



CONTRIBUIÇÃO PARA A ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO FLUXO VEICULAR
NA SEVERIDADE DE ACIDENTES EM RODOVIAS FEDERAIS BRASILEIRAS

Bruno Guida Gouveia

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes.

Orientador: Marcelino Aurélio Vieira da Silva

Rio de Janeiro
Dezembro de 2017

CONTRIBUIÇÃO PARA A ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO FLUXO VEICULAR
NA SEVERIDADE DE ACIDENTES EM RODOVIAS FEDERAIS BRASILEIRAS

Bruno Guida Gouveia

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE)
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES.

Examinada por:

Prof. Marcelino Aurélio Vieira da Silva, D.Sc.

Prof. Carlos David Nassi, D.Ing.

Prof. Ilton Curty Leal Junior, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

DEZEMBRO DE 2017

Gouveia, Bruno Guida

Contribuição para a análise da influência do fluxo veicular na severidade de acidentes em rodovias federais brasileiras / Bruno Guida Gouveia. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2017.

XVI, 103 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Marcelino Aurélio Vieira da Silva

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes, 2017.

Referências Bibliográficas: p. 97-103.

1. Acidentes rodoviários. 2. Fluxo veicular. 3. Prométhée II. I. Silva, Marcelino Aurélio Vieira da. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Civil. III. Título.

Os que se encantam com a prática sem a ciência são como os timoneiros que entram no navio sem timão nem bússola, nunca tendo certeza do seu destino.

(Leonardo da Vinci)

AGRADECIMENTOS

Eu quero agradecer primeiramente a Deus por me permitir viver cada dia de minha vida e me dar forças para sobrepujar todas as dificuldades que me foram colocadas a frente e com isso continuar a minha caminhada.

Quero agradecer aos meus pais por me apoiarem e me sustentarem em todas as minhas escolhas, em especial: quando lutava contra a leucemia; quando escolhi trocar de graduação de engenharia elétrica para engenharia civil; quando escolhi fazer mestrado em outro estado antes de trabalhar regulamente; e na luta contra o tumor no pâncreas.

Quero agradecer aos meus avós maternos. A Minha avó, por me aconselhar e me ensinar matérias no ensino básico que serão úteis por toda a minha vida. Ao meu avô, por me servir de exemplo de profissionalismo e dedicação na engenharia civil e me ajudar na minha formação acadêmica e técnica.

Quero agradecer aos meus irmãos, Camila e Felipe, pelo apoio e incentivo.

Quero prestar agradecimentos aos meus tios, Mario e Jaqueline, pelo apoio dado no início de meu mestrado e demais momentos de minha vida.

Quero agradecer a Ada Lima, por ser um ótimo exemplo de profissional da educação e ter me incentivado a seguir a vida acadêmica.

Quero agradecer ao Prof. Enilson Medeiros dos Santos por ter sido meu orientador no meu TCC e ter me mostrado o PET como uma possibilidade para a realização de um bom curso de mestrado.

Quero agradecer ao Prof. Marcelino Aurélio Vieira da Silva, D.Sc. por ter me aceito como orientando e possibilitar que eu concretizasse essa dissertação. Desejo ressaltar o modo atencioso com que procede na hora das orientações, sempre ouvindo e sugerindo melhorias.

Quero agradecer aos meus colegas nós cegos, Igor Maranhão e José Brandão, sem os quais, provavelmente, eu seria uma pessoa ainda mais peculiar. Obrigado pela companhia e por terem ouvido minhas tagarelices, no tempo em que morávamos juntos. Também quero agradecer pelos socorros acadêmicos e técnicos e pelas parcerias em trabalhos que realizamos juntos, e principalmente nessa dissertação.

Quero agradecer aos meus colegas do PET, em especial Túlio, Douglas, Daniele, Beatriz, Tássia, Luís, Breno, Pedro Geaquinto, Pedro Basílio, Vitor, Ewerton, Gabriella e Clara pela amizade, conversas, debates, parcerias e apoio.

Aos professores Carlos David Nassi e Ilton Curty Leal Junior por aceitarem participar da banca.

À Jane, Dona Helena, Lúcia, Cristiane, Barbara e todos os funcionários do programa que dão suporte a todos os alunos e professores.

Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio concedido para que esta dissertação fosse realizada

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

CONTRIBUIÇÃO PARA A ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO FLUXO VEICULAR NA SEVERIDADE DE ACIDENTES EM RODOVIAS FEDERAIS BRASILEIRAS

Bruno Guida Gouveia

Dezembro/2017

Orientador: Marcelino Aurélio Vieira da Silva

Programa: Engenharia de Transportes

De todos os modos terrestres que possibilitam a realização de viagens de longas distâncias, o modo rodoviário costuma a apresenta maior simplicidade e menor tempo necessário para se implantar uma infraestrutura e menores custos para se adquirir os veículos para se utilizar suas vias. Tem-se aproximadamente 1,7 milhões de quilômetros de vias no Brasil. Segundo dados da Confederação Nacional de Transporte, cerca de 61,1% das cargas transportadas no país e 50,4% das viagens de passageiros de longas distancias usam o modo rodoviário. Contudo, para que uma determinada infraestrutura cumpra seu papel socioeconômico de forma desejável e plena, seu projeto deve considerar as possíveis externalidades, que é o caso dos acidentes. Assim sendo, o combate aos acidentes rodoviários deve ser encarado como uma prioridade. Como contribuição para a mitigação dos acidentes rodoviários, esse trabalho propôs a utilização do PROMETHEE II para o desenvolvimento de um *ranking* de volumes médios diários anuais por faixa em rodovias federais, considerando como critérios as quantidades de acidentes com mortos, ferido e com danos materiais. Como resultados obteve-se que: um aumento no fluxo de veículos não significa necessariamente um crescimento no número de acidentes; cada região tem um comportamento específico; as concentrações de veículos pesados e leves podem influenciar a segurança nos trechos.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

CONTRIBUTION TO THE ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF VEHICLE FLOW
IN SEVERITY OF ACCIDENTS ON BRAZILIAN FEDERAL ROADS

Bruno Guida Gouveia

December/2017

Advisor: Marcelino Aurélio Vieira da Silva

Department: Transportation Engineering

Of all terrestrial modes that make it possible to travel long distances, the road mode is usually simpler and less time necessary to implant an infrastructure and lower costs to acquire vehicles to use their roads. There are approximately 1.7 million kilometers of roads in Brazil. According to data from the National Transport Confederation, about 61.1% of the cargo transported in the country and 50.4% of long distance passenger travel use the road mode. However, a given infrastructure, in order to fulfill its socioeconomic, in a desirable and complete way, its project must consider the possible externalities, which is the case of accidents. Thus, fighting against road accidents is a priority. As a contribution to the mitigation of road accidents, this work proposed the use of PROMETHEE II to develop a ranking of annual average daily traffic per lane in federal highways, considering as criteria the amounts of accidents with dead, injured and with material damages. The results obtained were: an increase in the flow of vehicles does not necessarily mean a growth in the number of accidents; each region has a specific behavior; concentrations of heavy and light vehicles may influence safety in the stretches.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA E MOTIVAÇÃO	2
1.2	OBJETIVOS E LIMITAÇÕES	3
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	4
2.	ACIDENTES RODOVIÁRIOS.....	5
2.1	SITUAÇÃO DOS ACIDENTES RODOVIÁRIOS	5
2.1.1	ACIDENTES NO MUNDO.....	5
2.1.2	ACIDENTES NO BRASIL.....	8
2.1.3	CUSTO DOS ACIDENTES RODOVIÁRIOS NO BRASIL.....	11
3.	SEGURANÇA VIÁRIA	13
3.1	GERENCIAMENTO DA SEGURANÇA VIÁRIA.....	13
3.2	COMPONENTES DOS ACIDENTES VIÁRIOS	16
3.2.1	VARIÁVEIS EXPLICATIVAS.....	16
3.2.2	O FLUXO E OS ACIDENTES RODOVIÁRIOS	18
3.2.3	VARIÁVEIS DEPENDENTES	20
3.2.4	RELAÇÕES ESTATÍSTICAS E DE CAUSALIDADE	21
4.	ANÁLISE MULTICRITÉRIO.....	24
4.1	MÉTODOS DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO.....	25
4.1.1	MCDM.....	26
4.1.2	PREOCUPAÇÕES AOS SE TRABALHAR COM MCDM.....	27
4.1.3	DO MCDM AO MCDA.....	27
4.1.4	MCDA.....	28
4.1.5	SELEÇÃO DE UM MCDA	29
4.1.5.1	COMPENSAÇÃO VS. SUSTENTABILIDADE	30
4.1.5.2	MODELAGEM DA PREFERÊNCIA DO TOMADOR DE DECISÃO. 31	
4.2	APLICAÇÕES BRASILEIRAS DE MCDA.....	32
4.3	APLICAÇÕES DE MCDA NA ENGENHARIA TRANSPORTES.....	34
4.4	PROMETHEE	35
5.	MATERIAIS E MÉTODOS	41
5.1	OBTENÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS	43
5.2	ETAPAS DO PROCEDIMENTO	47
5.3	DESCRIÇÃO DOS DADOS UTILIZADOS	48

5.3.1	BRASIL.....	49
5.3.2	SUDESTE	52
5.3.3	NORTE.....	55
5.3.4	SUL	57
5.3.5	CENTRO-OESTE	61
5.3.6	NORDESTE.....	63
6.	ANÁLISE DE RESULTADOS.....	67
6.1	BRASIL	67
6.2	SUDESTE.....	71
6.3	NORTE	75
6.4	SUL.....	78
6.5	CENTRO-OESTE.....	81
6.6	NORDESTE.....	85
6.7	RESUMO DOS RESULTADOS	88
7.	CONCLUSÕES.....	94
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2-1: GRÁFICO DAS QUANTIDADES DE ACIDENTES DE 2004 A 2014.....	8
FIGURA 2-2: GRÁFICO DOS TIPOS DE ACIDENTES VS. GRAVIDADE DE ACIDENTES DE 2014. 9	9
FIGURA 2-3: GRÁFICO DAS CAUSAS DOS ACIDENTES VS. GRAVIDADE DE ACIDENTES DE 2014.	10
FIGURA 2-4: GRÁFICO DOS TIPOS DE VEÍCULOS VS. GRAVIDADE DE ACIDENTES DE 2014. 11	11
FIGURA 2-5: GRÁFICO QUE APRESENTA AS VARIAÇÕES PERCENTUAIS DO CUSTO TOTAL COM ACIDENTES, QUANTIDADE TOTAL DE ACIDENTES, QUANTIDADE DE ACIDENTES COM MORTES, QUANTIDADE DE MORTES E QUANTIDADE DE FERIDOS GRAVES ENTRE OS ANOS DE 2007 E 2014.	12
FIGURA 3-1: DIAGRAMA DAS VARIÁVEIS EXPLICATIVAS DE ACIDENTES.	16
FIGURA 4-1: COMPENSAÇÃO E SUSTENTABILIDADE DOS PRINCIPAIS MDCA 'S.	31
FIGURA 4-2: GRÁFICO DA PREFERÊNCIA P_j PARA O VERDADEIRO CRITÉRIO OU CRITÉRIO USUAL.	36
FIGURA 4-3: GRÁFICO DA PREFERÊNCIA P_j PARA O QUASE CRITÉRIO.	37
FIGURA 4-4: GRÁFICO DA PREFERÊNCIA P_j PARA O PSEUDOCRITÉRIO OU PREFERÊNCIA LINEAR.	37
FIGURA 4-5: GRÁFICO DA PREFERÊNCIA P_j PARA O CRITÉRIO DE NÍVEL.	38
FIGURA 4-6: GRÁFICO DA PREFERÊNCIA P_j PARA O CRITÉRIO COM PREFERÊNCIA LINEAR E ÁREA DE INDIFERENÇA.	38
FIGURA 4-7: GRÁFICO DA PREFERÊNCIA P_j PARA O CRITÉRIO GAUSSIANO.	39
FIGURA 5-1: ILUSTRAÇÃO DOS SNVs E SUAS QUANTIDADES DE ACIDENTE	44
FIGURA 5-2: ASSOCIAÇÃO DAS CLASSES DE VMDA/FAIXA E DOS ACIDENTES AOS SNV. 46	46
FIGURA 5-3: ASSOCIAÇÃO DOS VOLUMES POR FAIXA DE VEÍCULOS PESADOS E LEVES AOS SNVs E AS CLASSES DE VOLUME.	46
FIGURA 5-4: ASSOCIAÇÃO DAS MÉDIAS DOS ACIDENTES AOS PARES DE CLASSES VOLUMES DE VEÍCULOS PESADOS E LEVES	47
FIGURA 5-5: PROCEDIMENTO PROPOSTO.....	48
FIGURA 5-6: GRÁFICO DOS ACIDENTES COM MORTES VERSUS O VMDA POR FAIXA PARA O BRASIL.	49
FIGURA 5-7: GRÁFICO DOS ACIDENTES QUE HOUVE FERIDOS, MAS SEM MORTES VERSUS O VMDA POR FAIXA PARA O BRASIL.....	50
FIGURA 5-8: GRÁFICO DOS ACIDENTES QUE NÃO HOUVE FERIDOS NEM MORTES VERSUS O VMDA POR FAIXA PARA O BRASIL.....	51
FIGURA 5-9: GRÁFICO DOS ACIDENTES COM MORTES VERSUS O VMDA POR FAIXA PARA O SUDESTE.....	52
FIGURA 5-10: GRÁFICO DOS ACIDENTES QUE HOUVE FERIDOS, MAS SEM MORTES VERSUS O VMDA POR FAIXA PARA O SUDESTE.	53
FIGURA 5-11: GRÁFICO DOS ACIDENTES QUE NÃO HOUVE FERIDOS NEM MORTES VERSUS O VMDA POR FAIXA PARA O SUDESTE.	54
FIGURA 5-12: GRÁFICO DOS ACIDENTES COM MORTES VERSUS O VMDA POR FAIXA PARA O NORTE.....	55

FIGURA 5-13: GRÁFICO DOS ACIDENTES QUE HOUVE FERIDOS, MAS SEM MORTES VERSUS O VMDA POR FAIXA PARA O NORTE.	56
FIGURA 5-14: GRÁFICO DOS ACIDENTES QUE NÃO HOUVE FERIDOS NEM MORTES VERSUS O VMDA POR FAIXA PARA O NORTE.	57
FIGURA 5-15: GRÁFICO DOS ACIDENTES COM MORTES VERSUS O VMDA POR FAIXA PARA O SUL.....	58
FIGURA 5-16: GRÁFICO DOS ACIDENTES QUE HOUVE FERIDOS, MAS SEM MORTES VERSUS O VMDA POR FAIXA PARA O SUL.	59
FIGURA 5-17: GRÁFICO DOS ACIDENTES QUE NÃO HOUVE FERIDOS NEM MORTES VERSUS O VMDA POR FAIXA PARA O SUL.	60
FIGURA 5-18: GRÁFICO DOS ACIDENTES COM MORTES VERSUS O VMDA POR FAIXA PARA O CENTRO-OESTE.	61
FIGURA 5-19: GRÁFICO DOS ACIDENTES QUE HOUVE FERIDOS, MAS SEM MORTES VERSUS O VMDA POR FAIXA PARA O CENTRO-OESTE.	62
FIGURA 5-20: GRÁFICO DOS ACIDENTES QUE NÃO HOUVE FERIDOS NEM MORTES VERSUS O VMDA POR FAIXA PARA O CENTRO-OESTE.	63
FIGURA 5-21: GRÁFICO DOS ACIDENTES COM MORTES VERSUS O VMDA POR FAIXA PARA O NORDESTE.....	64
FIGURA 5-22: GRÁFICO DOS ACIDENTES QUE HOUVE FERIDOS, MAS SEM MORTES VERSUS O VMDA POR FAIXA PARA O NORDESTE.	65
FIGURA 5-23: GRÁFICO DOS ACIDENTES QUE NÃO HOUVE FERIDOS NEM MORTES VERSUS O VMDA POR FAIXA PARA O NORDESTE.	66
FIGURA 6-1: GRÁFICO COMPARATIVO ENTRE OS <i>RANKINGS</i> CONSIDERANDO OS TRÊS TIPOS DE ACIDENTES SIMULTANEAMENTE E CADA UM SEPARADAMENTE NO BRASIL, DESCONSIDERANDO O RIGOR ESTATÍSTICO NO MOMENTO DA COMPARAÇÃO PAR A PAR DAS CLASSES.	68
FIGURA 6-2: GRÁFICO COMPARATIVO ENTRE OS <i>RANKINGS</i> CONSIDERANDO OS TRÊS TIPOS DE ACIDENTES SIMULTANEAMENTE E CADA UM SEPARADAMENTE NO BRASIL, CONSIDERANDO O RIGOR ESTATÍSTICO NO MOMENTO DA COMPARAÇÃO PAR A PAR DAS CLASSES.....	69
FIGURA 6-3: GRÁFICO DA SEVERIDADE DOS TRECHOS VERSUS A QUANTIDADE DE VEÍCULOS LEVES POR FAIXA VERSUS A QUANTIDADE DE VEÍCULOS PESADOS POR FAIXA PARA O BRASIL, DESCONSIDERANDO A DISPERSÃO DOS DADOS. O MÓDULO DO ÍNDICE CRESCE COM O RAIOS DA CIRCUNFERÊNCIA, O SINAL DELE É NEGATIVO QUANDO ELA É VAZADA E POSITIVO QUANDO ELA É CHEIA.	70
FIGURA 6-4: GRÁFICO DA SEVERIDADE DOS TRECHOS VERSUS A QUANTIDADE DE VEÍCULOS LEVES POR FAIXA VERSUS A QUANTIDADE DE VEÍCULOS PESADOS POR FAIXA PARA O BRASIL, CONSIDERANDO A DISPERSÃO DOS DADOS. O MÓDULO DO ÍNDICE CRESCE COM O RAIOS DA CIRCUNFERÊNCIA, O SINAL DELE É NEGATIVO QUANDO ELA É VAZADA E POSITIVO QUANDO ELA É CHEIA.	71
FIGURA 6-5: GRÁFICO COMPARATIVO ENTRE OS <i>RANKINGS</i> CONSIDERANDO OS TRÊS TIPOS DE ACIDENTES SIMULTANEAMENTE E CADA UM SEPARADAMENTE NO SUDESTE, DESCONSIDERANDO O RIGOR ESTATÍSTICO NO MOMENTO DA COMPARAÇÃO PAR A PAR DAS CLASSES.	72

FIGURA 6-6: GRÁFICO COMPARATIVO ENTRE OS <i>RANKINGS</i> CONSIDERANDO OS TRÊS TIPOS DE ACIDENTES SIMULTANEAMENTE E CADA UM SEPARADAMENTE NO SUDESTE, CONSIDERANDO O RIGOR ESTATÍSTICO NO MOMENTO DA COMPARAÇÃO PAR A PAR DAS CLASSES.....	73
FIGURA 6-7: GRÁFICO DA SEVERIDADE DOS TRECHOS VERSUS A QUANTIDADE DE VEÍCULOS LEVES POR FAIXA VERSUS A QUANTIDADE DE VEÍCULOS PESADOS POR FAIXA PARA O SUDESTE, DESCONSIDERANDO A DISPERSÃO DOS DADOS. O MÓDULO DO ÍNDICE CRESCE COM O RAIOS DA CIRCUNFERÊNCIA, O SINAL DELE É NEGATIVO QUANDO ELA É VAZADA E POSITIVO QUANDO ELA É CHEIA.	74
FIGURA 6-8: GRÁFICO DA SEVERIDADE DOS TRECHOS VERSUS A QUANTIDADE DE VEÍCULOS LEVES POR FAIXA VERSUS A QUANTIDADE DE VEÍCULOS PESADOS POR FAIXA PARA O SUDESTE, CONSIDERANDO A DISPERSÃO DOS DADOS. O MÓDULO DO ÍNDICE CRESCE COM O RAIOS DA CIRCUNFERÊNCIA, O SINAL DELE É NEGATIVO QUANDO ELA É VAZADA E POSITIVO QUANDO ELA É CHEIA.	74
FIGURA 6-9: GRÁFICO COMPARATIVO ENTRE OS <i>RANKINGS</i> CONSIDERANDO OS TRÊS TIPOS DE ACIDENTES SIMULTANEAMENTE E CADA UM SEPARADAMENTE NO NORTE, DESCONSIDERANDO O RIGOR ESTATÍSTICO NO MOMENTO DA COMPARAÇÃO PAR A PAR DAS CLASSES.	75
FIGURA 6-10: GRÁFICO COMPARATIVO ENTRE OS <i>RANKINGS</i> CONSIDERANDO OS TRÊS TIPOS DE ACIDENTES SIMULTANEAMENTE E CADA UM SEPARADAMENTE NO NORTE, CONSIDERANDO O RIGOR ESTATÍSTICO NO MOMENTO DA COMPARAÇÃO PAR A PAR DAS CLASSES.....	76
FIGURA 6-11: GRÁFICO DA SEVERIDADE DOS TRECHOS VERSUS A QUANTIDADE DE VEÍCULOS LEVES POR FAIXA VERSUS A QUANTIDADE DE VEÍCULOS PESADOS POR FAIXA PARA O NORTE, DESCONSIDERANDO A DISPERSÃO DOS DADOS. O MÓDULO DO ÍNDICE CRESCE COM O RAIOS DA CIRCUNFERÊNCIA, O SINAL DELE É NEGATIVO QUANDO ELA É VAZADA E POSITIVO QUANDO ELA É CHEIA	77
FIGURA 6-12: GRÁFICO DA SEVERIDADE DOS TRECHOS VERSUS A QUANTIDADE DE VEÍCULOS LEVES VERSUS A QUANTIDADE DE VEÍCULOS PESADOS PARA O NORTE, CONSIDERANDO A DISPERSÃO DOS DADOS. O MÓDULO DO ÍNDICE CRESCE COM O RAIOS DA CIRCUNFERÊNCIA, O SINAL DELE É NEGATIVO QUANDO ELA É VAZADA E POSITIVO QUANDO ELA É CHEIA	77
FIGURA 6-13: GRÁFICO COMPARATIVO ENTRE OS <i>RANKINGS</i> CONSIDERANDO OS TRÊS TIPOS DE ACIDENTES SIMULTANEAMENTE E CADA UM SEPARADAMENTE NO SUL, DESCONSIDERANDO O RIGOR ESTATÍSTICO NO MOMENTO DA COMPARAÇÃO PAR A PAR DAS CLASSES.	78
FIGURA 6-14: GRÁFICO COMPARATIVO ENTRE OS <i>RANKINGS</i> CONSIDERANDO OS TRÊS TIPOS DE ACIDENTES SIMULTANEAMENTE E CADA UM SEPARADAMENTE NO SUL, CONSIDERANDO O RIGOR ESTATÍSTICO NO MOMENTO DA COMPARAÇÃO PAR A PAR DAS CLASSES.....	79
FIGURA 6-15: GRÁFICO DA SEVERIDADE DOS TRECHOS VERSUS A QUANTIDADE DE VEÍCULOS LEVES VERSUS A QUANTIDADE DE VEÍCULOS PESADOS PARA O SUL, DESCONSIDERANDO A DISPERSÃO DOS DADOS. O MÓDULO DO ÍNDICE CRESCE COM O	

RAIO DA CIRCUNFERÊNCIA, O SINAL DELE É NEGATIVO QUANDO ELA É VAZADA E POSITIVO QUANDO ELA É CHEIA	80
FIGURA 6-16: GRÁFICO DA SEVERIDADE DOS TRECHOS VERSUS A QUANTIDADE DE VEÍCULOS LEVES VERSUS A QUANTIDADE DE VEÍCULOS PESADOS PARA O SUL, CONSIDERANDO A DISPERSÃO DOS DADOS. O MÓDULO DO ÍNDICE CRESCE COM O RAIOS DA CIRCUNFERÊNCIA, O SINAL DELE É NEGATIVO QUANDO ELA É VAZADA E POSITIVO QUANDO ELA É CHEIA	81
FIGURA 6-17: GRÁFICO COMPARATIVO ENTRE OS <i>RANKINGS</i> CONSIDERANDO OS TRÊS TIPOS DE ACIDENTES SIMULTANEAMENTE E CADA UM SEPARADAMENTE NO CENTRO-OESTE, DESCONSIDERANDO O RIGOR ESTATÍSTICO NO MOMENTO DA COMPARAÇÃO PAR A PAR DAS CLASSES.	82
FIGURA 6-18: GRÁFICO COMPARATIVO ENTRE OS <i>RANKINGS</i> CONSIDERANDO OS TRÊS TIPOS DE ACIDENTES SIMULTANEAMENTE E CADA UM SEPARADAMENTE NO CENTRO-OESTE, CONSIDERANDO O RIGOR ESTATÍSTICO NO MOMENTO DA COMPARAÇÃO PAR A PAR DAS CLASSES.....	83
FIGURA 6-19: GRÁFICO DA SEVERIDADE DOS TRECHOS VERSUS A QUANTIDADE DE VEÍCULOS LEVES VERSUS A QUANTIDADE DE VEÍCULOS PESADOS PARA O CENTRO-OESTE, DESCONSIDERANDO A DISPERSÃO DOS DADOS. O MÓDULO DO ÍNDICE CRESCE COM O RAIOS DA CIRCUNFERÊNCIA, O SINAL DELE É NEGATIVO QUANDO ELA É VAZADA E POSITIVO QUANDO ELA É CHEIA	84
FIGURA 6-20: GRÁFICO DA SEVERIDADE DOS TRECHOS VERSUS A QUANTIDADE DE VEÍCULOS LEVES VERSUS A QUANTIDADE DE VEÍCULOS PESADOS PARA O CENTRO-OESTE, CONSIDERANDO A DISPERSÃO DOS DADOS. O MÓDULO DO ÍNDICE CRESCE COM O RAIOS DA CIRCUNFERÊNCIA, O SINAL DELE É NEGATIVO QUANDO ELA É VAZADA E POSITIVO QUANDO ELA É CHEIA	85
FIGURA 6-21: GRÁFICO COMPARATIVO ENTRE OS <i>RANKINGS</i> CONSIDERANDO OS TRÊS TIPOS DE ACIDENTES SIMULTANEAMENTE E CADA UM SEPARADAMENTE NO NORDESTE, DESCONSIDERANDO O RIGOR ESTATÍSTICO NO MOMENTO DA COMPARAÇÃO PAR A PAR DAS CLASSES.	86
FIGURA 6-22: GRÁFICO COMPARATIVO ENTRE OS <i>RANKINGS</i> CONSIDERANDO OS TRÊS TIPOS DE ACIDENTES SIMULTANEAMENTE E CADA UM SEPARADAMENTE NO NORDESTE, CONSIDERANDO O RIGOR ESTATÍSTICO NO MOMENTO DA COMPARAÇÃO PAR A PAR DAS CLASSES.....	86
FIGURA 6-23: GRÁFICO DA SEVERIDADE DOS TRECHOS VERSUS <i>VMDA</i> PARA O NORDESTE, DESCONSIDERANDO A DISPERSÃO DOS DADOS. O MÓDULO DO ÍNDICE CRESCE COM O RAIOS DA CIRCUNFERÊNCIA, O SINAL DELE É NEGATIVO QUANDO ELA É VAZADA E POSITIVO QUANDO ELA É CHEIA	87
FIGURA 6-24: GRÁFICO DA SEVERIDADE DOS TRECHOS VERSUS A QUANTIDADE DE VEÍCULOS LEVES VERSUS A QUANTIDADE DE VEÍCULOS PESADOS PARA O NORDESTE, DESCONSIDERANDO A DISPERSÃO DOS DADOS. O MÓDULO DO ÍNDICE CRESCE COM O RAIOS DA CIRCUNFERÊNCIA, O SINAL DELE É NEGATIVO QUANDO ELA É VAZADA E POSITIVO QUANDO ELA É CHEIA	88
FIGURA 6-25: GRÁFICO COM OS ÍNDICES <i>PROMÉTHÉE II</i> PARA AS REGIÕES E O BRASIL DESCONSIDERANDO A DISPERSÃO DAS MÉDIAS.	90

FIGURA 6-26: GRÁFICO COM OS ÍNDICES PROMÉTHÉE II PARA AS REGIÕES E O BRASIL
CONSIDERANDO A DISPERSÃO DAS MÉDIAS. 92

LISTA DE TABELAS

TABELA 3-1: RESUMO DAS VARIÁVEIS EXPLICATIVAS UTILIZADAS EM TRABALHOS QUE AVALIARAM A OCORRÊNCIA DE ACIDENTES EM RODOVIAS ADOTADOS COMO REFERÊNCIA.....	20
TABELA 4-1: PRÉ-REQUISITOS DESEJÁVEIS DE UM MCDA QUE VENHA SER ADOTADO NA ANÁLISE DE SEGURANÇA DE UMA RODOVIA. BASEADO EM HARALAMBOPOULOS <i>ET AL</i> (2006) E ROY & SŁOWINSKI (2013).	30
TABELA 4-2: CLASSIFICAÇÃO E REFERÊNCIAS SEMINAIS DE ALGUNS MCDA's.....	32
TABELA 4-3: MCDAS UTILIZADOS NO BRASIL E SUAS ÁREAS DE APLICAÇÃO.	33
TABELA 5-1: EXEMPLOS DE CLASSES DE VMDA/FAIXA ADOTADAS.....	45
TABELA 5-2: RESUMO DOS PESOS DE CADA CRITÉRIO.....	47

1. INTRODUÇÃO

Diversas práticas contribuíram para formar a conjuntura atual de demanda por transportes. Com relação a aspectos financeiros, na busca pela melhor eficiência econômica possível, os investimentos públicos e privados focaram-se em desenvolver as aptidões e vocações já estabelecidas de cada região, a fim de melhorar a exploração de seus recursos produtivos. Esse comportamento promoveu a especialização das atividades produtivas exercidas em cada uma dessas áreas produtoras. Quanto aos aspectos socioculturais, cada local possui equipamentos culturais, como museus, teatros e estádios. Além disso tem-se também as atividades de lazer tais quais: praias, parques temáticos, festivais que podem ser sazonais e viáveis em uma determinada parte do território (MELLO, 1975).

Como as necessidades humanas são diversas e nem sempre conseguem ser satisfeitas nas zonas onde as pessoas estão, pois essas podem possuir especializações e atrativos incompatíveis com todas as demandas da sociedade local, ocorre a formação de uma relação de interdependência entre as regiões e nações, onde cada uma busca nas demais uma forma de suprir seus desajustes. A atividade que permite os deslocamentos de pessoas e mercadorias é o transporte, que exerce a função de elo da cadeia de serviços e equipamentos que os povos modernos desenvolveram entre si (MELLO, 1975).

Corroborando a importância que os transportes têm, o 6º artigo da Constituição estabelece os direitos sociais, ou seja, direitos básicos que todos os cidadãos brasileiros devem ter garantidos pelo Estado. Em 2013, esse artigo constitucional foi acrescido do direito social ao transporte (BRASIL, 1988). Tal ato é resultado do reconhecimento dos meios de transporte como elemento indispensável para a garantia dos demais direitos fundamentais.

Por meio de exposições que serão feitas ao longo deste trabalho, verifica-se que o modo rodoviário tem grande importância na realização de deslocamentos de pessoas e de cargas no Brasil. Somente esse fato já justificaria uma atenção maior quanto ao seu desempenho. Contudo, infelizmente, outra causa torna imprescindível que seja dada uma atenção especial a esse modo de transporte: as quantidades de acidentes que ocorrem nas rodovias. Esses acidentes, como poderá se constatar ao longo desse trabalho, por si só já constituem

uma externalidade indesejável, mas sua ocorrência provoca consequências indiretas tão nocivas quanto.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA E MOTIVAÇÃO

Ao se considerar todos os modos terrestres que possibilitam a realização de viagens de longas distâncias, o modo rodoviário apresenta maior simplicidade e menor tempo necessário para se implantar uma infraestrutura e menores custos para se adquirir os veículos para se utilizar suas vias. Essas características fizeram com que o modo rodoviário fosse o mais importante para a economia da maior parte dos países (GOUVEIA; RIBEIRO, 2015).

O modo rodoviário do Brasil possui em sua totalidade aproximadamente 1,7 milhões de quilômetros de vias (DNIT, 2013). Essa infraestrutura é fundamental para o desenvolvimento das atividades econômicas em nosso território e até mesmo fora dele. De acordo com dados da Confederação Nacional de Transporte (CNT, 2016), cerca de 61,1% das cargas transportadas no país e 50,4% das viagens de passageiros de longas distancias usam o modo rodoviário.

Nesse sentido, em 15 de agosto de 2012 o governo federal, através do Programa de Investimentos em Logística (PIL), lançou um pacote de investimentos de 46 bilhões para o setor rodoviário que envolvia cerca de 7 mil quilômetros de vias concessionadas (EPL, 2014).

De acordo com PEREIRA (2011), para que uma determinada infraestrutura cumpra seu papel socioeconômico de forma desejável e plena perante a sociedade, o projeto que estabelece suas características deve levar em consideração todos os seus prós e contras para a sociedade, inclusive as possíveis externalidades que possam ser criadas ou acentuadas. Como os acidentes rodoviários são uma externalidade dos deslocamentos que podem gerar perdas tanto sociais quanto econômicas, o combate a eles deve ser encarado como uma prioridade.

Segundo TIWARI (2000), embora tenha como foco de estudo o trânsito em vias urbanas, os princípios elencados e discutidos por ele também podem ser aplicados as vias rurais.

Os principais conceitos são a velocidade, o volume e a densidade do tráfego que são características básicas que são consideradas tanto em estudos de abordagem microscópica e macroscópica, sendo a segunda, a situação em que se enquadram as análises feitas nessa dissertação. Ele também evidencia que os parâmetros enumerados são sensíveis à heterogeneidade do fluxo veicular, ou seja, a presença de veículos leves (VL), motos, caminhonetes e carros de passeio, e veículos pesados (VP), veículos de carga. Isso ocorre pois, com relação aos veículos, cada um possui, dentre outros aspectos, características distintas: de geometria; de frenagem; de aceleração; e de manobrabilidade. Além disso, deve-se considerar que essa heterogeneidade veicular está ligada a uma diversidade de motoristas com diferentes graus: de experiência na direção; de agressividade; de confiança; e de conhecimento sobre a via. Como consequência, a quantidade de conflitos capazes de gerar um acidente rodoviário é diretamente proporcional ao número de combinações possíveis de veículos e motoristas em um dado trecho de uma via.

ZANNE e GROZNIK (2016) estudaram os impactos gerados nas taxas de acidentes rodoviários pela presença de veículos pesados, para transporte de mercadorias, no fluxo veicular de rodovias rurais de altas velocidades que possuíam viagens majoritariamente de longas distâncias na Eslovênia. Seu trabalho é constituído por um modelo matemático que visa prever a ocorrência de acidentes. Para tanto, adotaram como variável dependente o número de acidentes, e como variáveis independentes, o volume médio diário anual e as concentrações de veículos leves e pesados. A conclusão obtida foi de que a medida que a heterogeneidade do fluxo aumenta, isto é, a ocorrência de acidentes rodoviários é diretamente proporcional ao aumento da concentração de veículos pesados.

1.2 OBJETIVOS E LIMITAÇÕES

O principal objetivo dessa dissertação é analisar o comportamento de acidentes em rodovias federais com relação ao volume de veículos leves e pesados por faixa. Nesse trabalho considera-se três tipos de gravidade de acidentes, quais sejam: acidentes em que a consequência mais grave foi a morte de pelo menos um dos envolvidos; acidentes em que a consequência mais grave foi o ferimento de pelo menos um dos envolvidos; acidentes em que a consequência mais grave foi a ocorrência de dano material.

Para concretizar esse propósito pretende-se:

- Analisar as características dos três tipos de acidentes observados para agrupamentos de médias diárias anuais de fluxo veicular por faixa;
- Descrever as relações observadas entre os três diferentes tipos de acidentes e os volumes médios diários anuais por faixa;
- Estabelecer um *ranking* dos volumes médios diários anuais por faixa de cada região e do Brasil quanto a ocorrência de acidentes rodoviários.

Como não se pode abarcar todas as possibilidades de pesquisa, pois o universo do gerenciamento da segurança viária reúne atividades de quantificação, qualificação e mitigação dos acidentes, sendo que esta última podendo ser pró-ativa ou reativa. Esse trabalho se deteve ao conjunto de tarefas de qualificação. As demais limitações se estabelecem através do objeto de estudo e o que foi desenvolvido com ele, isto é, a criação de *rankings* agrupamentos de volumes médios diários anuais por faixa totais e de veículo leves e pesados separadamente, observados nas cinco regiões geográficas do Brasil. A elaboração desse *ranking* foi feita utilizando-se o método de análise multicritério da escola francesa Pométhée II, e que teve como critérios de avaliação as quantidades médias dos três tipos de gravidade de acidentes.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

A forma com que esse trabalho foi elaborado permite compartimentá-lo em 4 seções. A primeira delas é constituída pelos compreende a caracterização do próprio trabalho, bem como a pesquisa de estudos e demais publicações que abordam o tema da segurança viária e o tema das análises multicritérios. Estão contidos nessa fase os capítulos 1, 2, 3 e 4. A segunda fase diz respeito aos materiais e métodos utilizados para a avaliação dos efeitos do fluxo veicular na ocorrência de acidentes. Nela estão expostos os dados utilizados e o procedimento proposto e utilizado para se atingir o objetivo proposto. Nessa etapa tem-se o capítulo 5. A terceira etapa pode é definida pela exposição dos resultados oriundas da aplicação do procedimento proposto na base de dados e pela análise desses produtos. Essa etapa é incorporada pelo capítulo 6. A última seção é constituída pelas conclusões provenientes da dita análise e pela proposta de novos trabalhos. Essa seção compreende o capítulo 7.

2. ACIDENTES RODOVIÁRIOS

Um acidente é um evento que ocorre de forma súbita e alheia à vontade humana, oriundo de forças externas, que pode ocasionar danos físicos e materiais. (IPEA, 2006). Os componentes básicos relacionados aos acidentes estão agrupados em quatro grandes grupos, sendo que o quarto atua majoritariamente como um modificador dos demais. São os grupos: (1) das pessoas, que envolvem os condutores, passageiros e pedestres; (2) dos veículos; (3) das vias e ambiente, que englobam as características das vias e do clima; e (4) dos aparatos institucionais e aspectos socioeconômicos, que agrupam elementos como legislação e fiscalização (IPEA, 2006).

2.1 SITUAÇÃO DOS ACIDENTES RODOVIÁRIOS

2.1.1 ACIDENTES NO MUNDO

A situação da acidentalidade nas rodovias no mundo, de forma geral, é considerada periclitante. A maior parte dos países apresenta uma quantidade de mortes e ferimentos causados por acidentes rodoviários incompatível com o que é considerada aceitável pela Organização das Nações Unidas (ONU). Essa situação em que se encontra a segurança rodoviária internacional é tão grave que é encarada como um problema de saúde pública. Além disso, os impactos sociais e econômicos dos acidentes extrapolam as fronteiras de cada país, sendo justificada uma união internacional para mitigar esse problema. Embora longe da conjuntura ideal para a ONU, o sistema de transporte rodoviário é uma criação humana e, conseqüentemente, pode ter sua promoção compreendida e racionalizada de forma a possibilitar a obtenção de contagens mais baixas de morte e acidentes graves causados por acidentes rodoviários em todo o mundo (WHO, 2004).

Em busca da determinação da condição em que se encontra a segurança rodoviária mundial, um dos primeiros estudos que apresentou uma visão global e que deve ser citado é o *World Report on Road Traffic Injury Prevention*. Nele podemos observar que, no início dos anos 2000, a cada ano morriam aproximadamente 1,2 milhões de pessoas, e outras 50 milhões sofriam ferimentos em acidentes. Mais alarmante é o fato de que, se fossem mantidas as condições de trânsito, em 2020 os valores apresentados cresceriam

65% e transformariam esse tipo de acidente na terceira causa de morte em todo o mundo (WHO, 2004).

A constatação da alta gravidade dos acidentes rodoviários no mundo teve, entre outras consequências, a criação da organização United Nations Road Safety Collaboration (UNRSC), estabelecida pela resolução 58/289 de abril de 2004. O objetivo dessa instituição era orientar de forma informal os países e demais entidades que tenham interesse em desenvolver e aplicar boas práticas que propiciassem a redução de acidentes rodoviários. Suas contribuições, na forma de conscientização e disponibilização de suporte, obtiveram resultados tais como a queda de acidentes, mas encontram-se muito longe dos padrões considerados aceitáveis (WHO, 2010).

Em 2004, averiguou-se que o número de óbitos oriundos de acidentes rodoviários havia atingido a marca dos 1,27 milhões e que essa situação colocava essa causa de morte na nona posição do *ranking* de motivos de morte mundial. Além disso, observou-se que, para as pessoas cujas idades variam de 4 a 14, 15 a 29 e 30 a 44 anos, os posicionamentos no já citado *ranking* eram, respectivamente, o segundo, o primeiro e o terceiro lugar quanto a causa de morte. Essa constatação se torna mais alarmante pelos fatos de a primeira faixa etária ser responsável por formar as populações economicamente ativas (PEA) do futuro e de as demais constituírem grande parte da atual PEA. Mantendo-se a inadequada situação de segurança rodoviária internacional, estimou-se a taxa de mortalidade para o ano de 2030 e chegou-se à conclusão de que nesse ano os óbitos atingiriam a quinta posição no *ranking* internacional de motivos de morte (WHO, 2009).

Com relação ao ano de 2009, após a implementação de medidas de mitigação dos acidentes rodoviários por todo o mundo e a verificação dos índices de mortalidade dos 178 países analisados, que continham cerca de 98% da população global, observou-se que a o número de mortes se encontrava em 1,23 milhões. Nos países de renda *per capita* baixa e média encontrava-se 91% dessa quantidade de ocorrências, embora obtivessem cerca de 48% de toda a frota internacional de veículos automotores registrados. Também é importante ressaltar que em apenas 10 países encontravam-se 62% dos óbitos em questão, os quais foram enunciados em ordem decrescente de acordo com a quantidade de acidentes: Índia, China, Estados Unidos da América, Rússia, Brasil, Irã, México, Indonésia, África do Sul e Egito (WHO, 2009).

Comparando os países de renda *per capita* baixa e média e os países de renda *per capita* alta, as diferenças entre os acidentes que ocorriam no primeiro grupo de países e no segundo grupo iam além das quantidades absolutas. Nos países com maior disponibilidade de recursos econômicos, os usuários do sistema rodoviário mais afetados eram os passageiros de automóveis e, no caso dos demais países, os mais afetados costumavam ser os usuários mais vulneráveis, isto é, os pedestres, os ciclistas e os motociclistas (WHO, 2009).

Em busca da promoção de uma melhor condição na segurança dos deslocamentos através do modo rodoviário, a ONU, através da resolução 62/255 de março de 2010, estabeleceu o período de 2011 a 2020 como a década de ação pela segurança viária, que objetiva estabilizar e reduzir os níveis de acidentalidade global, com ações nacionais, regionais e globais. Outra medida estabelecida no mesmo documento, com o objetivo de fortalecer e acelerar o processo de mitigação dos acidentes, foi a solicitação à Organização Mundial da Saúde (OMS), aos comissários regionais da ONU, à UNRSC e demais entidades interessadas de que preparassem um plano de ação para a década (WHO, 2010).

São dois os principais fatos que norteiam as proposições feitas pelo plano de ação em prol da segurança viária. O primeiro é a impossibilidade de se extinguir completamente a ocorrência de acidentes rodoviários, pois os sistemas de transporte rodoviário são muito dependentes de decisões tomadas por cada um dos indivíduos que o utilizam, e não se pode remover totalmente a possibilidade de ações inadequadas serem executadas. O segundo fato é a alta fragilidade que nossos corpos possuem perante a natureza dos choques a que somos expostos em um acidente de trânsito. Essas considerações sujeitam a suscetibilidade humana a tomadas de decisão errôneas e à baixa resistência de nossos corpos como elementos irremovíveis do problema, fazendo com que o conjunto de soluções elaborado para a mitigação do problema considere o compartilhamento das responsabilidades entre usuários, gestores, operadores, planejadores, pesquisadores, projetistas de veículos e vias, e demais entes da sociedade que possam contribuir de alguma forma. Tais condições tornam difícil a determinação de medidas universais e que resolvam todos problemas de uma só vez (WHO, 2010).

A melhoria da segurança viária é uma tarefa que demanda grandes esforços e tempo para ser efetivada como pode se verificar no levantamento da Organização Mundial da Saúde

(OMS) de 2013, que analisou 182 países, os quais, juntos, somavam 6,8 bilhões de pessoas ou 98,6% da população mundial. A instituição comparou os números de acidentes rodoviários ocorridos no ano de 2010 com os dos ocorridos em 2007, e o número apresentado foi o mesmo: 1,24 milhão de acidentes. A quebra na sequência de crescimento dessas ocorrências deve-se aos esforços de 88 países que, juntos, têm aproximadamente 1,6 bilhões de habitantes, sendo 42 países de alta renda, 41 países de renda média e 5 países de baixa renda (WHO, 2013).

2.1.2 ACIDENTES NO BRASIL

Os fortes incentivos dados à indústria automobilística nos últimos anos, as boas condições de financiamento oferecidas pelos bancos e a falta de políticas públicas efetivas que contribuíssem para um trânsito mais seguro proporcionaram crescimentos acelerados da frota veicular nacional e da taxa de acidentes que acontecem no trânsito de pessoas e de cargas.

Segundo IPEA (2015), podemos obter alguns dados gerais sobre a acidentalidade nas rodovias federais nacionais dos anos de 2004 a 2014. Na Figura 2-1, pode-se observar um crescimento na quantidade de ocorrências até 2010 e decréscimo na quantidade das mesmas até o ano de 2014. Contudo, como já foi discutido anteriormente, mesmo que tenha se verificado uma melhora na segurança viária em nossas rodovias federais, sua situação ainda não se enquadra num patamar considerado adequado por instituições internacionais como a OMS, da qual o Brasil é membro.

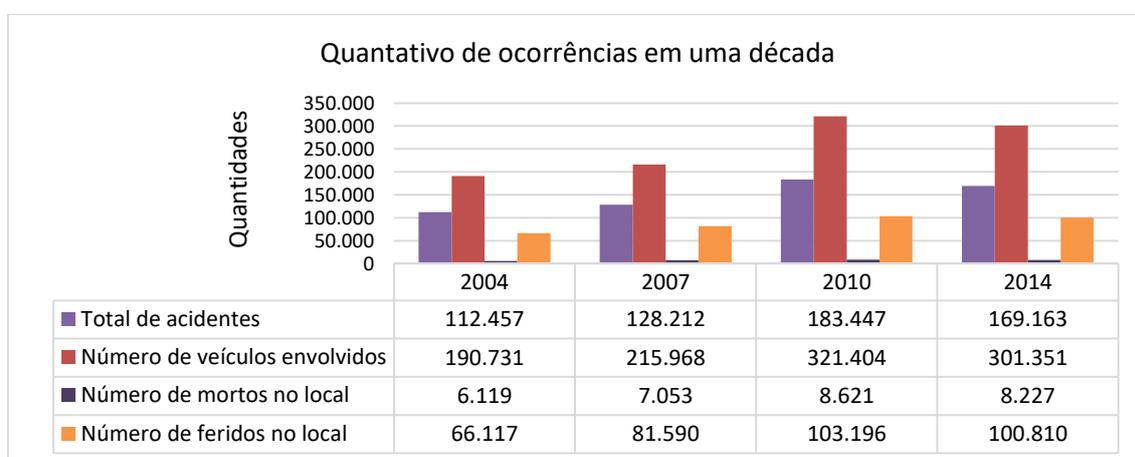


Figura 2-1: Gráfico das quantidades de acidentes de 2004 a 2014.

Fonte: Adaptado de (IPEA, 2015).

Diante dessa situação, entre as mais importantes medidas nacionais tomadas para se mudar essa situação está a elaboração do Plano Nacional de Redução de Acidentes e Segurança Viária para a década 2011-2020, feito pelo Comitê Nacional de Mobilização pela Saúde e Paz no trânsito (BRASIL, 2010a). Seu conjunto de medidas busca implantar ações de fiscalização, educação, saúde, adequação de infraestruturas e segurança veicular. Essa medida vai ao encontro dos esforços internacionais liderados pela Organização Mundial da Saúde, que estabeleceu o período de 2011 a 2020 como a Década de Ações pela Segurança Viária.

Com o objetivo de se estabelecer, de forma mais minuciosa, as condições em que se encontra a segurança viária das rodovias federais, novamente de acordo com a publicação do IPEA (2015), foram apresentadas as Figura 2-2. A partir da análise dessa imagem e do documento, é importante se ressaltar: que as colisões traseiras (29,2%), colisões laterais (16,5%) e saída de pista (14,9%) são os tipos de acidentes que mais causam acidentes (60,6%); que as colisões traseiras (18,2%), saída de pista (16,1%) e colisões transversais (14,5%), são os tipos que mais geram feridos (48,8%); e que os acidentes que mais proporcionam mortes (59,6%), são as colisões frontais (33,7%), atropelamentos de pessoas (14,6%) e as saídas de pista (11,3%). Outra situação relevante é que as colisões frontais, causadoras de mais mortes, ocorreram em aproximadamente 90% em rodovias de pistas simples.

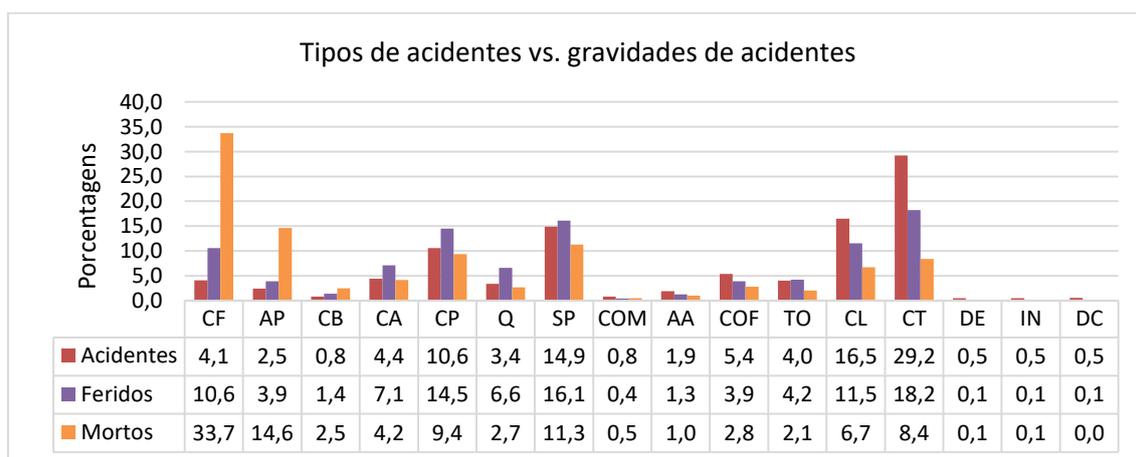


Figura 2-2: Gráfico dos tipos de acidentes vs. gravidade de acidentes de 2014.

Fonte: Adaptado de (IPEA, 2015).

O significado de cada sigla do eixo horizontal, tipos de acidentes, da Figura 2-2 são: colisões frontais (CF); atropelamento de pessoas (AP); colisão com bicicleta (CB);

capotamento (CA); colisão transversal (CP); queda de motocicleta/bicicleta/veículo (Q); saída de pista (SP); colisão com objeto móvel (COM); atropelamento de animal (AA); colisão com objeto fixo (COF); tombamento (TO); colisão lateral (CL); colisão traseira (CT); danos eventuais (DE); incêndio (IN); derramamento de carga (DC).

Outras questões que podem ser elencadas, de acordo com a Figura 2-3, são as causas mais relevantes para a ocorrência de acidentes nas rodovias federais quais sejam: falta de atenção (32,6%), distância de segurança (11,6%) e velocidades incompatíveis com o trecho (10,5%). Quanto a ocorrência de mortes, as maiores causas de morte, tem-se: a falta de atenção (20,3%), velocidades incompatíveis com o trecho (13,1%) e ultrapassagem indevida (7,8%).

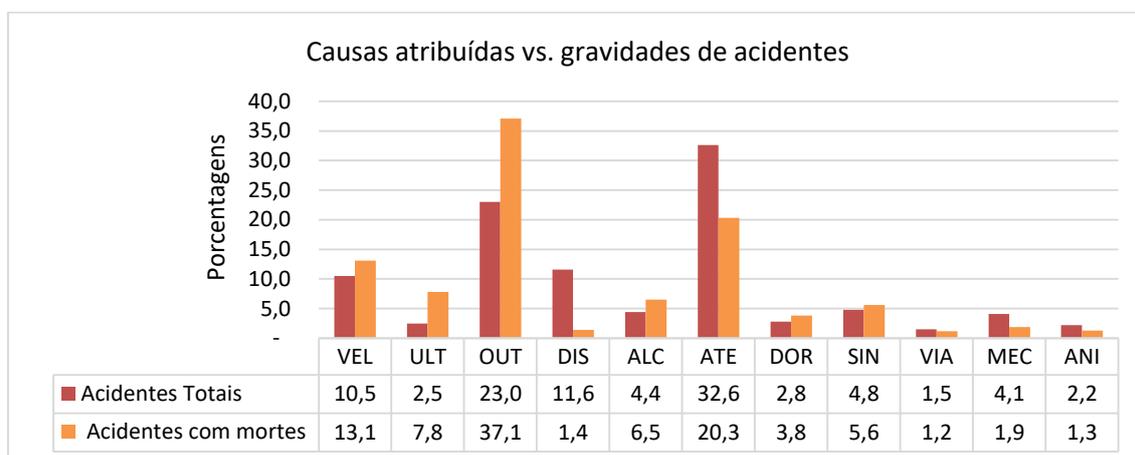


Figura 2-3: Gráfico das causas dos acidentes vs. gravidade de acidentes de 2014.

Fonte: Adaptado de (IPEA, 2015)

A definição de cada sigla do eixo horizontal, causas de acidentes, da Figura 2-3 são: velocidade incompatível (VEL); ultrapassagem indevida (ULT); outras (OUT); distância de segurança não respeitada (DIS); ingestão de álcool (ALC); falta de atenção (ATE); dormindo (DOR); desobediência à sinalização (SIN); defeito na via (VIA); defeito mecânico veicular (MEC); animais na pista (ANI).

Ao se analisar a Figura 2-4, que trata dos tipos de veículos envolvidos em acidentes nas rodovias federais, nota-se que os automóveis estavam envolvidos em mais de 75% dos acidentes e os caminhões em mais de 30% deles. Ademais, esses dois modos foram os que mais estiveram envolvidos em acidentes que ocasionaram mortes.

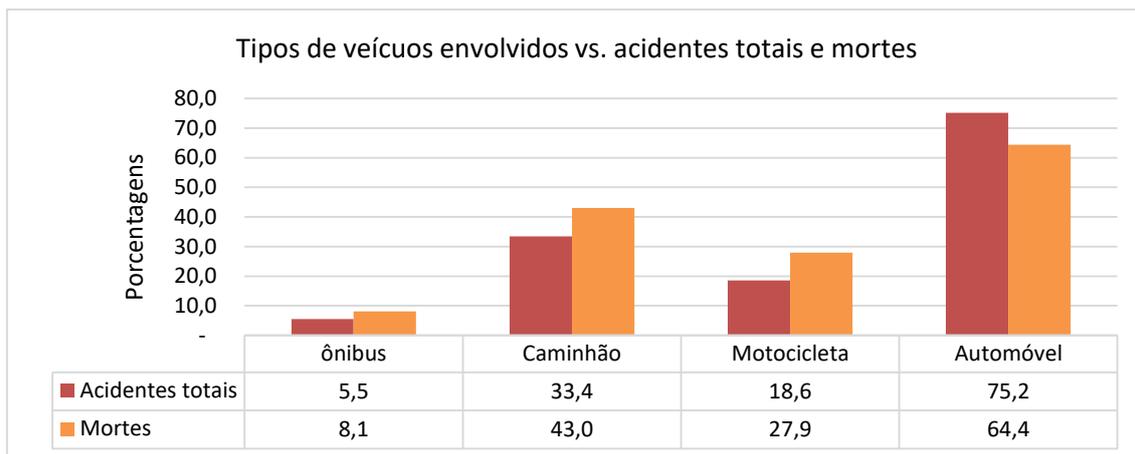


Figura 2-4: Gráfico dos tipos de veículos vs. gravidade de acidentes de 2014.
 Fonte: Adaptado de (IPEA, 2015)

Após essa caracterização histórica da situação dos acidentes rodoviários nas rodovias federais nacionais, será apresentada na seção a seguir, um resumo sobre os custos atribuídos a esses acidentes.

2.1.3 CUSTO DOS ACIDENTES RODOVIÁRIOS NO BRASIL

Uma rede de infraestruturas de transportes compatível com a demanda é vital para o desenvolvimento de regiões e países, tanto social quanto economicamente, na medida em que interligam o território por meio da provisão de acessibilidade para pessoas e mercadorias. Com isso, as infraestruturas de transportes impactam na produção econômica e industrial. Assim como seus efeitos positivos, os custos para sua construção, manutenção e operação são expressivos. Como consequência, qualquer externalidade deve ser combatida, para que os ganhos sociais e econômicos, oriundos dos investimentos feitos pelo Estado nessas infraestruturas, sejam maximizados (SHORT; KOPP, 2005).

Contudo, as vantagens que esse modo trouxe à sociedade podem ser ofuscadas pelos impactos sociais e econômicos que podem ser causados pelos acidentes que ocorrem nas rodovias de todo o país (GOUVEIA; RIBEIRO, 2015).

A determinação de uma precisa estimativa dos custos que os acidentes podem gerar é muito difícil de se obter, pois são muitas as variáveis envolvidas. Além disso, dados sobre as condições em que se deram os acidentes, muitas vezes, não são conectados com as

mortes ou o tipo e a severidade dos ferimentos que elas geraram. Por essas e outras razões, o que melhor podemos ter com relação à quantificação dos custos gerados por esse tipo de externalidade dos deslocamentos são estimativas aproximadas (RIBEIRO *et al.*, 2014).

Na Figura 2-1 verificou-se que, em 2014, os acidentes ocorridos em rodovias federais nacionais chegaram a uma quantidade próxima a 170 mil ocorrências. Segundo o IPEA (2015), esses incidentes somaram um custo superior a 12 bilhões de reais. Em média, cada acidente custou à sociedade 72,7 mil reais, sendo que os acidentes com vítimas fatais custaram 646,7 mil reais, aproximadamente.

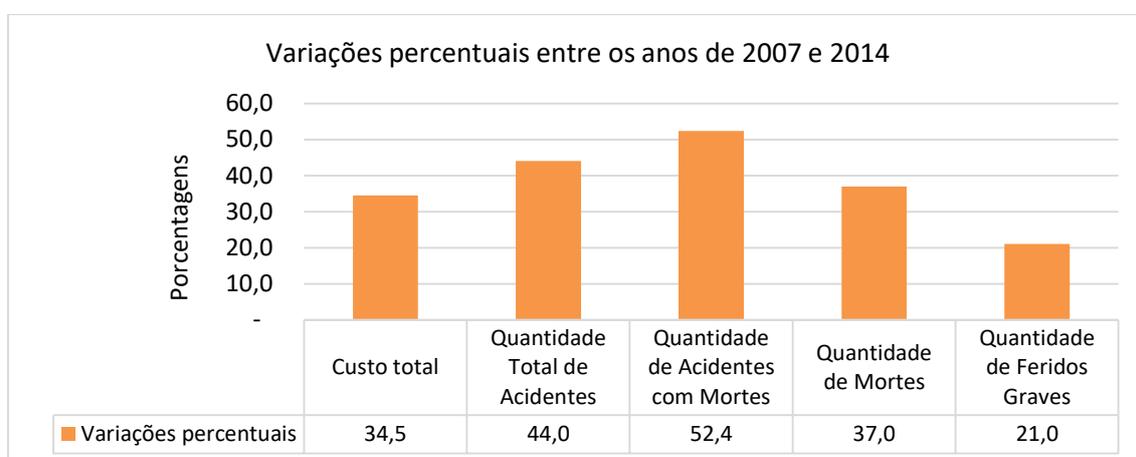


Figura 2-5: Gráfico que apresenta as variações percentuais do custo total com acidentes, quantidade total de acidentes, quantidade de acidentes com mortes, quantidade de mortes e quantidade de feridos graves entre os anos de 2007 e 2014.

Fonte: Adaptado de (IPEA, 2015)

Ao se analisar a Figura 2-5, observa-se que houve aumento de 34,5% nos gastos ocasionados pelos acidentes ocorridos em rodovia federais. Esse crescimento se deve majoritariamente aos incrementos nas quantidades absolutas dos acidentes, de 44,0%, em especial dos acidentes com mortes, que cresceram 52,4%. Outros fatores que também tiveram relevância foram as quantidades de mortes e de vítimas com ferimentos graves, com aumentos respectivos de 37,0% e 21,0%.

3. SEGURANÇA VIÁRIA

Os acidentes de trânsito, em sua maior parte, são oriundos de uma combinação específica de fatores que muitas vezes não são possíveis de serem identificados e analisados em sua totalidade, bem como a determinação exata de sua contribuição para que ocorra um acidente. Essa situação gera uma redução na precisão, que, conseqüentemente, diminui a confiabilidade de qualquer abordagem que venha a ser empregada na prevenção ou combate de acidentes de trânsito (CUNTO, 2008).

Outras definições para um acidente rodoviário são: a de que ele “consiste em um evento não intencional, envolvendo pelo menos um veículo motorizado ou não, que circula por uma via para transito de veículos” (DENATRAN, 2000): “todo evento não premeditado de que resulte dano em veículo ou na sua carga e ou lesões em pessoas e ou animais, em que pelo menos uma das partes está em movimento nas vias terrestres ou áreas abertas ao público – pode originar-se, terminar ou envolver veículo parcialmente na via pública” (ABNT, 1989).

3.1 GERENCIAMENTO DA SEGURANÇA VIÁRIA

O gerenciamento da segurança viária, bem como em qualquer área, consiste na utilização de habilidades, técnicas e conhecimentos com o objetivo de controlar ou influenciar os resultados a serem obtidos, isto é, na melhor das hipóteses, alcançar as respostas mais adequadas com os recursos existentes no momento das tomadas de decisão de forma mais eficiente e eficaz possível. Tais decisões podem ocorrer tanto em momento de elaboração de um projeto viário quanto em situação de operação. Dentre as atividades que compõem a gestão da segurança viária estão: a quantificação e qualificação e a determinação das medidas mitigadoras (FERRAZ, 2012).

Dependendo da situação em que se encontra a via, ou seja, sendo projetada ou em operação, segundo Nodari (2003), existem duas categorias de classificações possíveis para os métodos de gerenciamento da segurança viária. A primeira agrupa medidas reativas, que visam corrigir problemas relacionados à segurança viária uma vez que os acidentes já se manifestam, ou seja, em situação de operação da via. De sua coleção podem ser citados os estudos que analisam *black spots*, através de modelos estatísticos

que visam estabelecer relações de causa-efeito entre variáveis que se julga ter alguma influência sobre a ocorrência de acidentes. A segunda, reúne as medidas pró ativas, que visam extinguir ou diminuir as chances de que ocorram acidentes, antes que esses tenham se manifestado, sendo mais comum de serem aplicadas em situação de projeto das vias. Desse grupo podemos elencar as auditorias de segurança viária.

Para (CUNTO, 2008), a fim de se atender a essa demanda, a abordagem mais comum para se avaliar a segurança viária faz uso de estatística inferencial aplicada a bases de dados sobre as condições em que se desenvolveram os acidentes, sendo então uma abordagem reativa ao problema.

Em consonância com o enfoque desse trabalho, para Davis (2004) a gestão racional da segurança viária demanda modelos que permitam a previsão de acidentes, tanto para o estágio de planejamento quanto para o de operação. Simplificadamente, existem duas formas de ataque ao problema, a primeira é uma abordagem estatística para investigar a ocorrência dos acidentes, o que parece assumir que os acidentes rodoviários são individualmente imprevisíveis, fenômenos incertos, mas quando analisados de forma agrupada podem apresentar regularidades estatísticas previsíveis. A segunda é a reconstrução dos eventos que levaram aos acidentes, que ao contrário do tratamento anterior, assume que os acidentes são o resultado de processos determinísticos, embora um acesso limitado sobre as circunstâncias das ocorrências possa tornar sua proveniência incerta. Ele acredita que a determinação dos fatores e dos efeitos das modificações nesses fatores sobre os acidentes é melhor obtida por procedimentos determinísticos com uma abordagem *bottom up*. Esse tipo de procedimento é pautado na implementação de três etapas que serão apresentadas na ordem em que devem ser executadas, quais sejam: identificar os mecanismos, isto é, o conjunto de fatos que devem acontecer para a ocorrência dos acidentes; determinar os efeitos de alterações em cada mecanismo; elaborar modelos de predições de acidentes.

Experimentos randomizados controlados são considerados os mais adequados para se estabelecer as variáveis que exercem influência sobre um determinado fenômeno. Nesse tipo de estudo pode-se escolher uma variável e atribuir diferentes valores, mantendo as demais variáveis intactas ou neutralizadas, e se definir qual a intensidade dela sobre o fenômeno analisado. Ao contrário do que ocorre em algumas áreas mais afortunadas do

conhecimento, no caso de estudos envolvendo segurança viária, esse tipo de abordagem é limitada. Então, a maior parte do conhecimento sobre o assunto é obtida através de estudos de observação em que o pesquisador muitas vezes não tem controle nem sobre as alterações feitas no objeto de análise nem sobre os efeitos destas (HAUER, 2010).

Os estudos de observação são majoritariamente de dois tipos. O primeiro, *before-after*, seria aquele no qual se realiza uma mudança em um ou mais aspectos de um objeto de análise, com a finalidade de se comparar as diferenças entre a situação inicial e a situação posterior do fenômeno em questão. O segundo, *cross-section*, seria aquele em que se compara dois objetos de análise semelhantes, isto é, com variáveis explicativas em comum mas que assumem valores diferentes, a fim de estabelecer os efeitos que cada variável explicativa tem sobre o fenômeno analisado (HAUER, 2010; PERSAUD e LYON, 2007).

Contudo, quando o campo de estudo é o da segurança viária, os estudos observacionais *cross-section* assumem posição de destaque devido a sua maior aplicabilidade. Isso se deve ao fato de as oportunidades de se promover variações nos parâmetros de uma via, por exemplo, serem muito custosas, além de que poderiam ocasionar em mortes e ferimentos de pessoas sujeitas aos testes. Mesmo assim, há ocasiões em que, por razões diversas, alterações nos parâmetros da via são feitas, tais como: mudança na largura das faixas, raios de curvas e tipo de revestimento. Nesses casos, pode-se pensar que um estudo observacional *before-after* seria aplicável, mas as mudanças costumam ser tão intensas e numerosas que inviabilizam sua aplicação. Já para o caso de estudos observacionais *cross-section*, as possibilidades de aplicação são múltiplas, o que fez com que a maior parte dos estudos e conhecimentos gerados no campo da segurança viária usufríssem dele (HAUER, 2010).

Por outro lado, falhas individuais podem ser tratadas como eventos determinísticos que resultaram de falhas sistêmicas, como as infraestruturas de transporte feitas pelo homem. Sendo assim, esses sistemas podem ser hipoteticamente modelados sendo necessários os mecanismos que desencadeiam os fenômenos de interesse. Considera-se nesse trabalho que o termo mecanismo se refere a forma com que as variáveis explicativas exercem sua influência sobre os elementos envolvidos no transporte para que um acidente ocorra. A investigação aprofundada de acidentes ou a análise de reconstrução dos acidentes tenta

fornecer conhecimento sobre esses mecanismos. Esse tipo de abordagem exige uma quantidade considerável de informações que muitas vezes não está disponível (CUNTO, 2008).

3.2 COMPONENTES DOS ACIDENTES VIÁRIOS

3.2.1 VARIÁVEIS EXPLICATIVAS

O sistema de transporte rodoviário pode ser dividido em três grandes grupos de componentes, quais sejam: condutores; veículos; e vias/ambiente. Esses grupos interagem entre si para que se desenvolvam as atividades do transporte de carga e de passageiros. Como consequência direta disso, toda e qualquer variável explicativa que venha a ser selecionada com o objetivo de ser analisada como contribuinte para uma situação potencial de risco para acidentes deve se enquadrar em pelo menos um desses grupos. Na Figura 3-1 há uma figura que ilustra os conjuntos a que cada variável explicativa pode pertencer e as possíveis combinações:

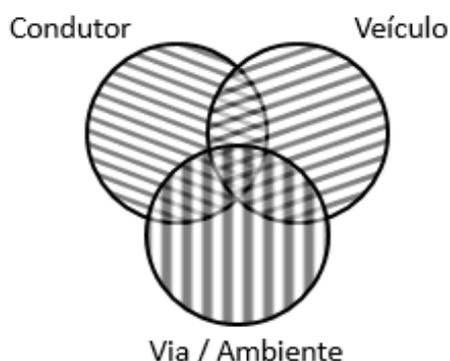


Figura 3-1: Diagrama das variáveis explicativas de acidentes.
Fonte: Adaptado de Nodari (2003).

A extensa aplicação e a replicação de modelos estatísticos mostraram que existem evidências de que os fatores que se relacionam para causar um acidente podem variar de local para local, principalmente pela abordagem observacional comumente utilizada (DAVIS, 2004). Algumas variáveis explicativas que já foram utilizadas serão apresentadas através da descrição de alguns trabalhos selecionados na literatura acadêmica.

Em seu trabalho, BUNN *et al* (2005) conseguiram estabelecer a fadiga e a falta de atenção de condutores como fatores contribuintes para a ocorrência de colisões de veículos comerciais, podendo, a partir de então, propor mecanismos que justificassem esse fenômeno, quais sejam: falta de mecanismos para reconhecer a fadiga e lidar com ela; treinamentos pouco efetivos quanto a importância de equipamentos e procedimentos de segurança.

ELVIK (2011) cita outras variáveis explicativas que costumam ser mais aplicadas: quantidade e largura de faixa; características das concordâncias verticais como (gradientes das vias); características das concordâncias horizontais (número de curvas e raios adotados nas vias); controle de tráfego como (velocidades máximas permitidas); presença de mecanismos de segurança (iluminação, defensas, e sinalização especial). Em seu trabalho, PARK *et al* (2012), analisaram os efeitos de faixas de acostamento mais largas em rodovias de pista simples. Concluíram que a largura do acostamento tem influência sobre a ocorrência de acidentes, especialmente em acidentes com apenas um veículo envolvido.

MORGAN e MANNERING (2011) avaliaram a influência da idade, gênero e condições climáticas e as condições de atrito entre os pneus e o revestimento asfáltico. Os resultados mostraram que diferentes graus de gravidade foram apresentados para as mesmas condições climáticas quando se variavam o gênero e a idade do condutor, indicando essas características dos condutores podem influenciar no modo com que os motoristas lidam com as mudanças nas condições do pavimento, e que por consequência cada grupo populacional teria nível de segurança viária associado.

LI, YAN E WONG (2015) demonstraram os efeitos que a névoa sobre a pista, a experiência do motorista e de gênero do condutor podem ter sobre o comportamento da pessoa que conduz um veículo em curvas em S. Seus resultados indicaram que embora motoristas tendem a executar mais cautela na névoa pesada, risco da condução sofreu um aumento devido à dificuldade em perceber o meio ambiente, como indicado por distâncias mais curtas de desaceleração, velocidades de entrada e saída de curvas mais altas quando sob o efeito de forte neblina. Outra constatação foi a de que os motoristas não profissionais apresentaram menos domínio do veículo, tanto longitudinal e quanto lateral.

DANAF, ABOU-ZEID e KAYSI (2015), através de estudo feito com estudantes universitários que foram submetidos a um simulador de direção, concluíram que motoristas que apresentavam sintomas de raiva tendiam a dirigir de forma mais agressiva, sendo mais provável que variassem e atingissem velocidades maiores, além de estarem mais propensos a cometer mais infrações. Embora essas constatações não sejam sobre a incidência de acidentes, eles discorrem sobre a influência que a raiva tem sobre o aumento de fatores que favorecem a ocorrência de acidentes automobilísticos.

3.2.2 O FLUXO E OS ACIDENTES RODOVIÁRIOS

MARTIN (2002) expôs a influência do volume e das proporções de veículos pesados e leves que compõem o fluxo horário na severidade dos acidentes em rodovias interurbanas francesas com múltiplas faixas. As variáveis explanatórias adotadas em seu estudo foram: período do dia; intensidade do tráfego. Ele concluiu que não havia diferença de efeitos entre as rodovias de pista dupla ou tripla, além de verificar que não havia variação entre os dias da semana. Contudo observou que as noites e o períodos com tráfegos leves tendiam a ter mais acidentes, tanto com somente danos materiais quanto com a presença de feridos. Também para situações de tráfego leve e nos finais de semana, quando a presença de veículos pesados era restringida, as pistas com 2 e 3 faixas de deslocamento tendiam a ser mais perigosas. Já para o caso de tráfego intenso os dias úteis eram mais perigosos. Ele conclui por fim, que quando o volume de tráfego é leve nas vias, os motoristas tendem a ficar mais confiantes quanto a suas capacidades de evitar situações de perigo, o que leva a uma displicência quanto a velocidade imprimida e as distâncias guardadas dos veículos a frente.

QIN *et al.* (2004) optaram por utilizar as extensões dos trechos e volumes de tráfego das vias analisadas separados em classes, juntamente com a adoção de múltiplas variáveis dependentes com base nas quantidades de veículos envolvidos e nos tipos de colisão, como: frontal e lateral. Eles verificaram que acidentes com um único veículo são mais frequentes em fluxos mais baixos enquanto os que envolvem mais de um veículo costumam acontecer em fluxos veiculares mais elevados. Quando avaliaram a situação para colisões de múltiplos veículos com mesmo sentido de deslocamento, verificaram que sua maior ocorrência se dava em maiores taxas de veículos, o que segundo os autores

poderia estar relacionado aos *headways* menores. No caso de sentidos opostos, a relação entre acidentes e o tráfego era linearmente diretamente proporcional.

SHEN e NEYENS (2015) avaliaram a influência da idade e do gênero dos condutores, ingestão de álcool, uso do cinto de segurança, *airbag*, luminosidade, fadiga do condutor, condição do tempo, velocidade e dia da semana quanto a gravidade dos acidentes sofridos, que por sua vez, têm diferentes custos econômicos. Seus resultados mostraram que cada combinação diferente das variáveis explicativas tinha uma severidade relacionada e com isso, um custo diferente também.

CASTILLO *et al.* (2015) examinaram a coexistência de caminhões e veículos leves em rodovias e a influência dessa relação na ocorrência de acidentes de trânsito em países da União Europeia. Para tal, utilizaram modelos econométricos alimentados por uma base de dados de acidentes do período de 1999 a 2010. Em especial analisaram: os efeitos do aumento das quantidades de ambos os tipos de veículos; os resultados de duas regulações voltadas para veículos pesados, que ainda não estão amplamente consolidadas na União Europeia, quais sejam, limites de velocidade e concentra máxima de álcool na corrente sanguínea de caminhoneiros.

As variáveis utilizadas em suas análises foram: número de acidentes; número de caminhões, independentemente do tamanho, por 1000 habitantes; número de veículos de passeio registrados por 1000 habitantes; PIB per capita; densidade de vias, ou seja, a extensão total de rodovias em país, em km, dividida por sua área em km²; taxa da população com mais de 60 anos de idade; taxa da população com idade entre 20 e 39 anos; existência de proibição de dirigir com concentrações de álcool no sangue maiores do que 0,5g/l; limites de velocidade diferenciados para veículos com massa superior a 3,5 toneladas. Como desfecho de seu estudo concluíram que são necessários tratamentos específicos para mitigação de congestionamentos, poluição e acidentes para veículos pesados. Em especial, encontraram evidências de que na presença de veículos pesados a ocorrência de acidentes fatais tende a ser superior, mesmo em países europeus com grande desenvolvimento econômico e vias de alta qualidade.

Na Tabela 3-1 pode-se observar um resumo das variáveis explicativas dos trabalhos adotados como referência para essa dissertação. Eles foram separados em quatro esferas,

via / ambiente, condutor, veículo e socioeconômicas, contudo dependendo do trabalho e da abordagem dada pelos autores, a última categoria pode ser agregada a segunda.

Tabela 3-1: Resumo das variáveis explicativas utilizadas em trabalhos que avaliaram a ocorrência de acidentes em rodovias adotados como referência.

Variável	Grupo			
	Via /ambiente	Condutor	Veículo	Socioeconômicas
Névoa	x			
Traçado sinuoso	x			
Quantidade de faixas	x			
Largura das faixas	x			
Rampas	x			
Quantidade de curvas	x			
Raio das curvas	x			
Limite de velocidade	x			
Iluminação	x			
Sinalização	x			
Chuva	x			
Revestimento das vias	x			
Fluxo veicular	x			
Presença de veículos pesados no fluxo	x			
Números de sentidos por via	x			
Defensas	x			
Presença de acostamento	x			
Largura do acostamento	x			
Dia da semana	x	x		
Fadiga		x		
Falta de atenção		x		
Experiência na direção		x		
Gênero		x		
Agressividade		x		
Idade do condutor		x		
Ingestão de álcool		x		
Cinto de segurança		x		
Pneus			x	
<i>Airbag</i>			x	
Densidade de vias	x			

3.2.3 VARIÁVEIS DEPENDENTES

As variáveis dependentes são as consequências das relações de causa-efeito que se deseja analisar. Quando se trata de estudo sobre segurança de tráfego, elas costumam ter duas

características, que são a quantitativa e a qualitativa. O aspecto quantitativo se refere, como não poderia deixar de ser, ao número de acidentes. O aspecto qualitativo se refere ao tipo de acidente – por exemplo, se frontal ou lateral – e à gravidade, isto é, se houve mortos ou somente feridos.

Modelos de previsão de acidentes são muitas vezes utilizados para estimar o número de acidentes em segmentos e nos cruzamentos na rede rodoviária. Frequentemente os modelos são desenvolvidos para um número total de acidentes e por gravidade. No entanto, a consideração simultânea de frequência e a gravidade dos acidentes de diferentes tipos pode gerar confusão e erro em estudos sobre a segurança viária. Para melhor considerar esse fato, em seu trabalho Jonsson, Ivan e Zhang (2007) foram analisados separadamente os diferentes tipos de acidentes por: distribuição da gravidade; dependência de fluxo de tráfego; variáveis que melhor explicam as variações nos graus de severidade dos acidentes. Foram constatadas disparidades em termos de gravidade, bem como a relação de fluxo entre vários dos tipos de falhas. Colisões em interseções e de frente costuma ser mais graves do que colisões traseiras.

A escolha da variável dependente para o caso de acidentes rodoviários costuma variar entre: o número total de acidentes em geral; o números de acidentes por tipo e severidade; taxas de acidente por unidade de exposição; e número de mortos ou feridos (ELVIK, 2011).

3.2.4 RELAÇÕES ESTATÍSTICAS E DE CAUSALIDADE

Simplificadamente, uma causa é uma condição necessária para que um evento se manifeste. A princípio, quando verificada uma relação de dependência estatística, de acordo com a definição de causa, deve ser possível identificar um ou mais mecanismos para justificar a relação evidenciada (ELVIK, 2011). Outra exigência, mais difícil de ser atendida no caso de se tentar estabelecer os efeitos dos fatores contribuintes para a ocorrência de acidentes rodoviários, é a de que um mesmo agente produz sempre o mesmo efeito (DAVIS, 2004). Também afirmam JONSSON *et al.* (2007) que as variáveis consideradas adequadas para um modelo de previsão podem diferir para cada tipo de acidente.

Embora o enfoque das observações feitas pelos autores citados fosse a formação de uma base sólida para o desenvolvimento de trabalhos que se propusessem estabelecer modelos de previsão de acidentes, qualquer outro trabalho que venha tentar estabelecer relações de causalidade entre variáveis explicativas e dependentes deve se atentar para tais condições. A necessidade de se observar e atender tais premissas está no fato de que elas visam atestar que as relações verificadas sejam verdadeiras, mesmo que confiabilidade estatística de algum fato que se venha testar seja menor que 100%.

Quanto aos critérios de causalidade, considera-se que eles são condições e regras que devem ser atendidas a fim de se garantir que as relações estatísticas observadas em um determinado estudo que deseja estabelecer relações de causa-efeito entre determinadas variáveis explicativas e dependente sejam validadas. ELVIK (2008) apresenta os principais critérios de causalidade. Os critérios são os seguintes: deve haver uma associação estatística entre a variável explicativa e a variável dependente; uma associação estatística forte possui maiores chances de representar uma relação causa-efeito do que uma associação de mais fraca; a associação estatística entre a variável explicativa e a variável dependente deve ser internamente consistente, isto é, idêntica dentro dos limites da aleatoriedade em todos os subgrupos de dados ou em todos os estudos semelhantes; a dependência da variável explicada com relação as variáveis explicativas deve ser claramente evidenciada; a relação entre as variáveis explicativas e a variável explicada deve se manifestar quando os possíveis fatores causadores de erros forem tratados; é indispensável a determinação de mecanismos que justifiquem as relações de causa-efeito evidenciadas pelas relações estatísticas; deve ser possível a associação de conceitos teóricos às relações estatísticas estabelecidas; deve existir uma relação, não necessariamente linear, entre as variações das variáveis explicativas e as variações da variável explicada; uma manifestação da variável explicada deve depender da presença das variáveis explicativas.

Esse capítulo teve como finalidade a apresentação de alguns aspectos relevantes acerca do estudo dos acidentes rodoviários. Discorreu-se sobre as possíveis considerações da natureza dos acidentes rodoviários, quer dizer, se são eventos imprevisíveis individualmente, mas que em conjunto podem apresentar regularidade estatística, ou se são eventos determinísticos.

Discutiu-se também os tipos de medidas para a redução dos acidentes, isto é, classificadas entre ações reativas e preventivas; as variáveis explicativas que foram adotadas em outros trabalhos como fatores que interferem na ocorrência de acidentes, quer seja na quantidade ou na qualidade deles; as variáveis dependentes, que na relação de causa-efeito dos acidentes fazem as vezes do segundo termo. Tratou-se da mesma forma a respeito das condições que devem ser atendidas para que uma relação de causa-efeito seja satisfatoriamente confirmada.

Para o desenvolvimento desse trabalho optou-se por adotar como variáveis dependentes a quantidade de acidentes ocorridos em rodovias federais, separados em três tipos de gravidades, quais sejam: acidentes nos quais a consequência mais grave foi a morte de pelo menos um dos envolvidos; acidentes nos quais a consequência mais grave foi o ferimento, não letal, de pelo menos um dos envolvidos; e acidentes nos quais a consequência mais grave foi o dano material dos veículos envolvidos. Quanto às variáveis explicativas, adotou-se o volume médio diário anual por faixa das rodovias e as respectivas porcentagens de veículos leves e pesados.

4. ANÁLISE MULTICRITÉRIO

Tomadas de decisão envolvendo problemas complexos são comuns em diversas áreas do conhecimento, e muitas vezes recorre-se a abstrações, heurísticas e raciocínios dedutivos a fim de solucioná-los. Para apoiar no processo decisório racional com múltiplos objetivos a serem alcançados, os métodos de auxílio multicritério à decisão foram desenvolvidos. Para tanto, esses métodos possuem simultaneamente caráter científico e subjetivo, somando-se a capacidade de agregar características quantitativas e qualitativas.

De acordo com MACHARIS *et al* (2009) dentre os diversos tipos de métodos possíveis de serem utilizados para avaliar projetos de transporte, dentre eles a análise de custo-eficácia, em inglês *cost-effectiveness* (CEA), e a Análise de Custo-Benefício, em inglês *cost-benefit analysis*, (CBA), ambas considerando efeitos econômicos de cada decisão, a Análise de Custo-Benefício Sociais, em inglês *social cost-benefit analysis* (SCBA) e Métodos de auxílio Multicritério à Decisão, em inglês *Multiple Criteria Decision Aid* (MCDA), considerando uma gama de aspectos maior, como econômico, ambiental, espacial e social. As duas últimas técnicas citadas têm ganhado maior aplicação ultimamente, pois existe uma maior demanda da sociedade pela sustentabilidade dos projetos implantados.

Em seu trabalho ROY (1990) apresenta um pequeno resumo sobre a Pesquisa Operacional (PO) até meados de 1960 e seu desenvolvimento até a elaboração de seu trabalho, com relação aos Métodos de Análise Multicritério (MAM). Ele divide os MAM em duas áreas, que são: os Métodos de Tomada de Decisão Multicritério, em inglês, *Multiple Criteria Decision Making* (MCDM) e os Métodos de Auxílio Multicritério à Decisão, em inglês, *Multiple Criteria Decision Aid* (MCDA).

Existe ainda, segundo MACHARIS *et al* (2009) uma outra possibilidade. A Análise Multicritério Multiatores (MAMCA) para avaliação de projetos. Este método de avaliação centra-se especificamente na inclusão critérios qualitativos e quantitativos com os suas Importâncias, definidas por múltiplos tomadores de decisão, em um processo de avaliação abrangente, a fim de facilitar a tomada de decisão pelas diferentes partes interessadas.

Um MAMCA é composto por sete etapas, quais sejam: definição das alternativas; análise dos tomadores de decisão; definição de critérios e pesos; estabelecimento das métricas e variáveis de avaliação; análise propriamente dita e *ranking*; resultados; julgar os resultados e, eventualmente, aperfeiçoar a análise.

Qualquer MCDA pode ser utilizados como base para a constituição de um MAMCA. Em especial o PROMETHEE, AHP e o ELECTRE, já que esses métodos dão aos tomadores de decisão a liberdade de estabelecerem os critérios, pesos, a estrutura de preferência. Tais métodos serão melhores apresentados mais adiante.

4.1 MÉTODOS DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO

Segundo ROY (1990) até meados de 1960 decisões, na PO, tinham uma abordagem de critério único, em que os problemas de tomada de decisão seguiam 3 princípios básicos, quais sejam:

- Um grupo "A" de planos ou projetos factíveis com seus atributos bem definidos, sua forma analítica é exposta a seguir:

$$A = \{a_1; a_2; \dots; a_n\}$$

$$X = \{x_1; x_2; \dots; x_j\}$$

Em que para todo plano ou projeto "a" existe um outro vetor "X" com os indicadores de cada atributo. Todos os vetores descritos acima existem no universo R^n e R^j , respectivamente.

- Uma função de valoração (V) bem definida que pondera os atributos de cada ação possível.

Essa função V de valoração devem ser utilizadas com adequada e única forma de avaliação das alternativas pelos tomadores de decisão (D). Isto posto, algebricamente temos:

“D” prefere a alternativa a_1 em detrimento da alternativa a_2 se $v_1(a_1) > v_2(a_2)$, ou de escrevendo-se de forma a evidenciar os atributos das alternativas, se $v_1(x_1; x_2; \dots; x_j) > v_2(y_1; y_2; \dots; y_j)$.

Em que, $x_1; x_2; \dots; x_j$ e $y_1; y_2; \dots; y_j$ são os valores de cada atributo dos planos ou projetos v_1 e v_2 , respectivamente.

- Uma formulação matemática bem definida. Esse princípio diz respeito a resolução do problema, que consiste na seleção da melhor opção segundo os critérios adotados e as formas de valorá-los. Analiticamente tem-se que a alternativa adotada a_1 deve ter: $v_1(a_1) \geq v_2(a_n) \forall a_n \in A$

4.1.1 MCDM

A partir da década de 1960, segundo ROY (1990), teve início a disseminação dos MCDMs. Essa nova abordagem também possui três considerações fundamentais, que são:

- Um grupo "A" de planos ou projetos factíveis com seus atributos bem definidos, sua forma analítica é exposta a seguir;
- Um modelo de preferência bem definido para os tomadores de decisão. A forma matemática das interações entre cada alternativa é:

$a_1 P a_2$: a_1 é estritamente preferido em relação a a_2 se $U(a_1) > U(a_2)$;

$a_2 P a_1$: a_2 é estritamente preferido em relação a a_1 se $U(a_2) > U(a_1)$;

$a_1 I a_2$: a_1 é indiferente a a_2 e vice versa se $U(a_1) = U(a_2)$;

Em que: A relação "P" é assimétrica e transitiva; A relação "I" é reflexiva; simétrica e transitiva; U é a função de utilidade que pondera os atributos de cada alternativa.

- Um problema matemático bem definido. Essa consideração é similar a terceira consideração do caso mono critério, que consiste em definir a melhor alternativa.

Contudo, no caso de análise multicritério não há uma pré definição da função utilidade "U", cabendo ao tomador ou tomadores de decisão determiná-la.

Uma outra característica da função U é que ela pode ser determinada tanto para abordagens determinística quanto para a situações probabilísticas. Quanto aos MCDM, propriamente ditos, ele ressalta que existe uma diversidade de formulações para as Funções de Utilidade que são estabelecidas de acordo com as hipóteses, axiomas, exatidão, escala, variabilidade, etc.

4.1.2 PREOCUPAÇÕES AOS SE TRABALHAR COM MCDM

Outras duas preocupações que se deve ter quanto a Função Utilidade de MCDM são: se ela se presta a consideração dos atributos ou critérios na forma como eles são calculados ou se eles devem ser majorados ou minorados; a determinação a melhor alternativa, será legítima e válida certamente, para conceitos, axiomas e teoremas adotados e, portanto, essas convicções devem estar em consonância o tomador de decisão.

4.1.3 DO MCDM AO MCDA

Existe diferença ao se trabalhar com PO ou MCDC e se faz uso da MCDA. Ela pode ser representada pela consideração de limitações quanto a infalibilidade dos resultados, que pode ser explanada por cinco características da modelagem do problema.

- A forma como se considera as alternativas ou ações que são viáveis ou inviáveis para se compor o conjunto "A" em para se aplicar o método é frequentemente confusa e diversa.
- Nem sempre as pessoas consideradas habilitadas para tomarem as decisões o são. Mesmo que existam tomadores de decisão com verdadeira capacidade decisória, suas preferências e convicções podem apresentar conflitos e contradições. Nesse sentido, as abordagens MC contribuem para a dissolução de tais incertezas e nebulosidades.

- Existem, muitas vezes, imprecisões e indeterminações nas variáveis numéricas e distribuições estatísticas adotadas.
- Em diversos problemas e situações é impossível determinar se uma decisão é adequada ou inadequada segundo, somente, uma abordagem matemática. Em muitas ocasiões se fazem necessárias ponderações sócio culturais, por exemplo, contribuem para uma resolução.

De forma mais direta e simplificada, pode-se dizer que uma solução ótima é impossível de ser determinada, como propõem fazer a Pesquisa Operacional e a MCDC, a luz das considerações feitas acima. O máximo que se pode obter então, que é a que se presta a MCDA, é um direcionamento do caminho a ser seguido, através da extração de informações dos dados disponíveis, segundo as convicções do próprio tomador de decisão.

4.1.4 MCDA

Os três princípios básicos da MCDA são:

- Não existe um grupo de alternativas ou planos segregados, mas sim um conjunto de ações possíveis não necessariamente excludentes que podem. Isto posto, como resultado pode-se ter uma composição de ações. Além disso, nem mesmo o grupo de ações não é fundamentalmente perfeito, podendo sofrer alterações.
- Os critérios de cada ação possível podem ser avaliados diretamente ou através de pseudo critérios. Devido a necessidade de considerar incertezas, e imprecisões pode-se lançar mão de diferentes tipos de entrada de dados como conjuntos FUZZY; distribuições de probabilidade. Os pseudo critérios podem ser oriundos das diferenças entre os valores assumidos pelos critérios de cada ação passível de ser tomada e, que ainda, pode passar por um filtro com limites inferiores e superiores para julgar a relação de preferência estabelecida.

- Para os métodos de MCDA, a questão é a elaboração ou produção de modelo matemático que permita a comparação e compreensão das relações entre as ações que podem ser adotadas e determinar um caminho. Resumidamente, eles podem dar suporte a seleção da melhor alternativa e a formação de um *ranking* das ações.

ROY (1990) conclui então que é impossível considerar que existe em algum lugar uma solução correta ou atribuição ou classificação que poderia ser considerado independente de qualquer procedimento. Assim, torna-se impossível determinar a validade de um procedimento quer numa noção de aproximação ou sobre uma propriedade matemática de convergência. Portanto, a solução final, ou atribuição, ou classificação é mais como uma criação do que uma descoberta. Por fim, os métodos MCDA devem ser utilizados como ferramentas de apoio a tomada de decisão, reduzindo incertezas e conflitos.

Quanto as principais características de problemas complexos e que são relevantes para o desenvolvimento dessa pesquisa podem ser elencados: a existência de mais de um atributo por alternativa analisada; possibilidade de relação entre as alternativas e seus critérios, de modo que um dado atributo pode ser influenciado por outro, ao mesmo tempo que a escolha por uma alternativa e rejeição de outra, no caso de não haver exclusão mútua entre as alternativas, interfere na eficácia; dúvida entre acerca do que é critério e do que é restrição.

4.1.5 SELEÇÃO DE UM MCDA

HARALAMBOPOULOS *et al* (2006) apresentam algumas lucubrações sobre os aspectos a serem considerados para a seleção de um MCDA para se avaliar planos de energias renováveis. Contudo alguns dos pontos elencados são relevantes para a análise dos acidentes em rodovias, já que a avaliação dos impactos de sua ocorrência e sua mitigação exerce efeitos sobre as esferas econômica, social, cultural, institucional, ambiental e legal, de forma similar ao que ocorre com as questões energéticas de um país ou região. ROY e SŁOWIŃSKI (2013) realizaram trabalho similar, mais com dimensão maior ao passo que propõem uma abordagem composta por etapas bem definidas para a determinação do MCDA mais adequado para a solução de um problema de qualquer área.

HARALAMBOPOULOS *et al* (2006) e ROY e SŁOWIŃSKI (2013) também fizeram considerações sobre as características presentes e que seriam desejáveis em um MCDA. Todas as questões levantadas devem ser consideradas na hora da determinação do método mais adequado para o problema a ser resolvido. Tais informações estão na Tabela 4-1.

Tabela 4-1: Pré-requisitos desejáveis de um MCDA que venha ser adotado na análise de segurança de uma rodovia. Baseado em HARALAMBOPOULOS *et al* (2006) e ROY & SŁOWINSKI (2013).

Pré-requisitos desejáveis de MCDA	Justificativa
Adoção de pesos	Considerar preferência entre critérios
Adoção de valores críticos	Assimilar capacidades ambientais, econômicas, recursos, características sociais e culturais
Comparabilidade	Para realizar uma comparação integrada entre alternativas
Aceitar entradas qualitativas e quantitativas	Assimilar capacidades ambientais, econômicas, recursos, características sociais e culturais
Escala dos critérios	Considerar diversas escalas numéricas
Rigor	Fornecer resultados robustos
Aceitar considerações de vários tomadores de decisão	Considerar vários tomadores de decisão
Representação gráfica	Facilitar a interpretação dos resultados
Fácil utilização	Maximizar esforços nas análises
Análise de sensibilidade	Reforçar a transparência do procedimento
Aceitar múltiplas alternativas	Considerar a diversidade de possibilidades
Aceitar um elevado número de critérios	Considerar diversos aspectos das ações
Procedimentos de busca de consenso	Alcançar comprometimento do maior número de tomadores de decisão
Incorporar aspectos intangíveis	Considerar dimensões obscurecidas dos problemas analisados
Incomensurabilidade	Para manter os critérios de decisão encapsulados em suas unidades e proporcionar uma melhor decomposição o problema
Considerar incertezas	Conseguir lidar com a imperfeição dos dados
Compensação	Considerar a viabilidade operacional
Hierarquização	Permitir determinação de uma escalada de melhores planos
Significados concretos dos parâmetros	Melhorar a confiabilidade do processo
Aprendizagem	Reconhecer e incorporar aprendizagens durante o processo de avaliação
Considerações temporais	Considerar efeitos dos prazos dos projetos
Interação entre critérios	Considerar os efeitos da influência dos critérios entre eles

Fonte: Adaptado de HARALAMBOPOULOS *et al* (2006) e ROY & SŁOWINSKI (2013).

4.1.5.1 COMPENSAÇÃO VS. SUSTENTABILIDADE

Compensação é a capacidade que um MCDA tem de contrabalançar os diferentes critérios, ou seja, um ótimo desempenho de um determinado critério pode anular uma péssima desenvoltura de um outro atributo. Contudo, ao passo que se promove a compensação entre os diversos aspectos averiguados de cada plano ou projeto, diminui-

se o poder de se determinar a sustentabilidade de cada alternativa de ação que, em última instância, culminaria na eleição do plano ou projeto mais equilibrado quanto aos diversos critérios verificados. A Figura 4-1, apresenta uma ilustração que resume essas questões com alguns dos MCDA's mais usuais. Observa-se que MAUT, é um dos métodos que que permite maior compensação e dentre os que possibilitam uma maior sustentabilidade é o ELECTRE III.

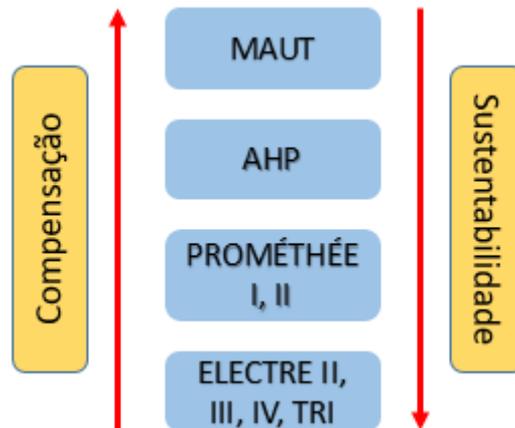


Figura 4-1: Compensação e Sustentabilidade dos principais MDCA's.
 Fonte: Adaptado de Haralambopoulos *et al* (2006).

4.1.5.2 MODELAGEM DA PREFERÊNCIA DO TOMADOR DE DECISÃO

Alguns dos MCDAs devem ter um valor numérico, seja ele relacionado a um indicador ou a um peso, associado a cada critério, que diz respeito ao custo ou benefício de um critério, no primeiro caso, ou a preferência ou importância atribuída pelos tomadores de decisão para um atributo. Independente do caso, sua consideração e interpretação varia de acordo com o método selecionado e o grupo dos tomadores de decisão responsáveis pela avaliação.

Algumas generalizações, como ponto de partida para a discussão de qual método se adotar quanto as interpretações dos pesos, podem ser: métodos que se baseiam em funções de utilidade assumem uma incondicional possibilidade de comparação entre os diversos critérios e a existência de uma melhor alternativa e os pesos são encarados como taxas que indicam quando um critério deve ser substituído; métodos que se prestam a construção de um *ranking*, devido a sua natureza não compensatória, os pesos não são constantes de escala, mas sim uma medida da relativa importância dada a cada critério

avaliado. Entretanto, para a família PROMETHEE, seus pesos podem ser interpretados como *trade-off* entre critérios e não como coeficientes de preferência MUNDA (2004).

4.2 APLICAÇÕES BRASILEIRAS DE MCDA

RODRIGUEZ *et al* (2013) apresentam as referências seminais de alguns MCDA, segundo a ótica de ROY (1990), usados, em grande parte, em trabalhos realizados no Brasil entre os anos de 2001 e 2011, além de algumas informações como tema e área de aplicação. Essas observações podem ser observadas na Tabela 4-2 e Tabela 4-3. A exposição dessas tabelas visa demonstrar, através de exemplos, a ampla aplicabilidade dos MCDA no auxílio a tomada de decisão de problemas nacionais.

Tabela 4-2: Classificação e referências seminais de alguns MCDA's.

Método	Classificação	Escola
ELECTRE	Método de superação	Francesa
ELECTRE GKMS	Método de superação	Francesa
PROMETHEE	Método de superação	Francesa
PROMETHEE V	Método de superação	Francesa
PROMETHEE GKMS	Método de superação	Francesa
REGIME	Método de superação	Francesa
Método Utility Theory (MAUT)	Teoria da Utilidade Multiatributo	Americana
Simple Multi Attribute Rating Technique (SMART)	Teoria da Utilidade Multiatributo	Americana
Analytic Hierarchy Process (AHP)	Teoria da Utilidade Multiatributo	Americana
Analytic Network Process (ANP)	Teoria da Utilidade Multiatributo	Americana
Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique (MACBETH)	Teoria da Utilidade Multiatributo	Americana

Fonte: Adaptado de Rodriguez *et al* (2013), Roy (1990) e Roy e Słowiński (2013).

Tabela 4-3: MCDAs utilizados no Brasil e suas áreas de aplicação.

Tema	Referências	Método	Área de aplicação
Controle da produção	Sellitto e Walter (2006)	AHP	Fabricação de máquinas e equipamentos
	Salomon e Shimizu (2006)	AHP	Fabricação de máquinas e equipamentos
	Aguiar e Salomon (2007)	AHP	Fabricação de máquinas e equipamentos
	Rafaeli e Müller (2007)	AHP	Fabricação de máquinas e equipamentos
	Valois e Almeida (2009)	SMART	Construção
	Bandeira, Becker e Rocha (2010)	AHP	Transporte aquaviário
	De Carli, Delamaro e Salomon (2010)	AHP	Fabricação de máquinas e equipamentos
	Ensslin <i>et al</i> (2010)	MAUT	Telecomunicação
	Cristofari Júnior, Paula e Fogliatto (2010)	MAUT	Atividade dos serviços de tecnologia da informação
Gestão de cadeia de suprimentos	Costa, Soares e Oliveira (2004)	Electre TRI	Transporte rodoviário
	Santos Da Rosa, Sellitto e Mendes (2006)	AHP	Não especificado
	Sellitto e Mendes (2006)	AHP	Fabricação de máquinas e equipamentos
	Salomon, Marins e Duduch (2009)	AHP	Fabricação de máquinas e equipamentos
	Zamcopé <i>et al</i> (2010)	MAUT	Fabricação de produtos têxteis
	Hofmann (2011)	AHP	Não especificado
Gestão da Manutenção	Almeida (2005)	MAUT	Produção, transmissão e distribuição de energia elétrica e equipamentos
	Cavalcante e Almeida (2005)	Promethee II	Produção, transmissão e distribuição de energia elétrica e equipamentos
	Cavalcante e Seixas Costa (2006)	Promethee II	Transporte aéreo
	Helmann e Marçal (2007)	Promethee I	Fabricação de produtos diversos (embalagens)
	Fernades e Godinho Filho (2010)	AHP	Agricultura, pecuária e serviços relacionados
Gestão de projetos	Mota, Almeida e Mota (2007)	Electre IV	Construção
	Alencar, Almeida e Mota (2007)	Electre	Construção
	Monteiro, Gomes e Maranhão (2008)	TODIM	Extração de petróleo e gás natural
	Padovani, Carvalho e Muscat (2010)	AHP	Fabricação de produtos químicos
	Dias, Fernstenseifer e Sellitto (2011)	AHP	Comércio varejista (supermercado)
	Logística	Iañez e Cunha (2006)	AHP
Herrera e Costa (2005)		Electre TRI	Administração pública, defesa e seguridade social
Modelos de estoques	Szajubok, Mota e Almeida (2006)	Electre TRI	Construção
	Sellitto, Borchardt e Pereira (2009)	AHP	Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias / Preparação de couros e fabricação de artefatos de couro, artigos para viagem e calçados
Planejamento das necessidades de materiais	Szajubok, Mota e Almeida (2006)	Electre TRI	Construção
Planejamentos de Layout	Herrera e Costa (2001)	Electre TRI	Não especificado
	Tortorella e Fogliatto (2008)	AHP	Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias

Fonte: Adaptado de Rodriguez *et al* (2013).

4.3 APLICAÇÕES DE MCDA NA ENGENHARIA TRANSPORTES

Existem diversas externalidades inerentes ao tráfego de veículos, sendo algumas intensificadas no caso de ambientes urbanos e outras em regiões rurais, mas que ocorrem independentemente da localidade. Entre elas pode-se elencar: a emissão de gases como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2) e óxido de nitrogênio (NO_x) e materiais particulados, que afetam a saúde humana e animal; a ocorrência de acidentes de trânsito, gerando mortes, ferimentos e danos aos patrimônios públicos e privados.

MACHARIS e BERNARDINI (2015) analisaram 276 títulos publicados no período que vai de 1985 a 2012 sobre aplicações de MCDA em problemas envolvendo projetos de transporte. Mais especificamente, os temas envolviam avaliação de políticas para transporte de passageiros, frete, impactos ambientais e locação. Dentre os trabalhos analisados, os métodos mais utilizados foram o AHP, ANP, os dois somando 33%, MAUT, MAVT, SMART, totalizando 3%, PROMETHEE (6%) e ELECTRE (7%), MAMCA (12%) e FUZZY SET (14%). Os autores ressaltam que pôde-se observar que existe influência da região em que os trabalhos foram desenvolvidos e da complexidade para se implementar um método na escolha dos métodos.

Em vista dessa situação, TURCK SIN *et al* (2011) utilizaram em seu trabalho um método híbrido que reúne o método AHP, com o estabelecimento de pesos para os critérios a serem analisados, e o método PROMETHEE, para elaborar um *ranking* com as possíveis políticas de encorajamento e direcionamento a escolha de veículos menos agressivos ao meio ambiente, considerando simultaneamente aspectos econômicos, técnicos sociais e ambientais.

Devido ao aumento da expectativa de vida das pessoas por todo o mundo, o envelhecimento estar associado a perda de competências cognitivas, sensoriais e motoras e o fato de que a capacidade de dirigir proporciona uma maior mobilidade incentivaram BABAEI *et al* (2015) a produzirem um trabalho que analisou as performances na direção de veículos de 55 motoristas com 70 ou mais anos de idade e as ranquearam. Para tanto, aplicaram *Data Envelopment Analysis* (DEA) e o método PROMETHEE II a dados de simuladores de direção. As variáveis que foram adotadas visavam mensurar habilidades psicológicas, físicas, de direção e de cognição. As duas análises se corroboraram e

mostraram que ambas as abordagens podem ser adequadas para a análise da segurança de motoristas idosos.

HERMANS *et al* (2009) ressaltam a importância de se comparar rodovias sujeitas a diferentes condições para determinar as melhores abordagens e métodos para a promoção da segurança viária. Para tanto, eles propuseram o uso de DEA para determinar as políticas mais eficazes na redução de acidentes quanto a ingestão de álcool e uso de drogas na direção, velocidade, sistemas de proteção, veículos, infraestrutura e assistência a ocorrências em 21 países europeus. Concluíram que essa é uma boa abordagem pois: pode ser aplicada a pequena e grandes quantidades de dados de diferentes de países ou regiões; permite a realização de análise de sensibilidade dos critérios.

Com base nos aspectos expostos sobre MCDA, que são: os atributos desejáveis de um MCDA; aptidão para do MCDA, no caso o ranqueamento; sustentabilidade versus compensação; a possível dependência que uma MCDA tem quanto a realização de uma pesquisa com especialista para se tornar viável, conclui-se que seria mais adequado para esse trabalho o método PROMÈTHÈE II. Isso se deve aos fatos, que são: ser um método da escola francesa e não necessitar, obrigatoriamente, de uma consulta a especialistas, o que poderia consumir um tempo que inviabilizaria o trabalho, além das chances de divergências entre eles; e por que dentre os métodos da escola francesa o que se julgou mais adequado ao desenvolvimento do trabalho proposto foi justamente o método PROMÈTHÈE II, devido aos equacionamentos e a forma em que se sucedem as comparações par a par.

4.4 PROMETHEE

Para uma adequada utilização do método PROMETHEE são necessários os entendimentos de seus princípios de funcionamento e das considerações por ele adotadas. Segundo TURCK SIN *et al* (2011), primeiramente deve-se definir a função de preferência $(P_j(a, b))$, que tem valores possíveis entre 0 e 1, que julgará as diferenças (δ_{ab}) de cada alternativa, por exemplo (a, b) , para cada critério (G_j) . " δ_{ab} " pode ser também descrito como uma diferença entre as pontuações obtidas por cada alternativa para um mesmo critério, matematicamente, $(f_j(a) - f_j(b))$. A seguir segue a Equação 1 que relaciona os

elementos enunciados. Da forma como foram considerados as definições e os equacionamentos deve-se sempre atentar para o que é melhor, isto é, a maximização ou minimização do critério avaliado. Dito isso, a Equação 1, somente será aplicada para os casos em que a alternativa a for melhor do que a alternativa b .

$$P_j(a, b) = G_j\{f_j(a) - f_j(b)\} \quad \text{Equação 1}$$

BRANS *et al* (1986) apresenta seis tipos de funções de preferência (P_j) para se escolher e realizar uma análise segundo o método PROMETHEE, quais sejam: Verdadeiro Critério ou Critério Usual, na Figura 4-2; Quase Critério, na Figura 4-3; Pseudo critério ou Preferência Linear, na Figura 4-4; Critério de Nível, na Figura 4-5; Critério com Preferência Linear e Área de Indiferença, na Figura 4-6; Critério Gaussiano, na Figura 4-7. Os elementos " r " e " t " presentes nos gráficos são os limites de indiferença e preferência, respectivamente.

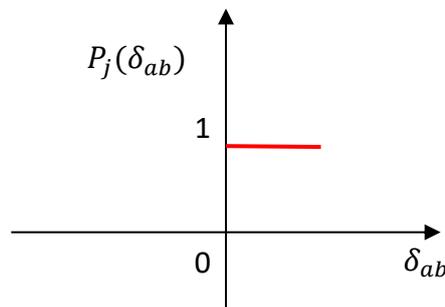


Figura 4-2: Gráfico da preferência (P_j) para o Verdadeiro Critério ou Critério Usual.

Em que:

$$P_j(\delta_{ab}) = \begin{cases} 0 & \text{se } |\delta_{ab}| = 0 \text{ (indiferença)} \\ 1 & \text{se } |\delta_{ab}| \neq 0 \text{ (preferência estrita)} \end{cases} \quad \text{Equação 2}$$

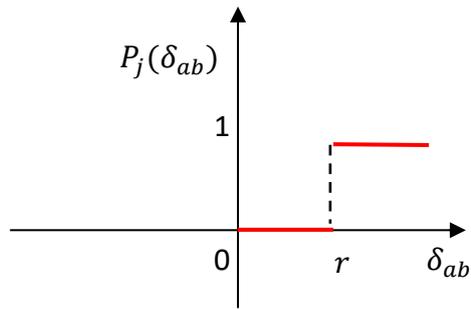


Figura 4-3: Gráfico da preferência (P_j) para o Quase Critério.

Em que:

$$P_j(\delta_{ab}) = \begin{cases} 0 & \text{se } |\delta_{ab}| \leq q \text{ (indiferença)} \\ 1 & \text{se } |\delta_{ab}| > q \text{ (preferência estrita)} \end{cases} \quad \text{Equação 3}$$

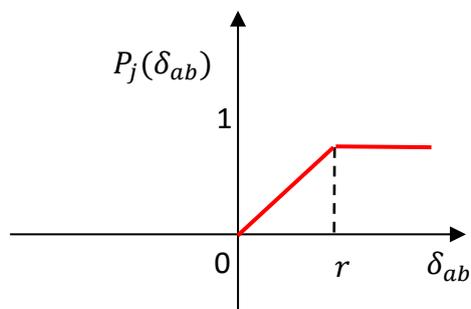


Figura 4-4: Gráfico da preferência (P_j) para o Pseudocritério ou Preferência Linear.

Em que:

$$P_j(\delta_{ab}) = \begin{cases} \frac{|\delta_{ab}|}{r} & \text{se } \delta_{ab} \leq q \\ 1 & \text{se } \delta_{ab} > q \end{cases} \quad \text{Equação 4}$$

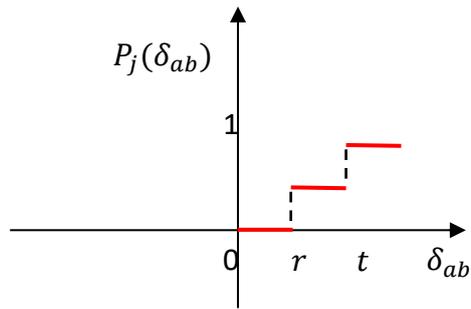


Figura 4-5: Gráfico da preferência (P_j) para o Critério de Nível.

Em que:

$$P_j(\delta_{ab}) = \begin{cases} 0 & \text{se } |\delta_{ab}| \leq r \\ 0,5 & \text{se } r < |\delta_{ab}| \leq t \\ 1 & \text{se } |\delta_{ab}| > t \end{cases} \quad \text{Equação 5}$$

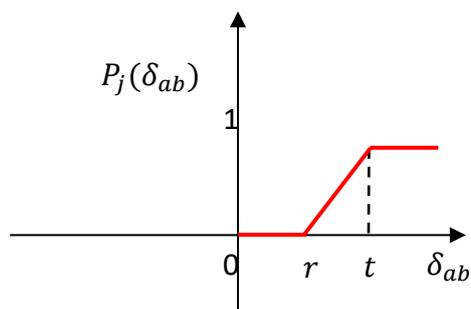


Figura 4-6: Gráfico da preferência (P_j) para o Critério com Preferência Linear e Área de Indiferença.

Em que:

$$P_j(\delta_{ab}) = \begin{cases} 0 & \text{se } |\delta_{ab}| \leq r \\ \frac{(|\delta_{ab}| - r)}{t - r} & \text{se } r < \delta_{ab} \leq t \\ 1 & \text{se } |\delta_{ab}| > t \end{cases} \quad \text{Equação 6}$$

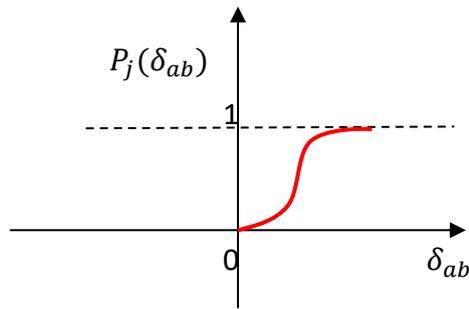


Figura 4-7: Gráfico da preferência (P_j) para o Critério Gaussiano.

Em que:

$$P_j(\delta_{ab}) = 1 - e^{\left(\frac{-(\delta_{ab})^2}{2 \times (\sigma_j)^2}\right)} \quad \text{Equação 7}$$

σ_j é o desvio padrão do critério j em questão.

Além dos elementos já explicitados, é necessária a determinação dos pesos (w_j) que minorarão ou majorarão os efeitos de cada $P_j(a, b)$ no índice $S(a, b)$ que representa a superioridade ou inferioridade parcial de cada par de alternativas. Depois, deve-se calcular os fluxos de superação positivos (φ^+) e negativos (φ^-). Nessa etapa terminam os passos referentes ao PROMETHEE I. Contudo, nesse trabalho, utilizou-se o PROMETHEE II, que requer o cálculo do *fluxo de superação neto* (φ). O PROMETHEE II fornecesse como resultado um completo *ranking* das alternativas da melhor para a pior, de acordo com os *fluxos de superação neto* (φ). As relações dos itens citados estão expostas a seguir:

$$S(a, b) = \sum_{j=1}^k w_j \times P_j(a, b) \quad \text{Equação 8}$$

$$\varphi^+(a) = \frac{1}{n-1} \times \sum_b S(a, b) \quad \text{Equação 9}$$

$$\varphi^-(a) = \frac{1}{n-1} \times \sum_b S(b, a)$$

Equação 10

$$\varphi(a) = \frac{\varphi^+(a) - \varphi^-(a)}{n-1}$$

Equação 11

5. MATERIAIS E MÉTODOS

O enfoque desse trabalho se enquadra no grupo de medidas reativas já que ele tenta estabelecer a influência do fluxo veicular na ocorrência de cada tipo de gravidade de acidente rodoviário. Para tanto, existem algumas possibilidades de abordagens para se estabelecer relações de causa-efeito entre variáveis explicativas e dependentes, todas subordinadas ao atendimento de critérios que garantem a veracidade e a intensidade de suas relações.

GOLOB *et al* (2004) consideram que existem dois modos de se relacionar acidentes rodoviários e fluxo veicular, quais sejam: de forma agregada, na qual as contagens de acidentes ou taxas de acidentes referentes a determinados período de tempo e trecho ou local de uma via, e que são associados ao fluxo referente ao mesmo período de tempo e espaço; de forma desagregada, em que cada ocorrência, vinculada ao fluxo no momento do acidente, é analisada separadamente. No caso desse trabalho, será desenvolvida uma análise agregada devido a forma com que foram obtidos os dados de fluxo veicular nas rodovias.

Mudanças nos VMDA das estradas acontecerão e, tipicamente, aumentarão ao longo dos anos. Essas variações, por si só, proporcionam aumento nas frequências de acidentes, pelo simples crescimento do número de situações de risco ou conflito, geralmente em menores taxas do que o aumento do tráfego devido a relação não linear entre VMDA e as ocorrências. Por isso, ao se analisar temporalmente a variação de acidentes, deve-se considerar o crescimento natural do VMDA para não se cometer o erro de maximizar ou de minimizar os efeitos dessa ou de qualquer outra variável que se almeje verificar a influência sobre os acidentes (PERSAUD E LYON 2007).

O método proposto nesse trabalho consiste na utilização do PROMETHEE II para o desenvolvimento de um *ranking* de volumes médios diários anuais por faixa de rodovias federais quanto a segurança viária. Na elaboração do procedimento metodológico desse trabalho foi adotado o MCDA PROMETHEE II de duas formas diferentes, mas ambas com três critérios, quais sejam, os três tipos de gravidade de acidentes que ocorreram nos diversos trechos de rodovias federais do Brasil. Na primeira, quanto as alternativas, elaborou-se conjuntos nomeados de classes, compostos pelo agrupamento de VMDAs

por faixa de rolamento, em que cada classe comporta volumes compreendidos entre dois múltiplos inteiros consecutivos de 1000. Na segunda, a respeito das alternativas, dividiu-se cada VMDA por faixa em dois, discriminando suas quantidades de veículos leves e pesados, o que fez com que cada alternativa fosse representada por um par de volumes, e, por conseguinte, um par de classes, similarmente ao caso anterior. A criação, tanto das classes quanto dos pares de classes de veículos leve e pesados, foi a maneira aplicada para lidar com a variedade de fluxos observados e que muitas vezes não se repetiam, e se viabilizar a comparação das possíveis composições de fluxos quanto a ocorrência de acidentes.

A forma adotada para determinar os valores de cada critério das alternativas foi a média de uma das respectivas três qualidades de acidentes. Essa abordagem naturalmente faz com que cada média tenha a ela uma dispersão associada, o que pode influenciar as comparações entre as classes e os pares de classes, nas duas abordagens de comparação empregadas.

Na aplicação propriamente dita do MCDA PROMETHEE II, que compara par a par as alternativas com relação a cada critério, a função de preferência selecionada para todos os atributos foi a do critério gaussiano com uma modificação para se considerar os efeitos dessas dispersões nas comparações das médias, ou seja, dos critérios. Esse critério foi adotado por se acreditar que não existem patamares de igualdade entre as alternativas para as diferenças de valores entre critérios e se ponderar a comportamento de cada alternativa quanto ao comportamento geral das alternativas.

Utilizou-se o Teste de *Tukey*, um teste de comparação de médias. Ele faz uso das diferenças mínimas significativas entre os elementos comparados, considerando o número de elementos, os graus de liberdades e o nível de significância desejado. No caso desse trabalho, foram adotados dois níveis de significância (α), 5% e 100%, tanto no caso das comparações das classes quanto no caso comparação de pares de classes. Os valores obtidos pelos testes foram considerados nas comparações que determinam os $P_j(\delta_{ab})$, ou seja, a preferência da alternativa “a” em relação a alternativa “b” para o critério “j”. Com isso, quando o Teste de *Tukey* indicava que para um dado nível de significância (α) as

classes ou pares de classes eram idênticos, o valor assumido para a função de preferência era zero, quando não, era adotado o valor calculado de $P_j(\delta_{ab})$.

O primeiro nível de significância (α) estabeleceu o maior rigor quanto a influência das dispersões nas diferenças u igualdades entre as classes e pares de classes. O segundo nível de significância representou o desprezo da existência das dispersões das médias, quer dizer, considerou-se somente os valores das médias nas diferenciações entre as classes e pares de classes. A formulação matemática do critério adotado pode ser observada na Equação 12.

$$P_j(\delta_{ab}) = \begin{cases} 0 & \text{se } \alpha < T_{abj} \\ 1 - e^{\left(\frac{-(\delta_{ab})^2}{2 \times (\sigma_j)^2}\right)} & \text{se } \alpha \geq T_{abi} \end{cases} \quad \text{Equação 12}$$

Em que:

α é o nível de significância adotado;

T_{abj} é o valor do Teste de *Tukey* para a comparação das médias das alternativas “a” e “b” para o critério “j”;

σ_j é o desvio padrão do critério *j* em questão.

5.1 OBTENÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS

Com a Polícia Rodoviária Federal em (PRF, 2017) foram obtidas as informações dos acidentes ocorridos em rodovias federais brasileiras em 2015, ou seja, todos os trechos presentes na base de dados tiveram algum tipo de acidente. As informações presentes na base ou que poderiam ser extraídas a partir de manipulações desta são: Código do trecho no Sistema Nacional de Viação (SNV); estado da federação em que o trecho está inserido; região do Brasil; o quilômetro em que ocorreram os acidentes, de acordo com o sentido de deslocamento; quilômetros iniciais e finais do trecho; o uso do solo das áreas lindeiras; superfície de rolamento; número de sentidos; dia, mês e ano; número de feridos; número de mortos; o tipo de acidente dentre saída de pista, capotagem, atropelamento de pedestre,

atropelamento de animal, colisão com objeto móvel, colisão lateral, colisão traseira, tombamento, colisão com bicicleta, colisão traseira, choque transversal, colisão frontal, queda de veículo, choque com objeto fixo, choque com veículo parado, outros.

Da base inicial considerou-se as quantidades de acidentes ocorridos nos trechos e o SNV. A partir daí, foram aglutinados em cada código do SNV as quantidades de acidentes em três grupos caracterizados quantitativamente por uma média simples, quais sejam: acidentes com mortos, isto é, nos quais a consequência mais grave foi a morte de pelo menos uma das pessoas envolvidas; acidentes com feridos, ou seja, ocorrências que tiveram ferimentos não mortais como consequências mais graves; acidentes com danos materiais, especificamente, eventos em que as consequências mais graves foram danos materiais. Isso foi feito porque cada SNV pode ter diversas combinações de quantidades e gravidade de acidentes. A simplificação realizada está na Figura 5-1. Como o objetivo desse trabalho é avaliar a influência do fluxo veicular na segurança da via, se não fosse feita essa simplificação, a pulverização dados afetaria as análises.

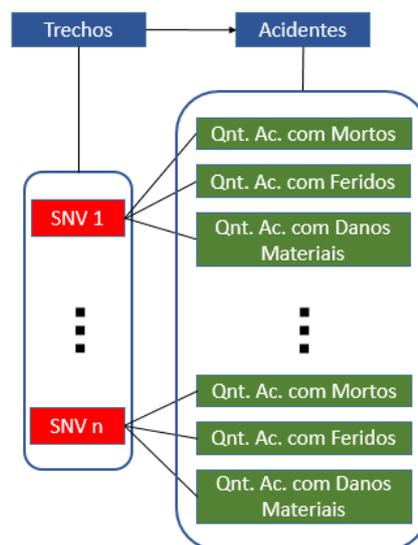


Figura 5-1: Ilustração dos SNVs e suas quantidades de acidente

Os dados com relação ao VMDA foram obtidos através do Plano Nacional de Contagem de Tráfego (PNCT) projeto com o implementado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), disponível em (DNIT, 2017). Cada trecho da base de dados tinha seu código do SNV, um VMDA associado, o quilômetro em que se encontra os contadores, o sentido do tráfego, o número de faixas e as classificações dos veículos segundo o próprio DNIT. Como expuseram MARTIN (2002), QIN *et al.* (2004)

e CASTILLO *et al.* (2015), a intensidade do tráfego e sua composição quanto as quantidades de veículos pesados e leves interferem na severidade dos acidentes em rodovias interurbanas francesas. Então, nesse trabalho, para tentar verificar a influência dos volumes de tráfego fornecidos, esses foram divididos pelo número de faixa de cada trecho e como quase todo trecho tem um VMDA/faixa diferente dos demais trechos, a fim de se propiciar uma análise da influência do fluxo veicular na ocorrência de acidentes de forma gradativa com a variação dos fluxos, assim como no trabalho de QIN *et al.* (2004) agrupou-se os VMDA/faixa em classes para que não houvesse uma influência da pulverização dos dados. Uma ilustração da regra de aglutinação está presente na Tabela 5-1. Posteriormente associou-se as classes aos SNVs de cada trecho.

Tabela 5-1: Exemplos de classes de VMDA/faixa adotadas

Intervalos dos VMDA/faixa	Classes	
0	999	1
1000	1999	2
2000	2999	3
3000	3999	4
4000	4999	5
5000	5999	6
6000	6999	7
7000	7999	8
8000	8999	9
⋮	⋮	⋮

Depois das preparações dos dados relativos aos acidentes e aos VMDA/faixa dos trechos associou-se as médias de cada tipo de acidente as classes, através do SNV em comum. A Figura 5-2 demonstra como se procedeu as tarefas descritas.

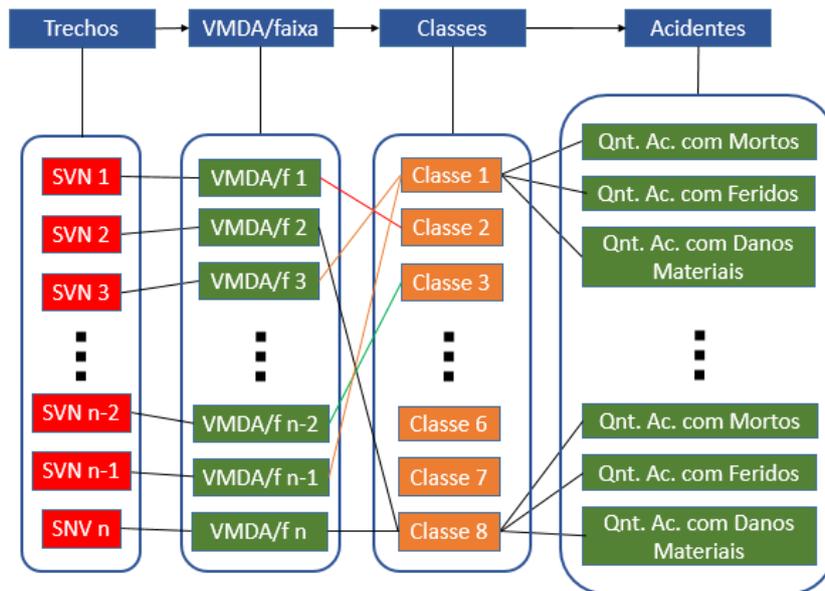


Figura 5-2: Associação das classes de VMDA/faixa e dos Acidentes aos SNV.

Processo similar foi elaborado para a análise das combinações entre veículos pesados e leves, só que desta vez associando um par de volumes por faixa, isto é, um representando a quantidade de veículos leves por faixa (VL/faixa) e outro veículos pesados por faixa (VP/faixa) ao SNV. As ilustrações dessas preparações estão nas Figura 5-3 e Figura 5-4.

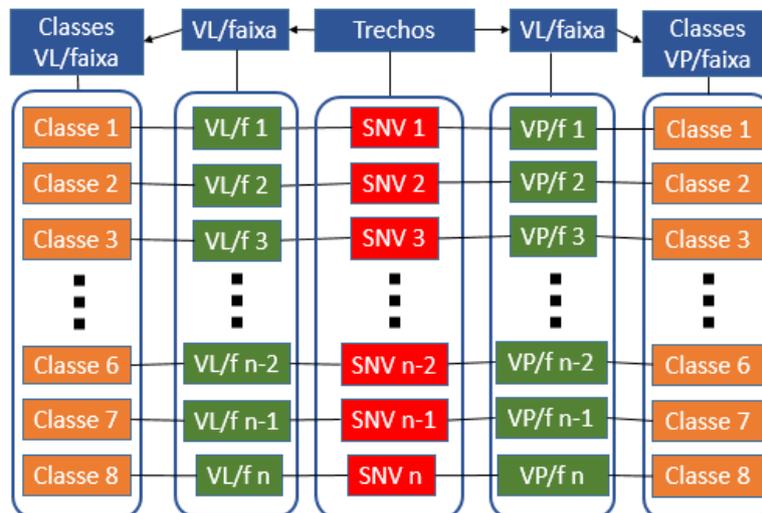


Figura 5-3: Associação dos volumes por faixa de veículos pesados e leves aos SNVs e as classes de volume.

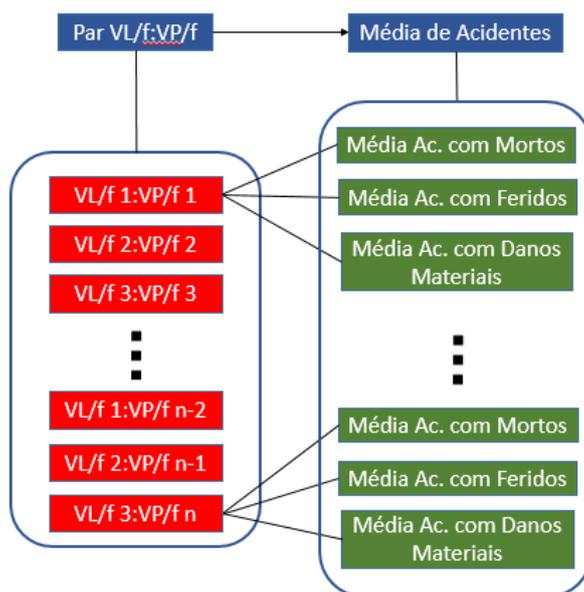


Figura 5-4: Associação das médias dos acidentes aos pares de classes volumes de veículos pesados e leves

Os pesos adotados para cada critério foram calculados a partir dos custos médios estabelecidos para os acidentes ocorridos em rodovias federais de acordo as gravidades dos acidentes. Os custos e os pesos podem ser observados na Tabela 5-2.

Tabela 5-2: Resumo dos pesos de cada critério.

Severidade	Custo médio (R\$)	Razão	Razão Aproximada	Pesos
Morto	646.762,94	28,04	28	0,848485
Ferido	90.182,71	3,91	4	0,121212
Sem vítima	23.062,97	1,00	1	0,030303

Fonte: Adaptado de (IPEA 2015)

5.2 ETAPAS DO PROCEDIMENTO

Um resumo do procedimento metodológico empregado será apresentado nessa seção. Na etapa 1, os trechos foram agrupados em classes segundo o VMDA por faixa atribuído a eles. Uma exemplificação pode ser observada na Tabela 5-1. Posteriormente, na etapa 2, para cada classe foram calculadas a média e a dispersão das quantidades de acidentes com relação a cada um dos três tipos de gravidade. Na etapa 3, estabeleceu-se os pesos normalizados para cada critério, a partir dos custos médios dos acidentes para cada severidade, eles podem ser verificados na Tabela 5-2. Na etapa 4, verificou-se a influência da dispersão das médias quanto a capacidade de comparação entre as diferentes médias com Teste de *Tukey*. Na etapa 5, aplicou-se o método PROMETHEE II com a função de

preferência de critério gaussiano e obteve-se um *ranking* das classes. Uma Ilustração do procedimento proposto está na Figura 6-5.

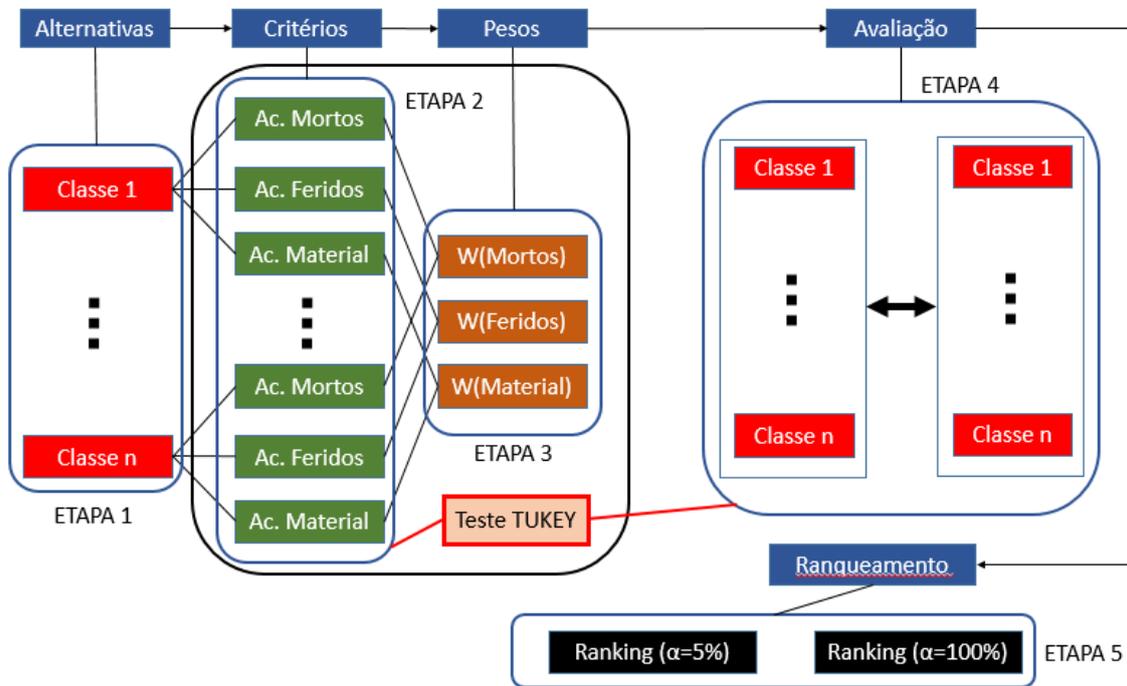


Figura 5-5: Procedimento proposto.

5.3 DESCRIÇÃO DOS DADOS UTILIZADOS

Nesse fragmento do trabalho, serão expostos os dados já tratados e que passaram pela aplicação do procedimento que será descrito mais à frente. Os dados são compostos por parâmetros inerentes as quantidades de acidentes ocorridos de cada tipo de gravidade de acidente, quais sejam: máximos; mínimos; médias; desvios padrões; e coeficientes de variação. Cabe ressaltar, que estão expostos os dados das classes de VMDA por faixa que reúnem a porcentagem acumulada de acidentes totais, ou seja, a soma das ocorrências que tiveram como a maior gravidade mortes, ferimentos e danos materiais para o Brasil ou região, igual ou imediatamente superior a 90%.

5.3.1 BRASIL

A partir da Figura 5-6 pode-se observar a relação dos acidentes que tiveram como consequência mais grave a morte de pelo menos um dos envolvidos com as classes de VMDA/faixa para o Brasil.

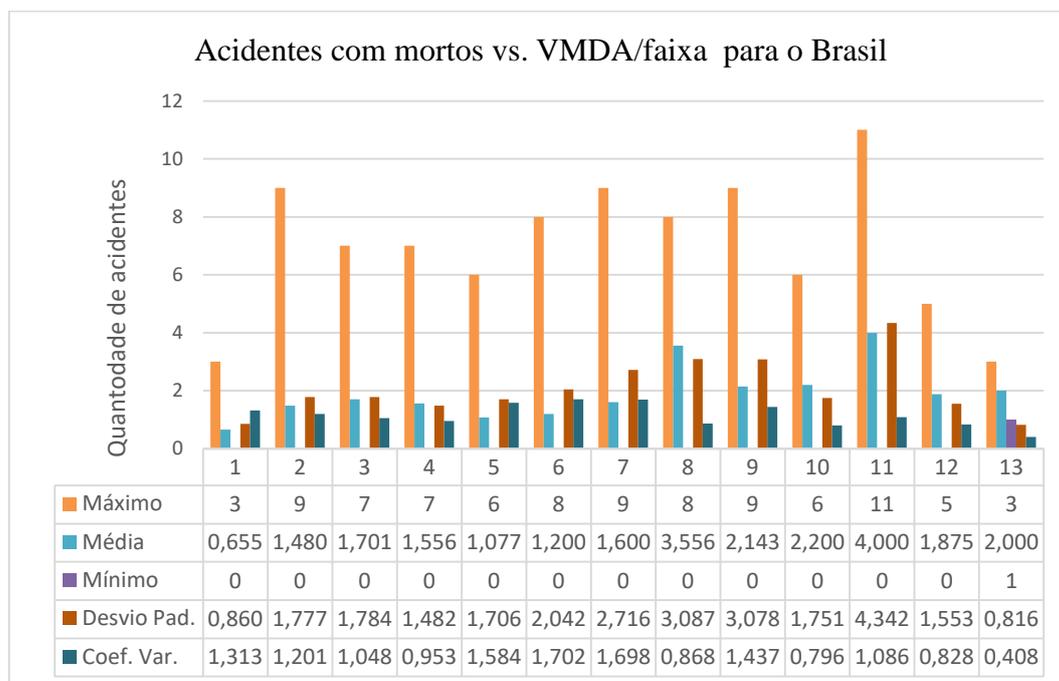


Figura 5-6: Gráfico dos acidentes com mortes versus o VMDA por faixa para o Brasil.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados de (DNIT,2017; PRF, 2017).

Verifica-se que, excetuando-se a classe 13 que obteve 1 acidente, as quantidades mínimas de acidentes que todas as classes apresentaram foi zero, ou seja, para a classe 13 não houve uma vez que não houvesse acidentes sem mortos.

Quanto às máximas, existem quatro trechos com sub comportamentos de variação, quais sejam: a classe 1 isolada com 3 eventos; da classe 2 a classe 5 e da classe 5 a 7, observa-se duas variações de tendência linear, sendo o primeiro decrescente e o segundo crescente; por último nota-se um comportamento de oscilação das quantidades de acidentes.

Essa mesma imagem, expõe quanto as médias, também se pode analisa-los em quatro grupos, nos quais os 3 primeiros apresentam comportamento linear e último apresenta oscilação das quantidades apresentadas. No primeiro, da classe 1 a 3, e no terceiro da

classe 5 a 7, tem-se uma tendência de crescimento. No segundo, observa-se um decréscimo.

O desvio padrão das médias dos acidentes em questão, apresenta dois comportamentos lineares crescentes da classe 1 a 3, e da 4 a 9. A partir daí os valores se manifestam de forma oscilatória.

O comportamento do coeficiente de variação da amostra tem dois trechos lineares e um trecho final oscilatório. No primeiro, tem-se um decréscimo, da classe 1 a 3. No segundo, observa-se um crescimento, da classe 4 a 6.

A Figura 5-7 nos apresenta a relação dos acidentes que tiveram como consequência mais grave o ferimento de pelo menos um dos envolvidos com as classes de VMDA/faixa.

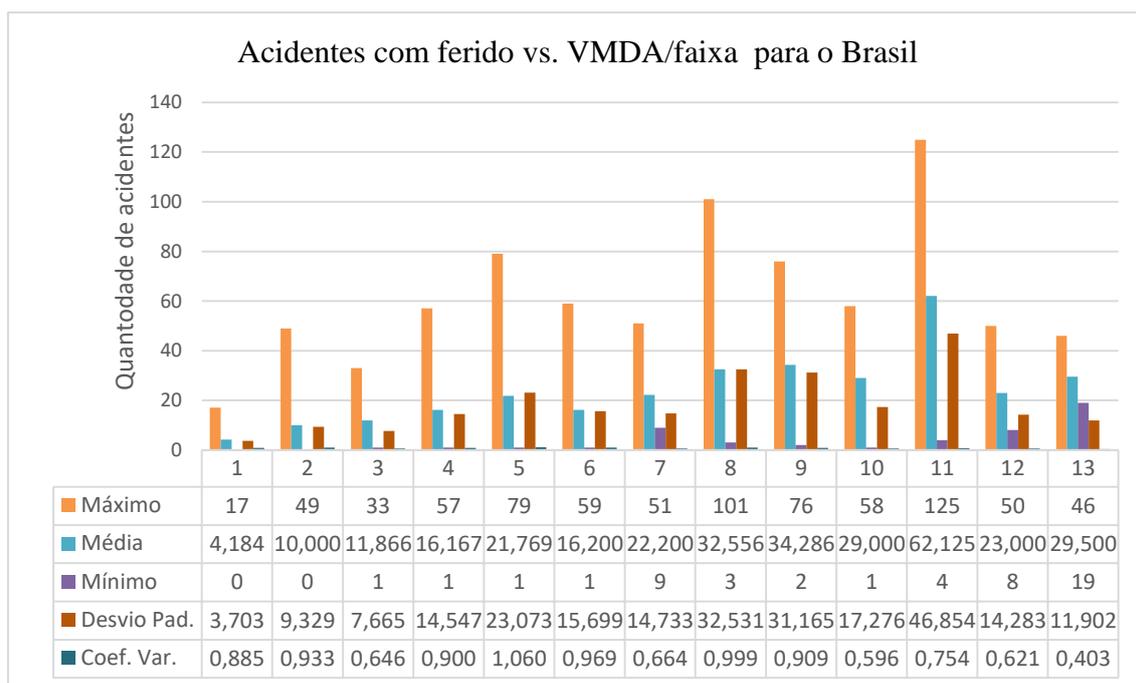


Figura 5-7: Gráfico dos acidentes que houve feridos, mas sem mortes versus o VMDA por faixa para o Brasil.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de (DNIT,2017; PRF, 2017).

Averigua-se que as quantidades mínimas de acidentes que todas as classes tiveram foi bastante variada nesse caso. A variedade que aqui se observa se deve aos fatos de que pelo menos dois tipos gravidade ocorrem em um único acidente e de que no banco de dados só se tem trechos com acidentes. Com isso, para se ter zero acidentes de uma gravidade numa determinada classe, haveria de, pelo menos uma vez, ocorrer um acidente

em que se observa valor diferente do zero em, pelo menos uma, das outras gravidades e zero na de interesse.

No caso das máximas, observa-se 4 grupos de comportamento, quais sejam: da classe 1 a 5 um crescimento linear; da classe 5 a 7 e da classe 8 a 10 notam-se duas quedas, de formas próxima ao da reta; e uma outra queda da classe 11 para a 13. As duas últimas quedas são precedidas por saltos que dobraram os valores observados antes dos inícios das quedas.

Ao voltar-se para os valores das médias nota-se três grupos de comportamento, que são: da classe 1 a 5, um crescimento linear; da classe 6 a 9, um crescimento também linear; e por último uma oscilação de valores, da classe 10 a 13.

Para o desvio padrão da média observa-se também três grupos de comportamento, que são: da classe 1 a 5, um crescimento linear; um outro crescimento na forma de reta da classe 6 a 9; e por último uma oscilação de valores, da classe 10 a 13. Quanto aos coeficientes de variação da amostra percebe-se um comportamento oscilatório, sem nenhuma outra forma aparente.

A Figura 5-8 nos apresenta a relação dos acidentes que tiveram como consequência mais grave danos materiais dos veículos envolvidos com as classes de VMDA/faixa.

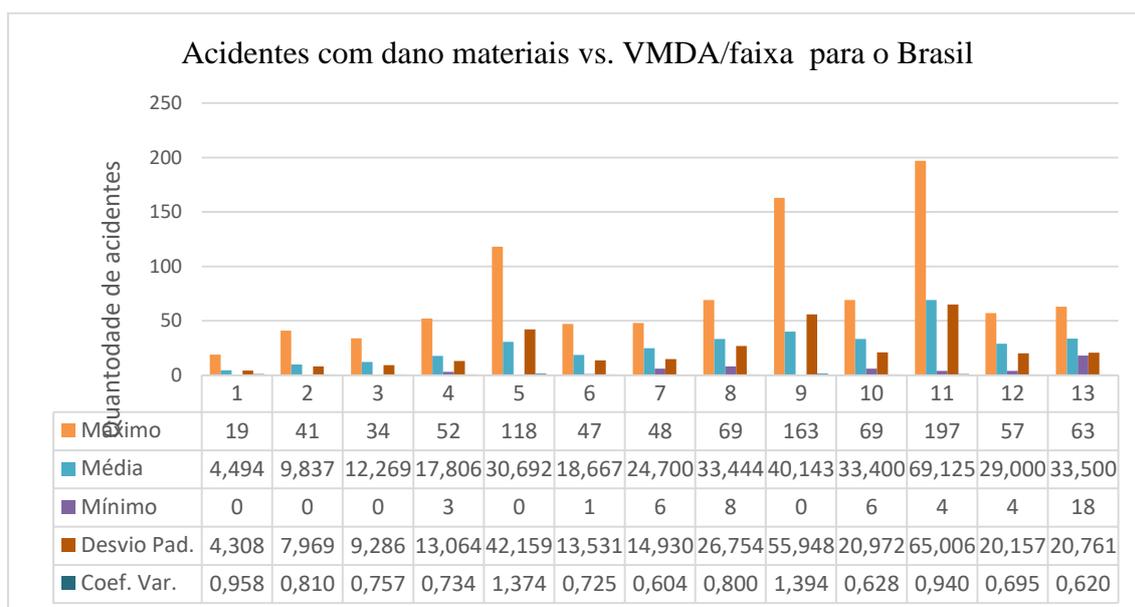


Figura 5-8: Gráfico dos acidentes que não houve feridos nem mortes versus o VMDA por faixa para o Brasil.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de (DNIT,2017; PRF, 2017).

Apura-se que para as mínimas que o que se verifica nesse tipo de gravidade é uma situação similar a descrita para os valores mínimos observados no gráfico de acidentes com feridos.

No caso das máximas, das médias e dos desvios padrão nota-se três grupos de comportamento, que são: da classe 1 a 5, um crescimento linear; da classe 6 a 9, um outro crescimento também linear; e por último uma oscilação de valores, da classe 10 a 13.

Os coeficientes de variação apresentados pela amostra permitem a percepção de que existem três momentos, quais sejam: uma tendência a despencar de forma linear da classe 1 a 4; da classe 5 a 9, uma inclinação a um comportamento similar ao de uma parábola côncava; e uma oscilação entre quedas e aumentos.

5.3.2 SUDESTE

A partir da Figura 5-9 pode-se observar a relação dos acidentes que tiveram como consequência mais grave a morte, de pelo menos um dos envolvidos, com as classes de VMDA/faixa para a região sudeste.

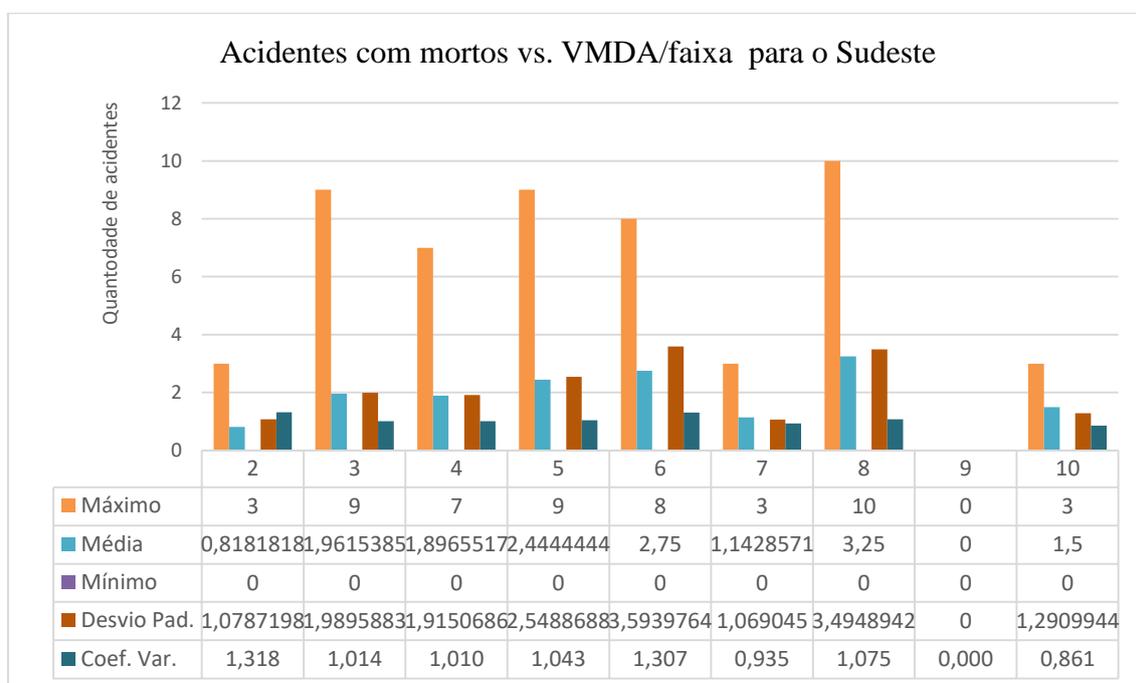


Figura 5-9: Gráfico dos acidentes com mortes versus o VMDA por faixa para o Sudeste.
 Fonte: Elaboração própria a partir de dados de (DNIT,2017; PRF, 2017).

Verifica-se que as quantidades mínimas de acidentes que todas as classes apresentaram foi zero. Quanto às máximas, nota-se uma variação oscilatória das quantidades observadas. Contudo, pode-se observar dois grupos com quantidades próximas, sendo o primeiro formado pelas classes 2, 7 e 10 e o outro grupo pelas demais.

Averiguando-se o gráfico, observa-se, tanto para as médias quanto para os seus desvios padrão, que da classe 2 a 6 existe um crescimento de tendência linear. Depois disso, nota-se uma variação oscilatória. Para o coeficiente de variação da amostra não se atenta para nenhum comportamento específico.

Com base na Figura 5-10 nos apresenta a relação dos acidentes que tiveram como consequência mais grave o ferimento de pelo menos um dos envolvidos com as classes de VMDA/faixa para a região sudeste.

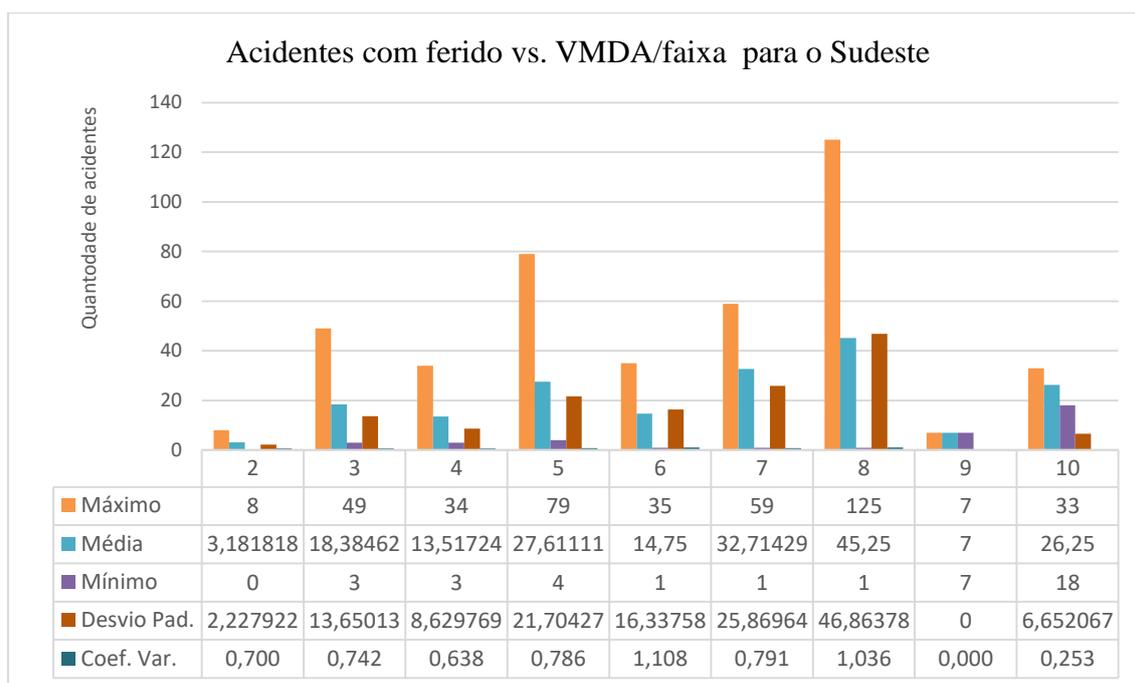


Figura 5-10: Gráfico dos acidentes que houve feridos, mas sem mortes versus o VMDA por faixa para o Sudeste.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de (DNIT,2017; PRF, 2017).

Observa-se que as quantidades mínimas de acidentes que todas as classes tiveram foi bastante variada nesse caso. Esse tipo de situação é similar a descrita para o mesmo tipo de gravidade no Brasil.

Ao analisar-se as máximas, as médias, os desvios padrão e os coeficientes de variação nota-se uma tendência de crescimento dos valores observados mais de forma oscilatória, isto é, na maior parte dos casos um há um aumento sucedido por uma queda, mas que nunca é inferior ao valor ante do aumento.

A Figura 5-11 nos apresenta a relação dos acidentes que tiveram como consequência mais grave danos materiais dos veículos envolvidos com as classes de VMDA/faixa para região sudeste.

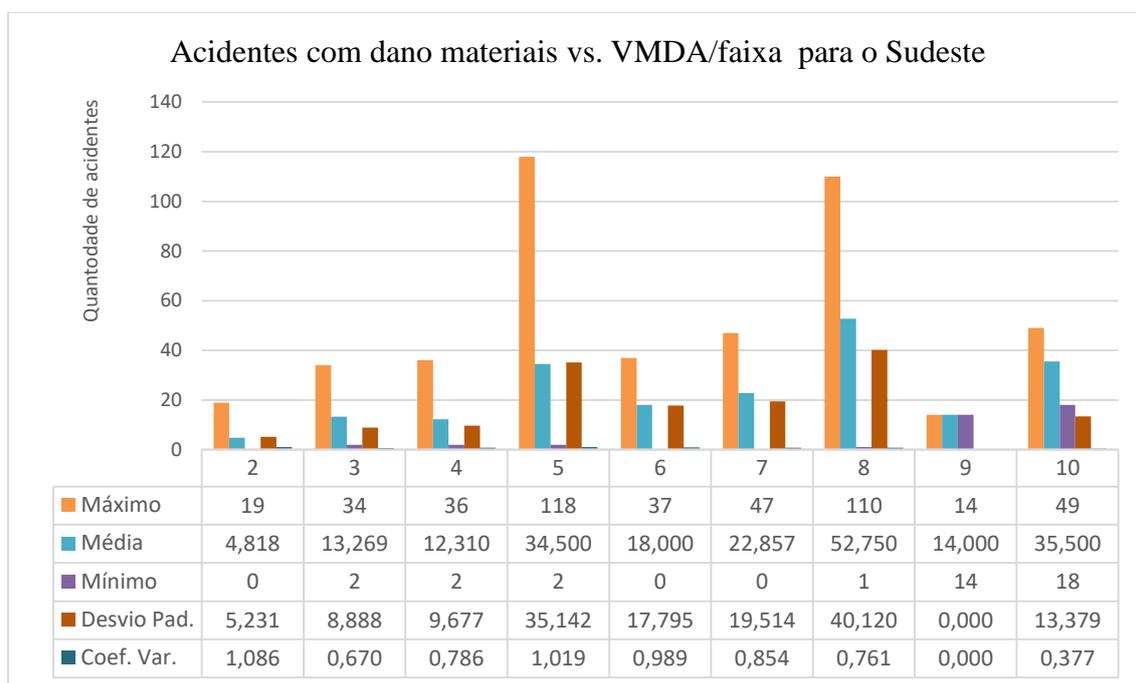


Figura 5-11: Gráfico dos acidentes que não houve feridos nem mortes versus o VMDA por faixa para o Sudeste.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de (DNIT,2017; PRF, 2017).

Observa-se que as quantidades mínimas de acidentes que todas as classes tiveram foi bastante variada nesse caso. Esse tipo de situação é similar a descrita para os acidentes com feridos no Brasil. Quanto a situação das máximas, nota-se que se excluindo as classes 5, 8 e 9, o comportamento dos valores observados tendem a seguir uma lógica linear.

Ao se avaliar os valores das médias e dos desvios padrão da média percebe-se três momentos, quais sejam: da classe 2 a 5, com um crescimento linear; da classe 6 a 8 com um aumento também em forma de reta; e da classe 8 a 10, nota-se uma oscilação dos valores observados. Cabe ressaltar uma queda de quase 50% da classe 5 para a 6.

Quanto aos coeficientes de variação, com exceção das classes 2 e 9, observa-se uma tendência de crescimento linear da classe 3 a 5, e outra tendência linear, mas agora de queda, da classe 6 a 10.

5.3.3 NORTE

A partir da Figura 5-12 pode-se observar a relação dos acidentes que tiveram como consequência mais grave a morte, de pelo menos um dos envolvidos, com as classes de VMDA/faixa para a região norte.

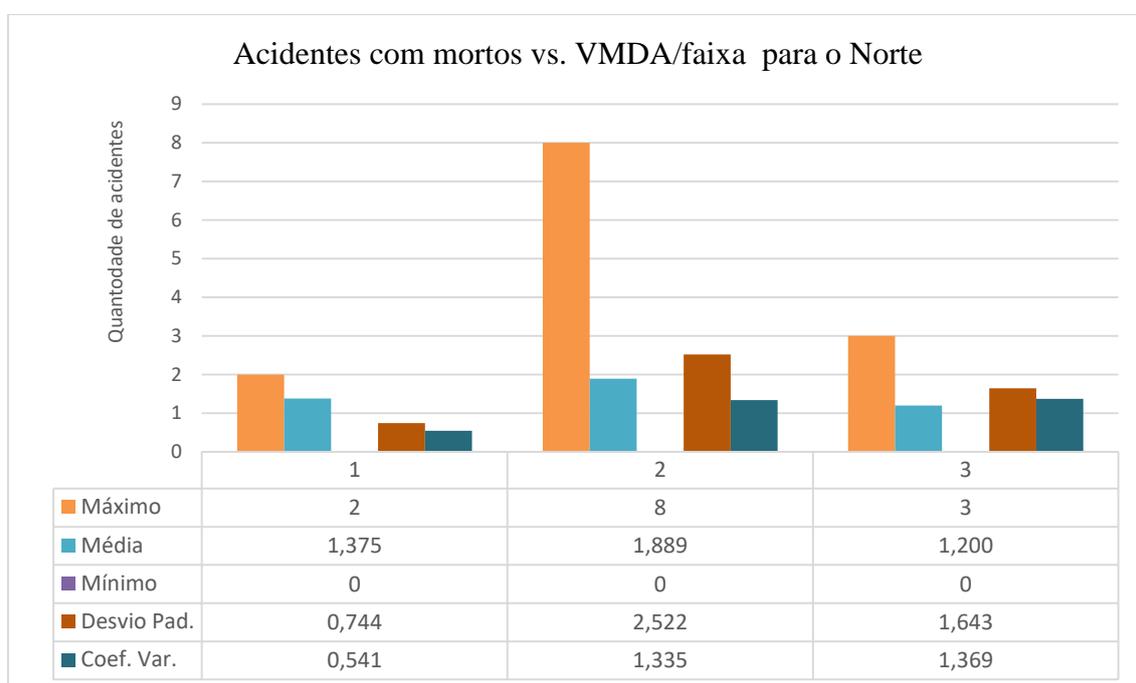


Figura 5-12: Gráfico dos acidentes com mortes versus o VMDA por faixa para o Norte.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados de (DNIT,2017; PRF, 2017).

Nota-se, que as quantidades mínimas se mantêm em zero. No caso das máximas, observa-se na classe central um valor 4 vezes maior do que na classe anterior e maior que duas vezes ao da classe subsequente. Quanto as médias, observa-se que elas são próximas. Para o desvio padrão, percebe-se que ele se comporta de forma similar a das máximas. Com relação aos coeficientes de variação detecta-se que os dois últimos são semelhantes e o primeiro é quase um terço dos demais.

Com base na Figura 6-8Figura 5-10 nos apresenta a relação dos acidentes que tiveram como consequência mais grave o ferimento de pelo menos um dos envolvidos com as classes de VMDA/faixa para a região Norte.

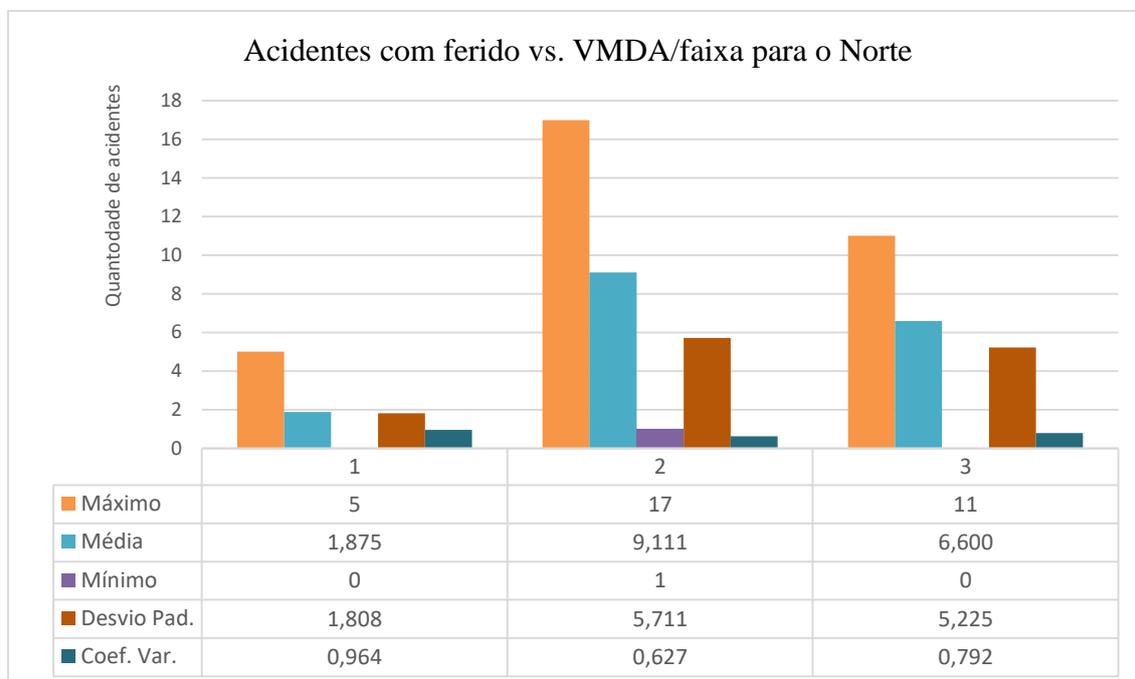


Figura 5-13: Gráfico dos acidentes que houve feridos, mas sem mortes versus o VMDA por faixa para o Norte.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de (DNIT,2017; PRF, 2017).

Observa-se, que as quantidades mínimas se mantem em zero, exceto na classe 2. Quanto as máximas, nota-se que a classe central tem um valor 3 vezes maior do que na classe anterior e maior que 1,5 vezes ao da classe subsequente. No caso das médias, percebe-se que elas seguem padrões similares ao das máximas. Para o desvio padrão, percebesse que as duas últimas casses têm valore próximos e primeira possui quantidade inferior a metade das demais. Com relação aos coeficientes de variação detecta-se o maior valor se encontra na primeira classe, e o menor se encontra na classe do meio.

A Figura 5-14 nos apresenta a relação dos acidentes que tiveram como consequência mais grave danos materiais dos veículos envolvidos com as classes de VMDA/faixa para região Norte.

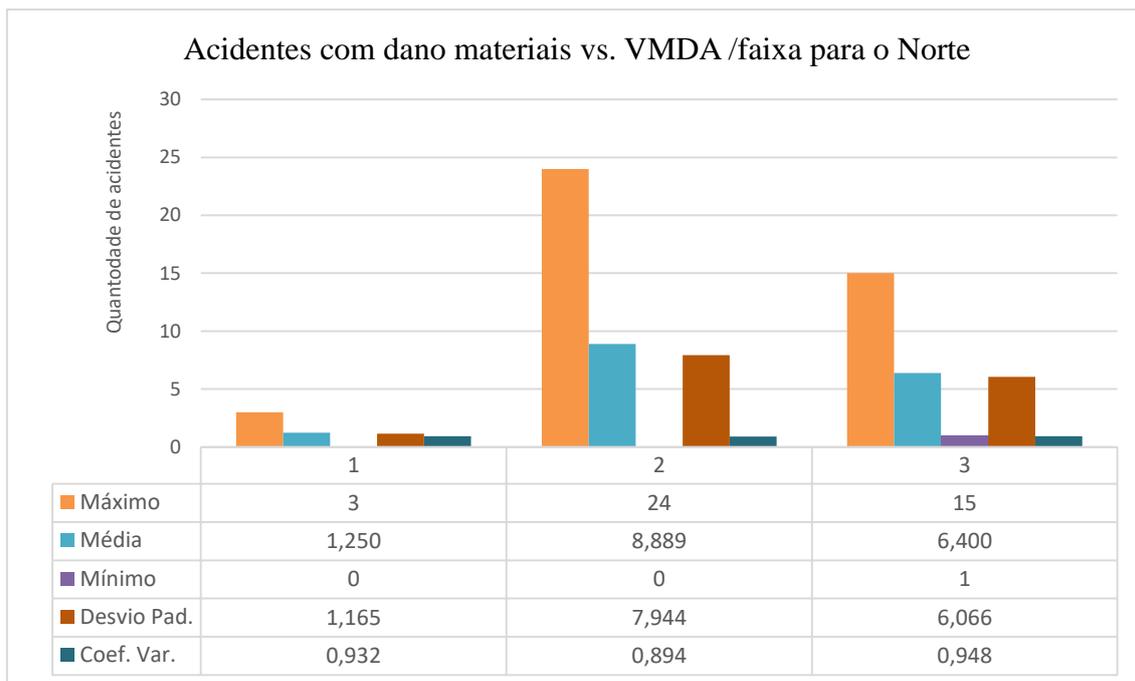


Figura 5-14: Gráfico dos acidentes que não houve feridos nem mortes versus o VMDA por faixa para o Norte.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de (DNIT,2017; PRF, 2017).

Nota-se, que as quantidades mínimas se mantem em zero, exceto na classe 3. No caso das máximas, observa-se na classe central um valor 8 vezes maior do que na classe anterior e 60% maior do que a da classe subsequente. Quanto as médias, observa-se que a ordem de com relação aos valores obtidos é igual ao caso das máximas. Contudo, aproximadamente a menor média é um quarto da maior e um terço da segunda maior. Para o desvio padrão, percebe-se que ele se comporta de forma similar a das médias. Com relação aos coeficientes de variação detecta-se que são semelhantes nas três classes.

5.3.4 SUL

A partir da Figura 5-15 pode-se observar a relação dos acidentes que tiveram como consequência mais grave a morte, de pelo menos um dos envolvidos, com as classes de VMDA/faixa para a região Sul.

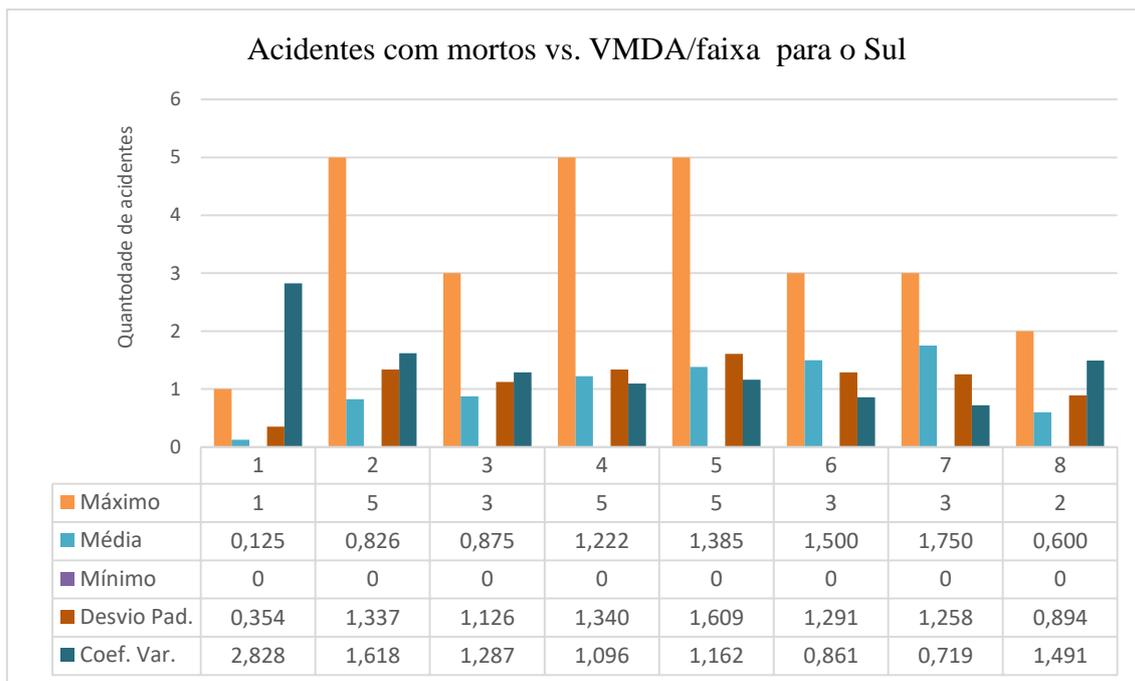


Figura 5-15: Gráfico dos acidentes com mortes versus o VMDA por faixa para o Sul.
 Fonte: Elaboração própria a partir de dados de (DNIT,2017; PRF, 2017).

Verifica-se que as quantidades mínimas de acidentes que todas as classes apresentaram foi zero. Quanto às máximas, nota-se dois trechos. O primeiro tem o número de mortos crescente, da classe 1, com monta de 1 ocorrência, até a classe 4, com quantidade igual a 5. O segundo trecho, tende a decrescer com forma linear, da classe 5, que tem 6 acidentes com fatalidades, até a classe 8, com 2 ocorrências. Averiguando-se as médias, percebe-se uma tendência de crescimento linear dos valores, da classe 1 à classe 7, iniciando em 0,125 e acabando em 1,750.

Para o desvio padrão das médias dos acidentes, pode-se observar uma tendência de crescimento da classe 1 à classe 5. Após isso, nota-se que existe uma queda das classes 5 a 8. Quanto ao coeficiente de variação tem-se que da classe 1 a classe uma tendência de decréscimo de seus valores.

Com base na Figura 5-16 nos apresenta a relação dos acidentes que tiveram como consequência mais grave o ferimento de pelo menos um dos envolvidos com as classes de VMDA/faixa para a região Sul.

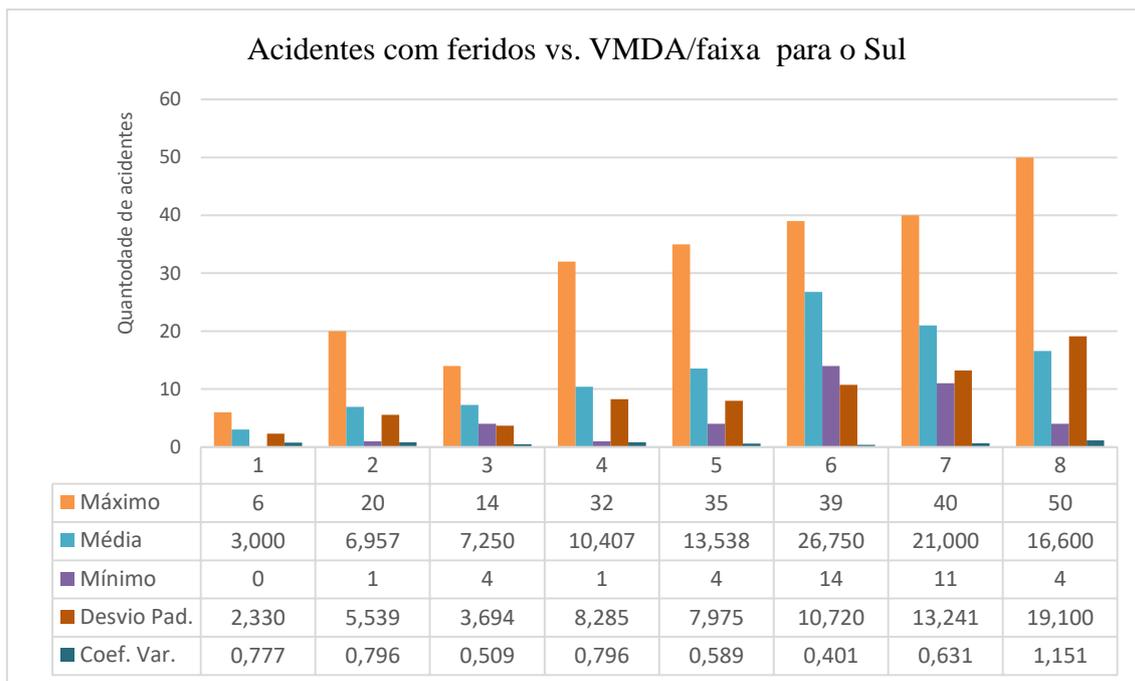


Figura 5-16: Gráfico dos acidentes que houve feridos, mas sem mortes versus o VMDA por faixa para o Sul.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de (DNIT,2017; PRF, 2017).

Observa-se que as quantidades mínimas de acidentes que todas as classes tiveram foi bastante variada nesse caso. Esse tipo de situação é similar a descrita para os acidentes com feridos no Brasil. Quanto às máximas, nota-se um crescimento linear da classe 1 a classe 8.

Averiguando-se as médias, percebe-se uma tendência de crescimento linear dos valores, da classe 1 à classe 5. Depois, constata-se uma tendência de queda de forma linear das médias. Para o desvio padrão das médias observa-se um crescimento linear da classe 1 a classe 8. Quanto ao coeficiente de variação nota-se uma tendência de oscilação, com quedas quase sempre seguidas de subidas e vice-versa.

A Figura 5-17 nos apresenta a relação dos acidentes que tiveram como consequência mais grave danos materiais dos veículos envolvidos com as classes de VMDA/faixa para região Sul.

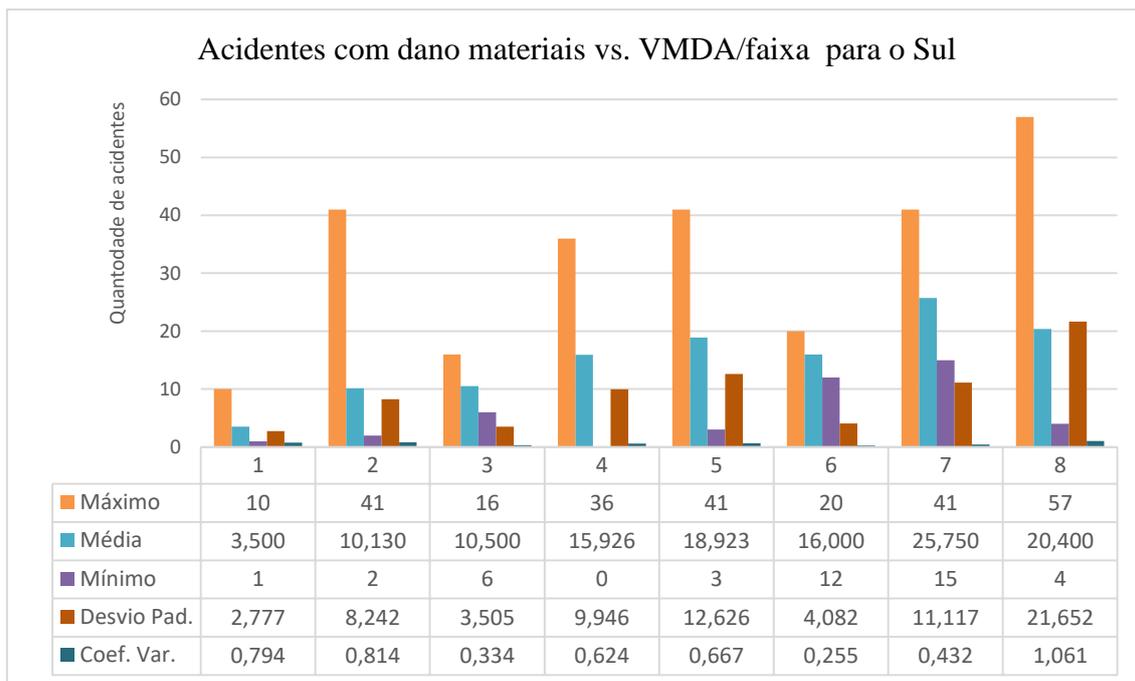


Figura 5-17: Gráfico dos acidentes que não houve feridos nem mortes versus o VMDA por faixa para o Sul.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de (DNIT,2017; PRF, 2017).

Observa-se que as quantidades mínimas de acidentes que todas as classes tiveram foi bastante variada nesse caso. Esse tipo de situação é similar a descrita para os acidentes com feridos no Brasil. Quanto às máximas, nota-se três trechos. Da classe 1 à classe 3, um aumento seguido de uma queda. Entre as classes 3 e 5 um crescimento de forma linear. Após uma queda entre as classes 5 e 6, percebe-se um outro crescimento também de forma linear da classe 6 a 8. Apurando-se as médias, percebe-se uma tendência de crescimento linear dos valores, da classe 1 à classe 8.

Para o desvio padrão das médias dos acidentes, nota-se dois momentos. O primeiro é marcado por uma tendência de crescimento próxima a linearidade, que vai da classe 1 a 5. No segundo, temos outra tendência de crescimento também linear, da classe 6 a 8. No comportamento da amostra quanto ao coeficiente de variação tem-se uma situação de redução, observada da classe 1 a classe 5, e outro intervalo de ascensão, da classe 6 a 8.

5.3.5 CENTRO-OESTE

A partir da Figura 5-18 pode-se observar a relação dos acidentes que tiveram como consequência mais grave a morte, de pelo menos um dos envolvidos, com as classes de VMDA/faixa para a região Centro-Oeste.

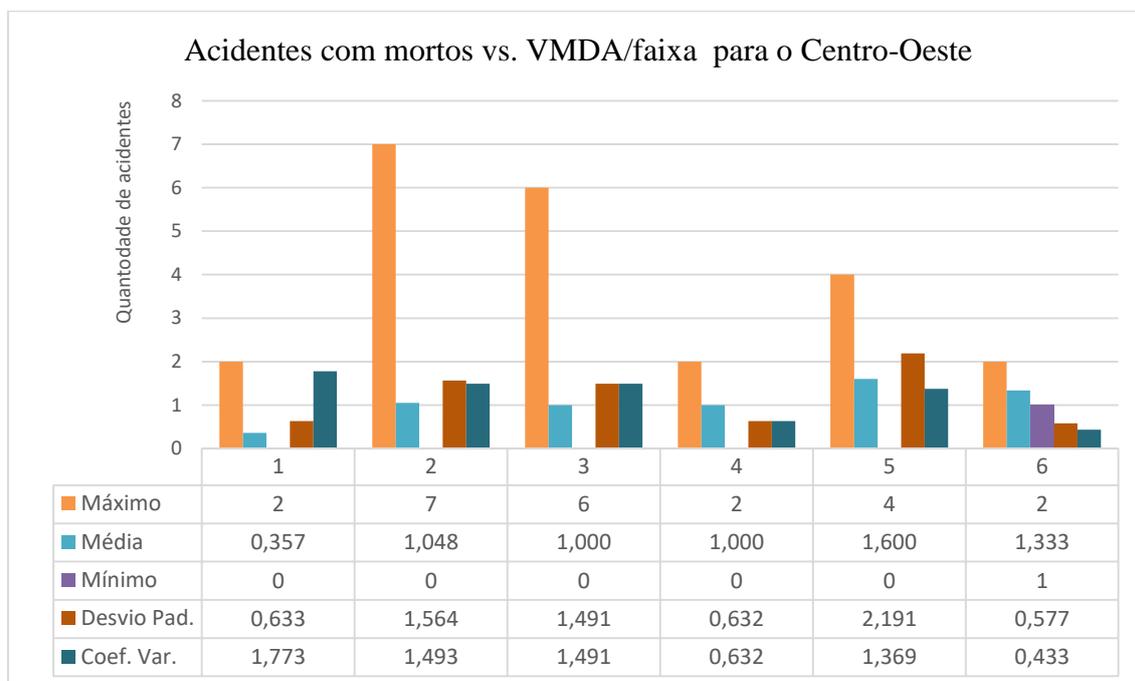


Figura 5-18: Gráfico dos acidentes com mortes versus o VMDA por faixa para o centro-oeste.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados de (DNIT,2017; PRF, 2017).

Apura-se que para as mínimas, as quantidades de acidentes foi zero para toda classes avaliadas. Quanto a situação das máximas, nota-se que, ao se excluir da análise as classes 2 e 4, os valores observados tendem a apresentar uma redução com tendência linear. Ao se avaliar os valores das médias nota-se uma tendência geral de crescimento. Para o desvio padrão da média, observa-se um comportamento oscilatório entre as classes. Apura-se que as quantidades observadas para os coeficientes de variação tendem reduzir com o aumento dos fluxos.

Com base na Figura 5-19 nos apresenta a relação dos acidentes que tiveram como consequência mais grave o ferimento de pelo menos um dos envolvidos com as classes de VMDA/faixa para a região Centro-Oeste.

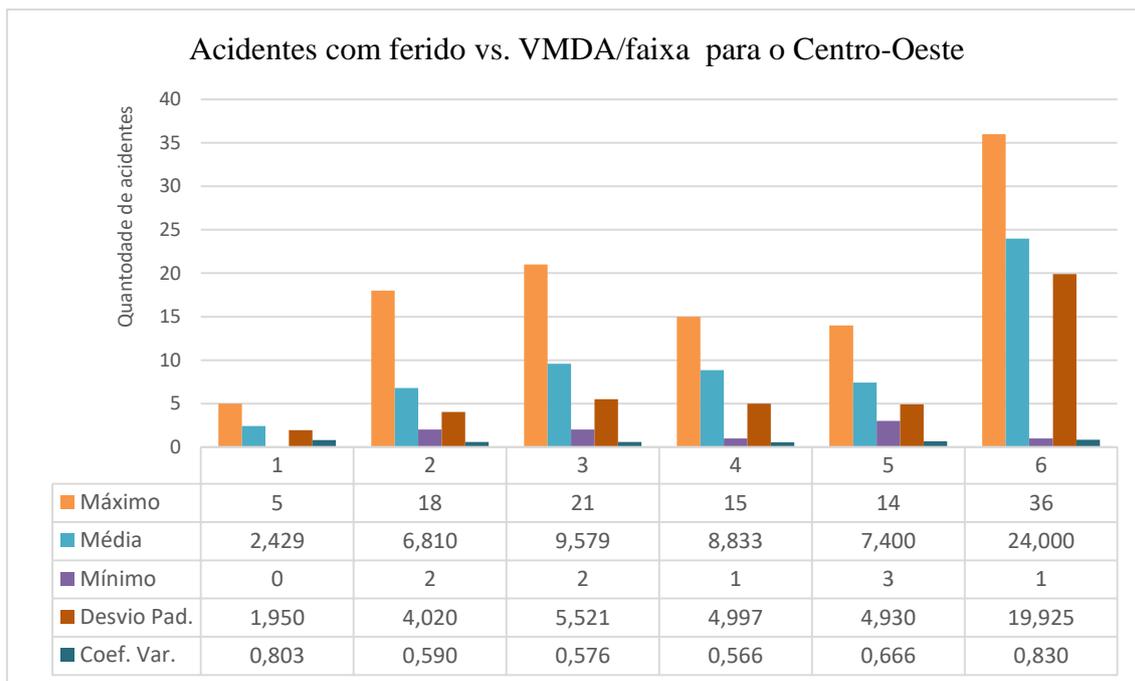


Figura 5-19: Gráfico dos acidentes que houve feridos, mas sem mortes versus o VMDA por faixa para o Centro-Oeste.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de (DNIT,2017; PRF, 2017).

Observa-se que as quantidades mínimas de acidentes que todas as classes tiveram foi bastante variada nesse caso. Esse tipo de situação é similar a descrita para os acidentes com feridos no Brasil. Quanto a situação das máximas, das médias e dos desvios padrão percebe-se uma tendência de crescimento da classe 1 a 3 e uma posterior tendência de decréscimo até a classe 5, quebrada bruscamente na classe 6. Analisando-se os coeficientes de variação, nota-se um comportamento côncavo parabólico.

A Figura 5-20 nos apresenta a relação dos acidentes que tiveram como consequência mais grave danos materiais dos veículos envolvidos com as classes de VMDA/faixa para região Centro-Oeste.

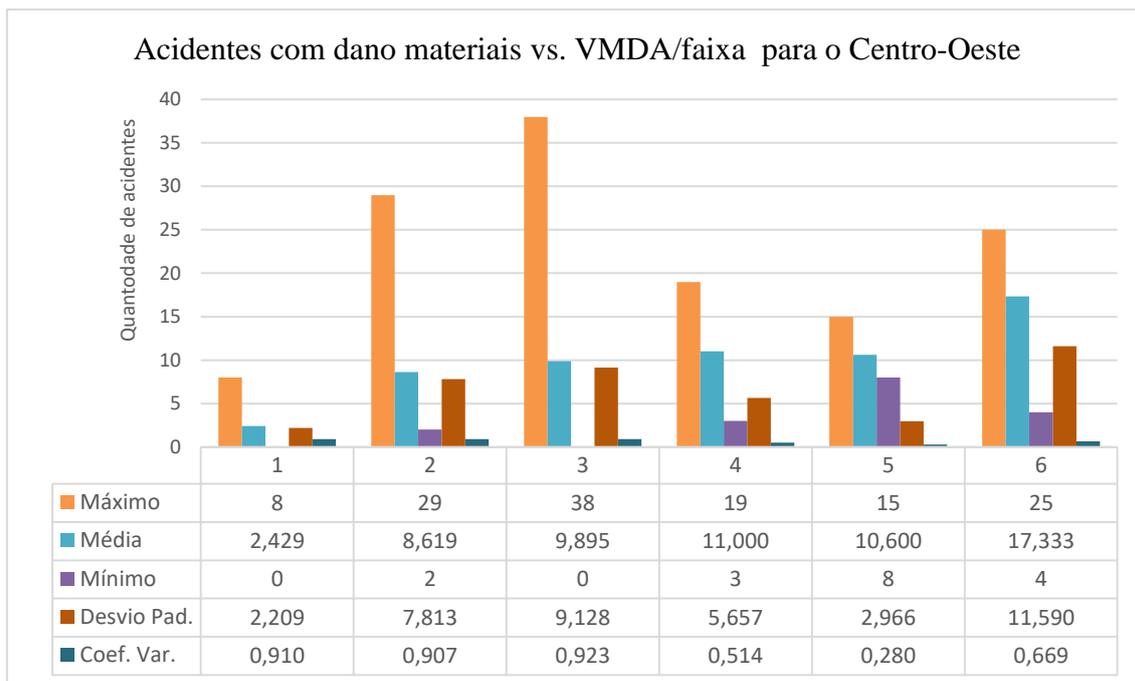


Figura 5-20: Gráfico dos acidentes que não houve feridos nem mortes versus o VMDA por faixa para o Centro-Oeste.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de (DNIT,2017; PRF, 2017).

Percebe-se que as quantidades mínimas de acidentes que todas as classes tiveram foi bastante variada nesse caso. Situação similar a descrita para os acidentes com feridos no Brasil. Em relação a situação das máximas e dos desvios padrão percebe-se uma tendência de crescimento da classe 1 a 3 e uma posterior tendência de decréscimo até a classe 5, quebrada bruscamente na classe 6. Quanto as médias, nota-se uma tendência de crescimento. Analisando-se os coeficientes de variação, observa-se uma tendência de decréscimo, rompida pela classe 6.

5.3.6 NORDESTE

A partir da Figura 5-21 pode-se observar a relação dos acidentes que tiveram como consequência mais grave a morte, de pelo menos um dos envolvidos, com as classes de VMDA/faixa para a região Nordeste.

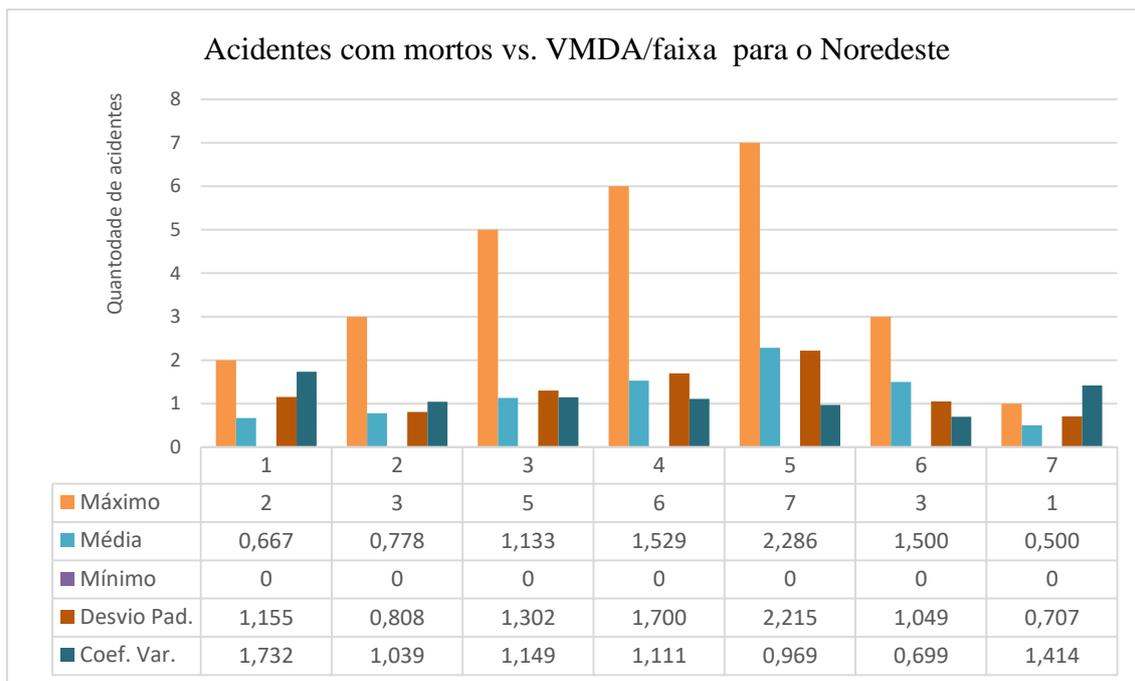


Figura 5-21: Gráfico dos acidentes com mortes versus o VMDA por faixa para o nordeste.
 Fonte: Elaboração própria a partir de dados de (DNIT,2017; PRF, 2017).

Verifica-se que as quantidades mínimas de acidentes que todas as classes apresentaram foi zero. Quanto às máximas, nota-se dois trechos. O primeiro tem o número de acidentes com mortos crescente de forma linear, da classe 1, com monta de 2 ocorrências, até a classe 5, com quantidade igual a 7. O segundo trecho, tende a decrescer também de forma linear, da classe5, que tem 11 acidentes com fatalidades, até a classe 7, com 1 ocorrência.

Averiguando-se as médias, percebe-se uma tendência de crescimento linear dos valores, da classe 1 à classe 5, iniciando em 0,67 e acabando em 2,87. Depois, constata-se, da classe 5 a classe 7, com 0,50, uma tendência de decrescimento com forma próxima a de uma reta.

Para o desvio padrão das médias dos acidentes, também se observa uma tendência de crescimento linear da classe 1 a classe 5. Os limites que compreendem essa primeira parte são 0,96 e 2,58. Após isso, nota-se que existe uma queda, mais uma vez de forma linearizada, das classes 5 a 7. No comportamento da amostra quanto ao coeficiente de variação percebe-se somente uma única tendência de decrescimento que não tem forma bem definida. Essa situação é bruscamente quebrada pela classe 7.

Com base na Figura 5-22 nos apresenta a relação dos acidentes que tiveram como consequência mais grave o ferimento de pelo menos um dos envolvidos com as classes de VMDA/faixa para a região Nordeste.

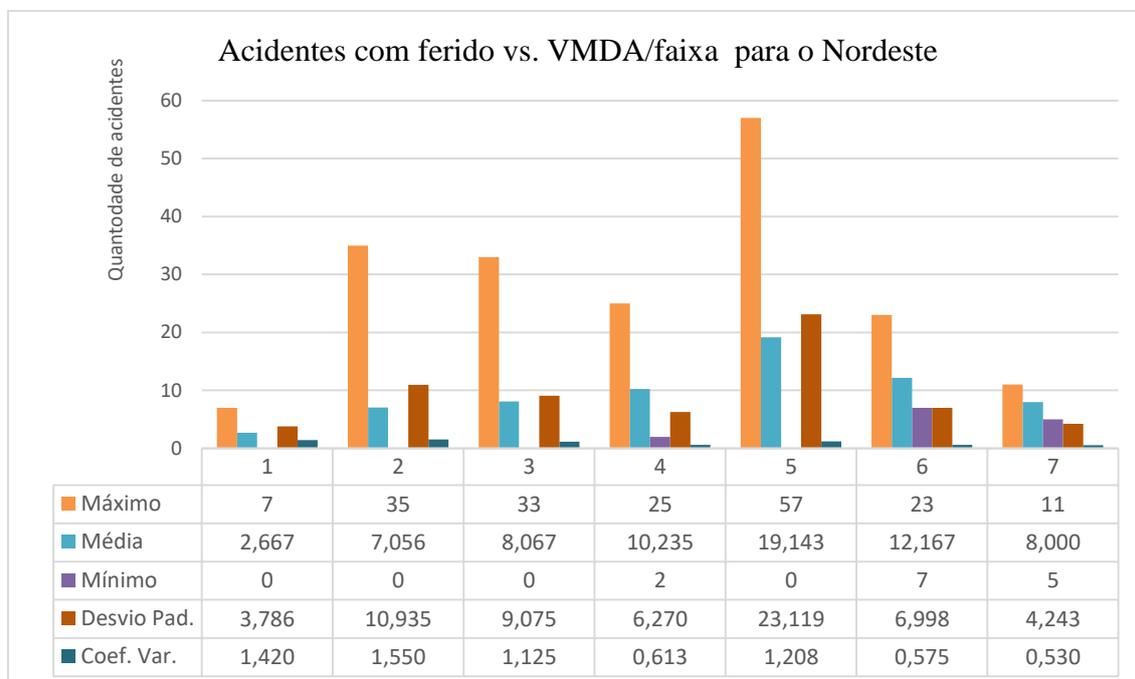


Figura 5-22: Gráfico dos acidentes que houve feridos, mas sem mortes versus o VMDA por faixa para o Nordeste.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de (DNIT,2017; PRF, 2017).

Observa-se que as quantidades mínimas de acidentes que todas as classes tiveram foi bastante variada nesse caso. Esse tipo de situação é similar a descrita para os acidentes com feridos no Brasil. Ao analisar-se as máximas, excetuando-se as classes 1 e 5, percebe-se um comportamento decrescente que próximo ao linear.

Examinando-se os valores das médias, observa-se dois comportamentos, quais sejam: um de crescimento de tendência linear, da classe 1 a 4; e outro, de decréscimo de forma linear, da classe 5 a 7.

Quanto ao desvio padrão da média, verifica-se, após um aumento da classe 1 para a classe 2, uma tendência de queda linear da classe 2 a 4. Depois outro aumento entre a classe 4 e 5, nota-se uma tendência de redução de forma linear dos valores observados da classe 5 a 7.

Ao averiguar-se os coeficientes de variação percebe-se dois momentos, quais sejam: da classe 1 a 4, observa-se uma redução de forma linear; e da classe 5 a 7, nota-se uma queda de tendência linear dos valores.

A Figura 5-23 nos apresenta a relação dos acidentes que tiveram como consequência mais grave danos materiais dos veículos envolvidos com as classes de VMDA/faixa para região Nordeste.

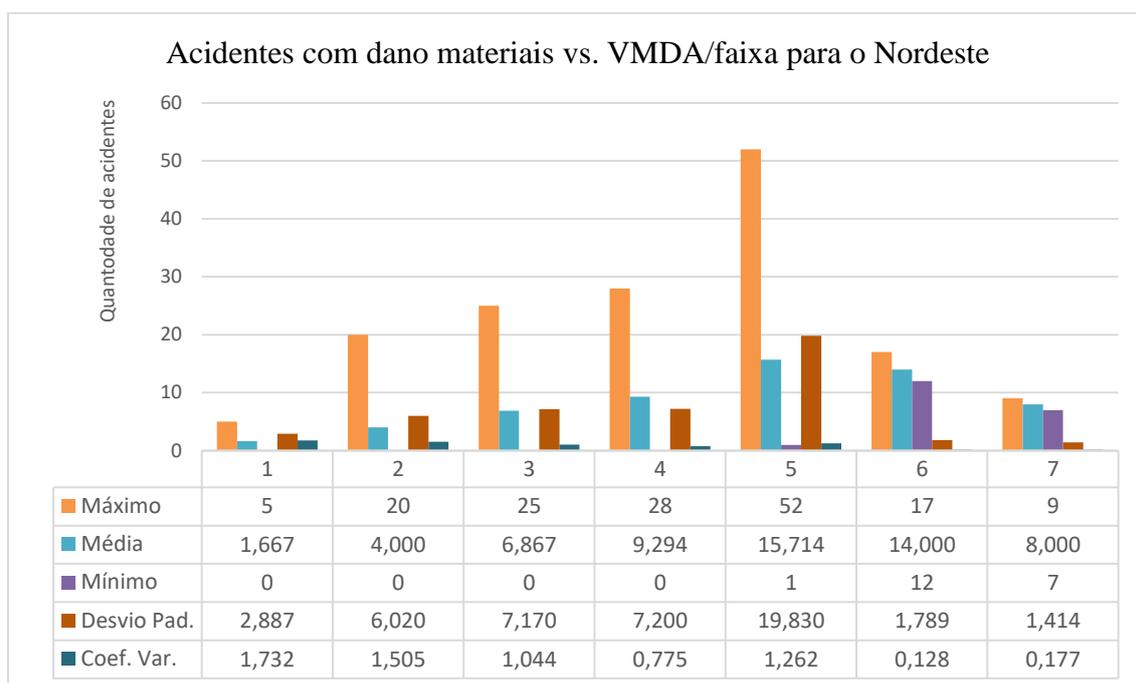


Figura 5-23: Gráfico dos acidentes que não houve feridos nem mortes versus o VMDA por faixa para o Nordeste.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de (DNIT,2017; PRF, 2017).

Observa-se que as quantidades mínimas de acidentes que todas as classes tiveram foi bastante variada nesse caso. Esse tipo de situação é similar a descrita para os acidentes com feridos no Brasil. Quanto às máximas, médias e desvios padrão, nota-se uma tendência de crescimento linear da classe 1 a 4. Depois de um aumento entre a classe 4 e 5, nota-se uma tendência também linear de redução dos valores observados da classe 5 a 7.

Ao averiguar-se os coeficientes de variação nota-se que eles apresentam dois momentos de quedas lineares, separados por um aumento de 75%. O primeiro, está entre as classes 1 e 4, e o segundo está entre as classes 5 e 7.

6. ANÁLISE DE RESULTADOS

Nessa seção do trabalho, serão apresentados os resultados e as análises dos cálculos oriundos da aplicação do procedimento metodológico proposto para o Brasil e suas cinco regiões geográficas. Os corolários estão expostos em dois tipos de gráficos. No primeiro tipo tem-se no eixo vertical os índices do PROMETHEE II, calculados considerando-se os três tipos de acidentes ao mesmo tempo e considerando-se cada tipo separadamente, e no outro eixo apresenta as classes de VMDA/faixa. É importante se ressaltar que nesses cálculos, para os casos em que se considera somente um tipo de gravidade de acidentes, o peso adotado nesses casos foi unitário. No segundo tipo de gráfico, exibe-se no eixo horizontal as classes de VL/faixa, no eixo vertical as classes de VP/faixa, e na área do gráfico são representados os valores dos índices do PROMETHEE II calculados considerando-se os três tipos de acidentes simultaneamente. Nessa última categoria, os valores dos índices são simbolizados por circunferências com preenchimento, quando representam valores negativos, e sem preenchimento, quando representam valores positivos. Cabe também ressaltar que os diâmetros ou larguras, na linguagem empregada pelo *software* EXCEL2013®, expressam o módulo do índice.

6.1 BRASIL

Ao analisar-se a Figura 6-1 que compara os *rankings* tomando os três tipos de gravidades de acidentes concomitantemente, e cada um deles separadamente para o Brasil, desconsiderando o rigor estatístico no momento da comparação par a par das classes, nota-se que, existem dois pares de comportamentos similares. Um deles é composto pela curva que considera os três tipos simultaneamente e a que considera somente os acidentes com mortes. Nesse conjunto pode se observar da classe 1 a classe 5 existe uma perda de segurança seguida de uma retomada. Da classe 5 à classe 13 percebe-se uma tendência de queda da segurança das vias, com dois fluxos notadamente desfavoráveis nas classes 8 e 11. Em uma análise global as classes que apresentam maior qualidade vão da 1 a 7, pois apresentam alguma preferência, enquanto as demais apresentam rejeição segundo o método.

O segundo par de curvas se constitui pelas considerações solitárias de acidentes com ferido ou de acidentes com danos materiais como as consequências mais graves. Para

esses casos nota-se que existe uma tendência de deterioração das condições da segurança viária à medida que os fluxos crescem, tendo seus piores resultados nas classes 9 e 11. De forma similar ao caso anterior, das classes 1 a 7, com exceção da classe 5 na curva para feridos, tem-se uma preferência, enquanto para as demais classes observa-se uma rejeição.

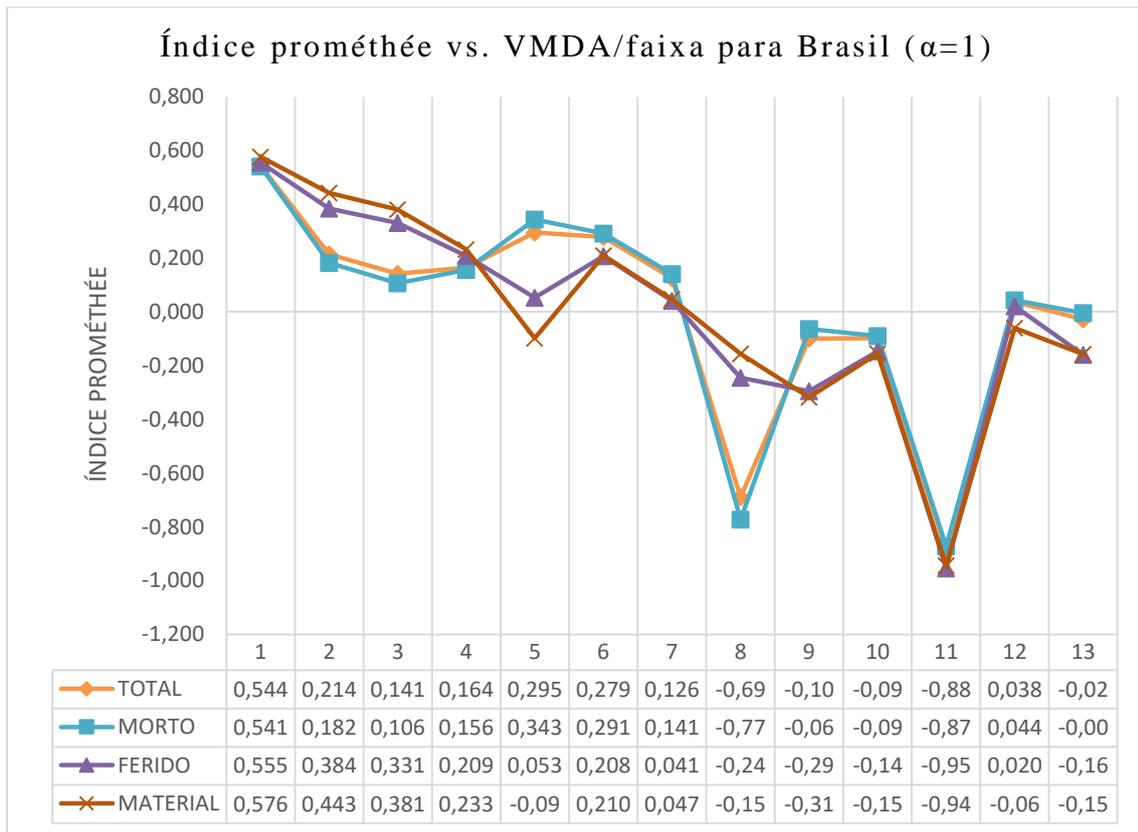


Figura 6-1: Gráfico comparativo entre os *rankings* considerando os três tipos de acidentes simultaneamente e cada um separadamente no Brasil, desconsiderando o rigor estatístico no momento da comparação par a par das classes.

Ao explorar-se a Figura 6-2 que expõem os *rankings* tomando os três tipos de gravidades de acidentes simultaneamente, e cada um deles isolados para o Brasil, considerando o rigor estatístico no momento da comparação par a par das classes, nota-se uma concordância entre os comportamentos as 4 curvas, que se define pela piora da segurança dos trechos à medida que crescem os fluxos veiculares. Contudo, para os casos em que ferimentos não fatais e danos materiais são as consequências mais graves, percebe-se um maior distanciamento entre os as melhores classes e as piores em comparação aos outros dois casos, quanto ao índice PROMÉTHÉE.

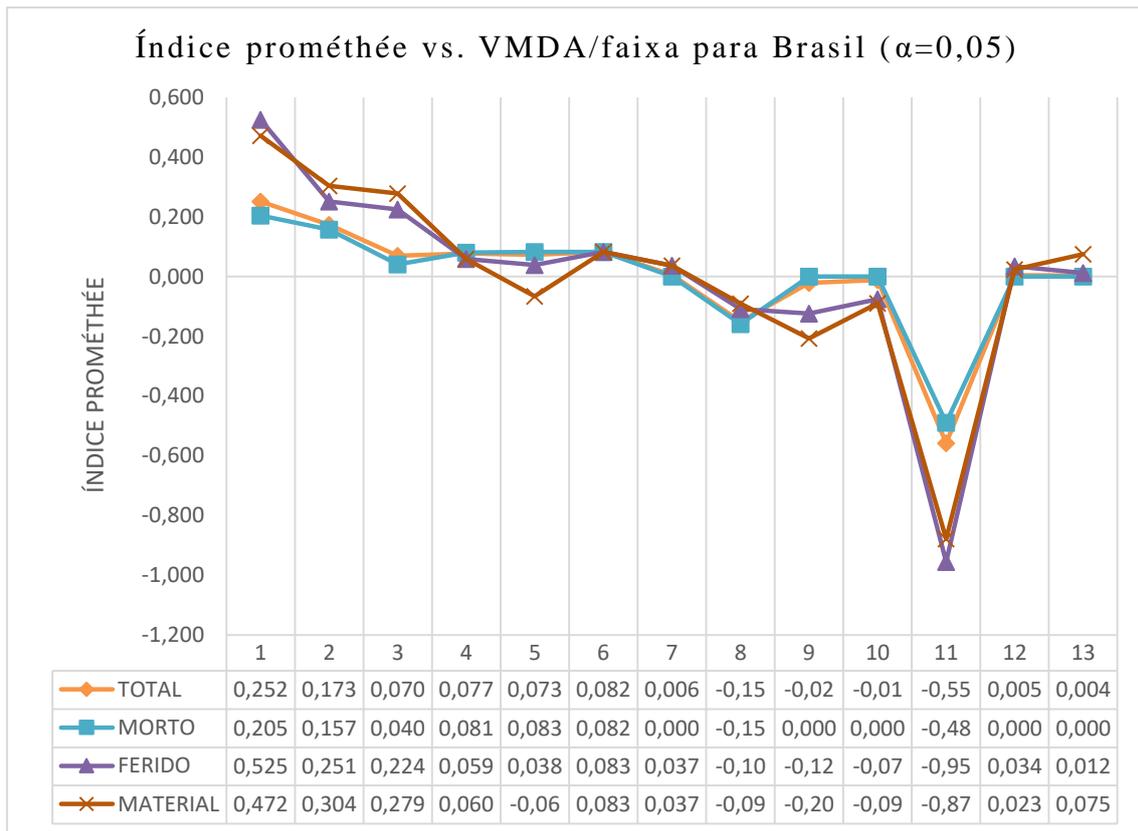


Figura 6-2: Gráfico comparativo entre os rankings considerando os três tipos de acidentes simultaneamente e cada um separadamente no Brasil, considerando o rigor estatístico no momento da comparação par a par das classes.

Ao se confrontar as formas com que variam os índices de severidade obtidos para cada classe de VDMA/faixa considerando e não considerando as dispersões das médias dos acidentes nos trechos para o Brasil, embora no segundo gráfico seja marcante a redução da capacidade de diferenciação entre as classes, observa-se a tendência de decaimento da segurança viária à medida que o fluxo aumenta. Além disso, para as curvas de acidentes com ferido e com danos materiais, os piores casos continuam sendo as classes 5, 9 e 11. Quanto para as curvas da totalidade dos acidentes e dos acidentes com mortos, também se verifica a manutenção das piores classes, ou seja, 9 e 11.

Observando-se a Figura 6-3 que resume a situação relativa de segurança, segundo o índice PROMÉTHÉE, desconsiderando a dispersão das médias das ocorrências nos pares (VL/faixa; VP/faixa) para o Brasil, mantendo-se constante o valor de VL/faixa e aumentando-se as concentrações de VP/faixa, nota-se uma tendência de deterioração da segurança viária. Contudo, para os valores do eixo horizontal 4, 6 e 7 há uma oscilação entre a preferência e a rejeição com o crescimento das concentrações de VP/faixa.

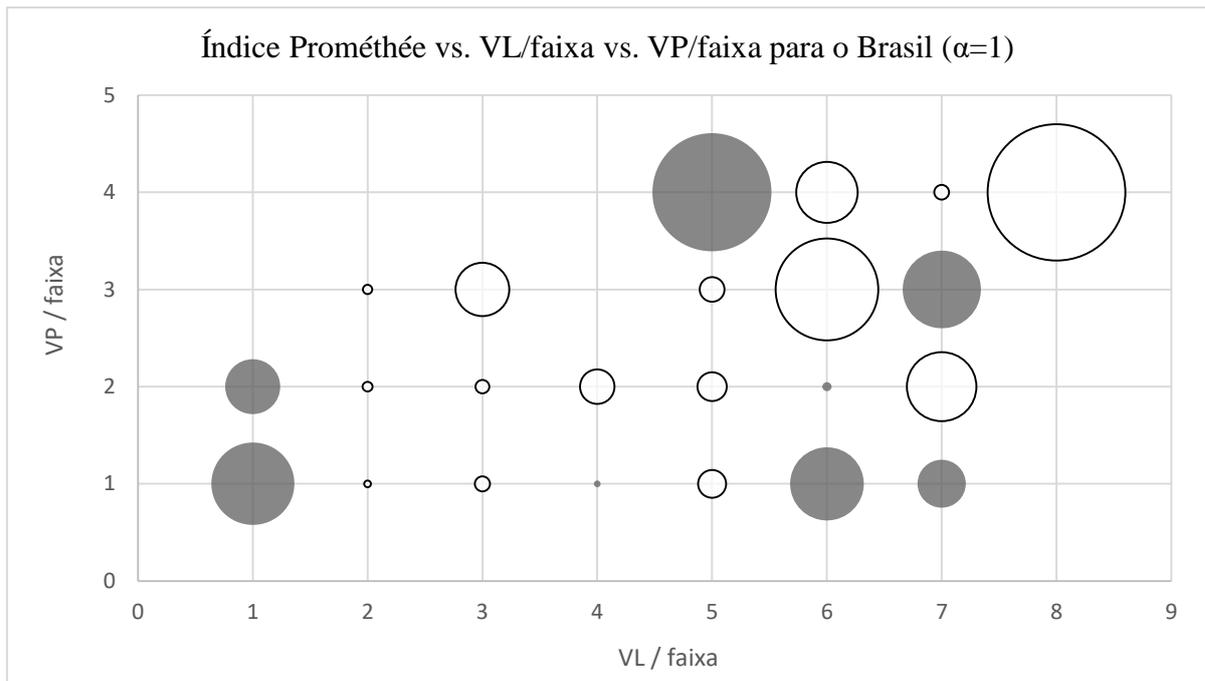


Figura 6-3: Gráfico da severidade dos trechos versus a quantidade de veículos leves por faixa versus a quantidade de veículos pesados por faixa para o Brasil, desconsiderando a dispersão dos dados. O módulo do índice cresce com o raio da circunferência, o sinal dele é negativo quando ela é vazada e positivo quando ela é cheia.

Observando-se a Figura 6-3 que resume a situação relativa de segurança, segundo o índice PROMÉTHÉE, considerando a dispersão das médias das ocorrências nos pares (VL/faixa; VP/faixa) para o Brasil, mantendo-se constante o valor de VL/faixa e aumentando-se as concentrações de VP/faixa, nota-se que para a maior parte dos pares não se pode estabelecer uma preferência ou uma rejeição. Mesmo assim, percebe-se que quando a concentração de veículos pesados se aproxima da metade da concentração de veículos leves a segurança viária tende a deterioração.

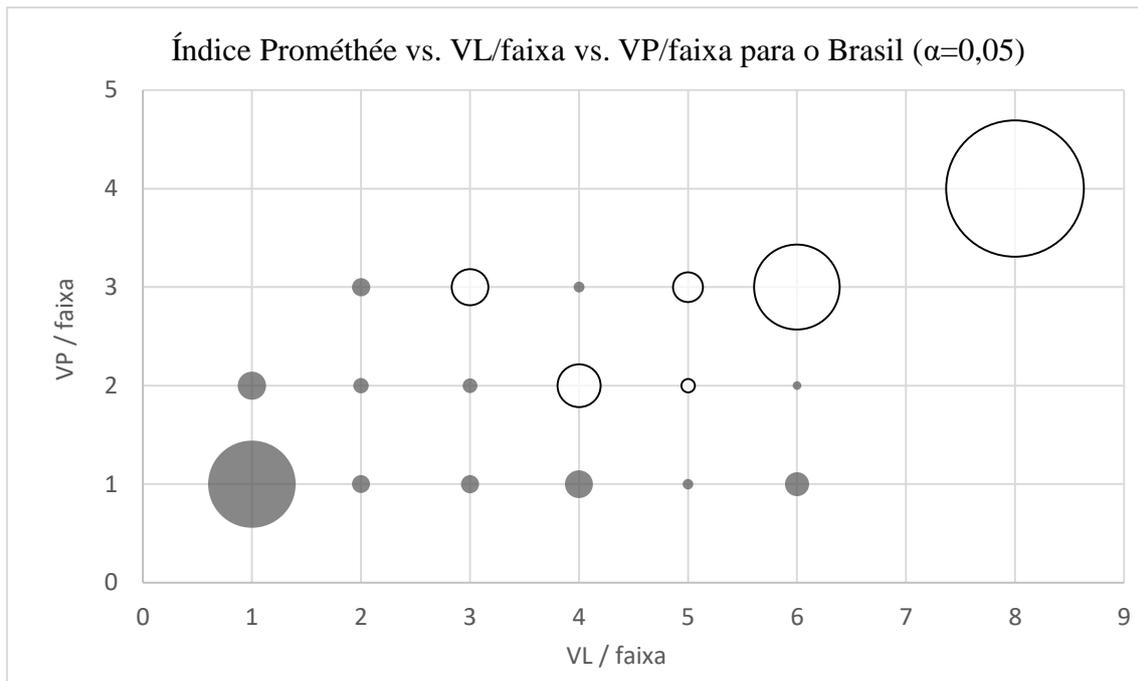


Figura 6-4: Gráfico da severidade dos trechos versus a quantidade de veículos leves por faixa versus a quantidade de veículos pesados por faixa para o Brasil, considerando a dispersão dos dados. O módulo do índice cresce com o raio da circunferência, o sinal dele é negativo quando ela é vazada e positivo quando ela é cheia.

Ao se comparar os modos com que se comportam os índices obtidos para cada par (VL/faixa; VP/faixa) considerando e não considerando as dispersões das médias dos acidentes nos trechos para o Brasil, tem-se que em ambos os casos é possível se observar uma tendência de piora da qualidade da segurança viária à medida que o fluxo de veículos pesados aumenta. Mas no segundo caso, a diferenciação entre as classes fica muito desfavorecida.

6.2 SUDESTE

Ao analisar a Figura 6-5, que compara os *rankings* considerando os três tipos de acidentes simultaneamente e cada um separadamente no Sudeste, desconsiderando o rigor estatístico no momento da comparação par a par das classes, tem-se os índices PROMÉTHÉE, para os três tipos de gravidade e para a consideração exclusiva dos acidentes com mortes, das classes 2 a 6, tendendo a decrescer. Depois observa-se uma melhora, que é quebrada bruscamente na classe 8, que apresenta a pior condição de todo o espectro. Nota-se que as classes que apresentam uma situação de preferência de são a 2, 7, 9 e 10. Para os demais tipos de gravidades, percebe-se uma tendência global de piora à medida que o fluxo aumenta, mas cada queda é sempre seguida de uma melhora, exceto

das classes 6 a 8, em que se verificam 2 quedas subsequentes. Ressalta-se também a curva dos feridos é a única que apresenta a segunda pior classe sendo a 7 e a pior sendo a 8, mas nesse caso em igual situação as demais curvas.

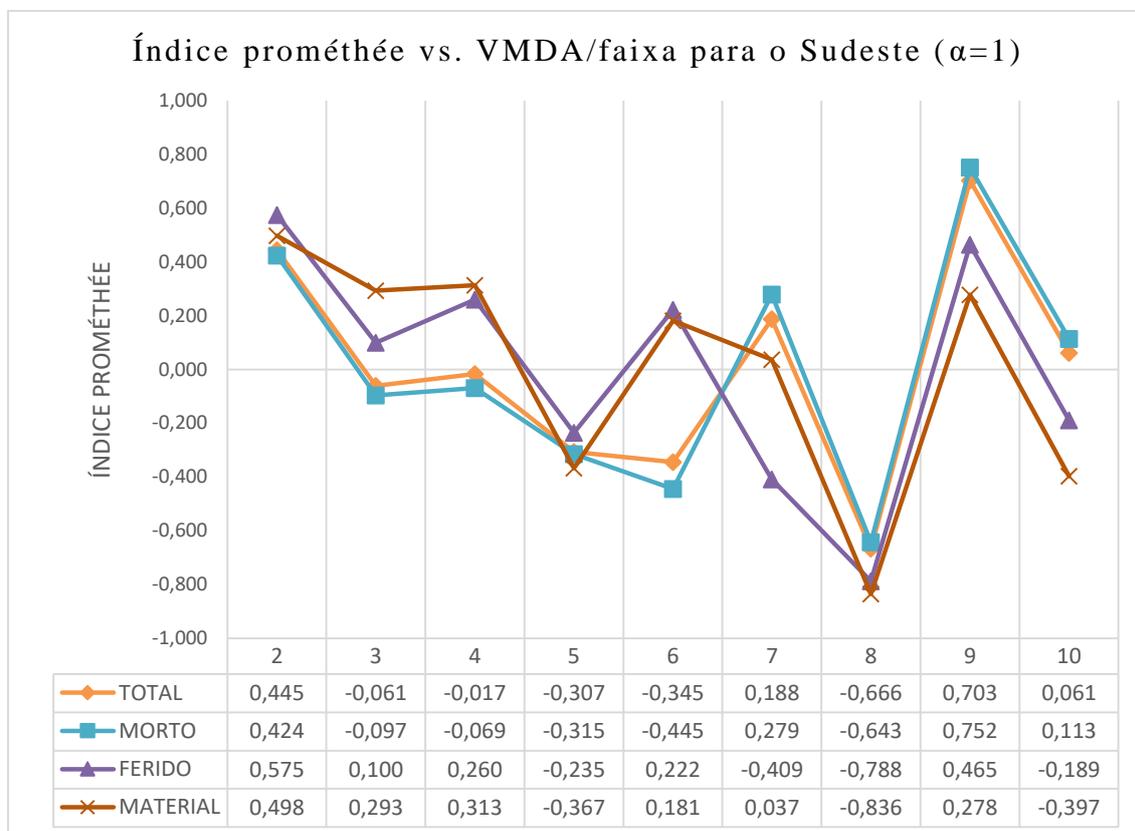


Figura 6-5: Gráfico comparativo entre os *rankings* considerando os três tipos de acidentes simultaneamente e cada um separadamente no Sudeste, desconsiderando o rigor estatístico no momento da comparação par a par das classes.

Ao explorar-se a Figura 6-6 que compara os *rankings* considerando os três tipos de acidentes simultaneamente e cada um separadamente no Sudeste, considerando o rigor estatístico no momento da comparação par a par das classes, nota-se que para a curva que considera somente os acidentes com mortos, não existe diferença entre as classes, ou seja, todas apresentam igual situação de periculosidade. Para o caso em que se consideram todos os tipos de acidentes, observa-se há uma tendência de piora à medida que ocorrem incrementos nos fluxos, mas mesmo assim, as diferenças entre as preferências e preterições das classes são muito pequenas, sugerindo também uma igualdade das condições de segurança. Para as demais curvas, observa-se uma disposição para a deterioração da condição da segurança viária, embora cada queda seja sucedida por uma melhora. Para o caso dos acidentes com danos materiais, nota-se também que as classes 6, 7, 9 e 10.

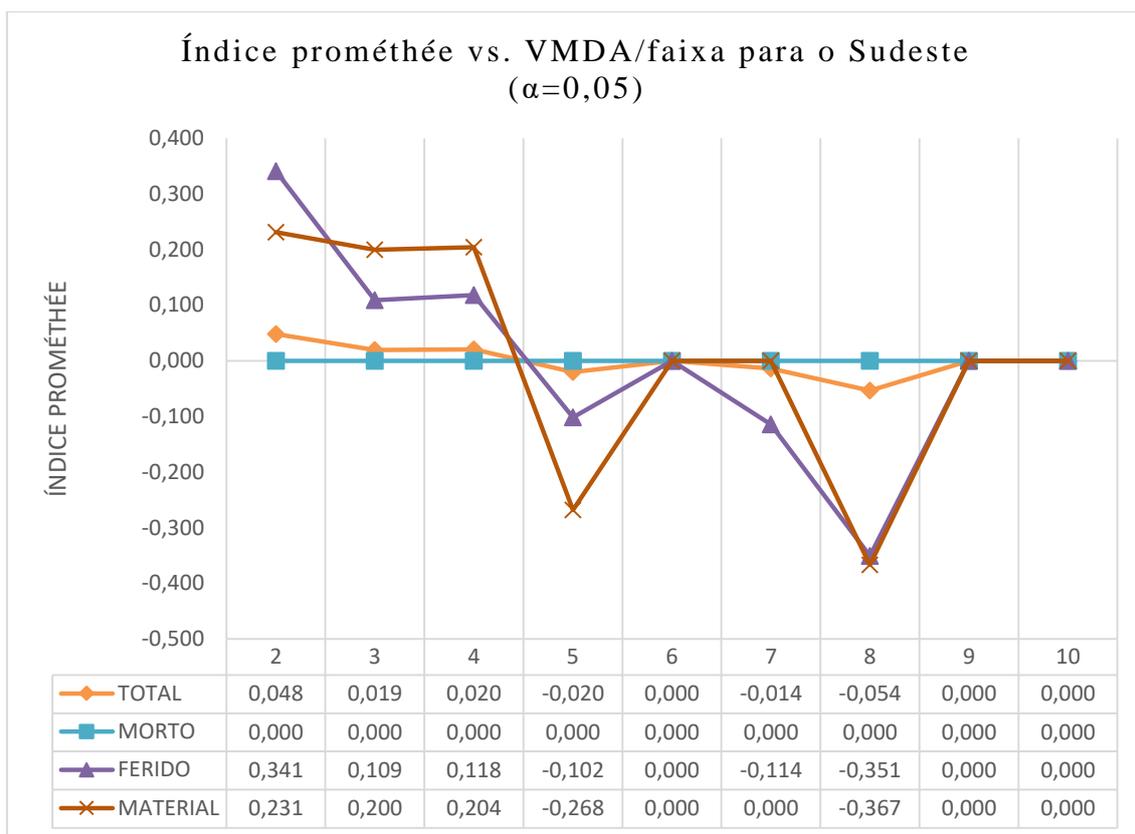


Figura 6-6: Gráfico comparativo entre os *rankings* considerando os três tipos de acidentes simultaneamente e cada um separadamente no Sudeste, considerando o rigor estatístico no momento da comparação par a par das classes.

Ao se confrontar as formas com que variam os índices de severidade obtidos para cada classe de VDMA/faixa considerando e não considerando as dispersões das médias dos acidentes nos trechos para o sudeste, devido ao fato de no segundo gráfico ser acentuada a redução da capacidade de diferenciação entre as classes, ao se considerar todos os acidentes simultaneamente e os acidentes somente com mortes, fica indistinguível a superioridade de uma classe sobre as demais. Contudo, para os dois outros casos, mantem-se o comportamento de deterioração em ambos os gráficos, embora também para esses casos a diferenciação fique reduzida.

A Figura 6-7 que resume a situação relativa de segurança, segundo o índice PROMÉTHÉE, desconsiderando a dispersão das médias das ocorrências nos pares (VL/faixa; VP/faixa) para o sudeste, mantendo-se constante o valor de VL/faixa e aumentando-se as concentrações de VP/faixa, nota-se que à medida que a quantidade de veículos pesados cresce e se aproxima da metade do valor de veículos leves, a segurança tende a se deteriorar.

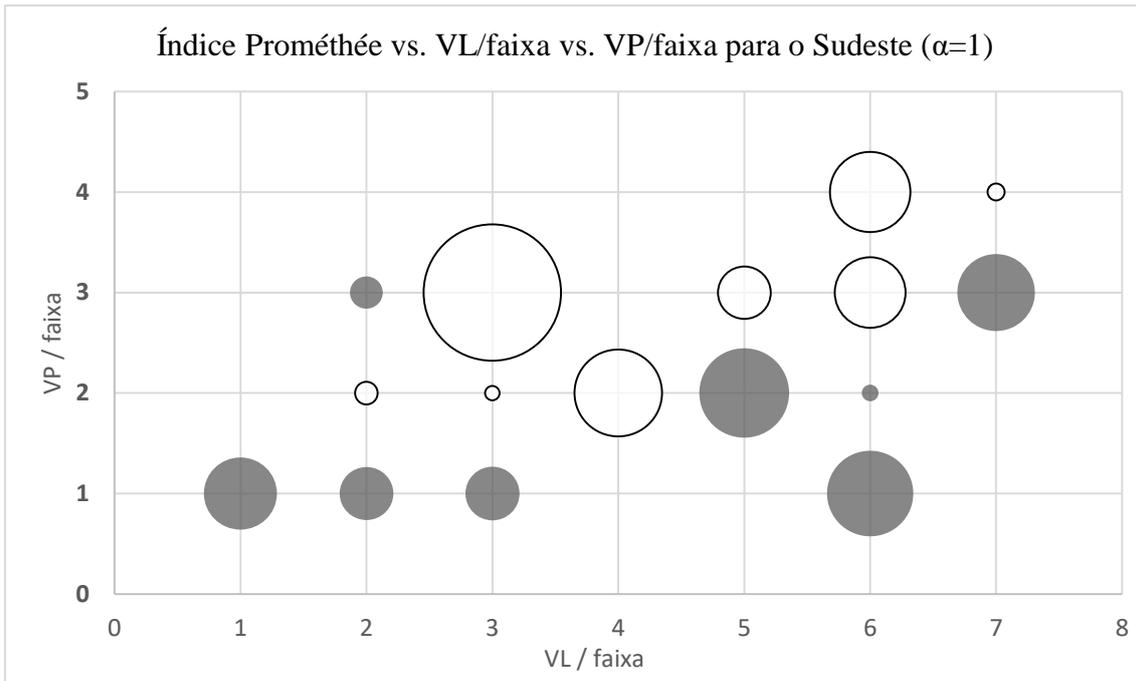


Figura 6-7: Gráfico da severidade dos trechos versus a quantidade de veículos leves por faixa versus a quantidade de veículos pesados por faixa para o Sudeste, desconsiderando a dispersão dos dados. O módulo do índice cresce com o raio da circunferência, o sinal dele é negativo quando ela é vazada e positivo quando ela é cheia.

A Figura 6-8 que resume a situação relativa de segurança, segundo o índice PROMÉTHÉE, considerando a dispersão das médias das ocorrências nos pares (VL/faixa; VP/faixa) para o sudeste, mantendo-se constante o valor de VL/faixa e aumentando as concentrações de VP/faixa, tem-se que ao passo que o fluxo de veículos pesados aumenta a segurança tende a cair.

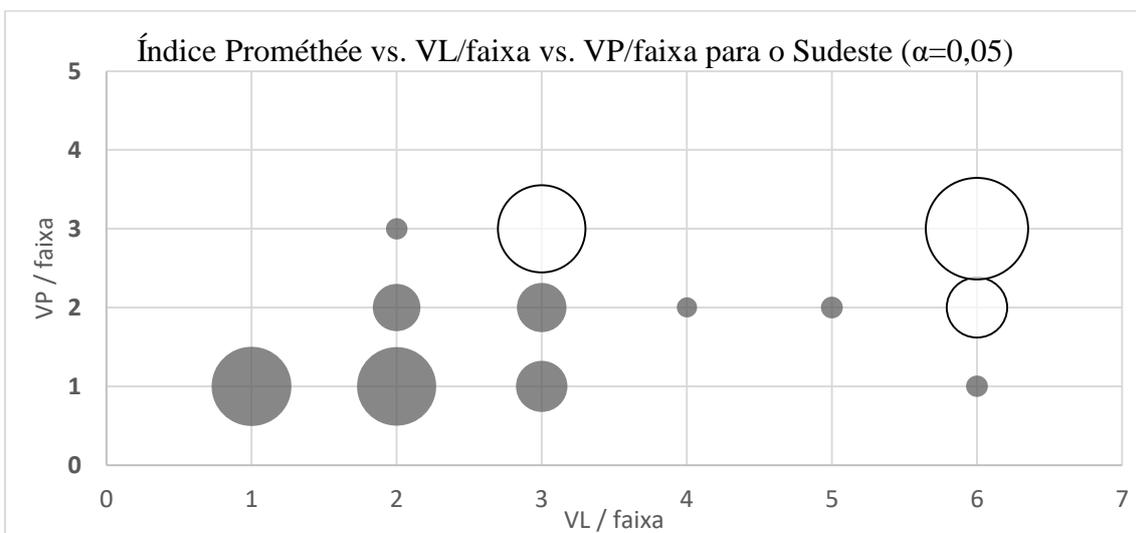


Figura 6-8: Gráfico da severidade dos trechos versus a quantidade de veículos leves por faixa versus a quantidade de veículos pesados por faixa para o Sudeste, considerando a dispersão dos dados. O módulo do índice cresce com o raio da circunferência, o sinal dele é negativo quando ela é vazada e positivo quando ela é cheia.

Ao se comparar os modos que se comportam os índices de severidade obtidos para cada par (VL/faixa; VP/faixa) considerando e não considerando as dispersões das médias dos acidentes nos trechos para a região sudeste, observa-se que o comportamento se sustenta, mas no segundo caso as comparações ficam prejudicadas.

6.3 NORTE

Ao analisar a Figura 6-9, que compara os *rankings* considerando os três tipos de acidentes simultaneamente e cada um separadamente no Norte, desconsiderando o rigor estatístico no momento da comparação par a par das classes, nota-se que todos *rankings* de acidentes tendem a ter um comportamento similar, que a de redução na segurança viária ao passo que o fluxo cresce. Contudo, para os casos em que se pondera todos os tipos de acidentes e no que se leva em consideração somente os acidentes com mortos a diferenciação é quase nenhuma ou nenhuma.

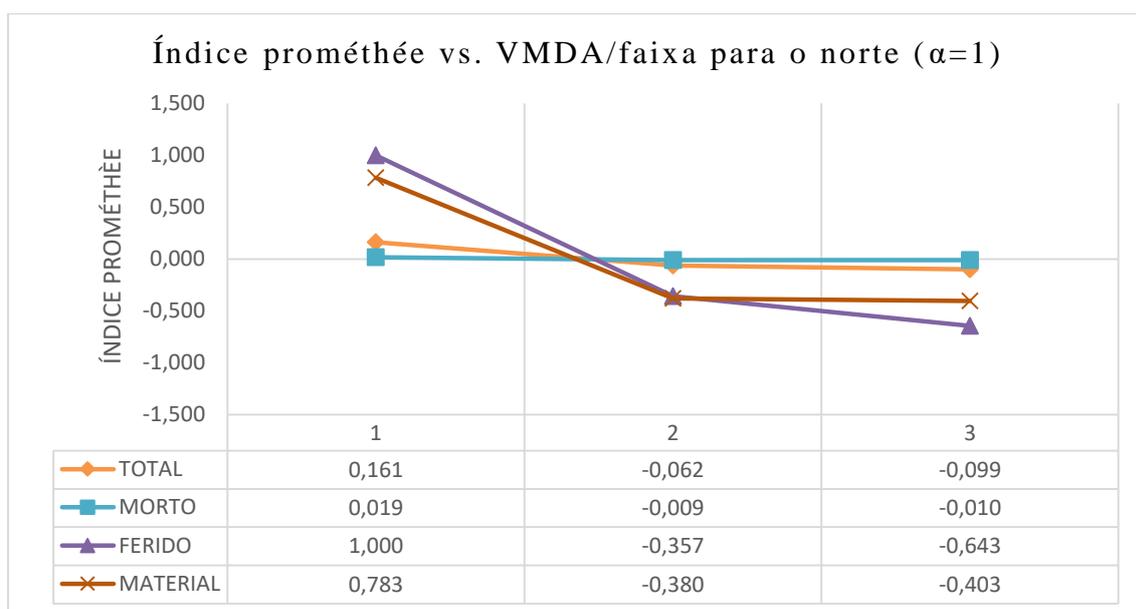


Figura 6-9: Gráfico comparativo entre os *rankings* considerando os três tipos de acidentes simultaneamente e cada um separadamente no Norte, desconsiderando o rigor estatístico no momento da comparação par a par das classes.

Averiguando-se a Figura 6-10, que compara os *rankings* considerando os três tipos de acidentes simultaneamente e cada um separadamente no Norte, considerando o rigor estatístico no momento da comparação par a par das classes, observa-se que não se pode fazer nenhuma diferenciação entre as classes. Todas estão em iguais condições quanto a segurança viária.

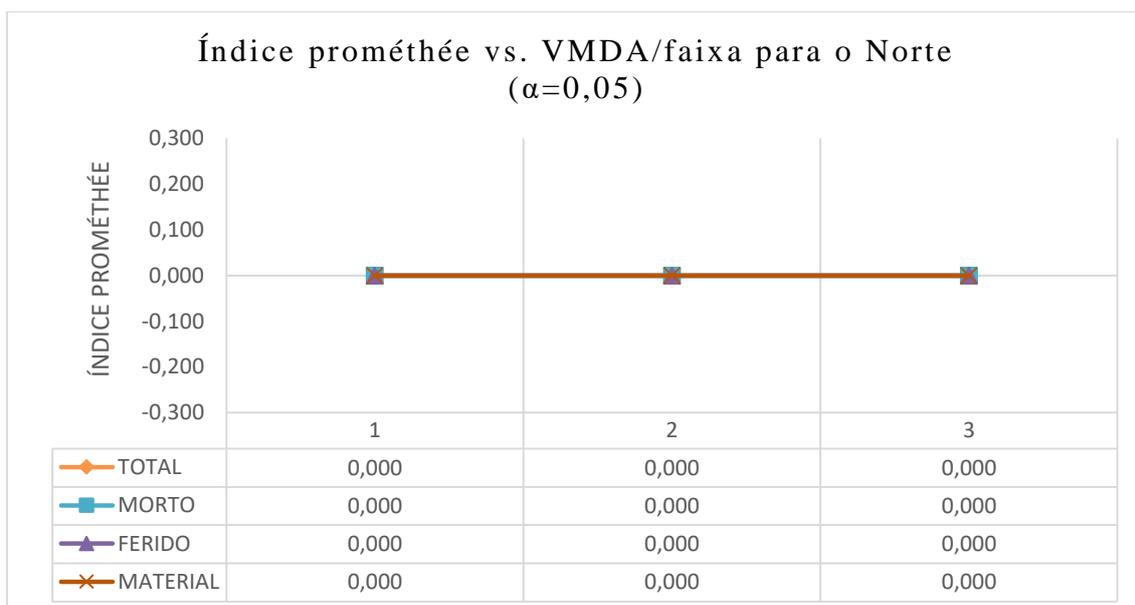


Figura 6-10: Gráfico comparativo entre os *rankings* considerando os três tipos de acidentes simultaneamente e cada um separadamente no Norte, considerando o rigor estatístico no momento da comparação par a par das classes.

Ao se confrontar as formas com que variam os índices de severidade obtidos para cada classe de VDMA/faixa considerando e não considerando as dispersões das médias dos acidentes nos trechos para a região norte, tem-se: que ao utilizar o rigor estatístico na comparação das classes elas se tornam indistinguíveis.

A Figura 6-11 que resume a situação relativa de segurança, segundo o índice PROMÉTHÉE, desconsiderando a dispersão das médias das ocorrências nos pares (VL/faixa; VP/faixa) para o norte, mantendo-se constante o valor de VL/faixa e aumentando-se as concentrações de VP/faixa, percebe-se dois comportamentos. Para VL/faixa igual a 1, a segurança tende a deterioração, mas no outro caso de VL/faixa a situação melhora.

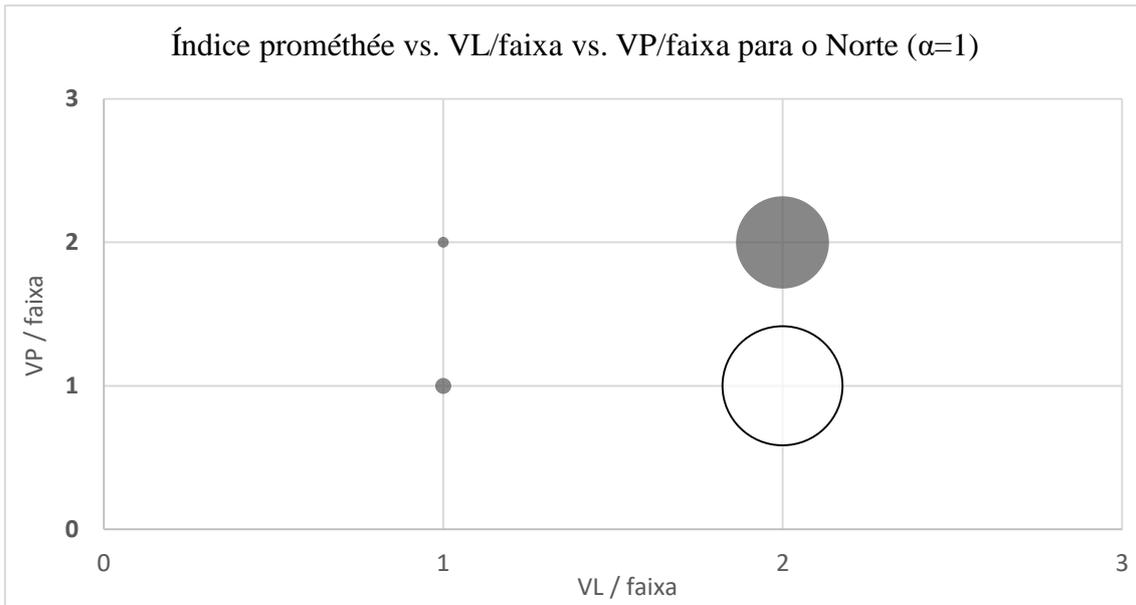


Figura 6-11: Gráfico da severidade dos trechos versus a quantidade de veículos leves por faixa versus a quantidade de veículos pesados por faixa para o Norte, desconsiderando a dispersão dos dados. O módulo do índice cresce com o raio da circunferência, o sinal dele é negativo quando ela é vazada e positivo quando ela é cheia

A Figura 6-12 resume a situação relativa de segurança, segundo o índice PROMÉTHÉE, considerando a dispersão das médias das ocorrências nos pares (VL/faixa; VP/faixa) para o sudeste, mantendo-se constante o valor de VL/faixa e aumentando as concentrações de VP/faixa, tem-se um comportamento de piora para VL/faixa igual a 1 e uma melhora para o segundo caso.

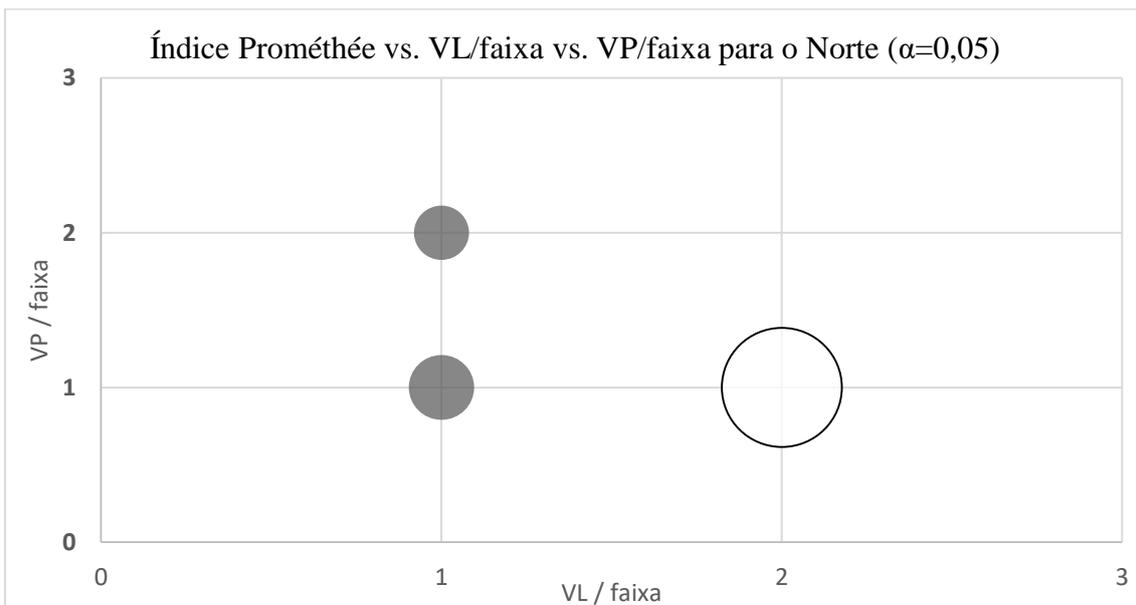


Figura 6-12: Gráfico da severidade dos trechos versus a quantidade de veículos leves versus a quantidade de veículos pesados para o Norte, considerando a dispersão dos dados. O módulo do índice cresce com o raio da circunferência, o sinal dele é negativo quando ela é vazada e positivo quando ela é cheia

Ao se comparar os modos que se comportam os índices de severidade obtidos para cada par (VL/faixa; VP/faixa) considerando e não considerando as dispersões das médias dos acidentes nos trechos para a região norte, percebe-se que a segurança inverte seu comportamento para as duas possibilidades de VL/faixa observadas.

6.4 SUL

Ao se examinar a Figura 6-13, que compara os *rankings* considerando os três tipos de acidentes simultaneamente e cada um separadamente no Sul, desconsiderando o rigor estatístico no momento da comparação par a par das classes, percebe-se uma tendência geral de piora das condições da segurança viária à medida que o fluxo aumenta. Mesmo assim, para a curva dos acidentes com danos materiais apresenta dois pontos de melhora, nas classes 6 e 8, enquanto a curva com feridos apresenta seu menor valor na classe 6, ao passo q as demais curvas apresentam seu mínimo na classe 7.

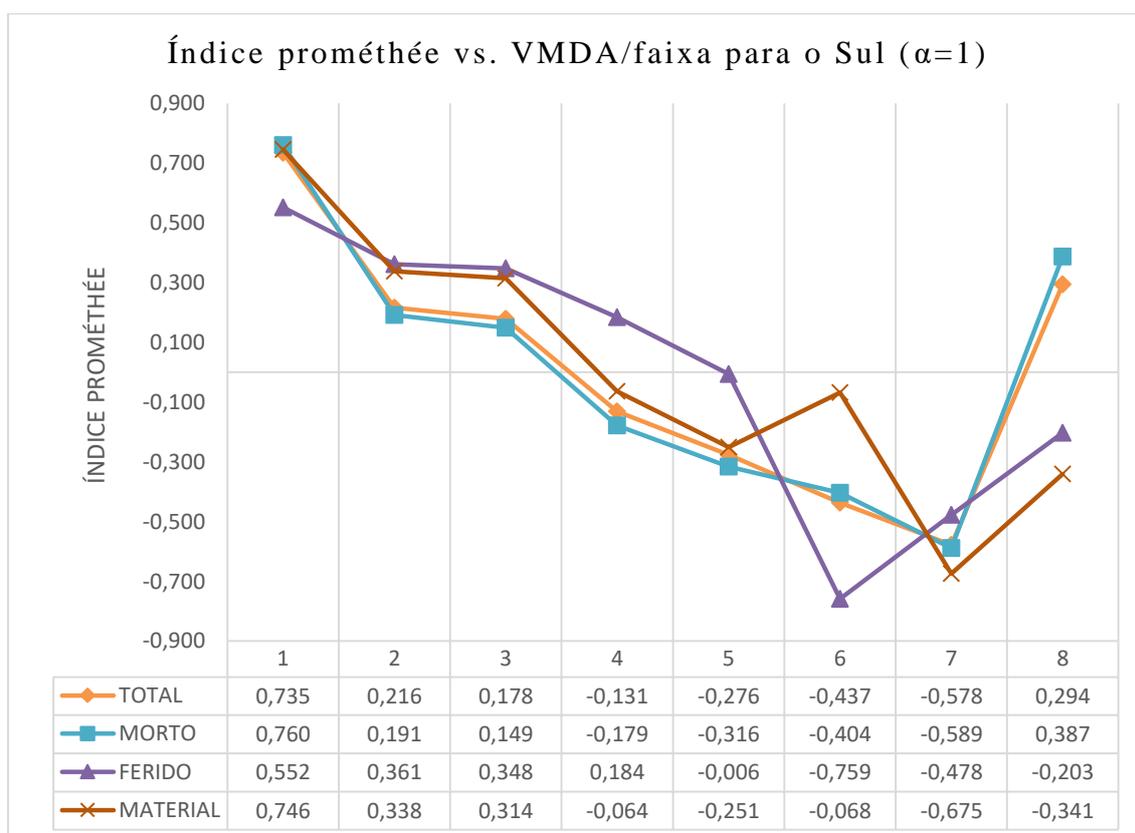


Figura 6-13: Gráfico comparativo entre os *rankings* considerando os três tipos de acidentes simultaneamente e cada um separadamente no Sul, desconsiderando o rigor estatístico no momento da comparação par a par das classes.

Averiguando-se a Figura 6-14, que compara os *rankings* considerando os três tipos de acidentes simultaneamente e cada um separadamente no Sul, considerando o rigor estatístico no momento da comparação par a par das classes, nota-se uma tendência de degradação das condições do tráfego à medida que o fluxo cresce. Mas para o caso da curva que considera os acidentes com mortos, não existe diferenciação entre as classes. Esse comportamento acontece nas demais curvas, excetuando-se a curva que pondera somente os acidentes com feridos, embora de forma mais amenizada. Para essa exceção.

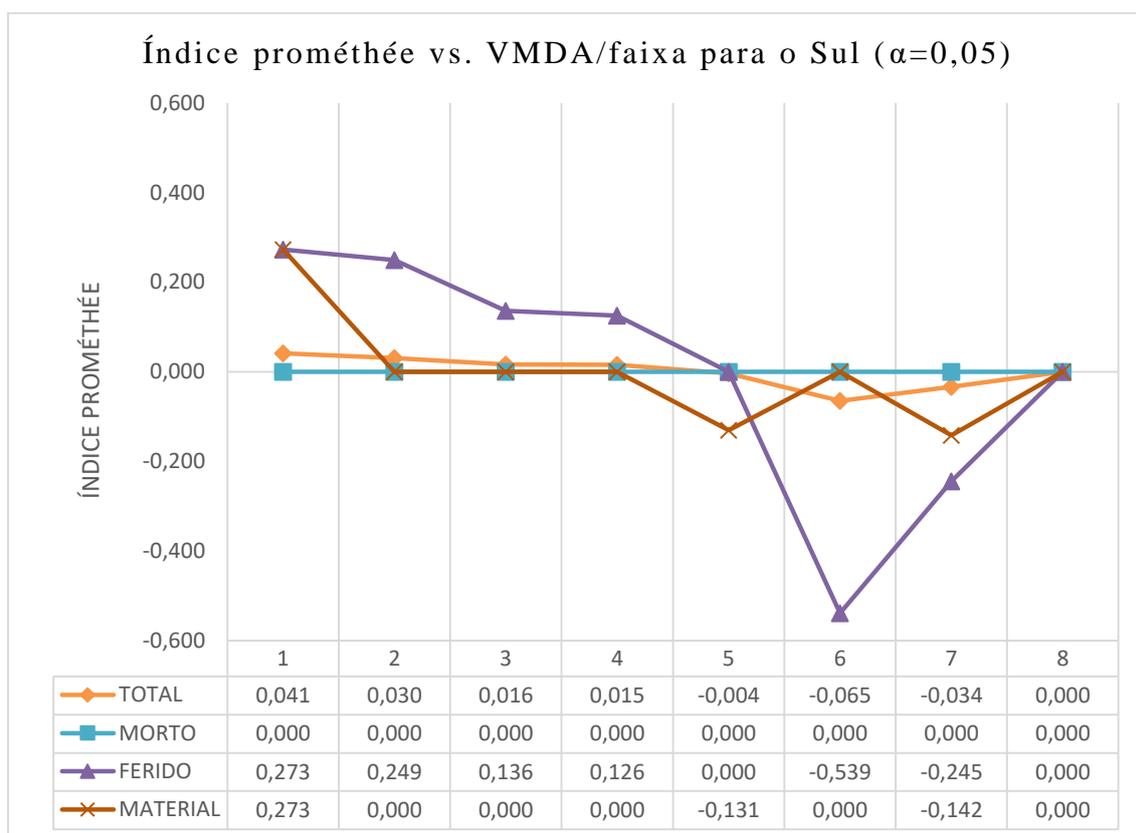


Figura 6-14: Gráfico comparativo entre os *rankings* considerando os três tipos de acidentes simultaneamente e cada um separadamente no Sul, considerando o rigor estatístico no momento da comparação par a par das classes.

Ao se confrontar as formas com que variam os índices de severidade obtidos para cada classe de VDMA/faixa considerando e não considerando as dispersões das médias dos acidentes nos trechos para a região sul, tem-se que a distinção entre as classes fica prejudicada no segundo gráfico, com relação ao anterior, mas mantém-se uma tendência de degradação das condições do tráfego à medida que o fluxo cresce.

Averiguando-se a Figura 6-15, que resume a situação relativa de segurança, segundo o índice PROMÉTHÉE, desconsiderando a dispersão das médias das ocorrências nos pares

(VL/faixa; VP/faixa) para o sul, mantendo-se constante o valor de VL/faixa e aumentando-se as concentrações de VP/faixa, percebe-se que nos casos de VL/faixa igual a 1, 2, 4 à medida que o fluxo de veículos pesados aumenta a segurança tende a melhorar. Mas para os demais casos, acontece o oposto de início, e depois verifica-se uma melhora.

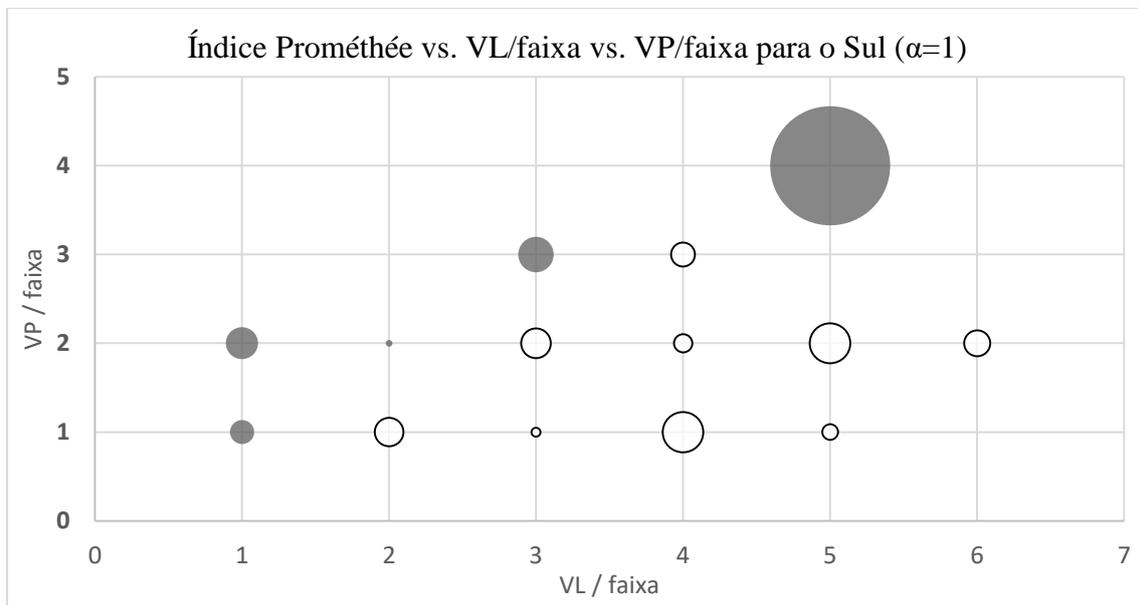


Figura 6-15: Gráfico da severidade dos trechos versus a quantidade de veículos leves versus a quantidade de veículos pesados para o Sul, desconsiderando a dispersão dos dados. O módulo do índice cresce com o raio da circunferência, o sinal dele é negativo quando ela é vazada e positivo quando ela é cheia

Observando-se a Figura 6-16 que resume a situação relativa de segurança segundo o índice PROMÉTHÉE, desconsiderando a dispersão das médias das ocorrências nos pares (VL/faixa; VP/faixa) para o sul, mantendo-se constante o valor de VL/faixa e aumentando-se as concentrações de VP/faixa, nota-se que com exceção dos casos em que VL/faixa são 3 e 4, nos quais a segurança viária piora e se mantém constante, respectivamente, as vias ficam mais seguras.

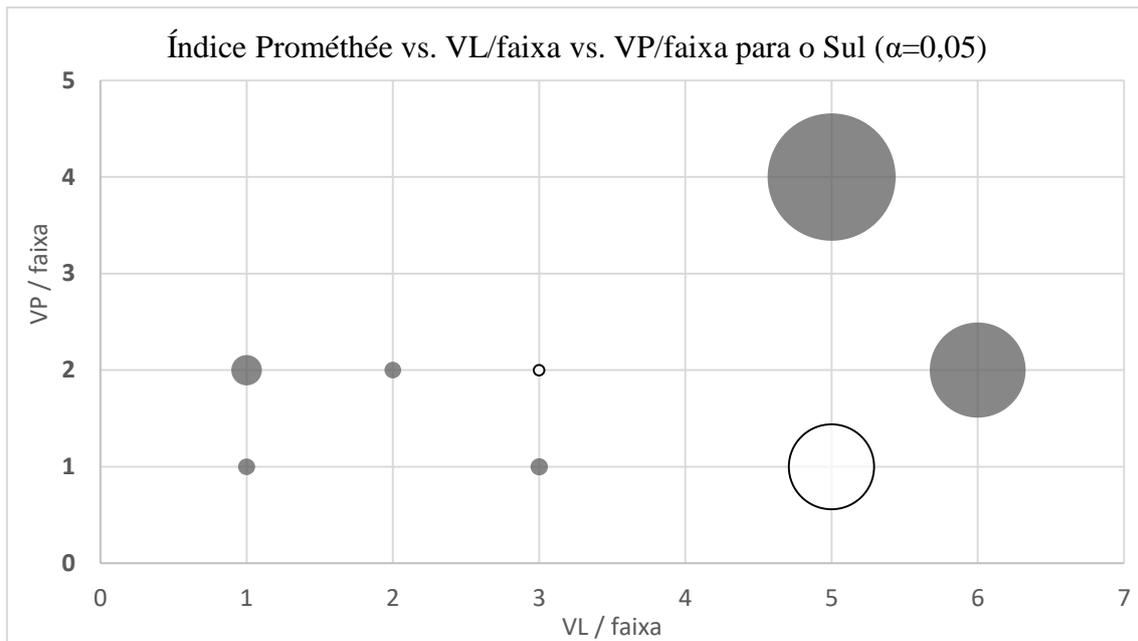


Figura 6-16: Gráfico da severidade dos trechos versus a quantidade de veículos leves versus a quantidade de veículos pesados para o Sul, considerando a dispersão dos dados. O módulo do índice cresce com o raio da circunferência, o sinal dele é negativo quando ela é vazada e positivo quando ela é cheia

Ao se comparar os modos que se comportam os índices de severidade obtidos para cada par (VL/faixa; VP/faixa) considerando e não considerando as dispersões das médias dos acidentes nos trechos para a região sul, percebe-se que o comportamento diversificado das concentrações de VL/faixa perante o aumento de veículos pesados pode ser verificado nos dois casos, contudo, ele é mais evidente no primeiro gráfico.

6.5 CENTRO-OESTE

Ao analisar a Figura 6-17, que compara os *rankings* considerando os três tipos de acidentes simultaneamente e cada um separadamente no Centro-Oeste, desconsiderando o rigor estatístico no momento da comparação par a par das classes, nota-se que de modo geral a segurança tenda a piorar à medida que o fluxo cresce. Para a curva que considera todos os tipos de acidentes concomitantemente e a que pondera somente os acidentes com mortes verifica-se uma piora, seguida de uma estagnação, uma outra deterioração e uma melhora. Quanto a curva que conta somente os acidentes com ferimentos como as consequências mais graves, observa-se três momentos, quais sejam: uma piora; de uma melhora; e uma piora que a deixa condição de rejeição que o dobro da condição de preferência da classe mais bem colocada. Com relação a curva que considera os acidentes

com danos materiais, tem-se uma sequência de pioras interrompidas por uma sensível melhora, imediatamente anterior a maior variação.

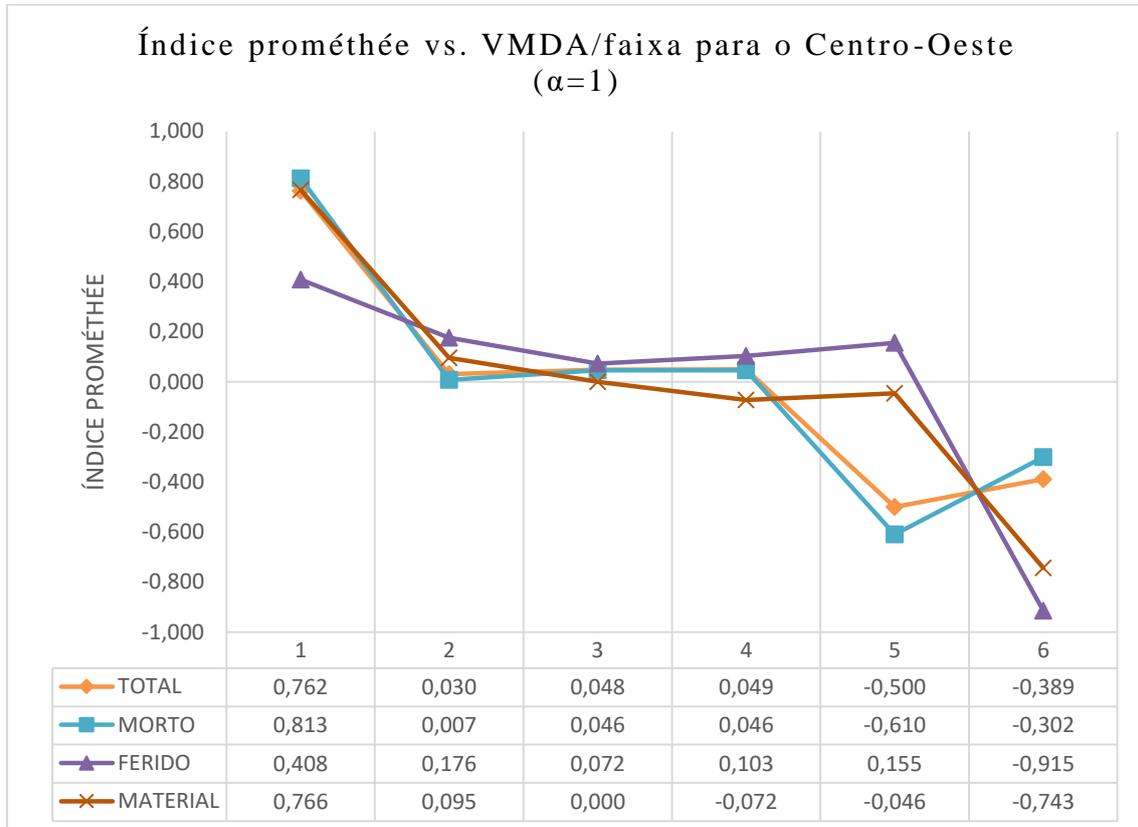


Figura 6-17: Gráfico comparativo entre os *rankings* considerando os três tipos de acidentes simultaneamente e cada um separadamente no Centro-Oeste, desconsiderando o rigor estatístico no momento da comparação par a par das classes.

Averiguando-se a Figura 6-18, que compara os *rankings* considerando os três tipos de acidentes simultaneamente e cada um separadamente no Centro-Oeste, considerando o rigor estatístico no momento da comparação par a par das classes, nota-se que no caso das curvas que ponderam todos os tipos de acidentes ao mesmo tempo e a que pesa somente os acidentes com mortes a diferenciação das classes praticamente não existe, sendo somente mais evidente a preferência da classe 1 e a rejeição da classe 6 no primeiro caso. Para a curva que aborda somente acidentes com danos materiais tem comportamento similar ao da curva com todas as gravidades de acidentes, mas com maior intensidade. Por último, tem-se a curva com acidentes que tem sua maior consequência ferimentos não fatais dos envolvidos, na qual se verifica uma maior diferenciação entre as classes e na qual é possível observar uma piora e uma leve melhora da segurança, seguida de uma queda na classe 6.

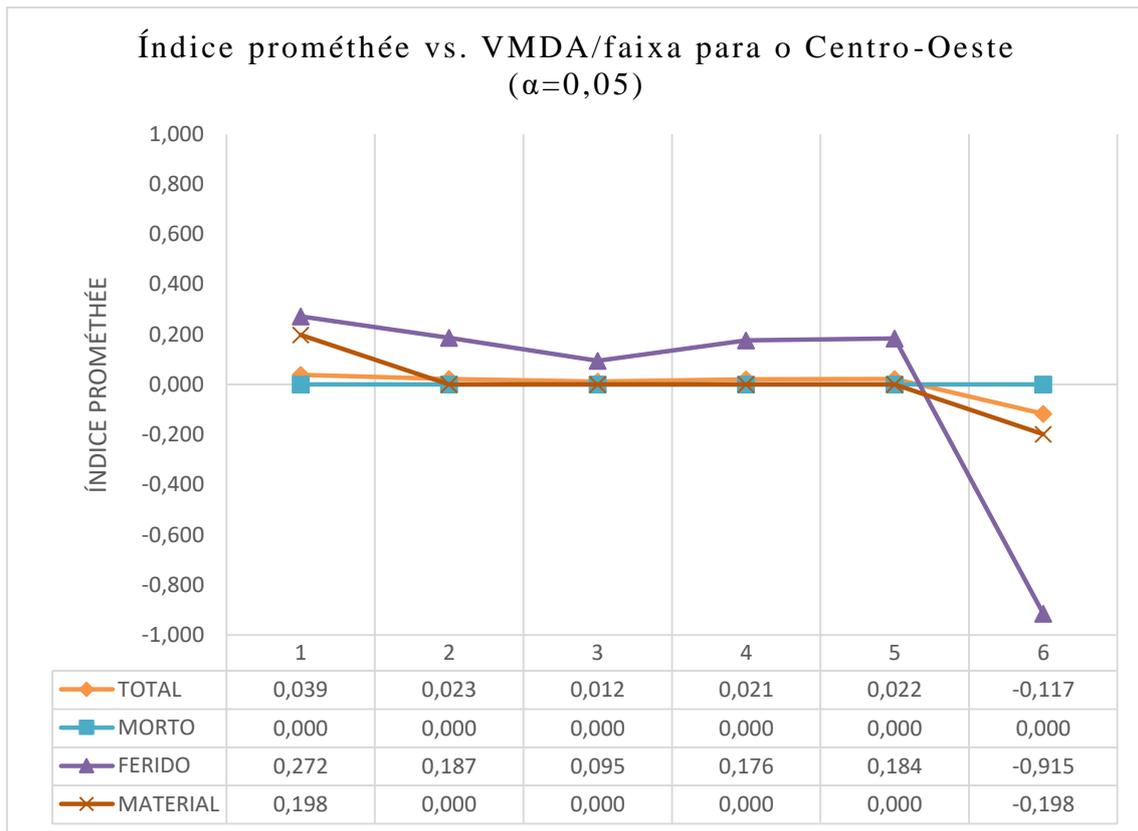


Figura 6-18: Gráfico comparativo entre os *rankings* considerando os três tipos de acidentes simultaneamente e cada um separadamente no Centro-Oeste, considerando o rigor estatístico no momento da comparação par a par das classes.

Ao se confrontar as formas com que variam os índices de severidade obtidos para cada classe de VDMA/faixa considerando e não considerando as dispersões das médias dos acidentes nos trechos para a região centro-oeste, nota-se a redução da capacidade de se comparar o nível de segurança das classes de fluxo veicular. Contudo, percebe-se nos dois gráficos a tendência de deterioração da segurança viária.

Verificando-se a Figura 6-19 que resume a situação relativa de segurança, segundo o índice PROMÉTHÉE, desconsiderando a dispersão das médias das ocorrências nos pares (VL/faixa; VP/faixa) para o centro-oeste, mantendo-se constante o valor de VL/faixa e aumentando-se as concentrações de VP/faixa, tem-se um comportamento alternado entre os possíveis valores de VL/faixa, em que o primeiro apresenta uma piora, o segundo apresenta uma melhora, e assim por diante.

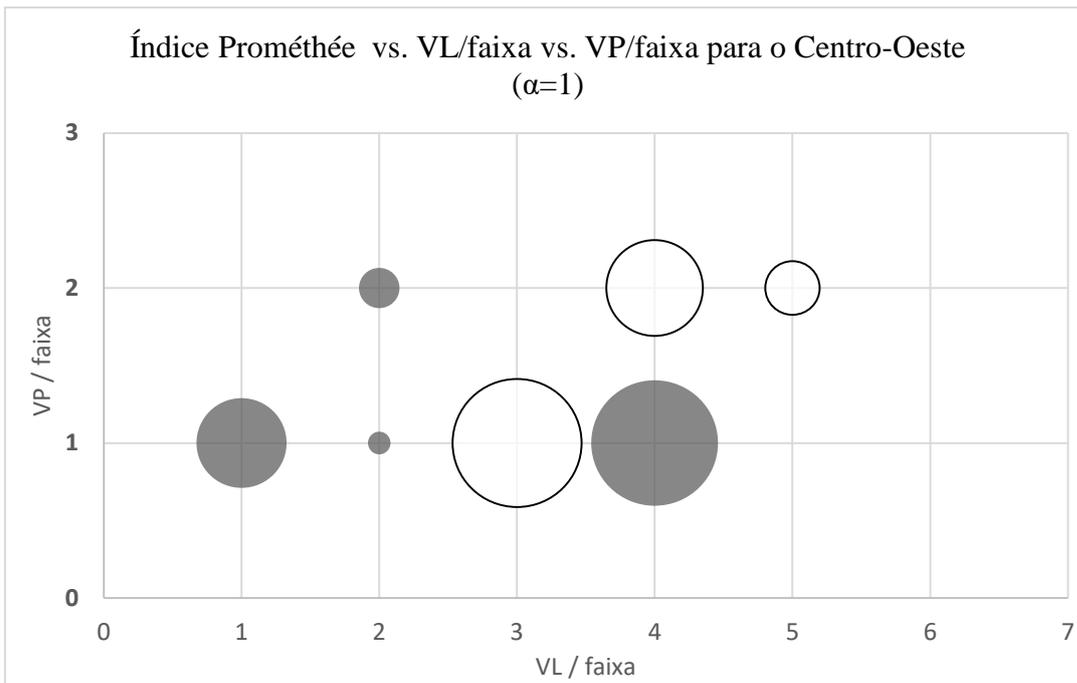


Figura 6-19: Gráfico da severidade dos trechos versus a quantidade de veículos leves versus a quantidade de veículos pesados para o Centro-Oeste, desconsiderando a dispersão dos dados. O módulo do índice cresce com o raio da circunferência, o sinal dele é negativo quando ela é vazada e positivo quando ela é cheia

Estudando-se a Figura 6-20 que resume a situação relativa de segurança, segundo o índice PROMÉTHÉE, desconsiderando a dispersão das médias das ocorrências nos pares (VL/faixa; VP/faixa) para o centro-oeste, mantendo-se constante o valor de VL/faixa e aumentando-se as concentrações de VP/faixa, nota-se com um comportamento de manutenção das condições nos casos de VL/faixa iguais a 2 e 4 e de piora nos casos em que VL/faixa assume valores iguais a 1, 3 e 5.

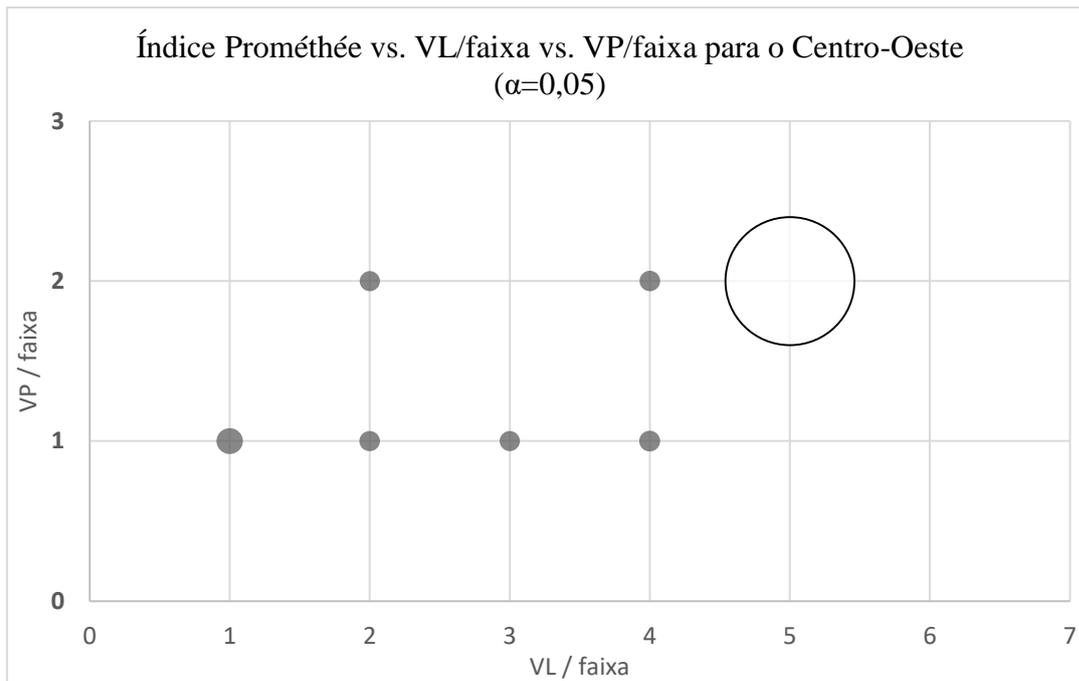


Figura 6-20: Gráfico da severidade dos trechos versus a quantidade de veículos leves versus a quantidade de veículos pesados para o Centro-Oeste, considerando a dispersão dos dados. O módulo do índice cresce com o raio da circunferência, o sinal dele é negativo quando ela é vazada e positivo quando ela é cheia

Ao se comparar os modos que se comportam os índices de severidade obtidos para cada par (VL/faixa; VP/faixa) considerando e não considerando as dispersões das médias dos acidentes nos trechos para a região centro-oeste, observa-se que o comportamento das concentrações de VL/faixa perante o aumento do fluxo de veículos pesados muda com a alteração do nível de confiança.

6.6 NORDESTE

Ao se examinar a Figura 6-21, que compara os *rankings* considerando os três tipos de acidentes simultaneamente e cada um separadamente no Nordeste, desconsiderando o rigor estatístico no momento da comparação par a par das classes, percebe-se que as tendências de degradação e melhora da segurança das vias para todos os casos. Para qualquer curva a classe em pior situação é a 5.

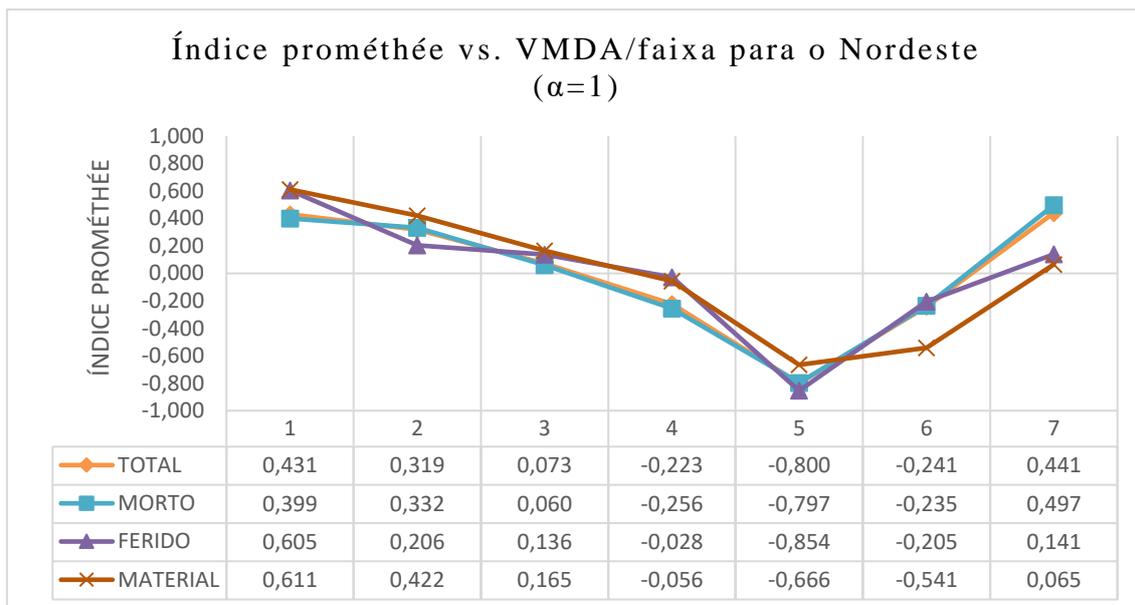


Figura 6-21: Gráfico comparativo entre os *rankings* considerando os três tipos de acidentes simultaneamente e cada um separadamente no Nordeste, desconsiderando o rigor estatístico no momento da comparação para a par das classes.

Averiguando-se a Figura 6-22, que compara os *rankings* com um maior rigor estatístico, considerando os três tipos de acidentes simultaneamente e cada um separadamente no Nordeste, observa-se a total incapacidade de se estabelecer as classes em melhores condições quanto a segurança.

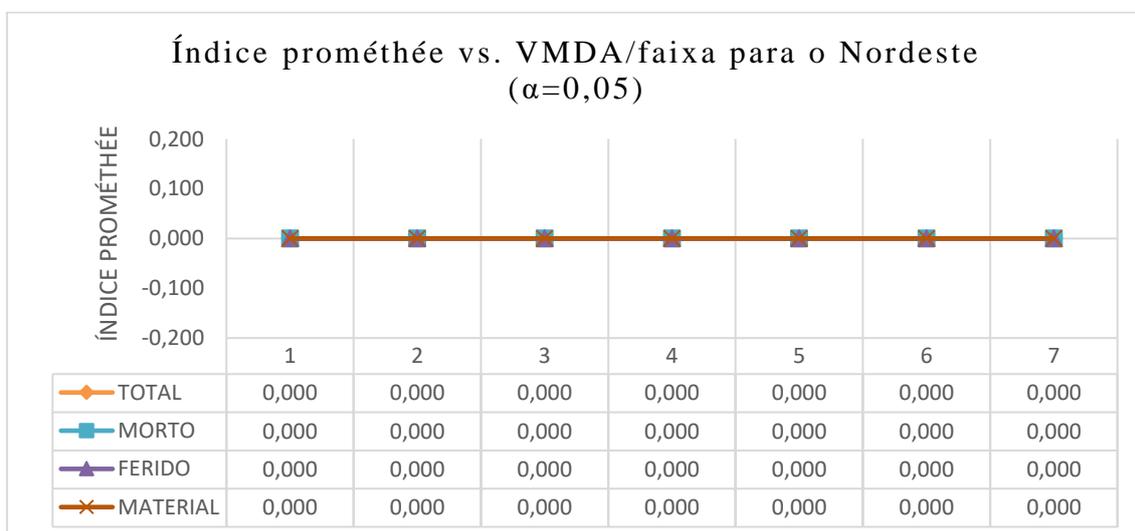


Figura 6-22: Gráfico comparativo entre os *rankings* considerando os três tipos de acidentes simultaneamente e cada um separadamente no Nordeste, considerando o rigor estatístico no momento da comparação para a par das classes.

Ao se avaliar os efeitos da adoção ou não de um rigor estatístico na comparação dos pares de classes de volume veicular quanto a análise de sensibilidade para o Nordeste nota-se

que o maior rigor estatístico exerce um efeito tão grande na redução da capacidade de diferenciação que praticamente não existe preferência entre as classes no segundo gráfico.

Observando-se a Figura 6-23 que resume a situação relativa de segurança, segundo o índice PROMÉTHÉE, desconsiderando a dispersão das médias das ocorrências nos pares (VL/faixa; VP/faixa) para o nordeste, mantendo-se constante o valor de VL/faixa e aumentando-se as concentrações de VP/faixa, nota-se um comportamento de alternância da segurança relativa entre as taxas de VL/faixa, no qual os viveis melhoram e pioram com a variação do fluxo de veículos pesados.

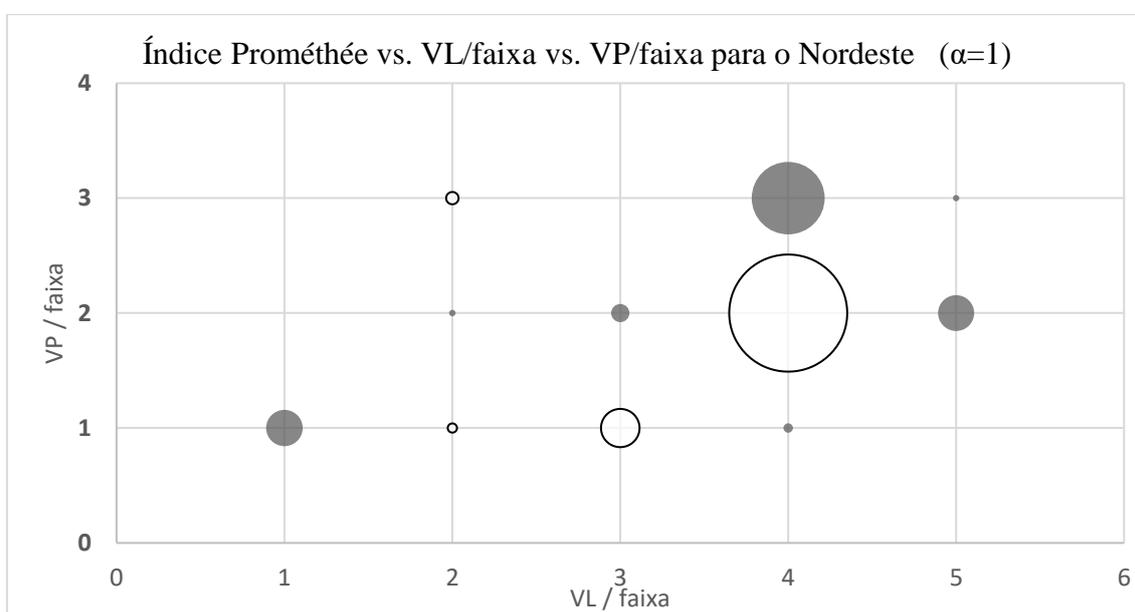


Figura 6-23: Gráfico da severidade dos trechos versus VMDA para o Nordeste, desconsiderando a dispersão dos dados. O módulo do índice cresce com o raio da circunferência, o sinal dele é negativo quando ela é vazada e positivo quando ela é cheia

Estudando-se a Figura 6-24 que resume a situação relativa de segurança, segundo o índice PROMÉTHÉE, considerando a dispersão das médias das ocorrências nos pares (VL/faixa; VP/faixa) para o nordeste, mantendo-se constante o valor de VL/faixa e aumentando-se as concentrações de VP/faixa, percebe-se que, com exceção de quando VL/faixa é igual a 2 e que se verifica a manutenção da segurança relativa, a segurança tende a se degradar.

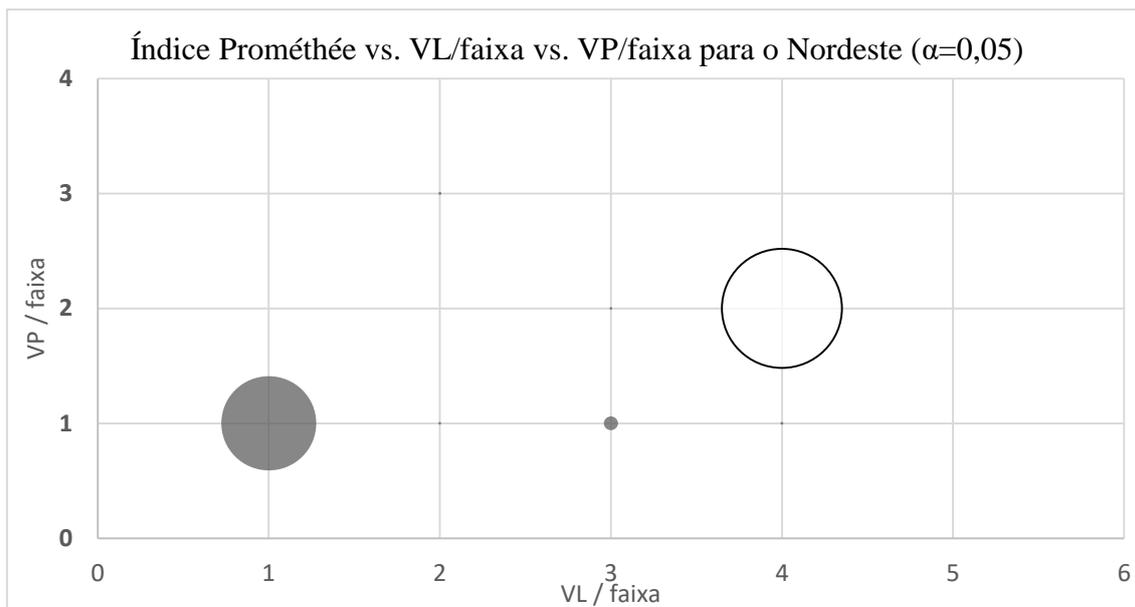


Figura 6-24: Gráfico da severidade dos trechos versus a quantidade de veículos leves versus a quantidade de veículos pesados para o Nordeste, desconsiderando a dispersão dos dados. O módulo do índice cresce com o raio da circunferência, o sinal dele é negativo quando ela é vazada e positivo quando ela é cheia

Ao se comparar os modos que se comportam os índices de severidade obtidos para cada par (VL/faixa; VP/faixa) considerando e não considerando as dispersões das médias dos acidentes nos trechos para a região nordeste, observa-se que o comportamento das concentrações de VL/faixa perante o aumento do fluxo de veículos pesados é expresso de formas similares, mesmo com a alteração do nível de confiança.

Um resumo dos resultados obtidos no Brasil e em todas as regiões será apresentado a seguir de forma simultânea para que seja facilitada a realização e a compreensão de comparações entre as respostas observadas para a situação nacional e regional quanto a segurança viária em função do fluxo veicular por faixa.

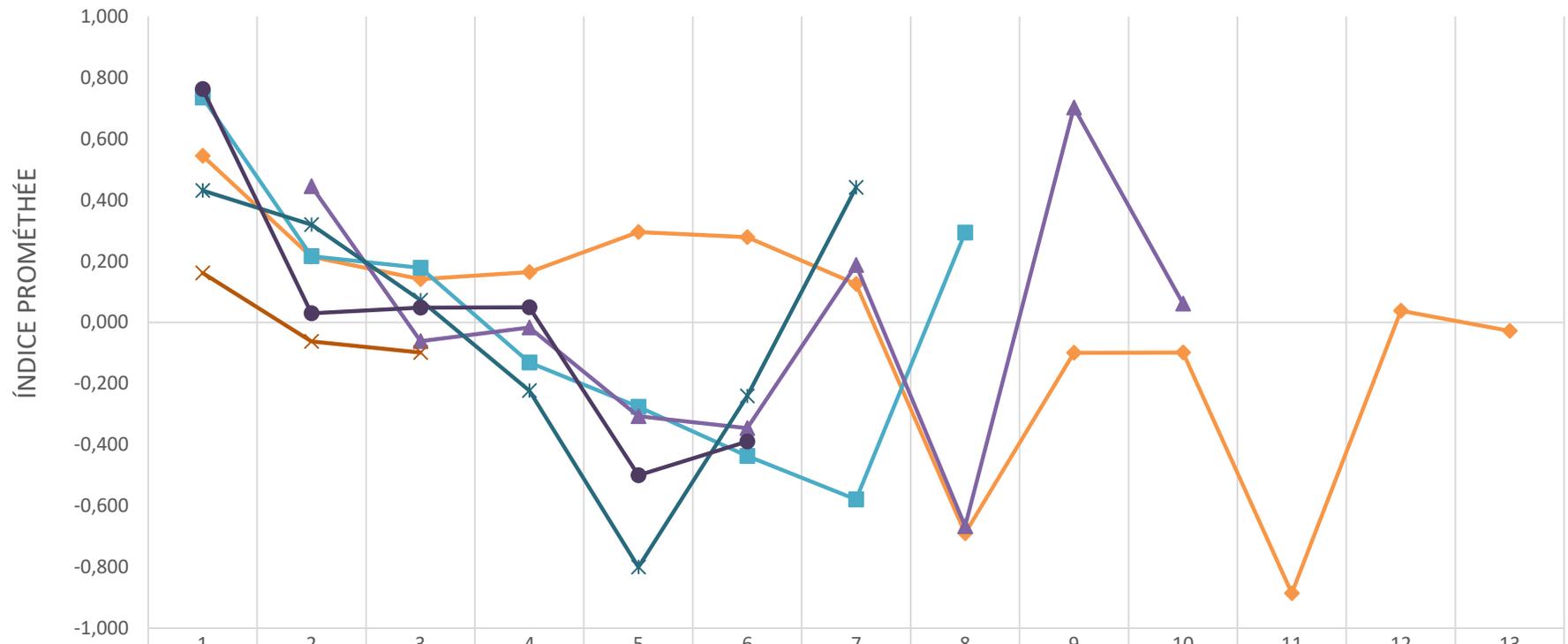
6.7 RESUMO DOS RESULTADOS

As Figura 6-25 e Figura 6-26 expõem graficamente a variação dos índices ao longo das classes de fluxo veicular por faixa, oriundos da aplicação do método PROMETHHE II para os dados de acidentes ocorridos nas rodovias federais de pista simples, o primeiro não ponderando a existência da dispersão dos dados e o segundo levando em conta a dispersão dos dados. Uma observação importante a ser feita é que devido as características intrínsecas de cada região os fluxos variam de forma distinta, gerando uma distribuição diferente para cada uma delas, o que fica evidente nos gráficos. Outro aspecto

a ser elucidado quanto a elaboração desses gráficos é que eles nada mais são do que a plotagem dos gráficos já apresentados em um único gráfico, não sendo fruto de uma comparação par a par das classes do Brasil e das regiões entre si.

Observa-se na Figura 6-25, que compara os *rankings* considerando os três tipos de acidentes simultaneamente e cada um separadamente no Brasil e suas regiões e desconsidera as dispersões nas comparações par a par, que com exceção da curva do Brasil, o aumento do fluxo veicular até o entorno da classe 6 proporciona uma degradação da qualidade de da segurança viária, podendo-se notar que existe uma tendência de melhora posteriormente. Para o Brasil, notasse uma tendência de deterioração da segurança até a classe 3, uma melhora até a classe 7, seguida de uma oscilação quanto a qualidade da segurança.

Índice prométhée vs. VMDA/faixa para o Brasil e regiões ($\alpha=1$)



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
—◆— Brasil	0,544	0,214	0,141	0,164	0,295	0,279	0,126	-0,690	-0,100	-0,099	-0,885	0,038	-0,028
—■— Sul	0,735	0,216	0,178	-0,131	-0,276	-0,437	-0,578	0,294					
—▲— Sudeste		0,445	-0,061	-0,017	-0,307	-0,345	0,188	-0,666	0,703	0,061			
—×— Norte	0,161	-0,062	-0,099										
—*— Nordeste	0,431	0,319	0,073	-0,223	-0,800	-0,241	0,441						
—●— Centro_Oeste	0,762	0,030	0,048	0,049	-0,500	-0,389							

Figura 6-25: Gráfico com os índices PROMÉTHÉE II para as regiões e o Brasil desconsiderando a dispersão das médias.

Averiguando-se a Figura 6-26, que compara os *rankings* considerando os três tipos de acidentes simultaneamente e cada um separadamente no Brasil e suas regiões e considera as dispersões nas comparações par a par, nota-se que a capacidade de diferenciação entre as classes fica bastante afetada, até mesmo para o Brasil. Contudo ainda se percebe uma tendência geral de deterioração das condições de segurança viária.

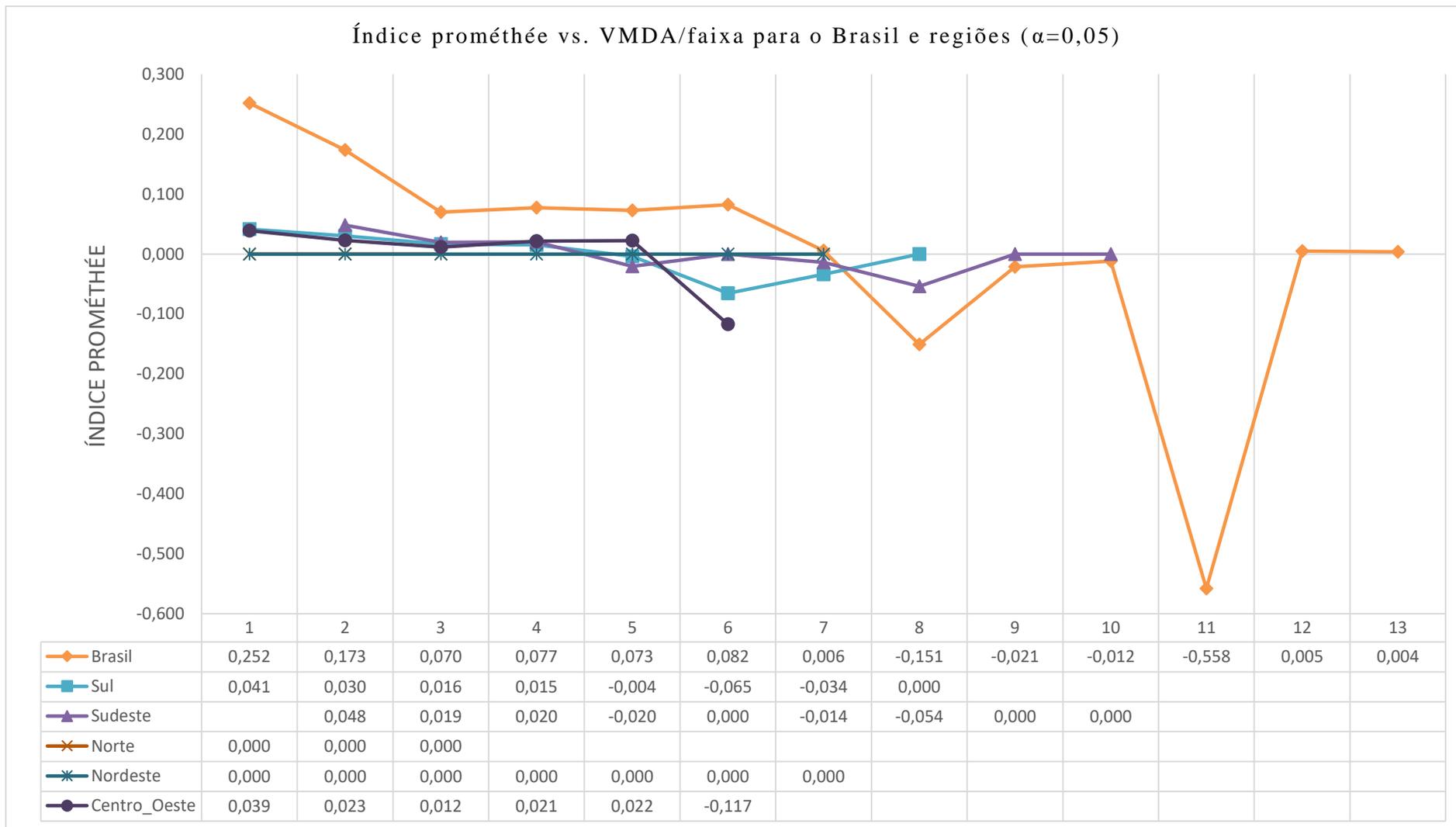


Figura 6-26: Gráfico com os índices PROMÉTHÉE II para as regiões e o Brasil considerando a dispersão das médias.

Comparando-se os dois gráficos nota-se que ao se considerar um grau de confiança de 95% percebe-se a capacidade de diferenciação das classes de fluxo veicular por faixa fica reduzida. Contudo os comportamentos observados na situação de comparação livre do rigor estatístico ainda podem ser observados de maneira situação mais rígida. Isso parece indicar que ao se avaliar a ocorrência de acidentes em função do fluxo veicular, tem-se: a não existência de uma relação necessariamente inversamente proporcional ao aumento do fluxo veicular; a percepção de que existem intervalos de fluxos nos quais incrementos nas quantidades de veículos podem significar aumento das ocorrências acidentes, outros em que há uma tendência de estabilização no quantitativo das ocorrências independente de se somarem veículos ao fluxo, e outros a partir dos quais a medida que cresce o tráfego a segurança viária melhora.

Na próxima seção serão apresentadas as conclusões obtidas por este trabalho, bem como as recomendações para trabalhos futuros.

7. CONCLUSÕES

Como consequência dos tratamentos empregados nos dados relativos aos acidentes e fluxos veiculares de rodovias federais nacionais e a aplicação do método de análise multicritério PROMÈTHÈE II em conjunto com o método de comparações múltiplas Teste de *Tukey* tem-se algumas conclusões que serão dispostas a seguir.

Tanto o objetivo principal quanto os objetivos específicos foram alcançados no desenvolvimento do trabalho. Isso se deve aos fatos de se ter analisado, através dos *rankings*, a forma como cada região e o Brasil se comportam com a variação do fluxo veicular e as quantidades de cada tipo de gravidade de acidentes, consideradas simultaneamente e separadamente.

A utilização de médias e suas respectivas dispersões de tipos de gravidades de acidentes ocorridos em rodovias federais pode influenciar nos resultados de estudos que busquem distinguir trechos ou locais críticos dependendo do grau de significância que se adota no estudo. Portanto, uma simples comparação de médias não é um bom parâmetro para análises.

Para os dados utilizados nesse estudo, verificou-se que a forma com que variam os índices de preferência e rejeição de cada classe perante seu conjunto de comparação tende a ter dois pares distintos. Um deles é constituído pela curva que considera os três tipos de gravidade de acidentes simultaneamente e pela curva que considera somente os acidentes que tiveram como pior consequência a morte de envolvidos nas ocorrências. O outro par é composto pela que pondera somente os acidentes que tiveram como pior consequência o ferimento de envolvidos nas ocorrências e pela curva que avalia somente os acidentes em que danos materiais foram os produtos mais relevantes. Cabe também ressaltar que o primeiro grupo é o mais afetado pela adoção de um pequeno grau de significância, tendo a capacidade de distinção das classes pelo *ranking* proposto muito prejudicada.

Verificou-se também que o aumento do fluxo de veículos nas vias tende a reduzir a segurança das vias. As quedas na segurança em função do aumento do fluxo apresentam forma e intensidade diferentes para cada tipo de gravidade avaliada para cada região geográfica do país e para o Brasil, ou seja, indicando dependência espacial do

comportamento observado, podendo-se observar esse fenômeno para os dois graus de significância adotados esse fenômeno é evidenciado por (DAVIS, 2004) que explica que os fatores influenciam na ocorrência de acidentes e seus efeitos podem variar de um local para outro.

Observou-se também que, para os dois casos de grau de significância adotados, o aumento das concentrações de veículos pesados no fluxo veicular total até uma taxa de 50% gera uma redução da segurança. Isso é de certa forma corroborado por CASTILLO *et al.* (2015) que como desfecho de seu estudo encontraram evidências de que na presença de veículos pesados a ocorrência de acidentes fatais tende a ser superior, mesmo em países europeus com grande desenvolvimento econômico e vias de alta qualidade. Mas que em concentrações superiores tende-se a notar um tráfego relativamente mais seguro. Essa mudança de comportamento pode ser explicada parcialmente por MARTIN (2002) que concluiu em seu trabalho que em condições de tráfego pesado, devido aos menores *headways* e mais escassas possibilidades de ultrapassagens em que os motoristas se sintam em segurança para realiza-las. Isso não significa que os acidentes não ocorram, mas tendem a ser de menor gravidade.

Como propostas para trabalhos futuros mantendo-se a base de dados, sugere-se: a avaliação da influência de diferentes graus de significância na comparação entre as médias para o Teste de *Tukey*; a averiguação da influência da adoção de outros métodos de comparação de médias para a aplicação do método proposto; a análise da influência da adoção de diferentes pesos para cada tipo de gravidade de acidentes para a aplicação do método proposto; a adoção de métodos de clusterização para a formação das classes.

Quanto a proposta trabalhos alterando-se a base e segundo alguns trabalhos já realizados. De acordo com QIN *et al.* (2004) rodovias de pista simples, pista dupla e pista múltipla podem apresentar resultados diferentes sob a passagem de um mesmo fluxo, por diversas razões, quais sejam: a forma com que se desenvolvem as ultrapassagens, sendo necessária ou não a invasão de faixa de fluxo do sentido contrário de deslocamento; presença de veículos com velocidades muito diferentes de deslocamento. Essas questões podem influenciar na formação dos *rankings*, cabendo uma investigação. Outra questão seria a adoção de outras variáveis explicativas como fizeram ELVIK (2011); MORGAN e MANNERING (2011); PARK *et al* (2012); LI, YAN E WONG (2015); DANAF, ABOU-

ZEID e KAYSI (2015); e SHEN e NEYENS (2015) e que mostraram que diferentes combinações de variáveis podem gerar distintos tipos de acidentes e com isso, um custo diferente também, além de possibilitarem a determinação de novos mecanismos que expliquem os acidentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 10697 – Pesquisa de Acidentes de Trânsito. São Paulo, 1989.
- AGUIAR, D. C.; SALOMON, V. A. P., 2007, “Avaliação da Prevenção de Falhas em Processos Utilizando Métodos de Tomada de Decisão”, *Produção*, v. 17, n. 3, p. 502-519.
- ALENCAR, L. H.; ALMEIDA, A. T.; MOTA, C. M. M., 2007, “Sistemática Proposta para Seleção de Fornecedores em Gestão de Projetos”, *Gestão & Produção*, v. 14, n. 3, p. 477-487.
- ALMEIDA, A. T., 2005, “Modelagem Multicritério para Seleção de Intervalos de Manutenção Preventiva Baseada na Teoria da Utilidade Multiatributo”. *Pesquisa Operacional*, v. 25, n. 1, p. 69-81.
- AUSTIN, R. D., & CARSON, J. L., 2002, "An Alternative Accident Prediction Model for Highway-Rail Interfaces", *Accident Analysis and Prevention*, v. 34, n. 1, pp. 31–42.
- BABAEI, S., BAGHERIKAHVARIN, M., SARRAZIN, R., SHEN, Y., HERMANS, E., 2015, "Use of DEA and PROMETHEE to Assess the Performance of Older Drivers", *Transport Research Procedia*, v. 10, pp. 798-808.
- BANDEIRA, D. L.; BECKER, J. L.; ROCHA, A. K., 2010, “Sistemática Multicritério para Priorização de Embarques Marítimos”, *RAM. Revista de Administração Mackenzie*, v. 11, p. 107-130.
- BRANS, J. P., VINCKE, PH., MARESCHAL B., 1986, “How to Select and How to Rank Projects: The Promethee Method”, *European Journal of Operational Research*, v. 24, pp. 228-238.
- BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil, de 5 de outubro de 1988. Contém as emendas constitucionais posteriores. Brasília, DF: Senado, 1988.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Plano Nacional de Redução de Acidentes e Segurança Viária para a Década 2011-2020, Proposta Preliminar. Brasília, DF, 2010.
- BRASIL, Departamento Nacional de Transportes e Departamento de Polícia Rodoviária Federal: Anuário Estatístico das Rodovias Federais – Acidentes de trânsito e ações de enfrentamento ao crime, 2010.
- BUNN, T. L., SLAVOVA, S., STRUTTMANN, T. W., & BROWNING, S. R., 2005, "Sleepiness/Fatigue and Distraction/Inattention as Factors for Fatal Versus Nonfatal Commercial Motor Vehicle Driver Injuries", *Accident Analysis and Prevention*, v. 37, n. 5, pp. 862–869.
- CASTILLO, M. J. I., CASTRO N. M., FAGEDA, X., 2015, “Can Cars and Trucks Coexist Peacefully on Highways? Analyzing the Effectiveness of Road Safety Policies in Europe”, *Accident Analysis and Prevention*, v. 77, pp. 120–126.

- CAVALCANTE, C. A. V.; ALMEIDA, A. T., 2005, “Modelo Multicritério de Apoio a Decisão para o Planejamento de Manutenção Preventiva Utilizando PROMETHEE II em Situações de Incerteza”, *Pesquisa Operacional*, v. 25, n. 2, p. 279-296.
- CAVALCANTE, C. A. V.; SEIXAS COSTA, A. P. C., 2006, “Multicriteria Model of Preventive Maintenance”, *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, v. 3, n. 1, p. 71-86.
- CHRISTENSEN, P., & ELVIK, R., 2007, "Effects on Accidents of Periodic Motor Vehicle Inspection in Norway", *Accident Analysis and Prevention*, v. 39, n. 1, pp. 47–52.
- CNT, 2016, *Boletim Estatístico, dezembro*, Confederação Nacional do Transporte. Disponível em: < <http://www.cnt.org.br/Boletim/boletim-estatistico-cnt> >. Acesso em: 25/05/2017.
- COSTA, H. G. MANSUR, A. F. U. FREITAS, A. L. P., CARVALHO, R. A de, 2007 “ELECTRE TRI Applied to Costumers Satisfaction Evaluation”, *Produção*, v. 17, n. 2, p. 230-245.
- COSTA, H. G.; SOARES, A. C.; OLIVEIRA, P. F., 2004, “Avaliação de Transportadoras de Materiais Perigosos Utilizando o Método ELECTRE TRI”, *Gestão & Produção*, v. 11, n. 4, p. 221-229.
- CRISTOFARI JÚNIOR, C. A.; PAULA, I. C. D.; FOGLIATTO, F. S., 2010, “Método de Análise de Maturidade e Priorização de Melhorias na Gestão do Processo de Desenvolvimento de Produtos”, *Produção*, v. 20, p. 359-377.
- CUNTO, F.J. C., 2008, *Assessing Safety Performance of Transportation Systems using Microscopic Simulation*. Ph.D. thesis, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, CANADA. Disponível em: <https://uwspace.uwaterloo.ca/handle/10012/4111>. Acesso em: 25/05/2017.
- DANAF, M., ABOU-ZED, M. & KAYSI, I., 2015, “Modeling Anger and Aggressive Driving Behavior in a Dynamic Choice-Latent Variable Model”, *Accident Analysis and Prevention*, v. 75, n. 12, pp. 105-118.
- DAVIS, G. A., 2004, "Possible Aggregation Biases in Road Safety Research and a Mechanism Approach to Accident Modeling", *Accident Analysis and Prevention*, v. 36, n. 6, pp. 1119–1127.
- DE CARLI, P. C.; DELAMARO, M. C.; SALOMON, V. A. P., 2010, “Identificação e Priorização dos Fatores Críticos de Sucesso na Implantação de Fábrica Digital”, *Produção*, v. 20, n. 4.
- DENATRAN, 2000, *Manual de Procedimentos do Sistema Nacional de Estatísticas de Acidentes de Trânsito – SINET*, Departamento Nacional de Trânsito, Brasília, DF.
- DIAS, M. F. P.; FERNSTENSEIFER, J. E.; SELLITTO, M. A., 2011, “Análise Multicriterial em Estratégia de Operações: Estudo de Caso com Compradores de Arroz de Seis Redes Supermercadas”, *Produção online*, v. 11, n. 3, p. 707-734.

- DNIT, 2013, *Relatório dos Levantamentos Funcionais das Rodovias Federais*, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Brasília, DF.
- DNIT, 2017, Site oficial do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Brasília, DF. <http://servicos.dnit.gov.br/dadospnct/ContagemContinua>
- ELVIK, R., 2008, "Operational Criteria of Causality for Observational Road Safety Evaluation Studies", *Transportation Research Record*, v. 2019, n. 1, pp. 74–81.
- ELVIK, R., 2011, "Assessing Causality in Multivariate Accident Models", *Accident Analysis and Prevention*, v. 43, n. 1, pp. 253–264.
- EPL, 2014, – Empresa de Planejamento e Logística S.A. Disponível em: <www.epl.gov.br>. Acesso em: 25/05/2017.
- FERRAZ, C., RAIA JR., A., BEZERRA, B., BASTOS, T., RODRIGUES, K. (2012) *Segurança viária*. São Carlos: Suprema gráfica e editora ltda.
- FRIDSTRØM, L., IFVER, J., INGEBRIGTSEN, S., KUMALA, R., KROGSGÅRD THOMSEN, L., 1995, "Measuring the Contribution of Randomness, Exposure, Weather, and Daylight to the Variation in Road Accident Counts", *Accident Analysis and Prevention*, v. 27, n. 1, pp. 1–20.
- GOLOB, T. F., RECKER, W. W., ALVAREZ, V. M., 2004, "Freeway safety as a function of traffic flow", *Accident Analysis and Prevention*, v. 36, n. 6, pp. 933-946.
- GOUVEIA, B. G., RIBEIRO, P. C. M., "Levantamento dos países com situações de acidentalidade de motocicletas semelhantes ao Brasil", *Congresso Rio de Transportes XIII*, Rio de Janeiro, Brasil, 19-20 agosto 2015.
- HARALAMBOPOULOS, H. P. D. A., MUNDA, G., VREEKER, R., 2006, "Selecting an Appropriate Multi-Criteria Decision Analysis Technique for Renewable Energy Planning", *Energy Sources. part B*, v. 1, pp. 181–193.
- HAUER, E., 2010, "Cause, Effect and Regression in Road safety: A Case Study", *Accident Analysis and Prevention*, v. 42, n. 4, pp. 1128–1135.
- HELMANN, K. S.; MARÇAL, R. F. M., 2007, "Método Multicritério de Apoio à Decisão na Gestão da Manutenção: Aplicação do Método ELECTRE I na Seleção de Equipamentos Críticos para Processo", *Gestão Industrial*, v. 3, n. 1, p. 123-133.
- HERMANS, E., BRIJS, T., WETS, G., VANHOOF, K., 2009, "Benchmarking road safety: Lessons to learn from a data envelopment analysis", *Accident Analysis and Prevention*, v. 41, pp. 174-182.
- HERRERA, W. D. M.; COSTA, H. G., 2001, "Contribuições da Análise Multicritério à Obtenção de Graus de Proximidade no Projeto de Arranjos Físicos", *Produto & Produção*, v. 5, n. 3, p. 48-60.

- HERRERA, W. D. M.; COSTA, H. G., 2005, “Uma Forma de Clasificación Multicriterio – ABC”, *Pesquisa e Desenvolvimento Engenharia de Produção*, n. 4, p. 55-66.
- HOFMANN, E., 2011, “Compensation and Buy-Back Deals in Supply Chains: Analyzing Strategic Decision Areas by Using AHP”, *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, v. 8, n. 2, p. 17-49.
- IAÑEZ, M. M.; CUNHA, C. B., 2006, “Uma Metodologia para a Seleção de Um Provedor de Serviços Logísticos”, *Produção*, v. 16, n. 3, p. 394-412.
- IBRAHIM, S. E. B., & SAYED, T., 2011, "Developing Safety Performance Functions Incorporating Reliability-Based Risk Measures. *Accident Analysis and Prevention*, v. 43, n. 6, pp. 2153–2159.
- IPEA, 2006, *Relatório Executivo: Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras*, Instituto de pesquisa econômica aplicada, Brasília, DF.
- IPEA, 2015, *Relatório de Pesquisa: Acidentes de trânsito nas rodovias federais brasileiras: caracterização, tendências e custos para a sociedade*, Instituto de pesquisa econômica aplicada, Brasília, DF.
- JONSSON, T., IVAN, J. N., & ZHANG, C., 2007, "Crash Prediction Models for Intersections on Rural Multilane Highways: Differences by Collision Type", *Transportation Research Record*, v. 20, n.19, pp. 91–98.
- KIM, D. G., & WASHINGTON, S., 2006, "The Significance of Endogeneity Problems in Crash Models: An Examination of Left-Turn Lanes in Intersection Crash Models", *Accident Analysis and Prevention*, v. 38, n. 6, pp. 1094–1100.
- LI, X., YAN, X., & WONG, S. C., 2015, "Effects of Fog, Driver Experience and Gender on Driving Behavior on S-curved Road Segments", *Accident Analysis and Prevention*, v. 77, pp. 91–104.
- LORD, D., & MANNERING, F., 2010, "The Statistical Analysis of Crash-Frequency Data: A Review and Assessment of Methodological Alternatives", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 44, n. 5, pp. 291–305.
- MACHARIS, C., DE WITTE, A., AMPE, J., 2009, “The Multi-Actor, Multi-Criteria Analysis Methodology (MAMCA) for the Evaluation of Transport Projects: Theory and Practice”, *Journal of Advanced Transportation*, v. 43 n.2, pp. 183-202.
- MACHARIS, C., BERNARDINI, A., 2015, “Reviewing the Use of Multi-Criteria Decision Analysis for the Evaluation of Transport Projects: Time for a Multi-Actor Approach”, *Transport Policy*, v. 37, pp. 177-186.
- MARTIN, J. L., 2002, “Relation Between Crash Rate and Hourly Traffic Flow on Interurban Motorways”, *Accidente Analysis and prevention*, v. 34, n. 5, pp. 619-629.
- MELLO, J. C. (1975) *Planejamento dos transportes*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil.

- MONTEIRO GOMES, L. F. A.; MARANHÃO, F. J. C., 2008, “A Exploração de Gás Natural em Mexilhão: Análise Multicritério pelo Método TODIM”, *Pesquisa Operacional*, v. 28, n. 3, p. 491-509.
- MORGAN, A. & MANNERING, F. L., 2011, “The Effects of Road-Surface Conditions, Age, and Gender on Driver-Injury Severities”, *Accident Analysis and Prevention*, v. 43, n. 5, pp. 317-325.
- MOTA, C. M. M.; ALMEIDA, A. T., 2007, “Método Multicritério ELECTRE IV-H para Priorização de Atividades em Projetos”, *Pesquisa Operacional*, v. 27, n. 2, p. 247-269.
- MUNDA, G., 2004, “Social Multi-criteria Evaluation: Methodological Foundations and Operational Consequences”, *European Journal of Operational Research*, v. 158, pp. 662–677.
- NODARI, C.T., 2003, *Método de Avaliação da Segurança Potencial de Segmentos Rodoviários Rurais de Pits Simples*. Tese de D.Sc. UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.
- PADOVANI, M.; CARVALHO, M. M. D.; MUSCAT, A. R. N., 2010, “Seleção e Alocação de Recursos em Portfólio de Projetos: Estudo de Caso no Setor Químico”, *Gestão & Produção*, v. 17, p. 157-180.
- PARK, E. S., CARLSON, P. J., PORTER, R. J. & ANDERSEN, C. K., 2012, “Safety Effects of Wider Edge Lines on Rural, Two-Lane Highways”, *Accident Analysis and Prevention*, v. 48, n. 12, pp. 317-325.
- PEREIRA, A.C., *Análise de Investimentos em Infraestrutura de Transportes*. 1ª ed. Natal: IFRN, 2011.
- PERSAUD, B. & LYON, C., 2007, “Empirical Bayes Before–After Safety Studies: Lessons Learned from Two Decades of Experience and Future Directions”, *Accident Analysis and Prevention*, v. 39, n. 3, pp. 546-555.
- PRF, 2017, Site oficial da Polícia Rodoviária Federal, Brasília, DF. <https://www.prf.gov.br/portal/dados-abertos/acidentes/acidentes>
- QIN, X., IVAN, J. N., RAVISHANKER, N., 2004, “Selecting Exposure Measures in Crash Rate Prediction for Two-Lane Highway Segments”, *Accident Analysis and Prevention*, v. 36, n. 2, pp. 183–191.
- RAFAELI, L.; MÜLLER, C. J., 2007, “Estruturação de um Índice Consolidado de Desempenho Utilizando o AHP”, *Gestão & Produção*, v. 14, n. 2, p. 363-377.
- RIBEIRO, P. C. M., TAVARES, M. C., FONTE, M. O. A., “Avaliação de aspectos socioeconômicos de acidentes de trânsito no Brasil”, *Congresso Rio de Transportes XII*, Rio de Janeiro, Brasil, 13-14 agosto 2014.
- ROCHA, M. DE M., 2015, *Análise Espacial de Acidentes de Trânsito no Contexto de Variáveis Agregadas em Áreas: Proposta Metodológica e Aplicação na Cidade do Rio de Janeiro*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

- RODRIGUEZ, D. S. S., COSTA, H. G., CARMO, L. F. R. R. S., 2013, “Métodos de Auxílio Multicritério à Decisão Aplicados a Problema de PCP: Mapeamento da Produção em Periódicos Publicados no Brasil”, *Gestão & Produção*, v. 20, n. 1, pp. 134-146.
- ROY, B., 1990, “Decision-Aid and Decision-Making”, *European Journal of Operational Research*, v. 45, pp. 324-331.
- ROY, B., SŁOWIŃSKI, R., 2013, “Question guiding the choice of a multicriteria decision aiding method”, *EURO J Decis Process*, v. 1, pp. 69-97.
- SALOMON, V. A. P.; MARINS, F.; DUDUCH, M., 2009, “Tomada de Decisões Múltiplas Aplicada à Seleção de Fornecedores de Equipamentos de uma Linha de Montagem em uma Fábrica de Autopeças”. *Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, v. 1, n. 3, p. 208-217.
- SALOMON, V. A. P.; SHIMIZU, T., 2006, “Utilização de Matrizes de Julgamentos na Análise do Controle da Produção”, *Gestão Industrial*, v. 2, n. 1, p. 69-77.
- SANTOS DA ROSA, E. P.; SELBITTO, M. A.; MENDES, L. W., 2006, “Avaliação Multicriterial de Desempenho e Separação em Aglomerados de Fornecedores Críticos de Uma Manufatura OKP”, *Produção*, v. 16, n. 3, p. 413-428.
- SELBITTO, M. A.; BORCHARDT, M.; PEREIRA, G. M., 2009, “Classificação Estratégica de Fornecimentos de Duas Operações de Manufatura: uma na Cadeia Automotiva e Outra na Indústria Calçadista”, *Gestão Industrial*, v. 5, n. 2, p. 117-133.
- SELBITTO, M. A.; MENDES, L. W., 2006, “Avaliação Comparativa do Desempenho de Três Cadeias de Suprimentos em Manufatura”, *Produção*, v. 16, n. 3, p. 552-568.
- SELBITTO, M. A.; WALTER, C., 2006, “Avaliação do Desempenho de Uma Manufatura de Equipamentos Eletrônicos Segundo Critérios de Competição”, *Produção*, v. 16, n. 1, p. 34-47.
- SHEN, S. & NEYENS, D. M., 2015, “The Effects of Age, Gender, and Crash Types on Driver’s Injury-Related Health Care Costs”, *Accident Analysis and Prevention*, v. 77, n. 5, pp. 82-90.
- SZAJUBOK, N. K.; MOTA, C. M. M.; ALMEIDA, A. T., 2006, “Uso do Método Multicritério ELECTRE TRI para Classificação de Estoques na Construção Civil”, *Pesquisa Operacional*, v. 26, n. 3, p. 625-648.
- TIWARI, G., 2000, *Traffic Flow And Safety: Need For New Models For Heterogeneous Traffic*, 5 th World Injury Conference, Delhi, March 5 th -8.
- TORTORELLA, G. L.; FOGLIATTO, F. S., 2008, “Planejamento Sistemático de Layout com Apoio de Análise de Decisão Multicritério”, *Produção*, v. 18, n. 3, p. 609-624.
- TURCKIN, L., BERNARDINI, A., MACHARIS, C., 2011, “A Combined AHP-PROMETHEE Approach for Selecting the Most Appropriate Policy Scenario to

Stimulate a Clean Vehicle Fleet”, *Procedia Social and Behavioral Sciences*, v.20, pp.954-965.

VALOIS, Ú.; ALMEIDA, A. T., 2009, “Modelo de Apoio à Decisão Multicritério para Terceirização de Atividades Produtivas Baseado no Método SMARTS”, *Produção*, v. 19, n. 2, p. 249-260.

WHO, 2004, *World report on road injury prevention*, World Health Organization, Genebra, Suíça.

WHO, 2009, *Global status report on road safety: time for action*, World Health Organization, Genebra, Suíça.

WHO, 2010, *Global Plan for the Decade of Action for Road Safety 2011-2020*, World Health Organization, Genebra, Suíça.

WHO, 2011, *2º Global status report on road safety. Geneva*, World Health Organization, Genebra, Suíça.

WHO, 2013, *Global status report on road safety: Supporting a decade of action*, World Health Organization, Genebra, Suíça.

ZAMCOPÉ, F. C., ENSSLIN, L., ENSSLIN, S. R., DUTRA, A., 2010, “Modelo para Avaliar o Desempenho de Operadores Logísticos: Um Estudo de Caso na Indústria Têxtil”, *Gestão & Produção*, v. 17, p. 693-705.

ZANNE, M., GROZNIK, A., 2016, “The Impact of Traffic Flow Structure on Traffic Safety: the Case of Slovenian Motorways”, *Transport*. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3846/16484142.2016.1153519>>. Acesso em: 25/05/2017.