Quanto maior a sensibilidade da área atingida, maiores serão os efeitos negativos diretos e residuais ao meio ambiente, e o passivo ambiental gerado. São considerados na avaliação três grupos de características: recursos hídricos, vegetação, tipo de solo (permeabilidade).
c	Vulnerabilidade Populacional	A gravidade é influenciada pelo impacto direto danoso a população. São considerados na avaliação dois grupos de características: o tipo de ocupação humana e a densidade populacional. A sensibilidade da ocupação humana refere-se a estimativa do percentual de cobertura da ocupação humana por quilômetro analisado. A densidade populacional considera que um acidente em local densamente povoado torna-se mais significativo.
d	Vulnerabilidade da Infraestrutura	A gravidade é influenciada pelo impacto direto as infraestruturas, com prejuízos imediatos abrangentes. São considerados na avaliação cinco grupos de características: Comunicação, Eletricidade, Combustível, Água Potável, Transportes. São exemplos: antenas de comunicação, redes elétricas, postos de combustíveis, distribuição de água, pontes e viadutos.
e	Resiliência Territorial	A gravidade é atenuada pela existência de elementos para aviso, detecção e/ou capacidade de resposta para ação de emergência entorno da rodovia. Quanto antes for identificado o acidente, mais rápidas serão as intervenções. São considerados na avaliação cinco grupos de características: policiais, bombeiros/equipes de emergência, ambulâncias e hospitais, monitoramentos (câmeras, placas com telefones, e telefones).

Para ordenar os critérios, preencha as células sombreadas com a letra relacionada a cada um:

Ordem	Letra
1	a
2	b
3	c
4	e
5	d

Dano Inerente do Produto Perigoso

Vulnerabilidade Ambiental

Vulnerabilidade Populacional

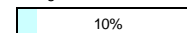
Resiliência Territorial

Vulnerabilidade da Infraestrutura

**SE VOCÊ PREENCHEU TODAS AS CÉLULAS SOMBRADAS E NÃO HÁ NENHUMA MENSAGEM DE ERRO, TECLE ENTER E DEPOIS CLIQUE EM CONTINUAR.**

**Rever** **Continuar**

Progresso:



## Risco Potencial de Acidentes no Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos

### Fatores que Influenciam a Gravidade das Consequências de um Acidente

2. Levando em conta a ordem estabelecida anteriormente, responda as perguntas abaixo sobre a importância relativa entre os fatores.

Ordem	Critérios	Descrição
1	Dano Inerente do Produto Perigoso	A gravidade é influenciada pelas características físicas e químicas do produto. O perigo associado é proporcional as características agressivas intrínsecas que potencializam os impactos negativos de acidentes. São considerados na avaliação quatro grupos de características: inflamabilidade, toxicidade / corrosão, reatividade e facilidade de liberação de oxigênio.
2	Vulnerabilidade Ambiental	A gravidade é influenciada pela fragilidade do meio ambiente as substâncias emitidas. Quanto maior a sensibilidade da área atingida, maiores serão os efeitos negativos diretos e residuais ao meio ambiente, e o passivo ambiental gerado. São considerados na avaliação três grupos de características: recursos hídricos, vegetação, tipo de solo (permeabilidade).
3	Vulnerabilidade Populacional	A gravidade é influenciada pelo impacto direto danoso a população. São considerados na avaliação dois grupos de características: o tipo de ocupação humana e a densidade populacional. A sensibilidade da ocupação humana refere-se a estimativa do percentual de cobertura da ocupação humana por quilômetro analisado. A densidade populacional considera que um acidente em local densamente povoado torna-se mais
4	Resiliência Territorial	A gravidade é atenuada pela existência de elementos para aviso, detecção e/ou capacidade de resposta para ação de emergência entorno da rodovia. Quanto antes for identificado o acidente, mais rápidas serão as intervenções. São considerados na avaliação cinco grupos de características: policiais, bombeiros/equipes de emergência, ambulâncias e hospitais, monitoramentos (câmeras, placas com telefones, e
5	Vulnerabilidade da Infraestrutura	A gravidade é influenciada pelo impacto direto as infraestruturas, com prejuízos imediatos abrangentes. São considerados na avaliação cinco grupos de características: Comunicação, Eletricidade, Combustível, Água Potável, Transportes. São exemplos: antenas de comunicação, redes elétricas, postos de combustíveis, distribuição de água, pontes e viadutos.

1) Qual a importância relativa de **Dano Inerente do Produto Perigoso** em relação a **Vulnerabilidade Ambiental** ?

Igualmente importante  Um pouco mais importante  Mais importante  Muito mais importante  Extremamente mais importante

2) Qual a importância relativa de **Dano Inerente do Produto Perigoso** em relação a **Vulnerabilidade Populacional** ?

Igualmente importante  Um pouco mais importante  Mais importante  Muito mais importante  Extremamente mais importante

3) Qual a importância relativa de **Dano Inerente do Produto Perigoso** em relação a **Resiliência Territorial** ?

Igualmente importante  Um pouco mais importante  Mais importante  Muito mais importante  Extremamente mais importante

4) Qual a importância relativa de **Dano Inerente do Produto Perigoso** em relação a **Vulnerabilidade da Infraestrutura** ?

Igualmente importante  Um pouco mais importante  Mais importante  Muito mais importante  Extremamente mais importante

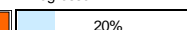
5) Qual a importância relativa de **Vulnerabilidade Ambiental** em relação a **Vulnerabilidade Populacional** ?

Igualmente importante  Um pouco mais importante  Mais importante  Muito mais importante  Extremamente mais importante

**VOCÊ RESPONDEU ADEQUADAMENTE. CLIQUE EM CONTINUAR.**

**Rever** **Continuar**

Progresso:





## Risco Potencial de Acidentes no Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos

### Fatores que Influenciam a Gravidade das Consequências de um Acidente

3. Levando em conta a ordem estabelecida anteriormente, responda as perguntas abaixo sobre a importância relativa entre os fatores.

Ordem	Critérios	Descrição
1	Dano Inerente do Produto Perigoso	A gravidade é influenciada pelas características físicas e químicas do produto. O perigo associado é proporcional as características agressivas intrínsecas que potencializam os impactos negativos de acidentes. São considerados na avaliação quatro grupos de características: inflamabilidade, toxicidade / corrosão, reatividade e facilidade de liberação de oxigênio.
2	Vulnerabilidade Ambiental	A gravidade é influenciada pela fragilidade do meio ambiente as substâncias emitidas. Quanto maior a sensibilidade da área atingida, maiores serão os efeitos negativos diretos e residuais ao meio ambiente, e o passivo ambiental gerado. São considerados na avaliação três grupos de características: recursos hídricos, vegetação, tipo de solo (permeabilidade).
3	Vulnerabilidade Populacional	A gravidade é influenciada pelo impacto direto danoso a população. São considerados na avaliação dois grupos de características: o tipo de ocupação humana e a densidade populacional. A sensibilidade da ocupação humana refere-se a estimativa do percentual de cobertura da ocupação humana por quilômetro analisado. A densidade populacional considera que um acidente em local densamente povoado torna-se mais
4	Resiliência Territorial	A gravidade é atenuada pela existência de elementos para aviso, detecção e/ou capacidade de resposta para ação de emergência entorno da rodovia. Quanto antes for identificado o acidente, mais rápidas serão as intervenções. São considerados na avaliação cinco grupos de características: policiais, bombeiros/equipos de emergência, ambulâncias e hospitais, monitoramentos (câmeras, placas com telefones, e
5	Vulnerabilidade da Infraestrutura	A gravidade é influenciada pelo impacto direto as infraestruturas, com prejuízos imediatos abrangentes. São considerados na avaliação cinco grupos de características: Comunicação, Eletricidade, Combustível, Água Potável, Transportes. São exemplos: antenas de comunicação, redes elétricas, postos de combustíveis, distribuição de água, pontes e viadutos.

6) Qual a importância relativa de **Vulnerabilidade Ambiental** em relação a **Resiliência Territorial** ?

Igualmente importante
  Um pouco mais importante
  Mais importante
  Muito mais importante
  Extremamente mais importante

7) Qual a importância relativa de **Vulnerabilidade Ambiental** em relação a **Vulnerabilidade da Infraestrutura** ?

Igualmente importante
  Um pouco mais importante
  Mais importante
  Muito mais importante
  Extremamente mais importante

8) Qual a importância relativa de **Vulnerabilidade Populacional** em relação a **Resiliência Territorial** ?

Igualmente importante
  Um pouco mais importante
  Mais importante
  Muito mais importante
  Extremamente mais importante

9) Qual a importância relativa de **Vulnerabilidade Populacional** em relação a **Vulnerabilidade da Infraestrutura** ?

Igualmente importante
  Um pouco mais importante
  Mais importante
  Muito mais importante
  Extremamente mais importante

VOCÊ RESPONDEU ADEQUADAMENTE. CLIQUE EM CONTINUAR.

10) Qual a importância relativa de **Resiliência Territorial** em relação a **Vulnerabilidade da Infraestrutura** ?

Igualmente importante
  Um pouco mais importante
  Mais importante
  Muito mais importante
  Extremamente mais importante

Rever

Continuar

Progresso:

31%

## Risco Potencial de Acidentes no Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos

### Vulnerabilidade Ambiental

4. Ordene os três fatores abaixo, sendo 1 o mais importante e 3 o menos importante.

Letra	Critérios	Descrição
a	Vegetação	A vulnerabilidade ambiental da área é influenciada pela sensibilidade da vegetação a um acidente com produtos químicos perigosos. A sensibilidade da vegetação foi atribuída utilizando-se critérios do Código Florestal (BRASIL, 2000) e do Mapa de Vegetação do Brasil (IBGE, 2012). São considerados na avaliação quatro grupos de características: Presença de Unidade de Proteção; Áreas de serra e floresta densa de mata nativa; Áreas de formações pioneiras; Áreas alagadas, banhados, e formações pioneiras fora da área de influência.
b	Recursos Hídricos	A vulnerabilidade ambiental da área é influenciada pela sensibilidade dos recursos hídricos a um acidente com produtos químicos perigosos. A sensibilidade dos recursos hídricos considerou a classificação do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2005). São considerados na avaliação quatro grupos de características: Pontes sobre rio e margens de lagoa (até 100 m) para águas classes especial 1, 2 e 3; Águas classes especial 1, 2 e 3 até 2 km da rodovia com captação pública até 5 km; Águas classes especial 1, 2 e 3 fora da área de influência com captação pública até 5 km; Águas classes especial 1, 2 e 3 fora da área de influência sem captação pública até 5 km da rodovia.
c	Tipo de Solo	A vulnerabilidade ambiental da área é influenciada pela possibilidade de infiltração de produtos nocivos no solo causando danos ao lençol freático, quando ocorre um acidente com derrame de produtos químicos perigosos. A probabilidade do produto vazado atingir o lençol freático depende da textura do solo. Em solos argilosos, com menor velocidade de infiltração, o lençol freático está menos vulnerável em comparação com o solo hidromórfico, que está muito próximo do lençol freático. São considerados na avaliação quatro grupos de características: Argilosa, Média, Arenosa e Hidromórfica.

Para ordenar os critérios, preencha as células sombreadas com a letra relacionada a cada um:

Ordem	Letra	
1	b	Recursos Hídricos
2	c	Tipo de Solo
3	a	Vegetação

SE VOCÊ PREENCHEU TODAS AS CÉLULAS SOMBRADAS E NÃO HÁ NENHUMA MENSAGEM DE ERRO, TECLUE ENTER E DEPOIS CLIQUE EM CONTINUAR.

Rever

Continuar

Progresso:

37%

## Risco Potencial de Acidentes no Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos

### Vulnerabilidade Ambiental

5. Levando em conta a ordem estabelecida anteriormente, responda as perguntas abaixo sobre a importância relativa entre os fatores.

Ordem	Crítérios	Descrição
1	Recursos Hídricos	A vulnerabilidade ambiental da área é influenciada pela sensibilidade dos recursos hídricos a um acidente com produtos químicos perigosos. A sensibilidade dos recursos hídricos considerou a classificação do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2005). São considerados na avaliação quatro grupos de características: Pontes sobre rio e margens de lagoa (até 100 m) para águas classes especial 1, 2 e 3; Águas classes especial 1, 2 e 3 até 2 km da rodovia com captação pública até 5 km; Águas classes especial 1, 2 e 3 fora da área de influência com captação pública até 5 km; Águas classes especial 1, 2 e 3 fora da área de influência sem captação pública até 5 km da rodovia.
2	Tipo de Solo	A vulnerabilidade ambiental da área é influenciada pela possibilidade de infiltração de produtos nocivos no solo causando danos ao lençol freático, quando ocorre um acidente com derrame de produtos químicos perigosos. A probabilidade do produto vazado atingir o lençol freático depende da textura do solo. Em solos argilosos, com menor velocidade de infiltração, o lençol freático está menos vulnerável em comparação com o solo hidromórfico, que está muito próximo do lençol freático. São considerados na avaliação quatro grupos de características: Argilosa, Média, Arenosa e Hidromórfica.
3	Vegetação	A vulnerabilidade ambiental da área é influenciada pela sensibilidade da vegetação a um acidente com produtos químicos perigosos. A sensibilidade da vegetação foi atribuída utilizando-se critérios do Código Florestal (BRASIL, 2000) e do Mapa de Vegetação do Brasil (IBGE, 2012). São considerados na avaliação quatro grupos de características: Presença de Unidade de Proteção; Áreas de serra e floresta densa de mata nativa; Áreas de formações pioneiras; Áreas alagadas, banhados, e formações pioneiras fora da área de influência.

1) Qual a importância relativa de **Recursos Hídricos** em relação a **Tipo de Solo** ?

Igualmente importante
  Um pouco mais importante
  Mais importante
  Muito mais importante
  Extremamente mais importante

2) Qual a importância relativa de **Recursos Hídricos** em relação a **Vegetação** ?

Igualmente importante
  Um pouco mais importante
  Mais importante
  Muito mais importante
  Extremamente mais importante

3) Qual a importância relativa de **Tipo de Solo** em relação a **Vegetação** ?

Igualmente importante
  Um pouco mais importante
  Mais importante
  Muito mais importante
  Extremamente mais importante

VOCÊ RESPONDEU  
ADEQUADAMENTE.  
CLIQUE EM  
CONTINUAR.

Rever Continuar

Progresso:

43%

## Risco Potencial de Acidentes no Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos

### Vulnerabilidade Populacional

6. Ordene os dois fatores abaixo, sendo 1 o mais importante e 2 o menos importante.

Letra	Crítérios	Descrição
a	Tipo de Ocupação Humana	A sensibilidade da ocupação humana refere-se a estimativa do percentual de cobertura da ocupação humana por quilômetro analisado. São considerados na avaliação quatro grupos de características: Urbana - ocupação humana com cobertura de assentamentos maior que 70% da área do trecho analisado; Suburbana - ocupação humana com cobertura de assentamentos entre 40% e 70% da área do trecho analisado; Rural - ocupação humana com cobertura de assentamentos entre 10% e 40% da área do trecho analisado; e Remota - ocupação humana com cobertura de assentamentos menor que 10% da área do trecho analisado.
b	Densidade Populacional	A densidade populacional considera que um acidente em local densamente povoado torna-se mais significativo. São considerados na avaliação cinco grupos de características: Densidade Populacional Baixa (1 a 5 hab./km <sup>2</sup> ), Densidade Populacional Média Baixa (5,1 a 15 hab./km <sup>2</sup> ), Densidade Populacional Média (15,1 a 50 hab./km <sup>2</sup> ), Densidade Populacional Média Alta (50,1 a 250 hab./km <sup>2</sup> ), e Densidade Populacional Alta (250,1 a acima de 500 hab./km <sup>2</sup> ).

Para ordenar os critérios, preencha as células sombreadas com a letra relacionada a cada um:

Ordem	Letra	
1	b	Densidade Populacional
2	a	Tipo de Ocupação Humana

SE VOCÊ PREENCHEU TODAS AS  
CÉLULAS SOMBREADAS E NÃO  
HÁ NENHUMA MENSAGEM DE  
ERRO, TECLE ENTER E DEPOIS  
CLIQUE EM CONTINUAR.

Rever Continuar

Progresso:

47%

## Risco Potencial de Acidentes no Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos

### Vulnerabilidade Populacional

7. Levando em conta a ordem estabelecida anteriormente, responda as perguntas abaixo sobre a importância relativa entre os fatores.

Ordem	Critérios	Descrição
1	Densidade Populacional	A densidade populacional considera que um acidente em local densamente povoado torna-se mais significativo. São considerados na avaliação cinco grupos de características: Densidade Populacional Baixa (1 a 5 hab./km <sup>2</sup> ), Densidade Populacional Média Baixa (5,1 a 15 hab./km <sup>2</sup> ), Densidade Populacional Média (15,1 a 50 hab./km <sup>2</sup> ), Densidade Populacional Média Alta (50,1 a 250 hab./km <sup>2</sup> ), e Densidade Populacional Alta (250,1 a acima de 500 hab./km <sup>2</sup> ).
2	Tipo de Ocupação Humana	A sensibilidade da ocupação humana refere-se a estimativa do percentual de cobertura da ocupação humana por quilômetro analisado. São considerados na avaliação quatro grupos de características: Urbana - ocupação humana com cobertura de assentamentos maior que 70% da área do trecho analisado; Suburbana - ocupação humana com cobertura de assentamentos entre 40% e 70% da área do trecho analisado; Rural - ocupação humana com cobertura de assentamentos entre 10% e 40% da área do trecho analisado; e Remota - ocupação humana com cobertura de assentamentos menor que 10% da área do trecho analisado.

1) Qual a importância relativa de **Densidade Populacional** em relação a **Tipo de Ocupação Humana** ?

Igualmente importante
  Um pouco mais importante
  Mais importante
  Muito mais importante
  Extremamente mais importante

VOCÊ RESPONDEU ADEQUADAMENTE. CLIQUE EM CONTINUAR.

Rever Continuar

Progresso:

49%

## Risco Potencial de Acidentes no Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos

### Vulnerabilidade de Infraestruturas

8. Ordene os cinco fatores abaixo, sendo 1 o mais importante e 5 o menos importante.

Letra	Critérios	Descrição
a	Comunicação	A vulnerabilidade de Infraestruturas é influenciada pela possibilidade do acidente causar danos que afetem negativamente ou interrompam o tráfego de informações. Tráfegos realizados através de fibra óptica, ondas de rádio, satélite ou cabos. Atingindo prédios que contenham equipamentos e serviços de telecomunicação, torres de transmissão, antenas, redes de comunicação e demais dispositivos.
b	Eletricidade	A vulnerabilidade de Infraestruturas é influenciada pela possibilidade do acidente causar danos que afetem negativamente ou interrompam a geração e distribuição de energia elétrica. Atingindo redes de distribuição de energia elétrica centrais de energia elétrica, subestações, torres, cabos e demais dispositivos.
c	Combustíveis	A vulnerabilidade de Infraestruturas é influenciada pela possibilidade do acidente ter efeitos danosos aumentados ao atingir locais de armazenagem de combustíveis. Atingindo postos de combustíveis, depósitos de GLP (gás liquefeito de petróleo), redes de distribuição de GLP, depósitos de combustíveis de empresas e outras instalações que contenham combustíveis.
d	Água Potável	A vulnerabilidade de Infraestruturas é influenciada pela possibilidade do acidente causar danos que afetem negativamente ou interrompam o fornecimento de água potável. Atingindo estruturas para coleta de água para tratamento, estações de tratamento de água, elevatórias, caixas de armazenamento de água, redes de distribuição hidráulica e demais equipamentos.
e	Transportes	A vulnerabilidade de Infraestruturas é influenciada pela possibilidade do acidente causar danos que afetem negativamente ou interrompam o tráfego. Prejudicando a circulação de pessoas, mercadorias e veículos. Atingindo túneis, pontes, viadutos, linhas férreas, passarelas e outras estruturas viárias.

Para ordenar os critérios, preencha as células sombreadas com a letra relacionada a cada um:

Ordem	Letra	
1	c	Combustíveis
2	b	Eletricidade
3	e	Transportes
4	a	Comunicação
5	d	Água Potável

SE VOCÊ PREENCHEU TODAS AS CÉLULAS SOMBREADAS E NÃO HÁ NENHUMA MENSAGEM DE ERRO, TECLE ENTER E DEPOIS CLIQUE EM CONTINUAR.

Rever Continuar

Progresso:

59%

## Risco Potencial de Acidentes no Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos

### Vulnerabilidade de Infraestruturas

9. Levando em conta a ordem estabelecida anteriormente, responda as perguntas abaixo sobre a importância relativa entre os fatores.

Ordem	Critérios	Descrição
1	Combustíveis	A vulnerabilidade de Infraestruturas é influenciada pela possibilidade do acidente ter efeitos danosos aumentados ao atingir locais de armazenagem de combustíveis. Atingindo postos de combustíveis, depósitos de GLP (gás liquefeito de petróleo), redes de distribuição de GLP, depósitos de combustíveis de empresas e outras instalações que contenham combustíveis.
2	Eletricidade	A vulnerabilidade de Infraestruturas é influenciada pela possibilidade do acidente causar danos que afetem negativamente ou interrompam a geração e distribuição de energia elétrica. Atingindo redes de distribuição de energia elétrica centrais de energia elétrica, subestações, torres, cabos e demais dispositivos.
3	Transportes	A vulnerabilidade de Infraestruturas é influenciada pela possibilidade do acidente causar danos que afetem negativamente ou interrompam o tráfego. Prejudicando a circulação de pessoas, mercadorias e veículos. Atingindo túneis, pontes, viadutos, linhas férreas, passarelas e outras estruturas viárias.
4	Comunicação	A vulnerabilidade de Infraestruturas é influenciada pela possibilidade do acidente causar danos que afetem negativamente ou interrompam o tráfego de informações. Tráfegos realizados através de fibra óptica, ondas de rádio, satélite ou cabos. Atingindo prédios que contenham equipamentos e serviços de telecomunicação, torres de transmissão, antenas, redes de comunicação e demais dispositivos.
5	Água Potável	A vulnerabilidade de Infraestruturas é influenciada pela possibilidade do acidente causar danos que afetem negativamente ou interrompam o fornecimento de água potável. Atingindo estruturas para coleta de água para tratamento, estações de tratamento de água, elevatórias, caixas de armazenamento de água, redes de distribuição hidráulica e demais equipamentos.

1) Qual a importância relativa de **Combustíveis** em relação a **Eletricidade** ?

Igualmente importante
  Um pouco mais importante
  Mais importante
  Muito mais importante
  Extremamente mais importante

2) Qual a importância relativa de **Combustíveis** em relação a **Transportes** ?

Igualmente importante
  Um pouco mais importante
  Mais importante
  Muito mais importante
  Extremamente mais importante

3) Qual a importância relativa de **Combustíveis** em relação a **Comunicação** ?

Igualmente importante
  Um pouco mais importante
  Mais importante
  Muito mais importante
  Extremamente mais importante

4) Qual a importância relativa de **Combustíveis** em relação a **Água Potável** ?

Igualmente importante
  Um pouco mais importante
  Mais importante
  Muito mais importante
  Extremamente mais importante

5) Qual a importância relativa de **Eletricidade** em relação a **Transportes** ?

Igualmente importante
  Um pouco mais importante
  Mais importante
  Muito mais importante
  Extremamente mais importante

VOCÊ RESPONDEU ADEQUADAMENTE. CLIQUE EM CONTINUAR.

Rever Continuar

Progresso:

69%

## Risco Potencial de Acidentes no Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos

### Vulnerabilidade de Infraestruturas

10. Levando em conta a ordem estabelecida anteriormente, responda as perguntas abaixo sobre a importância relativa entre os fatores.

	Critérios	Descrição
1	Combustíveis	A vulnerabilidade de Infraestruturas é influenciada pela possibilidade do acidente ter efeitos danosos aumentados ao atingir locais de armazenagem de combustíveis. Atingindo postos de combustíveis, depósitos de GLP (gás liquefeito de petróleo), redes de distribuição de GLP, depósitos de combustíveis de empresas e outras instalações que contenham combustíveis.
2	Eletricidade	A vulnerabilidade de Infraestruturas é influenciada pela possibilidade do acidente causar danos que afetem negativamente ou interrompam a geração e distribuição de energia elétrica. Atingindo redes de distribuição de energia elétrica centrais de energia elétrica, subestações, torres, cabos e demais dispositivos.
3	Transportes	A vulnerabilidade de Infraestruturas é influenciada pela possibilidade do acidente causar danos que afetem negativamente ou interrompam o tráfego. Prejudicando a circulação de pessoas, mercadorias e veículos. Atingindo túneis, pontes, viadutos, linhas férreas, passarelas e outras estruturas viárias.
4	Comunicação	A vulnerabilidade de Infraestruturas é influenciada pela possibilidade do acidente causar danos que afetem negativamente ou interrompam o tráfego de informações. Tráfegos realizados através de fibra óptica, ondas de rádio, satélite ou cabos. Atingindo prédios que contenham equipamentos e serviços de telecomunicação, torres de transmissão, antenas, redes de comunicação e demais dispositivos.
5	Água Potável	A vulnerabilidade de Infraestruturas é influenciada pela possibilidade do acidente causar danos que afetem negativamente ou interrompam o fornecimento de água potável. Atingindo estruturas para coleta de água para tratamento, estações de tratamento de água, elevatórias, caixas de armazenamento de água, redes de distribuição hidráulica e demais equipamentos.

6) Qual a importância relativa de **Eletricidade** em relação a **Comunicação** ?

Igualmente importante
  Um pouco mais importante
  Mais importante
  Muito mais importante
  Extremamente mais importante

7) Qual a importância relativa de **Eletricidade** em relação a **Água Potável** ?

Igualmente importante
  Um pouco mais importante
  Mais importante
  Muito mais importante
  Extremamente mais importante

8) Qual a importância relativa de **Transportes** em relação a **Comunicação** ?

Igualmente importante
  Um pouco mais importante
  Mais importante
  Muito mais importante
  Extremamente mais importante

9) Qual a importância relativa de **Transportes** em relação a **Água Potável** ?

Igualmente importante
  Um pouco mais importante
  Mais importante
  Muito mais importante
  Extremamente mais importante

10) Qual a importância relativa de **Comunicação** em relação a **Água Potável** ?

Igualmente importante
  Um pouco mais importante
  Mais importante
  Muito mais importante
  Extremamente mais importante

VOCÊ RESPONDEU ADEQUADAMENTE. CLIQUE EM CONTINUAR.

Rever Continuar

Progresso:

80%

## Risco Potencial de Acidentes no Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos

### Resiliência Territorial

11. Ordene os quatro fatores abaixo, sendo **1 o mais importante** e **4 o menos importante**.

Letra	Critérios	Descrição
a	Polícia	A resiliência territorial é influenciada pela existência de instalações da polícia a uma distância inferior a 25 km do local do acidente, com capacitação para identificação da gravidade do acidente, coleta de informações sobre o produto perigoso envolvido, acionamento das equipes de intervenção de emergência e apoio necessárias, isolamento de áreas e coordenação do tráfego no entorno do local do acidente.
b	Bombeiro	A resiliência territorial é influenciada pela existência de instalações da Bombeiros e de outras equipes profissionais, a uma distância inferior a 25 km do local do acidente, com capacitação e equipamentos para intervenção de emergência.
c	Serviços Médicos	A resiliência territorial é influenciada pela existência de instalações com ambulâncias e hospitais a uma distância inferior a 25 km do local do acidente, com capacitação e equipamentos para intervenção de emergência.
d	Monitoramento	A resiliência territorial é influenciada pela existência de elementos de aviso e detecção que agilizam o acionamento das equipes de atendimento que realizarão a intervenção e o apoio. Define-se como elementos de aviso e detecção, a existência de câmeras de monitoramento, telefones de emergência e sinalização que conste o número de telefone de emergência a uma distância inferior a 4 km do local do acidente.

Para ordenar os critérios, preencha as células sombreadas com a letra relacionada a cada um:

Ordem	Letra
1	a
2	b
3	c
4	d

Polícia  
Bombeiro  
Serviços Médicos  
Monitoramento

**SE VOCÊ PREENCHEU TODAS AS CÉLULAS SOMBREADAS E NÃO HÁ NENHUMA MENSAGEM DE ERRO, TECLE ENTER E DEPOIS CLIQUE EM CONTINUAR.**

Rever Continuar

Progresso:

88%

## Risco Potencial de Acidentes no Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos

### Resiliência Territorial

12. Levando em conta a ordem estabelecida anteriormente, responda as perguntas abaixo sobre a importância relativa entre os fatores.

Ordem	Critérios	Descrição
1	Polícia	A resiliência territorial é influenciada pela existência de instalações da polícia a uma distância inferior a 25 km do local do acidente, com capacitação para identificação da gravidade do acidente, coleta de informações sobre o produto perigoso envolvido, acionamento das equipes de intervenção de emergência e apoio necessárias, isolamento de áreas e coordenação do tráfego no entorno do local do acidente.
2	Bombeiro	A resiliência territorial é influenciada pela existência de instalações da Bombeiros e de outras equipes profissionais, a uma distância inferior a 25 km do local do acidente, com capacitação e equipamentos para intervenção de emergência.
3	Serviços Médicos	A resiliência territorial é influenciada pela existência de instalações com ambulâncias e hospitais a uma distância inferior a 25 km do local do acidente, com capacitação e equipamentos para intervenção de emergência.
4	Monitoramento	A resiliência territorial é influenciada pela existência de elementos de aviso e detecção que agilizam o acionamento das equipes de atendimento que realizarão a intervenção e o apoio. Define-se como elementos de aviso e detecção, a existência de câmeras de monitoramento, telefones de emergência e sinalização que conste o número de telefone de emergência a uma distância inferior a 4 km do local do acidente.

1) Qual a importância relativa de **Polícia** em relação a **Bombeiro** ?

Igualmente importante
  Um pouco mais importante
  Mais importante
  Muito mais importante
  Extremamente mais importante

2) Qual a importância relativa de **Polícia** em relação a **Serviços Médicos** ?

Igualmente importante
  Um pouco mais importante
  Mais importante
  Muito mais importante
  Extremamente mais importante

3) Qual a importância relativa de **Polícia** em relação a **Monitoramento** ?

Igualmente importante
  Um pouco mais importante
  Mais importante
  Muito mais importante
  Extremamente mais importante

4) Qual a importância relativa de **Bombeiro** em relação a **Serviços Médicos** ?

Igualmente importante
  Um pouco mais importante
  Mais importante
  Muito mais importante
  Extremamente mais importante

5) Qual a importância relativa de **Bombeiro** em relação a **Monitoramento** ?

Igualmente importante
  Um pouco mais importante
  Mais importante
  Muito mais importante
  Extremamente mais importante

6) Qual a importância relativa de **Serviços Médicos** em relação a **Monitoramento** ?

Igualmente importante
  Um pouco mais importante
  Mais importante
  Muito mais importante
  Extremamente mais importante

**VOCÊ RESPONDEU ADEQUADAMENTE. CLIQUE EM CONTINUAR.**

Rever Continuar

Progresso:

100%

**Risco Potencial de Acidentes no Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos*****Apresentação***

***Muito obrigado por sua participação!***

Por favor salve o arquivo com as respostas e envie para [jefferson.troglio@gmail.com](mailto:jefferson.troglio@gmail.com).

Rever