

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA ESPECIALISTA PARA  
DEFINIÇÃO DA VELOCIDADE LIMITE EM RODOVIAS  
BRASILEIRAS**

**HARLAN JACKSON DE LIMA**

**ORIENTADORA: MICHELLE ANDRADE**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TRANSPORTES**

**PUBLICAÇÃO: T.DM-002/2019  
BRASÍLIA / DF: FEVEREIRO DE 2019**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA ESPECIALISTA PARA  
DEFINIÇÃO DA VELOCIDADE LIMITE EM RODOVIAS  
BRASILEIRAS**

**HARLAN JACKSON DE LIMA**

**DISSERTAÇÃO DE Mestrado submetida ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Transportes.**

**APROVADA POR:**

---

**Prof.<sup>a</sup> Michelle Andrade, Dra. (UnB)**

**(Orientadora)**

---

**Prof. Pastor Willy Gonzales Taco, Dr. (UnB)**

**(Examinador Interno)**

---

**Prof.<sup>a</sup> Christine Tessele Nodari, PhD (UFRGS)**

**(Examinador Externo)**

**BRASÍLIA/DF, 16 DE FEVEREIRO DE 2019**

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

LIMA, HARLAN JACKSON DE

Desenvolvimento de Sistema Especialista para Definição da Velocidade Limite em Rodovias Brasileiras. Brasília, 2019.

xii, 91p. 210x297mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Transportes, 2019).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1 – Rodovias

2 – Velocidade Limite

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

LIMA, H. J. de (2019). Desenvolvimento de Sistema Especialista para Definição da Velocidade Limite em Rodovias Brasileiras. Dissertação de Mestrado em Transportes, Publicação: T. DM - 002/2019, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF, 91p.

## **CESSÃO DE DIREITOS**

AUTOR: Harlan Jackson de Lima.

TÍTULO: Desenvolvimento de Sistema Especialista para Definição da Velocidade Limite em Rodovias Brasileiras.

GRAU: Mestre ANO: 2019

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado por ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Harlan Jackson de Lima

[harlan.lima@hotmail.com](mailto:harlan.lima@hotmail.com)

## **DEDICATÓRIA**

*Aos meus avós maternos, Francisco Leal de Moura e Celestina Lima Santos,  
pelo incentivo e apoio dados durante toda minha vida.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, pela minha vida e pelas graças concedidas durante toda a minha jornada acadêmica e profissional.

Aos meus pais, José e Gildete, pelos ensinamentos, fundamentais para minha formação ética e moral, além de toda força dada para que nunca desistisse de meus objetivos.

À minha esposa, Ana Caroline, por todo amor, carinho e paciência, e por estar sempre ao meu lado para enfrentar as dificuldades e compartilhar das minhas vitórias e alegrias.

À minha orientadora, Michelle Andrade, por ter me guiado pelo caminho mais prático e objetivo durante o desenvolvimento deste árduo trabalho.

A todos os professores do PPGT, em especial à prof.<sup>a</sup> Maria Alice, pelas suas notáveis contribuições a época dos seminários.

Aos meus colegas de curso, em especial a Guadiana e Elayne, pela amizade e parceria ao longo desta incrível experiência acadêmica.

Ao Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), por me proporcionar a oportunidade de participar deste mestrado, em virtude da flexibilização de horários, além dos dados fornecidos sobre as rodovias brasileiras, essenciais para a realização da minha pesquisa.

A todos os colegas da área profissional e acadêmica que se disponibilizaram para contribuir com o desenvolvimento conceitual do sistema especialista proposto neste trabalho.

Enfim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para que pudesse concluir mais esta importante etapa em minha vida.

## **RESUMO**

### **DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA ESPECIALISTA PARA DEFINIÇÃO DA VELOCIDADE LIMITE EM RODOVIAS BRASILEIRAS**

Este trabalho apresenta o desenvolvimento conceitual e estrutural de um sistema especialista para definição da velocidade limite em rodovias brasileiras, tendo como método a Abordagem ao Conjunto Aproximativo baseado no Princípio da Dominância (DRSA) como ferramenta de Apoio à Decisão Multicritério (MCDA). Em sua contextualização, estudou-se os principais sistemas especialistas aplicados em outros países, ao passo em que se realizou o levantamento das principais características viárias consideradas para definição da velocidade limite nas rodovias brasileiras. Após construção do modelo da ferramenta de apoio à decisão, aplicou-se um questionário sobre vinte segmentos viários pilotos a uma equipe de doze especialistas brasileiros, e estes, após leitura das características viárias e análise do vídeo de tráfego auxiliar, recomendaram um limite de velocidade para cada segmento viário avaliado. Com a aplicação dos dados extraídos desta consulta na Abordagem ao Conjunto Aproximativo baseado no Princípio da Dominância, obteve-se um conjunto de cem regras de apoio à decisão válidas e consistentes, integradas em uma base de conhecimento, e disponíveis ao raciocínio do sistema especialista para recomendação de limites de velocidade. Os resultados da pesquisa apresentam um modelo de ferramenta aplicável no processo de tomada de decisão relacionado à definição da velocidade limite em segmentos rodoviários brasileiros.

## **ABSTRACT**

### **DEVELOPMENT OF EXPERT SYSTEM TO DEFINE THE SPEED LIMIT IN BRAZILIAN HIGHWAYS**

This paper presents the conceptual and structural development of an expert system for the definition of the speed limit in Brazilian highways, having as main method the Dominance-based Rough Set Approach (DRSA) as a tool to Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA). In its contextualization, studied the main expert systems applied in other countries, while the survey of the main road characteristics to define the speed limit on Brazilian highways. After constructing the model of the decision support tool, a questionnaire was applied about twenty pilot road segments to a team of twelve Brazilian specialists, who, after reading the road characteristics and analysis of the auxiliary traffic video, recommended a speed limit for each road segment evaluated. With the application of the data extracted from this query in the Dominance-based Rough Set Approach, was obtained a set of one hundred valid and consistent decision support rules, integrated in a knowledge base, and available to the reasoning of the expert system to recommended of speed limits. The results of the research present a tool model applicable in the decision-making process related to the definition of the speed limit in Brazilian road segments.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	1
1.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA .....	2
1.3 OBJETIVO.....	4
1.4 JUSTIFICATIVA.....	4
1.5 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	6
1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	6
<b>2 A APLICAÇÃO DE SISTEMAS ESPECIALISTAS NA DEFINIÇÃO DA VELOCIDADE LIMITE</b> .....	8
2.1 O DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA LIMITS NA AUSTRÁLIA.....	9
2.2 O DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA USLIMITS2 NOS ESTADOS UNIDOS ....	10
2.3 MODELO DE APLICAÇÃO DE SISTEMA ESPECIALISTA PARA DEFINIÇÃO DA VELOCIDADE LIMITE EM RODOVIAS DA ITÁLIA.....	14
<b>3 FATORES CONSIDERADOS PARA DEFINIÇÃO DA VELOCIDADE LIMITE EM RODOVIAS BRASILEIRAS</b> .....	17
3.1 MODELO ATUAL DE REGULAMENTAÇÃO DOS LIMITES DE VELOCIDADE NAS RODOVIAS BRASILEIRAS .....	17
3.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA NA SELEÇÃO DOS PRINCIPAIS FATORES PARA DEFINIÇÃO DA VELOCIDADE LIMITE EM RODOVIAS BRASILEIRAS .....	19
<b>4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	22
4.1 ABORDAGEM DO CONJUNTO APROXIMATIVO BASEADO EM DOMINÂNCIA COMO FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO MULTICRITÉRIO .....	25
4.2 DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS AVALIATIVOS.....	27
4.3 CONCEITUAÇÃO DOS CRITÉRIOS AVALIATIVOS.....	28
4.3.1 <i>Número de Acidentes (Unid. / Km x Ano)</i> .....	28
4.3.2 <i>Atividade de Pedestres e/ou Ciclistas</i> .....	29
4.3.3 <i>Volume de Tráfego e Percentual de Veículos Pesados</i> .....	29
4.3.4 <i>Características do Alinhamento Horizontal</i> .....	29
4.3.5 <i>Elementos nas Margens da Via</i> .....	29
4.3.6 <i>Velocidade Praticada (V85)</i> .....	30
4.3.7 <i>Classificação Funcional</i> .....	30
4.3.8 <i>Uso do Solo nas Áreas Lindeiras</i> .....	31
4.3.9 <i>Características da Seção Transversal</i> .....	31
4.3.10 <i>Classificação Técnica</i> .....	31
4.4 CONSTRUÇÃO DOS DESCRITORES .....	32



4.5	DESCRIÇÃO DOS SEGMENTOS VIÁRIOS PILOTOS .....	35
4.6	SELEÇÃO DOS ESPECIALISTAS .....	36
4.7	COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS .....	37
4.8	ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	40
<b>5</b>	<b>SISTEMA ESPECIALISTA PARA DEFINIÇÃO DA VELOCIDADE LIMITE EM RODOVIAS BRASILEIRAS .....</b>	<b>41</b>
5.1	APLICAÇÃO DA ABORDAGEM AO CONJUTO APROXIMATIVO BASEADO NO PRINCÍPIO DA DOMINÂNCIA PARA GERAÇÃO DE REGRAS DE APOIO À DECISÃO .....	41
5.2	DESENHO ESQUEMÁTICO DA FERRAMENTA PROPOSTA PARA DEFINIÇÃO DA VELOCIDADE LIMITE EM RODOVIAS BRASILEIRAS .....	47
5.2.1	<i>Base de Conhecimento .....</i>	47
5.2.2	<i>Motor de Inferência.....</i>	48
5.2.3	<i>Interface com o Usuário.....</i>	50
5.2.4	<i>Desenho Esquemático da Ferramenta .....</i>	51
5.3	APLICAÇÃO DA FERRAMENTA PROPOSTA EM ALGUNS SEGMENTOS VIÁRIOS HIPOTÉTICOS .....	53
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>58</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>60</b>
	<b>APÊNDICE I – MATRIZ DE CRITÉRIOS AVALIATIVOS E DESCRITORES.....</b>	<b>62</b>
	<b>APÊNDICE II – MATRIZ DESCRITIVA DOS SEGMENTOS VIÁRIOS PILOTOS .....</b>	<b>64</b>
	<b>APÊNDICE III – GUIA PRÁTICO .....</b>	<b>84</b>
	<b>APÊNDICE IV – QUESTIONÁRIO 1.....</b>	<b>86</b>
	<b>APÊNDICE V – MATRIZ DE REGRAS DE APOIO À DECISÃO .....</b>	<b>88</b>

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1 – Relação entre velocidade de impacto e o percentual de vítimas conforme o grau de severidade .....	1
Quadro 1.2 – Velocidades máximas permitidas pelo CTB no Brasil .....	3
Quadro 2.1 – Fatores e subfatores considerados no Programa LIMITS .....	10
Quadro 2.2 – Variáveis críticas consideradas no Programa USLIMITS2 .....	12
Quadro 2.3 – Estrutura hierárquica da metodologia DRSA .....	15
Quadro 3.1 – Fatores hierarquizados por classe de importância .....	21
Quadro 4.1 – Segmentos viários pilotos .....	35
Quadro 4.2 – Velocidade limite recomendada (Km/h) .....	39
Quadro 4.3 – Valores de média, desvio padrão, moda e mediana.....	40
Quadro 5.1 – Níveis hierárquicos associados aos segmentos viários e a velocidade limite recomendada pelos especialistas .....	42
Quadro 5.2 – Distribuição dos segmentos viários conforme suas classes ordenadas .....	44
Quadro 5.3 – Características viárias dos segmentos hipotéticos avaliados .....	54
Quadro 5.4 – Velocidade limite recomendada para os segmentos hipotéticos avaliados .....	55

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Causas associadas aos acidentes nas rodovias federais em 2014 .....	5
Figura 1.2 – Metodologia da dissertação .....	6
Figura 2.1 – Etapas percorridas pelo USLIMITS2 para recomendar a velocidade limite .....	13
Figura 3.1 – Lista hierárquica de fatores para definição da velocidade limite em rodovias brasileiras .....	20
Figura 4.1 – Esquema visual das etapas metodológicas .....	24
Figura 4.2 – Critérios Avaliativos .....	28
Figura 4.3 – Modelo de tela disponível aos especialistas para análise quanto aos atributos de cada segmento viário .....	38
Figura 5.1 – Estrutura básica de um sistema especialista .....	47
Figura 5.2 – Desenho esquemático da ferramenta proposta .....	51
Figura 5.3 – Velocidade limite para o segmento viário hipotético 01 .....	56
Figura 5.4 – Velocidade limite para o segmento viário hipotético 02 .....	56
Figura 5.5 – Velocidade limite para o segmento viário hipotético 03 .....	56
Figura 5.6 – Velocidade limite para o segmento viário hipotético 04 .....	57
Figura 5.7 – Velocidade limite para o segmento viário hipotético 05 .....	57

## **ABREVIATURAS**

ARRB – *Australian Road Research Board*

CTB – Código de Trânsito Brasileiro

CONTRAN – Conselho Nacional de Trânsito

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

DPRF – Departamento Nacional de Polícia Rodoviária

GPSV – Grupo de Pesquisa em Segurança Viária

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada

OMS – Organização Mundial de Saúde

ONU – Organização das Nações Unidas

PNCT – Plano Nacional de Contagem de Tráfego

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A definição da velocidade limite em rodovias é uma das principais atividades ligadas à engenharia de tráfego, cabendo a ela a responsabilidade de realizar, através da harmonização entre os diversos interesses envolvidos, e da observação das características físicas e operacionais da rodovia, a dosagem correta entre a fluidez do tráfego e a segurança viária, de modo a reduzir convenientemente as eventuais externalidades negativas.

Sobre os efeitos da velocidade, Austroads (2005) apresenta um conjunto de aspectos positivos em termos de segurança que estão relacionados à prática de velocidades mais baixas, como por exemplo: maior tempo aos usuários para reconhecer os perigos; menor distância percorrida durante o período de percepção e reação, bem como até a concretização da manobra pretendida; maior oportunidade para os outros usuários avaliarem a velocidade do veículo, adotarem uma alternativa e evitarem uma colisão; e menores forças de impacto em caso de acidente, reduzindo assim a sua gravidade.

Wang *et al.* (2012) afirmam que quanto maior a velocidade de um veículo menor será o tempo de reação para o motorista em situações de perigo, tais como em curvas acentuadas ou com outras situações geométricas desfavoráveis. Além disso, a energia despendida pelo veículo equivale ao quadrado da sua velocidade, ou seja, quanto maior a velocidade, maior será, em uma escala exponencial, a severidade do acidente (DAS *et al.*, 2009).

O estudo realizado pelo Departamento de Transporte Britânico (DFT, 1993), conforme citado por Velloso (2006), em uma análise sobre atropelamentos, comprova a relação entre a velocidade de impacto do veículo e a gravidade das lesões provocadas no pedestre. O Quadro 1.1 apresenta estes resultados.

**Quadro 1.1 – Relação entre velocidade de impacto e o percentual de vítimas conforme o grau de severidade**

Velocidade de impacto (Km/h)	Pedestres mortos (%)	Pedestres feridos (%)	Pedestres Ilesos (%)
32	5	65	30
48	45	50	5
64	85	15	-

Fonte: DFT (1993) *apud* VELLOSO (2006)

Estes estudos demonstram que existe uma forte relação entre a velocidade de operação e o risco de acidentes de trânsito, e deixam evidente que a prática de velocidades incompatíveis com o ambiente viário contribui para aumentar não só a ocorrência de acidentes, como principalmente, o grau de severidade em decorrência dos danos associados.

Neste sentido, a definição da velocidade limite é uma medida que visa reduzir a ocorrência e a severidade de acidentes de trânsito por meio da padronização da velocidade máxima de segurança. Marques (2012) apresenta alguns métodos de definição da velocidade encontrados na literatura relacionada, são eles:

- Limites legais de velocidade: os valores máximos de velocidade são previamente definidos em Lei;
- Estudos de engenharia: estes se baseiam na elaboração de estudos técnicos para estabelecimento da velocidade limite;
- Limites de velocidade variáveis: segundo Robson (2000), neste método, a velocidade limite pode variar de acordo com as condições de superfície da via, condições atmosféricas, situações de tráfego, entre outros aspectos;
- Velocidade ótima: de acordo com Cameron (2002), este método visa maximizar os benefícios para a sociedade, e, em decorrência, os limites de velocidade são definidos de modo a reduzir o custo total do transporte;
- Programa Vision Zero: embora não seja um modelo propriamente dito de definição da velocidade limite, Tingvall & Haworth (1999) afirmam que este programa busca implantar a ideia de que os usuários das vias não devem ser expostos a situações de acidentes em que o corpo humano não seja capaz de suportar;
- Sistemas Especialistas: Austroads (2005) apresenta estes sistemas como programas computacionais desenvolvidos a partir do conhecimento acumulado de diversos especialistas na área para definição da velocidade limite.

## 1.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

No Brasil, o Código de Trânsito Brasileiro – CTB (BRASIL, 1997) determina, por meio de seu Art. 61, § 1º, Inciso II, quais as velocidades máximas permitidas nas vias rurais sem sinalização regulamentadora, sendo os critérios considerados para tal a classe da rodovia e o tipo de veículo, conforme está descrito no Quadro 1.2.

**Quadro 1.2 – Velocidades máximas permitidas pelo CTB no Brasil**

<b>Classe da Rodovia</b>	<b>Tipo de Veículo</b>	<b>Velocidade Máxima Permitida</b>
Pista Dupla	Automóveis, Camionetas e Motocicletas	110 Km/h
	Demais Veículos	90 Km/h
Pista Simples	Automóveis, Camionetas e Motocicletas	100 Km/h
	Demais Veículos	90 Km/h

**Fonte:** Adaptado de Brasil (1997)

De forma complementar, o CTB (BRASIL, 1997), em seu Art. 61, §2º, delega competência para que os órgãos rodoviários do país regulamentem, por meio de sinalização, limites de velocidade superiores ou inferiores àqueles apresentados no Quadro 1.2, observada a conveniência em distinguir o limite de velocidade de ambientes rodoviários com características diferentes.

Segundo Marques (2012), de maneira geral os órgãos rodoviários do país adotam o método conhecido como *Estudos de Engenharia* para tomar decisões acerca da velocidade limite em rodovias sob suas respectivas circunscrições. Neste método, são buscados subsídios em uma lista de fatores físicos e operacionais - estabelecidos através da Resolução nº 180/2005 (CONTRAN, 2007) capazes de direcionar o gestor a um limite de velocidade adequado.

No entanto, os fatores considerados por este método são apresentados de modo que é permitido a qualquer tomador de decisão avaliar isoladamente qual a velocidade limite adequada para cada uma das situações encontradas em seu estudo de engenharia. Com efeito, este processo pode promover, de maneira involuntária, a regulamentação de velocidades máximas distintas para segmentos viários com características similares, o que garante ao referido método uma certa ausência de objetividade.

Segundo Austroads (2005), uma forma de solucionar este grave problema relacionado à definição da velocidade limite está no emprego ou adoção de sistemas especialistas, haja vista sua enorme capacidade de auxiliar a tomada de decisão por meio da redução da subjetividade, sendo necessário apenas, para que sua aplicabilidade seja eficaz, adaptá-los através do conhecimento acumulado por diversos especialistas às características físicas e operacionais da rede viária em que se deseja regulamentar os limites máximos de velocidade.

Neste sentido, observada a capacidade dos sistemas especialistas de reduzir a subjetividade em processos de tomada de decisão, a questão de pesquisa posta é: Como desenvolver um sistema especialista para auxiliar na definição da velocidade limite em rodovias brasileiras?

### 1.3 OBJETIVO

O objetivo principal deste trabalho consiste no desenvolvimento conceitual e estrutural de um sistema especialista para a definição objetiva da velocidade limite em rodovias brasileiras.

Objetivos específicos:

- a) Construir um modelo de ferramenta de apoio à decisão multicritério a partir do levantamento dos principais fatores determinantes para definição da velocidade limite em rodovias brasileiras.
- b) Extrair conhecimento de especialistas e estruturá-lo no formato de regras passíveis de desenvolvimento de um sistema especialista.

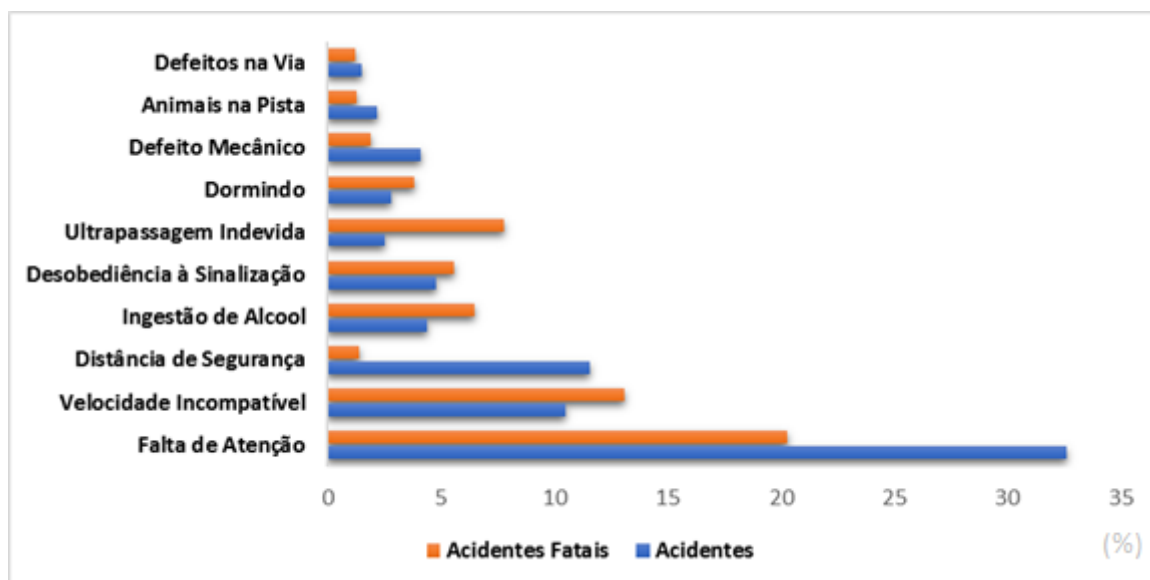
### 1.4 JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento deste trabalho se baseia na importância de estudar a literatura concernente à segurança viária e empregar todo o conhecimento adquirido para elaborar métodos que possam auxiliar no combate à ocorrência e severidade de acidentes de trânsito, que tanto têm contribuído para retirar a vida de pessoas entre outros danos irreparáveis para a sociedade.

A tendência de crescimento no número de acidentes no mundo inteiro fez com que a ONU aprovasse, em março de 2010, a Década de Ação para Segurança Viária 2011 – 2020. Este projeto visa estabilizar e depois reduzir, por meio da adoção de medidas combativas, a quantidade prevista de vítimas fatais em decorrência dos acidentes de trânsito (UN, 2010).

Estudos do IPEA (2015a) mostram que, em 2014, os acidentes de transporte terrestre no país mataram cerca de 43 mil pessoas, sendo 20% destes apenas nas rodovias federais; e que houve um aumento, nos últimos dez anos, de 50,3% no número de acidentes em rodovias federais. Neste período, as mortes em decorrência de acidentes de trânsito neste tipo de rodovia cresceram 34,5%, e a quantidade de feridos, 50%. A Figura 1.1 apresenta as principais causas relacionadas aos acidentes que ocorreram em rodovias federais do país no ano de 2014.





**Figura 1.1 – Causas associadas aos acidentes nas rodovias federais em 2014**

Fonte: Adaptado de IPEA (2015b)

Os dados da Figura 1.1 mostram que a prática de velocidade incompatível com as características viárias se comporta como sendo a terceira maior causa associada à ocorrência de acidentes, e a segunda maior causa associada à fatalidade decorrente destes acidentes em rodovias federais brasileiras no ano de 2014 (IPEA, 2015b).

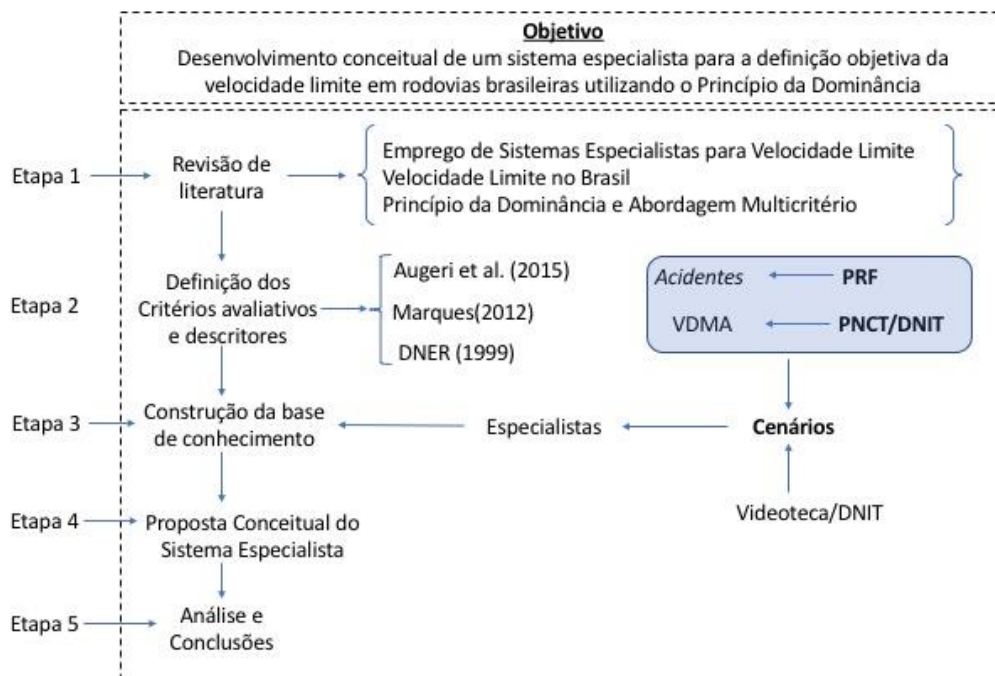
Além do mais, verificou-se ao longo desta introdução que a definição da velocidade limite empregada pelos órgãos executivos rodoviários brasileiros, segundo o procedimento referido pelo CONTRAN (2007), apresenta notáveis falhas de objetividade em seu processo, o que pode de alguma forma à escolha inadequada da velocidade máxima permitida, e, em consequência, prejudicar a fluidez e/ou a segurança do tráfego.

Neste sentido, a Organização Mundial de Saúde (OMS, 2012) diagnosticou, conforme citado por Marques (2012), que apenas 9% dos países utilizam métodos satisfatórios para definição da velocidade limite. Este resultado levou a OMS a exigir dos países o estabelecimento de limites que correspondam às características dos veículos, a natureza e a finalidade das vias, priorizando soluções que atendam às necessidades dos usuários mais vulneráveis, como é o caso dos pedestres e ciclistas.

Diante de todo exposto, entende-se necessário o desenvolvimento de um sistema especialista que considere as especificidades físicas e operacionais das rodovias brasileiras, de modo que o método resultante seja capaz de garantir a objetividade de todo o processo relacionado à definição da velocidade limite pelos órgãos rodoviários do país.

## 1.5 METODOLOGIA DA PESQUISA

A presente pesquisa foi desenvolvida em 5 (cinco) etapas, conforme esquema representativo na Figura 1.2.



**Figura 1.2 – Metodologia da dissertação**

## 1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Para alcançar os objetivos estabelecidos no item 1.4, estruturou-se a presente dissertação em seis capítulos básicos, conforme será descrito a seguir.

No capítulo 1, apresentou-se uma breve introdução sobre o contexto geral desta dissertação na seguinte sequência: considerações iniciais, formulação do problema, objetivo, e justificativa para desenvolvimento deste trabalho.

No capítulo 2, foram estudadas as características dos principais sistemas especialistas desenvolvidos e aplicados para definição da velocidade limite em rodovias.

No capítulo 3, realizou-se um apanhado geral dos principais fatores considerados atualmente para definição da velocidade limite nas rodovias brasileiras.

No capítulo 4, apresentou-se os procedimentos adotados para construção da ferramenta proposta, elaboração dos questionários, seleção dos especialistas, coleta e tratamento dos dados e análise dos resultados obtidos na pesquisa.

No capítulo 5, foram considerados os resultados obtidos na pesquisa para desenvolvimento do sistema especialista objeto deste trabalho.

No capítulo 6, foram apresentadas as considerações finais, bem como as recomendações para o desenvolvimento de outros trabalhos que sigam na mesma linha de pesquisa.

## 2 A APLICAÇÃO DE SISTEMAS ESPECIALISTAS NA DEFINIÇÃO DA VELOCIDADE LIMITE

O termo sistema especialista, ou *expert system* na literatura inglesa, surgiu recentemente com o avanço da tecnologia e o início do uso de *softwares* e computadores. De maneira geral, esses sistemas buscam capacitar os computadores para executarem atividades desempenhadas até então pelos seres humanos, sendo necessário para tal a incorporação do conhecimento e do raciocínio destes.

Em consulta à bibliografia básica, verificou-se que, em comum, diversos autores apresentam o conceito dos sistemas especialistas como um sistema que sintetiza conhecimento de um determinado domínio, de modo a aplica-las na resolução de problemas específicos, e encontrar como objetivo uma solução semelhante àquela que seria trazida por um especialista da área de abrangência considerada (MENDES, 1997).

Para tanto, a maioria dos sistemas especialistas são formados por quatro componentes principais: (i) a base de conhecimento permanente, onde todo o conhecimento adquirido junto aos especialistas fica armazenado; (ii) o sistema representativo, onde o conhecimento permanente é representado por um conjunto de regras ou redes semânticas; (iii) o mecanismo de inferência, por meio do qual se aplicam as regras componentes da base de conhecimento para resolução dos problemas específicos; e (iv) a interface com o usuário, onde ocorre a aplicação prática do sistema para alcance dos objetivos propostos (AUSTROADS, 2005).

De acordo com Mendes (1997), apesar da complexidade inerente ao planejamento e desenvolvimento dos sistemas especialistas, estes têm se tornado cada vez mais relevantes quando se trata da execução de atividades que envolvem a constante tomada de decisão. Esta relevância se deve ao fato de que, frente aos sistemas convencionais, os sistemas especialistas apresentam algumas vantagens tais como a agilidade, a redução da subjetividade na tomada de decisões, a consistência na solução de problemas; durabilidade e disponibilidade da base de conhecimento.

Essa segurança, agilidade e estabilidade na reprodução do conhecimento armazenado contribuem para o aumento da eficiência processual. Tais vantagens vem garantindo a extensa aplicação dos sistemas especialistas em órgãos e empresas que atuam nos mais distintos ramos do mercado global, tais como na economia, medicina, engenharia, ciências, entre outros (AUSTROADS, 2005).

Na engenharia de transportes, estes sistemas ganharam notoriedade a partir do uso por diversos países para definição da velocidade limite, com destaque para órgãos rodoviários da Austrália, Estados Unidos e Nova Zelândia, que desenvolveram e aplicaram o sistema especialista em suas rodovias; bem como para alguns trabalhos científicos de outros países que buscaram a aplicabilidade destes sistemas nas rodovias locais, de modo a validá-los e adaptá-los para adoção pelos órgãos rodoviários do seu país.

## 2.1 O DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA LIMITS NA AUSTRÁLIA

O estudo de viabilidade sobre o equilíbrio entre a mobilidade e a redução de acidentes publicado em 2005 pela Associação de Agências de Transporte Rodoviário e de Tráfego da Australásia, conhecida como Austroads, apresenta relevante revisão bibliográfica sobre a importância e os impactos da definição da velocidade limite em rodovias.

No documento, a Austroads (2005) descreve, entre outras coisas, o histórico das medidas adotadas pelas autoridades australianas para definir a velocidade limite em suas rodovias, incluindo entre elas o desenvolvimento pela *Australian Road Research Board (ARRB)* do programa LIMITS, um sistema especialista criado para facilitar as atividades desempenhadas pelos engenheiros de trânsito quando da definição dos limites de velocidade.

Neste contexto, a Austroads (2005) destaca que a principal referência para definição dos limites de velocidade na Austrália, bem como para o desenvolvimento do referido sistema especialista é o Manual de Dispositivos de Controle de Tráfego, Parte 4: Controle de Velocidade (MUTCD, 2018), o qual fornece padrões de velocidade limite de acordo com os fatores da rodovia, tais como seção transversal da rodovia, áreas adjacentes e composição do tráfego.

O MUTCD (2018) traz, dentre outros conteúdos, uma lista hierárquica de limites de velocidade que variam entre 10 e 110 quilômetros por hora, a depender principalmente do ambiente em que se insere a rodovia, da sua funcionalidade, e das aplicações a que se destinam; com limites de velocidade mais baixos em zonas urbanas compartilhadas por veículos e pedestres, e limites mais altos para rodovias rurais de padrão elevado.

Além do manual, alguns outros critérios, geralmente associados a estudos de engenharia, sempre foram utilizados para definir a velocidade limite na Austrália, tal como a velocidade praticada por 85% dos motoristas (ou  $V_{85}$ ), porém, cada vez mais as autoridades de trânsito consideravam que os critérios tradicionais eram insuficientes para alcançar as metas de redução dos acidentes rodoviários (AUSTROADS, 2005).

Em consequência disso, a *ARRB* desenvolveu o programa *LIMITS*, que se trata de um sistema automatizado que viabiliza a definição dos limites de velocidade de maneira consistente e confiável. O manual traz que o *LIMITS* é, de modo simplificado, composto por dois módulos: (i) um conjunto de parâmetros para uma dada rodovia ou trecho de rodovia, e (ii) e um algoritmo que gera um limite de velocidade recomendado para o cenário em questão a partir da combinação dos diversos dados carregados no sistema.

De maneira resumida, o programa *LIMITS* utiliza o efeito combinado de vários fatores e subfatores relacionados à rodovia para, então, determinar qual o seu limite de velocidade recomendado. O Quadro 2.1 traz esses fatores e subfatores.

**Quadro 2.1 – Fatores e subfatores considerados no Programa LIMITS**

<b>Fatores</b>	<b>Subfatores</b>
Ambiente viário	Função da via (arterial ou local)
	Número de faixas
	Largura das faixas
	Alinhamento vertical e horizontal
	Presença e condições de acostamentos
	Condições do pavimento
	Elementos de risco na lateral da via
	Presença de infraestrutura para pedestres
	Presença de vias marginais
	Frequência de acessos laterais (número de acessos/interseções)
	Presença de sinalização
Áreas adjacentes	Natureza (rural, residencial, comercial ou industrial)
	Presença de escolas, hospitais ou outros geradores de tráfego
	Faixa de domínio da rodovia
Natureza e nível de atividade dos usuários da via	Pedestres e ciclistas
	Veículos pesados
Acidentalidade	-
Velocidade praticada	-
Volume de tráfego	-
Velocidade limite adjacente	-

**Fonte:** Adaptado de Austroads (2005)

## 2.2 O DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA USLIMITS2 NOS ESTADOS UNIDOS

O trabalho publicado por Snirivasan *et al.* (2006), patrocinado pela *American Association of State and Transportation Officials*, e apoiado da *Federal Highway Administration* trouxe uma abordagem interessante sobre o uso de sistema especialista para recomendação da velocidade limite nas rodovias norte-americanas.

Em busca do aperfeiçoamento do sistema especialista utilizado até então nos Estados Unidos, conhecido como USLIMITS, Srinivasan *et al.* (2006) realizaram uma sequência de atividades divididas em cinco etapas, contendo uma revisão de literatura para identificar trabalho relevantes na área, pesquisa com usuários do USLIMITS para obter *feedback* sobre os diversos aspectos do programa, formação de um painel de especialistas para atuarem no fornecimento de informações técnicas e apuradas, especificação detalhada das funcionalidades e requisitos deste programa, e, por fim, desenvolvimento das regras de decisão.

Segundo Marques (2012) o aprimoramento do sistema especialista para definição da velocidade limite nas rodovias norte-americanas, buscou proporcionar maior transparência aos usuários do sistema, os quais desejavam entender melhor quais eram as variáveis utilizadas e como elas impactavam na tomada de decisão. Esta segunda geração do sistema especialista desenvolvido nos Estados Unidos ficou conhecida como USLIMITS2.

Neste aspecto, dentre outras alterações, órgão desenvolvedor passou a viabilizar o acesso do sistema via internet (USLIMITS2, 2018), podendo o usuário criar seu *login* e senha para acessar seu conteúdo. Nesse espaço são disponíveis as regras de decisão usadas para desenvolver o sistema, que estão documentadas na forma de fluxogramas, e disponíveis juntamente com um Guia do Usuário.

Em termos de aplicabilidade, Srinivasan *et al.* (2006) explicam que os sistemas USLIMITS foram projetados para abordar o estabelecimento de velocidades em todos os tipos de rodovias, desde segmentos rurais de duas faixas até vias expressas urbanas, não abordando, neste caso, os limites definidos em legislação, os limites de velocidade temporários, e nem os limites de velocidade variáveis, que se alteram em função do tráfego, clima, ou outras condições.

Uma das principais etapas no desenvolvimento do USLIMITS2 diz respeito à formação do painel de especialistas, por meio dos quais foram extraídos a base de conhecimento e os processos de tomada de decisão usados no sistema especialista. Segundo Srinivasan *et al.* (2006), os membros deste painel foram selecionados a partir de uma lista de técnicos envolvidos na definição e aplicação de limites de velocidade, tal como de pesquisadores com experiência significativa nessa área.

Um dos primeiros passos no desenvolvimento de qualquer sistema especialista de limite de velocidade é identificar os fatores críticos que precisam ser incluídos no programa. De acordo com Srinivasan *et al.* (2006), fatores críticos são os elementos considerados pelos especialistas como essenciais para formular uma recomendação de limite de velocidade. Assim, para

estruturar o USLIMITS2, o painel de especialistas identificou o conjunto de variáveis críticas, aplicáveis de acordo com tipo de via a qual pertence, conforme disposto no Quadro 2.2.

**Quadro 2.2 – Variáveis críticas consideradas no Programa USLIMITS2**

Variável	Via Expressa	Pista Dupla	Pista Simples
Velocidade de operação	X	X	X
Geometria da estrada	X	X	X
Seção transversal	X	X	X
Estatísticas de acidentes	X	X	X
Atrito lateral		X	X
Espaçamento entre interseções	X	X	X
Atividade de pedestres e ciclistas		X	X
Classificação da via		X	X
Proximidade a uma zona escolar		X	X

**Fonte:** Srinivasan *et al.* (2006, tradução nossa)

Após a identificação das variáveis críticas, a equipe de pesquisa simulou um grande número de cenários hipotéticos, onde o nível de cada fator crítico era alterado de um cenário para o outro, enquanto os demais permaneciam iguais. Na sequência, o painel de especialistas forneceu o limite de velocidade recomendado para cada cenário, e os resultados foram utilizados para desenvolvimento das regras de decisão (SRINIVASAN *et al.*, 2006).

Por fim, as regras de decisão para o USLIMITS2 foram desenvolvidas, documentadas na forma de árvores de decisão, e encaminhadas ao programador para o desenvolvimento do protótipo do sistema especialista. Na Figura 2.1, elaborada por Marques (2012), estão delineadas as etapas para determinação da velocidade limite.



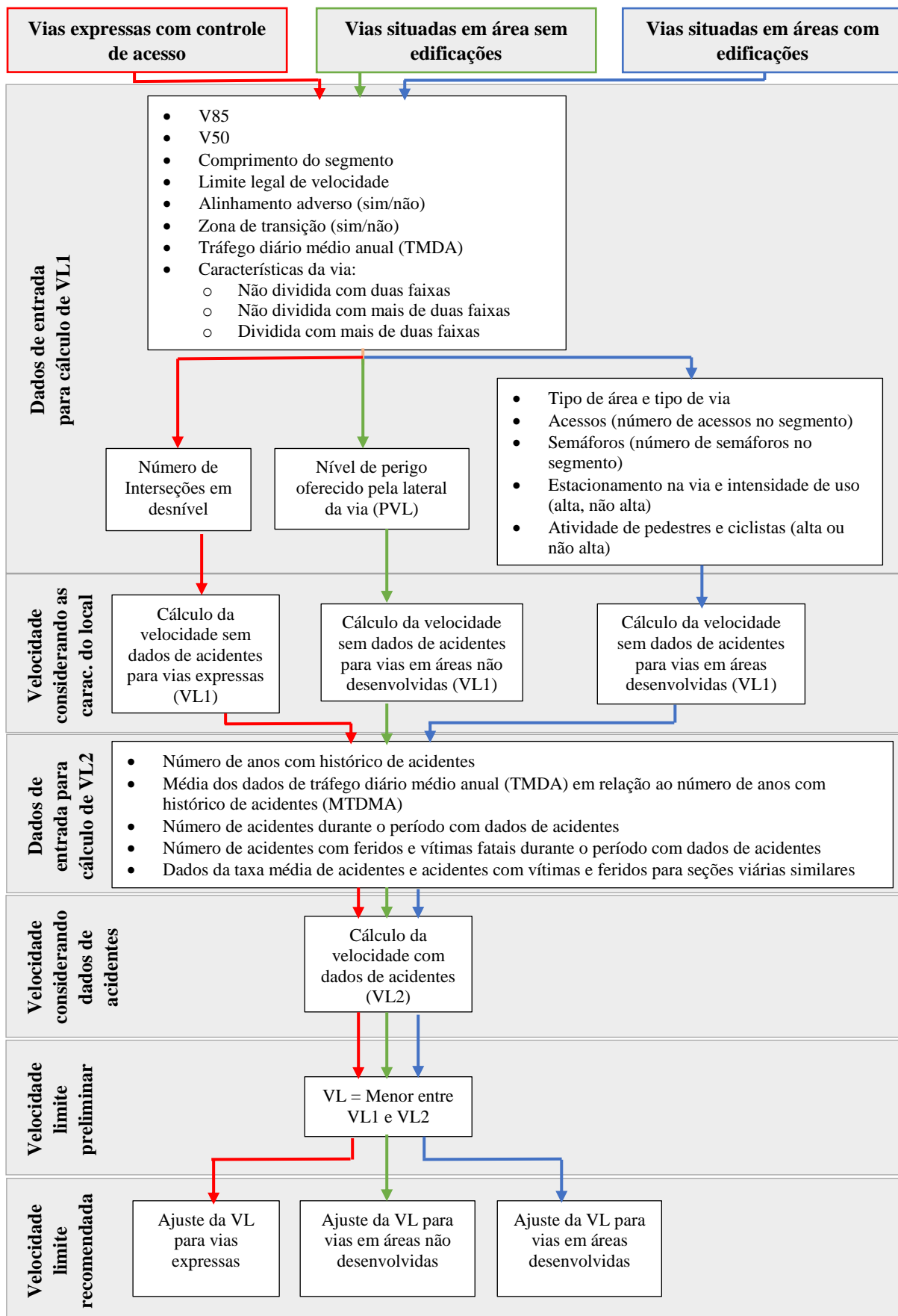


Figura 2.1 – Etapas percorridas pelo USLIMITS2 para recomendar a velocidade limite

Fonte: Adaptado de Marques (2012)

### 2.3 MODELO DE APLICAÇÃO DE SISTEMA ESPECIALISTA PARA DEFINIÇÃO DA VELOCIDADE LIMITE EM RODOVIAS DA ITÁLIA

Uma equipe de pesquisadores, liderados por Maria Grazia Augeri, publicou, em 2015, um estudo empregando painel de especialistas para desenvolver de um Sistema de Apoio à Decisão baseado no Princípio da Dominância, ou *Dominance-based Rough Set Approach (DRSA)*, para seleção de limites de velocidade seguros.

Segundo Augeri *et al.* (2015), a metodologia DRSA apresenta vantagens interessantes em termos de transparência e capacidade de gerenciamento em relação a outras metodologias de apoio à decisão, pois viabiliza construir um modelo multicritério de regras de decisão formadas por conectivos lógicos, que além de facilitar o seu entendimento, ajudam os tomadores de decisão a explicar os motivos do limite de velocidade sugerido.

Em sua pesquisa, a equipe de autores utilizou a metodologia DRSA para desenvolver uma ferramenta que pudesse recomendar aos usuários um limite de velocidade seguro, evitar o efeito “caixa preta” observado em muitos métodos alternativos de apoio à decisão, além de representar a experiência de um ou mais especialistas em definição da velocidade limite para estruturação de um conjunto de regras de decisão do tipo “Se..., então...”, intrínsecas ao delineamento do sistema especialista desejado.

De acordo com Augeri *et al.* (2015), os sistemas baseados em especialistas visam desenvolver uma abordagem uniforme e consistente para definição de limites de velocidade pela utilização de critérios específicos que podem não ser incorporados a uma análise engenharia padrão, empregando para tal regras de decisão que atuem em uma base de conhecimento bem definida.

Neste sentido, os autores levantaram dados de um conjunto de 100 segmentos de rodovias rurais italianas, levando em consideração as suas características geométricas, operacionais, de manutenção, e as suas taxas de acidentes. As características de cada segmento foram definidas por um conjunto de 9 (nove) atributos descritores, os quais foram categorizados através de observações de campo e coleta de dados. O Quadro 2.3 apresenta a estrutura hierárquica resultante da metodologia proposta.

**Quadro 2.3 – Estrutura hierárquica da metodologia DRSA**

<b>Atributo</b>	<b>Categoria</b>	<b>Descrição</b>
Volume de Tráfego	Alto	Descreve o nível de tráfego na seção da rodovia investigada e foi obtido através de dados fornecidos pela autoridade de gestão do trânsito. Considerou-se baixo o volume menor que 6.000 veículos/dia, moderado entre 6.000 e 20.000 veículos/dia, e alto acima de 20.000 veículos/dia.
	Moderado	
	Baixo	
Percentual de Veículos Pesados	Alto	Considerou-se baixo o percentual de veículos pesados menor que 10%, moderado entre 10% e 20%, e alto acima de 20%.
	Moderado	
	Baixo	
Largura da Pista (m)	-	Descreve a largura da faixa de rolamento em metros.
Largura do Acostamento (m)	-	Descreve a largura do acostamento em metros.
Sinalização	Sim	Indica a presença ou ausência de sinalização de trânsito na seção da rodovia investigada.
	Não	
Qualidade do Pavimento	Alto	Descreve as condições do pavimento.
	Moderado	
	Baixo	
Classificação de Perigo na Estrada	1	Descreve em 4 categorias o risco de acidentes do tipo saída de pista através da verificação da presença ou ausência de dispositivos protetores instalados às margens da rodovia.
	2	
	3	
	4	
Taxa de Acidentes	Alta	Descreve as condições de segurança de cada seção através da proporção do número de acidentes observados e a exposição ao risco. A avaliação do nível de segurança baseia-se em um procedimento estatístico. Recomenda-se que, para ser significativo, o período investigado seja no mínimo de 2 anos.
	Baixa	
Alinhamento Adverso	Sim	Observa as características do alinhamento horizontal e vertical. Os exemplos de segmentos com alinhamento adverso são: curva de raio pequeno, estrada sinuosa, curvas após longas retas, entre outros.
	Não	

**Fonte:** Adaptado de Augeri *et al.* (2015, tradução nossa)

Na sequência, os autores submeteram um conjunto de 100 segmentos rodoviários a um painel de especialistas formado por 3 (três) professores do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Catania, na Itália, de modo que estes pudessem discutir e

recomendar um limite de velocidade seguro a cada trecho analisado, baseando-se para tal apenas nas características físicas e operacionais e fotos dos segmentos viários.

Segundo Augeri *et al.* (2015), a formação do painel de especialistas pode envolver vários participantes, com diferentes prioridades e propósito na seleção do limite de velocidade, podendo envolver, por exemplo, membros da autoridade de gestão de rodovias, especialistas em segurança rodoviária, usuários das rodovias, autoridades policiais, entre outros.

Uma das vantagens de adotar o Princípio da Dominância como ferramenta de Apoio à Decisão está no fato de poder considerar, ao mesmo tempo, múltiplos tomadores de decisão com diferentes perspectivas sobre os limites de velocidade seguros, sendo plausível, neste caso, a decisão final ser adotada através da média dos valores selecionados por cada membro do painel de especialistas (AUGERI *et al.*, 2015).

Após aplicação da metodologia, o painel de especialistas retornou um conjunto de 391 regras de decisão para desenvolvimento do modelo decisório inerente ao estabelecimento de limites de velocidade em rodovias italianas. Ao inserir as características da seção rodoviária analisada, o sistema adota as regras de decisão geradas pela metodologia DRSA para sugerir um limite de velocidade.

Neste passo, Augeri *et al.* (2015) salienta que as regras de decisão geradas pelo DRSA visam explicar ao tomador de decisão as razões pelas quais o painel de especialistas sugere um limite de velocidade específico para a seção de estrada considerada, e que esta metodologia pode ser usada também se o dado sobre algum atributo não estiver disponível, sendo prudente, neste caso, adotar o valor menos favorável em termos de segurança viária para esse atributo.

Por se tratar de um tema recente, com baixo número de publicações na área, as principais bases de dados científicas trazem apenas o trabalho de Augeri *et al.* (2015) sobre a aplicação de metodologia com abordagem a sistemas especialistas para definição da velocidade limite nas rodovias italianas.

### **3 FATORES CONSIDERADOS PARA DEFINIÇÃO DA VELOCIDADE LIMITE EM RODOVIAS BRASILEIRAS**

No Brasil, conforme disposto no item 1.2 deste documento, o Código de Trânsito Brasileiro – CTB (BRASIL, 1997) determina as velocidades máximas permitidas para as vias rurais ausentes de sinalização regulamentadora, sendo os critérios considerados para tal finalidade a classe da rodovia e o tipo de veículo. No entanto, assim como em outros países, o Código de Trânsito faculta aos órgãos e entidades rodoviários a possibilidade de definirem a velocidade limite diferente daquelas estabelecidas em lei, desde que sejam realizados procedimentos técnicos capazes de fornecer parâmetros pertinentes à definição da velocidade máxima permitida. Estes procedimentos técnicos são conhecidos como Estudos de Engenharia (MARQUES, 2012).

Segundo Austroads (2005), na maioria dos casos, os estudos de engenharia requerem a coleta de dados, além da análise das condições de tráfego, da via e do ambiente viário para posterior definição de uma velocidade limite adequada. Entre os diversos fatores considerados nestes estudos, destacam-se a velocidade operacional (V85), a velocidade de projeto, o histórico de acidentes, tipo e densidade do uso do solo, a geometria da via, atividades de pedestres, e volume/composição do tráfego (JACQUES, 2015).

Neste sentido, o Conselho Nacional de Trânsito - CONTRAN (2007), responsável, entre outras atribuições, por estabelecer as normas regulamentadoras de que trata o Código de Trânsito Brasileiro - CTB, publicou o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito, caracterizado como ferramenta básica a ser observada pelos técnicos que atuam na área rodoviária para execução de suas atividades, inclusive na elaboração de estudos de engenharia para definição da velocidade limite em rodovias.

#### **3.1 MODELO ATUAL DE REGULAMENTAÇÃO DOS LIMITES DE VELOCIDADE NAS RODOVIAS BRASILEIRAS**

O Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito (CONTRAN, 2007) especifica sobre a necessidade de utilização de sinais de trânsito para indicação da velocidade máxima permitida quando da ocorrência de algumas situações, com destaque para o caso em que os estudos de engenharia indicam a necessidade de regulamentar velocidade diferente daquela definida pelo CTB.

Segundo o CONTRAN (2007), em todos os casos, a velocidade regulamentada para a via deve sempre ter valores múltiplos de 10, e terá validade a partir do local onde estiver a placa regulamentar até onde houver outra que a modifique, ou enquanto a distância percorrida não for superior ao intervalo estabelecido pelo CONTRAN em seu Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito, passando a valer as velocidades definidas de acordo com o CTB (BRASIL, 1997).

Ou seja, diante do exposto, entende-se que, para haver regulamentação da velocidade máxima diferente daquela estabelecida no CTB, duas premissas básicas devem ser atendidas: a ocorrência de sinalização vertical de regulamentação e a elaboração de estudo de engenharia que indique a real necessidade de tal regulamentação.

Neste passo, o CONTRAN (2007) apresenta um conjunto de procedimentos técnicos que devem ser considerados na elaboração dos estudos de engenharia para regulamentação da velocidade máxima permitida em rodovias brasileiras, são eles:

- Identificar se a via é urbana ou rural e a sua classificação viária definida no Artigo 60 do CTB, observando o fato de que trechos de vias rurais inseridos em áreas urbanas devem ser classificados como tais;
- Avaliar a existência e as condições de deslocamento lateral, do tipo transposição de faixas, movimentos, conversão e retorno;
- Avaliar a existência e as condições de deslocamento lateral, do tipo transposição de faixas, movimentos, conversão e retorno;
- Avaliar a existência e as condições de estacionamento, parada e acesso;
- Verificar a velocidade abaixo da qual trafegam 85% dos veículos (85 percentil);
- Avaliar as características e condições do pavimento;
- Avaliar a existência e condições dos acostamentos;
- Avaliar as condições de alinhamento vertical e horizontal;
- Avaliar as condições de segurança em curvas;
- Identificar os locais com situação potencial de perigo, tais como inadequação geométrica, obras na pista, atrito lateral, passagem de nível, travessia de pedestres, área escolar;
- Levantar e analisar as estatísticas de ocorrência de acidentes;
- Avaliar as condições do trânsito de pedestres e ciclistas ao longo da via;
- Avaliar a composição do tráfego considerando a incidência de veículos de grande porte.

Embora a metodologia proposta e efetivada pelo CONTRAN para regulamentação dos limites de velocidade nas rodovias brasileiras seja coerente e passível de execução, ela permite a incorporação de subjetividade, tendo em vista que a velocidade estabelecida fica a critério da avaliação e experiência do profissional encarregado pelo estudo, o que pode resultar em limites de velocidade distintos para situações semelhantes, ou limites de velocidade iguais para situações bastante diferentes.

Diante das alternativas para a determinação de velocidade limite para rodovias brasileiras, e motivada pela possibilidade de desenvolver um sistema mais objetivo, como os sistemas LIMITS (AUSTROADS, 2005) e USLIMITS2 (SRINIVASAN *et al.*, 2006), Marques (2012) decidiu elaborar um procedimento visando identificar os principais fatores considerados pelos especialistas brasileiros para definição da velocidade limite nas rodovias do país. Esse estudo é apresentado no item 3.2 a seguir.

### 3.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA NA SELEÇÃO DOS PRINCIPAIS FATORES PARA DEFINIÇÃO DA VELOCIDADE LIMITE EM RODOVIAS BRASILEIRAS

Em busca da obtenção da hierarquia e pesos dos fatores considerados para definição da velocidade limite em rodovias brasileiras, Marques (2012) elaborou uma pesquisa estruturada em 5 (cinco) etapas.

Em sua primeira etapa, a autora realizou uma triagem no conjunto de fatores extraídos de sua revisão bibliográfica, tendo como objetivo eliminar fatores repetidos, indicados por poucos autores e fatores incomuns. Ao todo, restaram 26 (vinte e seis) fatores, os quais foram agrupados em 5 (cinco) categorias distintas, a saber: classificação da via, características da área da lateral da via, características físicas da via, velocidades de referência e característica do tráfego.

A segunda etapa é caracterizada pela elaboração e aplicação de teste do instrumento de coleta de dados com especialistas da área de projetos e operação de rodovias, sendo este instrumento de coleta composto por três questionários, em que o primeiro tem a função de conhecer a prática do órgão consultado na definição da velocidade limite no ambiente rodoviário, o segundo consiste na verificação geral da concordância dos entrevistados com os elementos da lista geral de fatores, e o terceiro busca investigar, através do Método de Análise Hierárquica, o peso de cada fator citado no questionário anterior, resultando, assim, na determinação da importância relativa destes fatores para definição da velocidade limite em rodovias brasileiras.

Na terceira etapa, realizou-se a seleção dos especialistas para participar da coleta de dados, sendo buscados, neste caso, técnicos ligados à área de projeto e operação de rodovias. A consulta foi realizada em 8 (oito) órgãos rodoviários distintos, localizados em 5 (cinco) estados federativos, pertencentes às regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do país.

Na quarta etapa, a autora realizou a coleta e tratamento dos dados. Ao todo, foram coletados 12 (doze) questionários, sendo que, em alguns órgãos, houve mais de um técnico respondendo ao questionário. Em seguida, na fase de tratamento dos dados, realizou-se a aplicação do Método de Análise Multicritério, inserção dos dados no *software Expert Choice*, eliminação de questionários inconsistentes, e combinação de resultados. Neste passo, os resultados combinados na fase de tratamento de dados permitem a obtenção da hierarquia e peso dos fatores analisados, os quais se tornam fundamentais para obtenção da lista final contendo os principais fatores à definição da velocidade limite em rodovias brasileiras (MARQUES, 2012).

Na etapa final, a autora realizou a análise hierárquica do peso dos fatores através dos resultados obtidos na pesquisa. A Figura 3.1 apresenta a lista de fatores hierarquizados pelos órgãos executivos rodoviários do país para as rodovias que já se encontram em operação, as quais podem servir de base para a elaboração de normas voltadas à determinação da velocidade limite em rodovias brasileiras.




**Figura 3.1 – Lista hierárquica dos fatores para definição da velocidade limite em rodovias brasileiras**

Fonte: Marques (2012).



Em sua análise, Marques (2012) dividiu os fatores hierarquizados em grupos de alta, média e baixa importância para definição da velocidade limite, sendo o primeiro grupo composto pelos fatores que apresentaram peso acima de 0,035 (3,5%), o segundo grupo pelos fatores que apresentaram peso entre 0,018 (1,8%) e 0,035 (3,5%), e o terceiro grupo pelos fatores que apresentaram peso abaixo de 0,018 (1,8%), conforme apresentado no Quadro 3.1.

**Quadro 3.1 – Fatores hierarquizados por classe de importância**

		Classe de Importância		
		Alta	Média	Baixa
Fatores Hierarquizados (peso) 	⊕	Número de acidentes	Presença de interseções	Presença de facilidades para ciclistas
		Presença e volume de pedestres e ciclistas	Classificação geral	Presença de acessos
		Volume e composição do tráfego	Controle de tráfego nas interseções	Presença de retornos
		Características do alinhamento horizontal	Pavimento	Dispositivos auxiliares
		Elementos nas margens da via	Velocidade de projeto	Estacionamento
		Velocidades praticadas	Limite legal máximo de velocidade	Iluminação da via
		Classificação funcional	Velocidade limite estabelecida para a via	
		Uso e ocupação do solo nas áreas lindeiras	Características do alinhamento vertical	
		Características da seção transversal	Pontes e viadutos	
	⊖	Classificação técnica	Presença de facilidades para pedestres	

**Fonte:** Adaptado de Marques (2012).

#### 4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente trabalho pretende alcançar o seu objetivo de desenvolver um modelo conceitual de sistema especialista a partir da aplicação da Abordagem do Conjunto Aproximativo baseado em Dominância (*Dominance-Based Rough Set Approach, DRSA*) como ferramenta de Apoio à Decisão Multicritério. A sua escolha é justificada pela necessidade de tornar mais objetivo o processo de tomada de decisão quando há uma série de critérios conflitantes entre si, como é o caso dos diversos fatores que influenciam na definição da velocidade limite em rodovias.

Para tal atividade, adotou-se o grupo de fatores de alta importância para auxílio à determinação da velocidade limite em vias existentes, o qual foi apresentado e definido por Marques (2012). Após consulta a um conjunto de especialistas na área de transportes do país, a autora elaborou uma lista hierárquica com 26 fatores, dos quais destaca os 10 (dez) principais a serem considerados para realização da pretendida tarefa. São eles:

- Número de acidentes;
- Presença e volume de pedestres e ciclistas;
- Volume e composição do tráfego veicular;
- Características do alinhamento horizontal;
- Elementos nas margens da via;
- Velocidades praticas;
- Classificação funcional;
- Uso e ocupação do solo nas áreas lindeiras;
- Características da seção transversal;
- Classificação técnica.

A partir da presente lista, partiu-se então à estruturação e conceituação dos Pontos de Vista característicos da ferramenta de Apoio à Decisão Multicritério, sendo necessário para tanto algumas modificações no escopo apresentado por Marques (2012), buscando neste caso a melhor aplicação dos critérios avaliativos para a finalidade a qual se destina.

Na sequência, realizou-se a construção dos descritores com base na metodologia de análise multicritério, de modo que foram definidos pelo menos dois descritores diferentes para cada critério avaliativo. Em complemento, estes descritores foram associados a níveis hierárquicos, os quais representam em escala ascendente a qualidade subjetiva dos atributos que devem ser considerados para definição da velocidade limite nas rodovias brasileiras.

Em seguida, realizou-se o levantamento dos dados de acidentes de trânsito, fornecidos pelo Departamento de Polícia Rodoviária Federal – DPRF, e dos dados de contagem de tráfego e de vídeos de tráfego rodoviário, fornecidos pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, com vistas a seleção de segmentos viários com características distintas o suficiente para promover a representatividade necessária ao presente trabalho. Após a etapa de filtragem e análises dos dados fornecidos pelas bases mencionadas, selecionou-se um número de 20 (vinte) segmentos viários específicos, os quais serviram como pilotos no desenvolvimento do sistema especialista.

Realizou-se ainda, por meio de análise crítica à videoteca do DNIT, ao boletim estatístico de acidentes e aos dados de volume de tráfego, da busca referencial no Manual de Projetos Geométricos de Rodovias Rurais (DNER, 1999), e da aplicação de experiência e conhecimento adquirido ao longo da execução do trabalho, a classificação dos 20 (vinte) segmentos viários pilotos, sendo atribuídos para cada um deles os 10 (dez) descritores e seus respectivos níveis hierárquicos que melhor os caracterizavam.

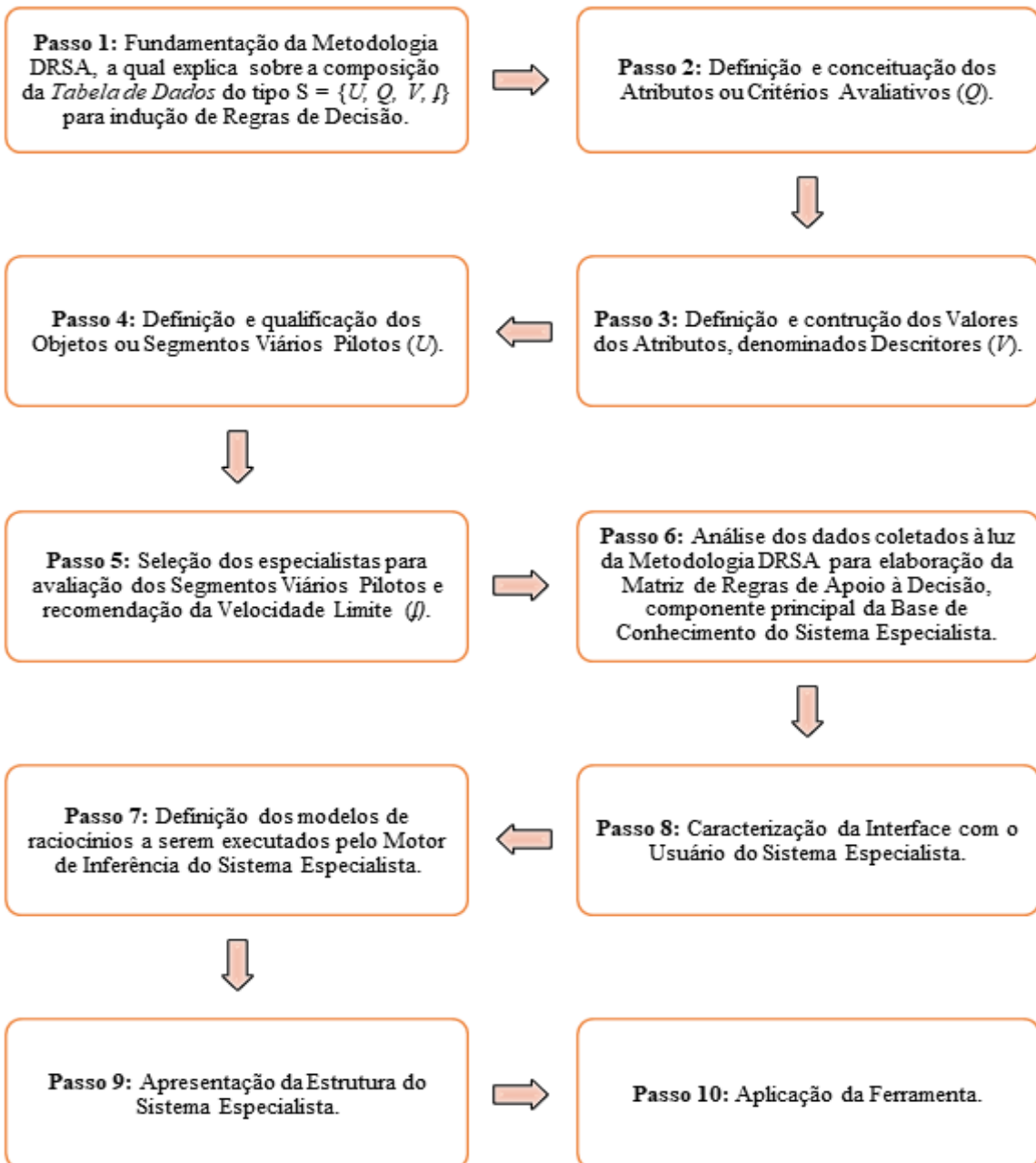
Antes de realizar a seleção dos especialistas e a aplicação de questionário para coleta de dados, realizou-se a validação da presente estrutura metodológica junto ao Grupo de Pesquisa em Segurança Viária – GPSV da Universidade de Brasília. Os resultados decursivos do debate estimulado foram essenciais para o aprimoramento da metodologia deste trabalho, através dos quais se pôde validar a quantidade de segmentos viários pilotos, tal como o tempo dos vídeos de tráfego rodoviário; observar a necessidade de um Guia Prático auxiliar, que pudesse ambientar os especialistas sobre os fundamentos básicos da pesquisa; definir o modelo de questionário, tal como de apresentação das características dos segmentos viários pilotos à equipe de especialistas consultada, dentre outros aspectos inerentes a exequibilidade da fase de coleta de dados.

A seguir é apresentado o detalhamento destas e outras atividades desenvolvidas para composição desta proposta metodológica, iniciando pela fundamentação atrelada à Abordagem do Conjunto Aproximativo baseado em Dominância como ferramenta de Apoio à Decisão Multicritério (DRSA). A Figura 4.1 apresenta, de maneira prévia, um esquema visual, conhecido como mapa mental, das principais etapas metodológicas realizadas ao longo do presente trabalho.

**Objetivo Principal:** Desenvolvimento Conceitual e Estrutural de um Sistema Especialista para Definição Objetiva da Velocidade Limite em Rodovias Brasileiras



**Método:** Abordagem ao Conjunto Aproximativo baseado em Dominância (*Dominance-based Rough Set Approach, DRSA*) como Ferramenta de Apoio à Decisão Multicritério



**Figura 4.1 – Esquema visual das etapas metodológicas**

#### 4.1 ABORDAGEM DO CONJUNTO APROXIMATIVO BASEADO EM DOMINÂNCIA COMO FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO MULTICRITÉRIO

A Abordagem do Conjunto Aproximativo baseado em Dominância (DRSA) trata-se de uma extensão da Teoria dos Conjuntos como ferramenta de Apoio à Decisão Multicritério (MCDA) introduzida por Greco *et al.* (2001), o qual afirma que a abordagem original do conjunto aproximativo provou ser útil para lidar com problemas de inconsistência resultantes da granulação de informações, no entanto, falhava quando as ordens de preferência dos domínios de atributos (critérios) tiveram que ser levadas em consideração, haja vista as inconsistências decorrentes da violação do princípio da dominância. Estas ordens de preferência dos domínios de atributos são características das informações preferenciais utilizadas em problemas análise de decisão multicritério, tais como a classificação, escolha ou ordenação.

Para lidar com estes tipos de inconsistências, Greco *et al.* (2001) explica que foi necessário promover mudanças metodológicas na teoria original dos conjuntos aproximativos, principalmente no que se refere à substituição da relação de indiscernibilidade por uma relação de dominância, que permite a aproximação de conjuntos ordenados na triagem multicritério. Desta forma, a nova abordagem do conjunto aproximativo desenvolvida conseguiu sanar as referidas inconsistências ao gerar um conjunto de regras de decisão para desempenhar o papel de um modelo abrangente de preferências, tornando-a mais ampla e compreensível que o modelo funcional clássico.

De maneira geral, Augeri *et al.* (2015) explicam que a base da Abordagem do Conjunto Aproximativo pode ser caracterizada como sendo uma *Tabela de Dados*, em que as linhas desta tabela são compostas pelos objetos (ex.: segmentos viários), as colunas são formadas pelos atributos (ex.: acidentalidade, geometria viária, etc...), e as entradas preenchidas pelos valores dos atributos, denominados descritores (ex.: bom, regular, ruim). Formalmente, uma *Tabela de Dados* é uma *4-tuple* do tipo  $\mathbf{S} = \{U, Q, V, f\}$ , em que  $U$  é um conjunto de objetos finitos (universo),  $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_m\}$  é um conjunto finito de atributos,  $V_q$  é o domínio do atributo  $q$ , e  $f = U \times Q \rightarrow V$  é uma função total tal que  $f(x, q) \in V_q$  para cada  $q \in Q, x \in U$ , chamada função de informação (GRECO *et al.*, 2001).

No caso do Princípio da Dominância, Augeri *et al.* (2015) explicam que o conjunto  $Q$ , em geral, é dividido em conjunto de atributos de condição  $C$  e em conjunto de atributos de decisão  $D$ , devendo, neste caso, a escala de um critério ser exibida em ordem crescente ou decrescente de preferência, diferente da escala de um atributo regular que não precisa ser ordenada.

Em continuidade, Augeri *et al.* (2015) esclarecem que, ao considerar todos os atributos de condição  $q \in C$  como sendo critérios de decisão,  $S_q$  representa uma relação de preferência em  $U$  com respeito ao critério  $q$  tal que  $xS_qy$  significa: “ $x$  é pelo menos tão bom quanto  $y$  com relação ao critério  $q$ ”.

Além disso, assumindo que o conjunto de atributos de decisão  $D$  estabelece uma divisão de  $U$  em um número finito de classes  $Cl = \{Cl_t, t \in T\}$ ,  $T = \{1, \dots, n\}$ , seja um conjunto dessas classes, de modo que cada  $x \in U$  faz parte a um e apenas um  $Cl_t \in Cl$ . De mesmo modo, supondo que as classes estão ordenadas, para todo  $r, s \in T$ , tal que  $r > s$ , os objetos de  $Cl_r$  são preferidos aos objetos de  $Cl_s$  (AUGERI *et al.*, 2015).

Deste modo, Greco *et al.* (2001) afirmam que a divisão de  $U$  em classes, respeitando o relacionamento de dominância, permite a aproximação dos conjuntos em uniões ascendentes e descendentes de classes, conforme demonstrado, respectivamente, nas Equações 1 e 2 a seguir:

$$Cl_t^{\geq} = \bigcup_{s \geq t} Cl \quad (1)$$

$$Cl_t^{\leq} = \bigcup_{s \leq t} Cl \quad (2)$$

Em que:  $t = \{1, 2, \dots, n\}$ .

Assim, a declaração  $x \in Cl_t^{\geq}$  significa que “ $x$ ” pertence no mínimo a uma classe  $Cl_t$ , enquanto  $x \in Cl_t^{\leq}$  significa que “ $x$ ” pertence a no máximo uma classe  $Cl_t$ . Observa-se que  $Cl_1^{\geq} = Cl_n^{\leq} = U$ ,  $Cl_n^{\geq} = Cl_n$  e  $Cl_1^{\leq} = Cl_1$ . Além disso, para  $t = 2, \dots, n$ , tem-se:  $Cl_{t-1}^{\leq} = U - Cl_t^{\geq}$  e  $Cl_t^{\geq} = U - Cl_{t-1}^{\leq}$  (GRECO *et al.*, 2001; AUGERI *et al.*, 2015).

Ato contínuo, afirma-se que  $x$  domina  $y$  em relação a  $P \subseteq C$ , denotado por  $xD_p y$ , se  $x$  é pelo menos tão bom quanto  $y$  para todos os atributos de  $P$ . Assim, os “grânulos de conhecimento” utilizados para aproximação na DRSA são:  $D_p^+(x) = \{y \in U : yD_p x\}$  e  $D_p^-(x) = \{y \in U : xD_p y\}$ ; em que o primeiro “grânulo” representa um conjunto de objetos dominando  $x$ , denominado conjunto *P-dominante*, e o segundo um conjunto de objetos dominados por  $x$ , denominado conjunto *P-dominado* (GRECO *et al.*, 2001; AUGERI *et al.* 2015).

A respeito, Augeri *et al.* (2015) explicam que na DRSA, onde os atributos são critérios e as classes são ordenadas por preferência, o conhecimento aproximado é uma coleção de uniões ascendentes e descendentes de classes e os “grânulos de conhecimento” são conjuntos de objetos definidos a partir das relações de dominância, de tal modo que as aproximações decorrentes podem ajudar, através de regras de decisão do tipo “se, ..., então, ...”, a induzir uma descrição generalizada dos objetos contidos na *Tabela de Dados*.

Além do mais, na metodologia DRSA, para uma dada união ascendente ou descendente de classes,  $Cl_t^{\geq}$  ou  $Cl_s^{\leq}$ , as regras induzidas sob a hipótese de que os objetos pertencem a aproximações inferiores  $\underline{P}(Cl_t^{\geq})$  ou  $\underline{P}(Cl_s^{\leq})$  são positivas e todas as outras negativas sugerem a atribuição de um objeto para “pelo menos a classe  $Cl_t$ ” ou para “no máximo a classe  $Cl_s$ ”, respectivamente; por outro lado, as regras de decisão induzidas sob a hipótese de que os objetos pertencentes à interseção  $P(Cl_s^{\leq}) \cap P(Cl_t^{\geq})$  são positivas e todas as outras negativas estão sugerindo uma atribuição aproximada de algumas classes entre  $Cl_s$  e  $Cl_t$ , com  $s > t$  (AUGERI *et al.*, 2015).

Diante de todo exposto, e supondo que para cada  $q \in C$ ,  $V_q \subseteq R$ , e que para cada  $x, y \in U$ ,  $f(x, q) \geq f(y, q)$  implica em  $V_q(x) \geq V_q(y)$ , Greco *et al.* (2001) especifica que 3 (três) tipos de regras de decisão podem ser adotados:

1.  $D_{\geq}$  - Regras de decisão que tem a seguinte forma:

- Se  $f(x, q_1) \geq r_{q_1}$  e  $f(x, q_2) \geq r_{q_2}$  e ...  $f(x, q_p) \geq r_{q_p}$ , então  $x \in Cl_t^{\geq}$ ; em que  $P = \{q_1, q_2, \dots, q_p\} \subseteq C$ ,  $(r_{q_1}, r_{q_2}, \dots, r_{q_p}) \in V_{q_1} \times V_{q_2} \times \dots \times V_{q_p}$  e  $t \in T$ ; essas regras são suportadas apenas por objetos das aproximações P-inferiores das uniões ascendentes de classes  $Cl_t^{\geq}$ .

2.  $D_{\leq}$  - Regras de decisão que tem a seguinte forma:

- Se  $f(x, q_1) \leq r_{q_1}$  e  $f(x, q_2) \leq r_{q_2}$  e ...  $f(x, q_p) \leq r_{q_p}$ , então  $x \in Cl_t^{\leq}$ ; em que  $P = \{q_1, q_2, \dots, q_p\} \subseteq C$ ,  $(r_{q_1}, r_{q_2}, \dots, r_{q_p}) \in V_{q_1} \times V_{q_2} \times \dots \times V_{q_p}$  e  $t \in T$ ; essas regras são suportadas apenas por objetos das aproximações P-inferiores das uniões descendentes de classes  $Cl_t^{\leq}$ .

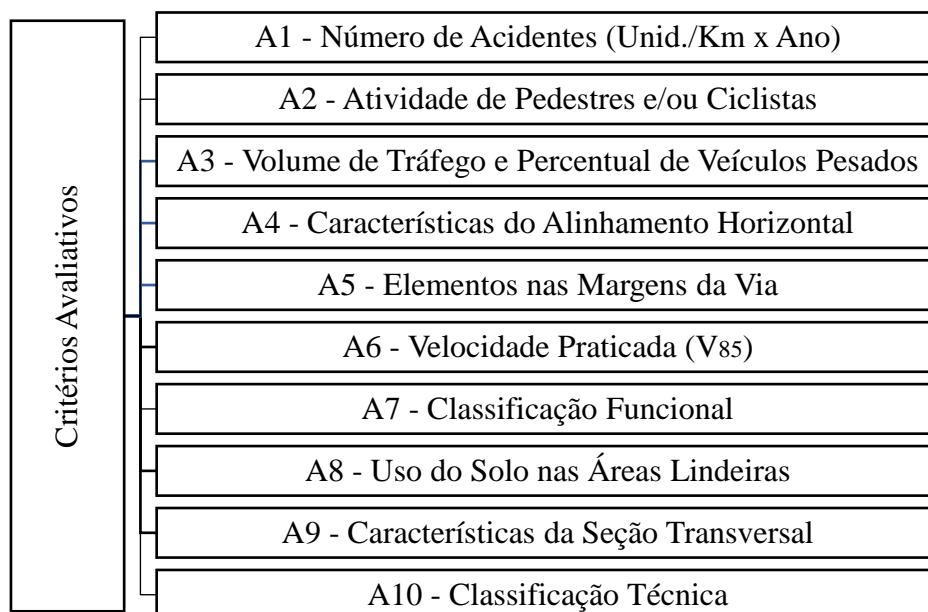
3.  $D_{\geq \leq}$  - Regras de decisão que tem a seguinte forma:

- Se  $f(x, q_1) \geq r_{q_1}$  e  $f(x, q_2) \geq r_{q_2}$  e ...  $f(x, q_k) \geq r_{q_k}$  e  $f(x, q_{k+1}) \leq r_{q_{k+1}}$  e ...  $f(x, q_p) \leq r_{q_p}$ , então  $x \in Cl_t \cup Cl_{t+1} \cup \dots \cup Cl_s$ , em que  $O' = \{q_1, q_2, \dots, q_k\} \subseteq C$ ,  $O'' = \{q_{k+1}, q_{k+2}, \dots, q_p\} \subseteq C$ ,  $P = O' \cup O''$ ,  $O'$  e  $O''$  não necessariamente disjuntos,  $(r_{q_1}, r_{q_2}, \dots, r_{q_p}) \in V_{q_1} \times V_{q_2} \times \dots \times V_{q_p}$ ,  $s, t \in T$  tal que  $t < s$ ; essas regras são suportadas apenas por objetos dos P-limites das uniões de classes  $Cl_t^{\leq}$  e  $Cl_s^{\geq}$ .

#### 4.2 DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS AVALIATIVOS

Os Critérios Avaliativos representam os Atributos (Q) da *Tabela de Dados*  $S = \{U, Q, V, f\}$  e foram definidos a partir dos fatores classificados como de alta importância por Marques (2012).

A Figura 4.2 apresenta estes critérios avaliativos.



**Figura 4.2 – Critérios avaliativos**

Para este trabalho, conforme fundamentos da metodologia DRSA, considera-se que os 10 (dez) critérios avaliativos acima possuem o mesmo nível de importância.

### 4.3 CONCEITUAÇÃO DOS CRITÉRIOS AVALIATIVOS

Apresenta-se, nesta etapa, a conceituação dos 10 (dez) critérios avaliativos dispostos na Figura 4.2, conforme está descrito nos subtópicos que seguem.

#### 4.3.1 Número de Acidentes (Unid. / Km x Ano)

Para este critério os dados devem ser obtidos de boletins estatísticos oficiais acerca dos acidentes de trânsito que ocorreram na rodovia.

Para cálculo da variável na unidade desejada, deve-se dividir o Número Total de Acidentes (NTA) pela Extensão (E) do segmento viário, a qual foi de 1 (um) quilômetro em todos os casos, e em seguida pelo Período (P) considerado no estudo, ou seja, 2 (dois) anos. A equação 3 pode ser empregada para cálculo do número de acidentes.

$$N^{\circ} \text{ de Acidentes (Unid./ km x ano)} = \frac{NTA}{Exp} = 0,5 NTA \quad (3)$$

Para este estudo os dados foram obtidos junto à base aberta de acidentes da PRF, nos segmentos viários em análise nos anos de 2016 e 2017 (PRF, 2016; 2017).



#### 4.3.2 *Atividade de Pedestres e/ou Ciclistas*

Para este critério deve-se verificar se existe atividade transversal e/ou longitudinal de pedestres e ciclistas nos segmentos viários em análise, independentemente da presença de facilidades e do seu uso nestes locais.

Neste estudo, avaliou-se o presente critério por meio de vídeos disponibilizados da videoteca interna do DNIT. Em alguns casos, apesar de não ter sido possível visualizar efetivamente a ocorrência de tráfego de pedestres e ciclistas nas margens da rodovia no trecho de vídeo consultado, considerou-se como área de ocorrência de pedestres/ciclistas em função das características locais (via e área lindeira).

Apesar do processo adotado ter sido a consulta por vídeo, ressalta-se que o ideal para estes casos seria a realização de levantamentos “*in loco*”, o que não foi possível em detrimento das restrições de tempo e recursos financeiros, haja vista que se trataram de segmentos viários de diferentes estados brasileiros.

#### 4.3.3 *Volume de Tráfego e Percentual de Veículos Pesados*

Para este critério deve-se realizar o levantamento dos dados de contagem de tráfego e percentual de veículos pesados na rodovia.

Neste estudo, dados foram obtidos do Plano Nacional de Contagem de Tráfego (PNCT), o qual faz parte do escopo de programas desenvolvidos e conduzidos pelo DNIT (2018).

#### 4.3.4 *Características do Alinhamento Horizontal*

Para este critério deve-se verificar a configuração do alinhamento horizontal da rodovia, com destaque para a existência de curvas e os seus respectivos parâmetros técnicos.

Neste estudo, avaliou-se o presente critério, para cada segmento viário selecionado, por meio dos vídeos disponibilizados pelo DNIT.

#### 4.3.5 *Elementos nas Margens da Via*

Para este critério deve-se verificar o afastamento das edificações e de elementos que possam causar riscos aos veículos no caso de saída de pista, tais como postes, pilares de viadutos e passarelas, elementos de suporte de sinalização vertical, entre outros.

Deve-se verificar ainda se há presença de dispositivos de proteção lateral do tipo defesa metálica ou barreira de concreto para os casos em que o afastamento dos obstáculos que possam oferecer risco seja insuficiente.

Neste estudo, observou-se a ocorrência de elementos nas margens da via, para cada segmento viário em análise, por meio dos vídeos disponibilizados pelo DNIT.

#### *4.3.6 Velocidade Praticada (V85)*

Para este critério deve-se identificar a velocidade abaixo da qual trafegam 85% dos veículos na rodovia, a qual depende de uma coleta de dados que seja representativa e que tenha sido realizada em condições normais de fluxo livre.

Neste estudo, não foi possível obter dados confiáveis para este critério, haja vista que, em alguns casos, a única fonte de dados disponível se daria em decorrência de equipamentos eletrônicos controladores ou redutores de velocidade, o que, de certo, poderia mascarar o resultado.

Desta forma, realizou-se, por meio dos vídeos disponibilizados pelo DNIT, a avaliação tanto da velocidade praticada pelos veículos, quando possível, como das próprias características físicas e operacionais do ambiente viário, o que auxiliou a compor, intuitivamente, as situações necessárias para desenvolvimento do presente trabalho.

#### *4.3.7 Classificação Funcional*

Para este critério deve-se buscar o Manual de Projetos Geométricos de Rodovias Rurais, publicado, no ano de 1999, pelo extinto Departamento de Estradas de Rodagens, o qual explica que a relação funcional varia de acordo com o caráter do serviço que as rodovias deverão prestar, a depender do número de viagens, do grau de importância dos polos de geração e atração de tráfego, e da correlação entre as suas acessibilidades e mobilidades (DNER, 1999).

Através deste Manual, após contagem de tráfego e análise do nível de serviço da rodovia, é possível classificá-la de acordo com a sua funcionalidade.

Para este estudo, realizou-se a avaliação da funcionalidade das rodovias, às quais pertencem os segmentos viários em análise, por meio do código das rodovias, de mapas rodoviários, de imagens captadas por satélite e dos vídeos disponibilizados pelo DNIT.

#### 4.3.8 *Uso do Solo nas Áreas Lindeiras*

Para este critério deve-se identificar o uso predominante do solo às margens da rodovia e os seus potenciais como polos geradores de tráfego, realizando, de certa forma, uma análise comparativa com a classificação geral da rodovia, conforme estabelecido no Artigo 61 do Código de Trânsito Brasileiro - CTB (BRASIL, 1997).

Para este estudo, utilizou-se os vídeos disponibilizados pelo DNIT para avaliação do uso do solo nas áreas lindeiras dos segmentos viários em análise.

#### 4.3.9 *Características da Seção Transversal*

Para este critério deve-se verificar o número e largura das faixas de rolamento, a existência e largura de acostamentos externos, e a presença de canteiro central ou dispositivo separador de fluxos opostos nos casos dos segmentos de pista dupla.

Para este estudo, utilizou-se imagens captadas por satélite e os vídeos disponibilizados pelo DNIT para avaliação deste critério nos segmentos viários em análise. A respeito da largura das faixas de rolamento e dos acostamentos externos, o ideal seria uma visita “*in loco*” para extrair as medidas por meio de equipamento adequado, ou tendo acesso aos projetos.

#### 4.3.10 *Classificação Técnica*

De acordo com o Manual de Projetos Geométricos de Rodovias Rurais (DNER, 1999), este critério avaliativo depende da funcionalidade da rodovia, e interfere diretamente em suas características físicas e operacionais, tais como o número e largura das faixas de rolamento e dos acostamentos, velocidade de projeto, distância de visibilidade, raios mínimos de curva, rampas máximas em aclives, superelevação e superlargura, e nível de serviço da rodovia.

Para este estudo, realizou-se, por meio da classificação funcional da rodovia, de mapas rodoviários, de imagens captadas por satélites, e dos vídeos disponibilizados pelo DNIT, a avaliação dos segmentos viários selecionados, para posterior enquadramento dos mesmos segundo a sua classificação técnica.

#### 4.4 CONSTRUÇÃO DOS DESCRITORES

Nesta etapa, realizou-se a construção dos Descritores, representados pelo símbolo  $V$  na *Tabela de Dados*  $S = \{U, Q, V, f\}$ , conforme estabelecido na Abordagem ao Conjunto Aproximativo baseado no Princípio da Dominância como ferramenta de Apoio à Decisão Multicritério. A princípio, definiu-se para cada um dos critérios avaliativos pelo menos dois descritores distintos, os quais são apresentados em escala hierárquica de valores, e o primeiro nível representa, qualitativamente, a situação mais crítica, onde os limites de velocidade devem ser inferiores perante os níveis restantes, que se apresentam em ordem decrescente de criticidade.

A ideia inicial é propor tantos descritores quantos fossem necessários para categorizar cada um dos critérios avaliativos. No entanto, no estudo em questão, as dificuldades para seleção dos segmentos viários prejudicaram a maximização do detalhamento qualitativo destes critérios, haja vista que, para um número maior de descritores, seria necessário, em virtude da metodologia DRSA, um quantitativo maior de segmentos viários.

O **Apêndice I – Matriz de Critérios Avaliativos e Descritores** descreve, de maneira detalhada, os critérios avaliativos, seus respectivos descritores e níveis hierárquicos associados, além de seus valores de referência.

Nele, pode-se observar que o primeiro critério avaliativo, número de acidentes, foi dividido em dois níveis hierárquicos, alto e baixo. Neste caso, observou-se o Método do Controle de Qualidade da Taxa (CQT), onde, para cálculo do Índice Crítico Anual de Referência ( $\lambda$ ), recomenda-se que sejam considerados somente os locais com número de acidentes por ano maior do que três, o que significa que locais com valores abaixo disso podem ser caracterizados como não-críticos ou de baixa acidentalidade (JACQUES, 2015).

Com respeito ao segundo critério avaliativo, atividade de pedestres e/ou ciclistas, entende-se que a presença destes tipos de usuários em ambientes rodoviários, seja ela esporádica ou constante, já altera as características primárias destes locais, haja vista a sua vulnerabilidade perante os demais, o que exige medidas diferenciadas em busca da segurança viária, tal como a redução dos limites de velocidade. Por esta óptica, considerou-se dois níveis hierárquicos para este critério avaliativo: sim, para a ocorrência de atividade de pedestres e/ou ciclistas na rodovia, e não, para o caso contrário.

Na sequência, dividiu-se o terceiro critério avaliativo, volume de tráfego e percentual de veículos pesados, em quatro níveis hierárquicos, alto/alto, alto/baixo, baixo/alto e baixo/baixo, fazendo o primeiro termo referência ao volume de tráfego e o segundo ao percentual de veículos

pesados. Após análise ao Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais, e aos estudos de tráfego dos segmentos viários pré-selecionados nesta pesquisa, adotou-se, como limite entre níveis hierárquicos, os valores de 3.000 veículos por dia e de 25% de veículos pesados. A escolha destes valores possibilitou a classificação dos segmentos viários em quantitativo suficiente para exequibilidade do presente trabalho.

O quarto critério avaliativo, características do alinhamento horizontal, foi dividido em 3 (três) níveis hierárquicos: segmento totalmente curvilíneo, segmento parcialmente curvilíneo e segmento em tangente. A análise neste critério diz mais respeito à concepção geométrica da rodovia do que aos parâmetros técnicos de suas curvas. Assim, o primeiro e terceiro níveis hierárquicos são opostos, sendo um repleto de curvas abertas e fechadas em sequência, típico de segmentos montanhosos, e o outro tangente em quase toda sua totalidade. O segundo nível hierárquico segue uma tendência intermediária, onde há presença mista de segmentos tangentes com curvas abertas e fechadas isoladas.

O quinto critério avaliativo, elementos nas margens da via, foi dividido em 2 (dois) níveis hierárquicos: próximos e desprotegidos, o qual representa uma situação mais crítica, onde a presença de elementos desprotegidos, a uma pequena distância da rodovia, possa causar acidentes do tipo saída de pista, e posterior choque com elevada gravidade; e, afastados e/ou protegidos, o qual representa uma situação menos crítica, onde a inexistência de elementos próximos desprotegidos seja capaz de reduzir a severidade em caso de acidentes do tipo saída de pista.

Em seguida, dividiu-se o sexto critério avaliativo, velocidade praticada (V85), em dois níveis hierárquicos: baixa e alta. O primeiro descritor (baixa) é utilizado para indicar que a velocidade praticada quando, em condições de fluxo livre, 85% dos veículos está igual ou abaixo da velocidade de projeto da rodovia, o que pode indicar que, de alguma forma, as características físicas e operacionais decorrentes dos parâmetros adotados em projeto interferem diretamente na velocidade operacional da rodovia. É empregado o descritor alto quando a velocidade praticada em condições de fluxo livre por 85% dos veículos está acima da velocidade de projeto da rodovia.

O sétimo critério avaliativo, classificação funcional, foi dividido, com base no Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais do DNER (1999), em 4 (quatro) níveis hierárquicos: coletor primário, arterial secundário, arterial primário e arterial principal. Apesar do referido Manual apresentar outras classes funcionais além destas, decidiu-se por desconsiderá-las em

virtude de que representam categorias inferiores de rodovias, as quais não condizem com o objeto deste trabalho.

O oitavo critério avaliativo, uso do solo nas áreas lindeiras, foi dividido em 3 (três) níveis hierárquicos: ambiente urbano, ambiente misto e ambiente rural. Assim como no quarto critério avaliativo, o primeiro e terceiro níveis hierárquicos são opostos, e o segundo nível hierárquico segue uma tendência intermediária. Em tese, diversos autores consideram o ambiente urbano como sendo uma área bastante edificada e com elevada presença de polos geradores de tráfego, e o ambiente rural como sendo uma área não edificada e com remota presença de polos geradores de tráfego. O ambiente misto representa locais levemente edificados e com alguma presença de polos geradores de tráfego, tais como pequenos núcleos residenciais, comerciais ou industriais, áreas rurais com presença de postos de fiscalização ou postos de combustíveis, entre outros.

O nono critério avaliativo, características da seção transversal, foi dividido em 5 (cinco) níveis hierárquicos: pista simples com plataforma estreita, pista simples com plataforma adequada, pista simples com terceira faixa em aclave, pista dupla sem canteiro central ou separador de fluxos opostos, e pista dupla com canteiro central ou separador de fluxos opostos. A principal diferença entre os dois primeiros níveis hierárquicos está na largura das faixas de rolamento e acostamentos externos, sendo estes maiores que 3,30 metros e 1,50 metros, respectivamente, nas rodovias de pista simples com plataforma adequada – estes valores foram recomendados pelo Manual de Projetos Geométricos de Rodovias Rurais do DNER (1999) para rodovias de Classe III em segmentos de relevo montanhoso. O terceiro nível hierárquico supera os dois primeiros pelo fato da existência de uma faixa adicional, geralmente construída em aclives de segmentos montanhosos para facilitar a ultrapassagem entre veículos. Por fim, o quarto e o quinto nível hierárquico se diferenciam pela existência, para o último caso, de canteiro central ou outro dispositivo qualquer utilizado para evitar a colisão frontal entre veículos que trafegam em sentidos contrários.

O décimo critério avaliativo, classificação técnica, assim como ocorreu no sétimo, foi dividido com base no Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais do DNER (1999), em 4 (quatro) níveis hierárquicos: classe III, classe II, classe I-B, e classe I-A ou 0. De mesmo modo, apesar do citado Manual apresentar outras classes técnicas além destas, decidiu-se por desconsiderá-las em virtude de que representam categorias inferiores de rodovias, as quais não condizem com o objeto deste trabalho.

#### 4.5 DESCRIÇÃO DOS SEGMENTOS VIÁRIOS PILOTOS

Os 20 (vinte) segmentos viários selecionados como pilotos representam o Conjunto de Objetos Finitos ( $U$ ) da *Tabela de Dados*  $S = \{U, Q, V, f\}$ . Este número de segmentos viários pilotos foi determinado visando a aplicabilidade do questionário principal com a equipe de especialistas e de modo a abranger características variadas para viabilizar a aplicação da metodologia DRSA e o desenvolvimento do sistema especialista desejado.

Para seleção dos segmentos viários, realizou-se o cruzamento dos dados de acidentes de trânsito fornecidos pela PRF (2016, 2017) com os dados de contagem de tráfego (PNCT, 2018) e vídeos de trechos rodoviário da videoteca do DNIT. Através deste cruzamento de dados, verificou-se que em 135 (cento e trinta e cinco) segmentos viários permanecia a existência dos três parâmetros técnicos supracitados. Após exclusão dos vídeos com péssima qualidade de imagem ou que não atendiam aos objetivos da pesquisa, restaram 91 (noventa e um) segmentos viários. Por fim, realizou-se a triagem final em busca dos 20 (vinte) melhores segmentos viários, os quais destacaram-se pela ampla variedade de características físicas e operacionais adequadas ao êxito da presente pesquisa. O Quadro 4.1 relaciona os segmentos viários selecionados.

**Quadro 4.1 – Segmentos Viários Pilotos**

Segmento	UF	Rodovia	Km	Município
1	DF	060	26	Brasília
2	ES	262	22	Viana
3	GO	060	205	Guapó
4	GO	060	418	Jataí
5	GO	080	27	Padre Bernardo
6	MG	267	298	Caxambu
7	MG	354	724	Pouso Alto
8	MG	381	443	Sabará
9	MT	070	375	Campo Verde
10	PA	163	969	Belterra
11	PB	230	510	Cajazeiras
12	PI	407	426	Picos
13	RJ	356	14	Itaperuna
14	RO	364	14	Vilhena
15	RS	116	246	São Leopoldo
16	RS	287	410	Santiago
17	RS	386	430	Nova Santa Rita
18	SC	153	91	Concórdia
19	SC	282	305	Vargem
20	SP	459	9	Piquete

Após a seleção dos segmentos viários, realizou-se a análise técnica individual de cada um deles, com base nos dados previamente levantados de acidentes de trânsito, volume de tráfego e percentual de veículos pesados, nos vídeos de tráfego rodoviário, mapas das rodovias e imagens captadas por satélite, e em observância aos elementos teóricos buscados no Manual de Projeto Geométrico de Rodovias e na metodologia proposta, com vistas à qualificação dos segmentos viários, a partir de cada critério avaliativo, quanto aos descritores que mais lhe representam.

O **Apêndice II – Matriz Descritiva dos Segmentos Viários Pilotos** traz uma lista dos segmentos viários selecionados conforme os critérios avaliativos e seus respectivos descritores, a qual foi apresentada à equipe de especialistas para formarem o conhecimento suficiente à recomendação da velocidade limite em cada segmento viário.

#### 4.6 SELEÇÃO DOS ESPECIALISTAS

Após obtenção do Conjunto de Objetos Finitos ( $U$ ), representados pelos 20 (vinte) segmentos viários pilotos, dos Atributos ( $Q$ ), representados pelos 10 (dez) critérios avaliativos, e dos Valores dos Atributos ( $V$ ), representados pelos descritores, a *Tabela de Dados*  $S = \{U, Q, V, f\}$  necessita apenas da Função de Informação ( $f$ ) para estar completa e poder ser analisada conforme os fundamentos da metodologia DRSA, com vistas à indução de regras de apoio à decisão e posterior desenvolvimento do sistema especialista desejado. Esta Função ( $f$ ) representa a informação que se deseja extrair da *Tabela de Dados*  $S$ , neste caso, a velocidade limite recomendada para cada um dos 20 (vinte) segmentos viários pilotos, e para tal atividade, buscou-se o conhecimento necessário junto a uma equipe de especialistas brasileiros.

A equipe de especialistas foi formada por profissionais que atuam diretamente na definição da velocidade limite nas rodovias federais do país administradas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, contendo ainda a participação de alguns professores de universidades federais ligados, por meio de suas linhas de pesquisa, à definição da velocidade limite em rodovias brasileiras.

Em análise a literatura pertinente, verificou-se que a metodologia do Conjunto Aproximativo baseado no Princípio da Dominância não estabelece um quantitativo mínimo de especialistas para construção da ferramenta de Apoio à Decisão Multicritério, sendo geralmente formado um painel com 3 (três) especialistas que discutem entre si e adotam uma resposta única para cada questionamento, ou então, no caso de divergência entre eles, considera-se a média de suas respostas.



Para este trabalho, buscou-se ao menos um especialista de cada estado da federação brasileira, tendo conseguido, ao final do prazo estabelecido em cronograma, 12 (doze) participações efetivas, com respostas consistentes ao questionário proposto, sendo 9 (nove) apresentadas por Analistas em Infraestrutura de Transportes do DNIT, e 3 (três) por professores da Universidade Federal do Ceará – UFC, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, e da Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP. Ao todo, este trabalho conta com respostas provenientes do Distrito Federal e mais 10 (dez) estados da federação, abrangendo todas as regiões do país.

#### 4.7 COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS

Para realização da coleta de dados, foram encaminhados à equipe de especialistas, via *e-mail*, um guia prático com um resumo do presente trabalho, além de um questionário contendo os 20 (vinte) segmentos viários previamente selecionados, *links* que levavam aos vídeos de tráfego rodoviário e seus respectivos descritores, e um espaço para recomendação do limite de velocidade para cada segmento em análise pelo especialista. Os **Apêndice III e IV** apresentam, respectivamente, o Guia Prático e o Questionário encaminhados para a equipe de especialistas.

A partir dos *links* constantes no questionário, cada especialista foi direcionado a um arquivo digital em formato “.WMV” por vez, contendo em seu lado esquerdo os 10 (dez) critérios avaliativos e seus respectivos descritores, e do lado direito um vídeo do segmento viário analisado. A Figura 4.3 apresenta o desenho da tela gerada aos especialistas após o clique em um dos *links* dispostos no referido questionário.

<b>SV 01: BR-060_Brasília/DF</b>	
Descritores	Vídeo
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Número de Acidentes: <ul style="list-style-type: none"> <li>o Alto</li> </ul> </li> <li>2. Atividade de Pedestres e Ciclistas: <ul style="list-style-type: none"> <li>o Não</li> </ul> </li> <li>3. Volume de Tráfego e Percentual de Veículos Pesados: <ul style="list-style-type: none"> <li>o Alto/Alto</li> </ul> </li> <li>4. Características do Alinhamento Horizontal: <ul style="list-style-type: none"> <li>o Segmento Parcialmente Curvilíneo</li> </ul> </li> <li>5. Elementos nas Margens da Via: <ul style="list-style-type: none"> <li>o Afastados e/ou Protegidos</li> </ul> </li> <li>6. Velocidade Praticada (V85): <ul style="list-style-type: none"> <li>o Alta</li> </ul> </li> <li>7. Classificação Funcional: <ul style="list-style-type: none"> <li>o Arterial Principal</li> </ul> </li> <li>8. Uso do Solo nas Áreas Lindeiras: <ul style="list-style-type: none"> <li>o Ambiente Rural</li> </ul> </li> <li>9. Características da Seção Transversal: <ul style="list-style-type: none"> <li>o Pista Dupla com Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos</li> </ul> </li> <li>10. Classificação Técnica: <ul style="list-style-type: none"> <li>o Classe 0 ou I-A</li> </ul> </li> </ol>	<p>Aperte o play para reproduzir!</p> 

**Figura 4.3 – Tela disponível para avaliação dos Segmentos Viários Pilotos**

Os referidos vídeos rodoviários, cuja função principal foi auxiliar os especialistas na tomada de decisão, foram gravados através de uma câmera colocada na parte frontal de um veículo que trafega entre 50 e 60 quilômetros por hora, têm duração de 15 a 20 segundos, e possibilitam a visualização, em ângulo obtuso, de 200 a 350 metros de cada segmento viário.

Durante a fase de avaliação dos segmentos viários pelos especialistas, foi prestado todo apoio necessário, via *e-mail* e/ou aplicativo de troca de mensagens instantâneas, de modo a dirimir eventuais dúvidas que pudessem persistir após leitura do referido guia prático, e que interferissem diretamente no resultado da pesquisa.

Após coleta de dados, realizou-se uma análise básica sobre o grau de instrução e tempo de experiência dos especialistas na área rodoviária, e verificou-se que todos possuem pelo menos uma especialização, sendo que 3 (três) deles possuem mestrado, 1 (um) doutorado e 2 (dois) pós-doutorado. Verificou-se ainda que todos possuem acima de 2 (dois) anos de experiência em suas atividades profissionais, sendo que um terço possui entre 6 (seis) e 10 (dez) anos de experiência profissional, e metade acima de 10 anos de experiência profissional.

A respeito do questionamento principal, verificou-se que todos os especialistas fizeram sua recomendação do limite de velocidade para cada um dos 20 (vinte) segmentos viários em análise, não havendo, como esperado, maiores dúvidas ou questionamentos que pudessem inviabilizar a aplicação desta pesquisa.

Em seguida, procedeu-se com a elaboração de uma planilha em Excel® para cálculo da média aritmética entre as 12 respostas apresentadas para cada segmento viário, sendo esta média considerada como o limite de velocidade recomendado. O Quadro 4.2 apresenta um resumo dos resultados decorrentes da aplicação de questionário com os especialistas.

**Quadro 4.2 – Velocidade limite recomendada (Km/h)**

Segmento Viário	Especialista												Média Aritmética
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	100	110	110	90	80	80	100	100	100	110	80	100	97
2	60	70	80	70	60	60	70	80	70	70	60	80	69
3	70	70	70	70	60	60	60	80	80	70	80	80	71
4	110	120	100	100	100	110	100	100	110	110	110	110	107
5	60	80	60	90	80	80	60	80	80	70	80	80	75
6	60	80	80	80	80	60	70	80	80	80	60	80	74
7	50	60	60	60	50	50	50	60	50	60	50	60	55
8	60	80	60	70	60	60	60	80	60	60	60	80	66
9	60	70	60	70	70	60	60	80	60	60	60	60	64
10	50	60	60	70	60	60	60	80	60	60	60	60	62
11	80	90	100	90	90	80	70	80	90	100	80	100	88
12	50	60	50	70	50	40	60	60	50	60	50	60	55
13	80	80	80	80	70	80	70	80	80	80	60	80	77
14	50	60	60	50	50	50	50	60	60	60	60	60	56
15	50	80	80	60	70	60	60	80	60	60	60	60	65
16	70	80	80	80	90	80	70	80	80	80	80	80	79
17	80	90	100	80	80	80	70	90	80	110	80	100	87
18	50	70	70	60	50	50	60	60	50	50	60	60	58
19	60	80	80	60	70	50	60	80	60	50	60	60	64
20	50	60	60	50	50	50	50	60	50	50	50	80	55

Os valores da média aritmética calculados acima, os quais foram arredondados para efeitos práticos, apesar de não serem múltiplos de 10 (dez), conforme previsto no Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito do CONTRAN (2007), representam a velocidade limite de cada segmento viário analisado, e serão aplicados em sua essência na metodologia proposta para desenvolvimento conceitual do sistema especialista desejado.

Para efeito informativo, o Quadro 4.3 apresenta os valores de Média, Desvio Padrão, Moda e Mediana para a amostra de 12 (doze) respostas apresentadas pela equipe de especialistas em referência aos 20 (vinte) segmentos viários pilotos avaliados, são eles:

**Quadro 4.3 – Valores de média, desvio padrão, moda e mediana**

Segmento Viário	Média (km/h)	Desvio Padrão	Moda (km/h)	Mediana (km/h)
1	97	11,55	100	100
2	69	7,93	70	70
3	71	7,93	70	70
4	107	6,51	110	110
5	75	10,00	80	80
6	74	9,00	80	80
7	55	5,22	50 e 60	55
8	66	9,00	60	60
9	64	6,69	60	60
10	62	7,12	60	60
11	88	9,65	80 e 90	90
12	55	7,98	50 e 60	55
13	77	6,51	80	80
14	56	5,15	60	60
15	65	10,00	60	60
16	79	5,15	80	80
17	87	11,55	80	80
18	58	7,54	60	60
19	64	10,84	60	60
20	55	9,04	50	50

#### 4.8 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise dos resultados será realizada no Capítulo 5, por meio da aplicação dos dados coletados e tratados até o presente momento na metodologia da abordagem ao Conjunto Aproximativo baseado no Princípio da Dominância, através do qual será possível a elaboração de regras de apoio a tomada de decisão multicritério, representação conceitual e estrutural do sistema especialista desejado e posterior aplicação deste em algumas situações hipotéticas, com vistas à demonstração do seu *modus operandi* na definição da velocidade limite para segmentos rodoviários brasileiros.

## 5 SISTEMA ESPECIALISTA PARA DEFINIÇÃO DA VELOCIDADE LIMITE EM RODOVIAS BRASILEIRAS

Neste capítulo, os dados coletados junto a uma equipe de 12 (doze) especialistas brasileiros, a respeito da velocidade limite recomendada para 20 (vinte) segmentos com características viárias distintas, previamente tratados no capítulo anterior, são aplicados na metodologia da abordagem ao Conjunto Aproximativo baseado no Princípio da Dominância, de modo que seja possível extrair regras de apoio à decisão coerentes para definição da velocidade limite em trechos de rodovias brasileiras.

Apresenta-se ainda neste capítulo o desenho esquemático do sistema especialista objeto deste trabalho, o qual servirá como ferramenta de apoio à decisão multicritério quando da inserção em seu motor de inferência das regras do tipo “*se..., então...*” formadas a partir base de conhecimento resultante da consulta a especialistas, retornando ao final do processo um valor ou intervalo de valores correspondente ao limite de velocidade recomendado para determinado segmento rodoviário.

Por fim, realiza-se a aplicação dos atributos e descritores de alguns segmentos viários hipotéticos no sistema especialista conceitualmente desenvolvido, de modo a demonstrar como ocorre o processamento das informações, tal como se obtém o limite de velocidade adequado para o segmento viário em análise.

### 5.1 APLICAÇÃO DA ABORDAGEM AO CONJUNTO APROXIMATIVO BASEADO NO PRINCÍPIO DA DOMINÂNCIA PARA GERAÇÃO DE REGRAS DE APOIO À DECISÃO

O primeiro passo para elaboração de regras de apoio à decisão quanto à velocidade limite adequada para um determinado trecho de rodovia é entender qual a relação entre os critérios avaliativos e descritores apresentados no **Apêndice II**, para os 20 (vinte) segmentos viários considerados como pilotos, e o resultado obtido por meio da consulta junto a equipe de especialistas, o qual encontra-se representado no Quadro 4.2.

Os especialistas avaliam cada um dos 20 segmentos viários por meio dos vídeos (conforme ilustrado pela Figura 4.3) e a partir das características físicas e operacionais identificadas, recomendam um limite de velocidade para cada um destes segmentos viários. Os dados obtidos desse levantamento viabilizam a análise associativa por meio do método proposto entre o limite de velocidade recomendado, os critérios avaliativos e seus respectivos descritores.

Conforme explicado no item 4.3 deste documento, cada um dos 10 (dez) critérios avaliativos possui entre 2 (dois) e 5 (cinco) descritores que auxiliam a descrever qualitativamente os segmentos viários analisados. De mesmo modo, cada um dos descritores foi associado a um nível hierárquico distinto – conforme detalhado no **Apêndice I**, os quais se apresentam em ordem decrescente de criticidade em termos de segurança, ou seja, quanto menor o nível hierárquico de determinado descritor, maior será a criticidade imposta por ele ao segmento viário que o representa, e, conseqüentemente, menor será o limite de velocidade para este segmento viário.

Entretanto, a velocidade limite recomendada pelos especialistas resulta de uma análise complexa envolvendo os 10 (dez) critérios avaliativos dispostos na Figura 4.2, para os quais existem 31 (trinta e um) níveis hierárquicos relacionados, que, a depender da forma como são combinados, determinam um limite de velocidade diferente para o segmento em análise. Neste sentido, o Quadro 5.1 apresenta a relação entre os níveis hierárquicos atrelados aos segmentos viários pilotos e os limites de velocidade recomendados pela equipe de especialista.

**Quadro 5.1 – Níveis hierárquicos associados aos segmentos viários e a velocidade limite recomendada pelos especialistas**

Segmento Viário	Critérios Avaliativos										Vlim (km/h)
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	
1	N <sub>1</sub> <sup>1</sup>	N <sub>2</sub> <sup>2</sup>	N <sub>1</sub> <sup>3</sup>	N <sub>2</sub> <sup>4</sup>	N <sub>2</sub> <sup>5</sup>	N <sub>2</sub> <sup>6</sup>	N <sub>4</sub> <sup>7</sup>	N <sub>3</sub> <sup>8</sup>	N <sub>5</sub> <sup>9</sup>	N <sub>4</sub> <sup>10</sup>	97
2	N <sub>2</sub> <sup>1</sup>	N <sub>2</sub> <sup>2</sup>	N <sub>2</sub> <sup>3</sup>	N <sub>1</sub> <sup>4</sup>	N <sub>1</sub> <sup>5</sup>	N <sub>2</sub> <sup>6</sup>	N <sub>3</sub> <sup>7</sup>	N <sub>3</sub> <sup>8</sup>	N <sub>3</sub> <sup>9</sup>	N <sub>3</sub> <sup>10</sup>	69
3	N <sub>2</sub> <sup>1</sup>	N <sub>1</sub> <sup>2</sup>	N <sub>1</sub> <sup>3</sup>	N <sub>2</sub> <sup>4</sup>	N <sub>1</sub> <sup>5</sup>	N <sub>1</sub> <sup>6</sup>	N <sub>4</sub> <sup>7</sup>	N <sub>1</sub> <sup>8</sup>	N <sub>5</sub> <sup>9</sup>	N <sub>4</sub> <sup>10</sup>	71
4	N <sub>2</sub> <sup>1</sup>	N <sub>2</sub> <sup>2</sup>	N <sub>1</sub> <sup>3</sup>	N <sub>3</sub> <sup>4</sup>	N <sub>2</sub> <sup>5</sup>	N <sub>2</sub> <sup>6</sup>	N <sub>4</sub> <sup>7</sup>	N <sub>3</sub> <sup>8</sup>	N <sub>5</sub> <sup>9</sup>	N <sub>4</sub> <sup>10</sup>	107
5	N <sub>2</sub> <sup>1</sup>	N <sub>2</sub> <sup>2</sup>	N <sub>3</sub> <sup>3</sup>	N <sub>3</sub> <sup>4</sup>	N <sub>1</sub> <sup>5</sup>	N <sub>2</sub> <sup>6</sup>	N <sub>1</sub> <sup>7</sup>	N <sub>3</sub> <sup>8</sup>	N <sub>1</sub> <sup>9</sup>	N <sub>1</sub> <sup>10</sup>	75
6	N <sub>2</sub> <sup>1</sup>	N <sub>2</sub> <sup>2</sup>	N <sub>1</sub> <sup>3</sup>	N <sub>2</sub> <sup>4</sup>	N <sub>1</sub> <sup>5</sup>	N <sub>2</sub> <sup>6</sup>	N <sub>1</sub> <sup>7</sup>	N <sub>3</sub> <sup>8</sup>	N <sub>2</sub> <sup>9</sup>	N <sub>2</sub> <sup>10</sup>	74
7	N <sub>2</sub> <sup>1</sup>	N <sub>2</sub> <sup>2</sup>	N <sub>3</sub> <sup>3</sup>	N <sub>1</sub> <sup>4</sup>	N <sub>1</sub> <sup>5</sup>	N <sub>2</sub> <sup>6</sup>	N <sub>1</sub> <sup>7</sup>	N <sub>3</sub> <sup>8</sup>	N <sub>1</sub> <sup>9</sup>	N <sub>1</sub> <sup>10</sup>	55
8	N <sub>1</sub> <sup>1</sup>	N <sub>2</sub> <sup>2</sup>	N <sub>1</sub> <sup>3</sup>	N <sub>1</sub> <sup>4</sup>	N <sub>1</sub> <sup>5</sup>	N <sub>1</sub> <sup>6</sup>	N <sub>3</sub> <sup>7</sup>	N <sub>2</sub> <sup>8</sup>	N <sub>3</sub> <sup>9</sup>	N <sub>3</sub> <sup>10</sup>	66
9	N <sub>2</sub> <sup>1</sup>	N <sub>1</sub> <sup>2</sup>	N <sub>1</sub> <sup>3</sup>	N <sub>3</sub> <sup>4</sup>	N <sub>1</sub> <sup>5</sup>	N <sub>1</sub> <sup>6</sup>	N <sub>2</sub> <sup>7</sup>	N <sub>2</sub> <sup>8</sup>	N <sub>2</sub> <sup>9</sup>	N <sub>2</sub> <sup>10</sup>	64
10	N <sub>2</sub> <sup>1</sup>	N <sub>1</sub> <sup>2</sup>	N <sub>3</sub> <sup>3</sup>	N <sub>2</sub> <sup>4</sup>	N <sub>2</sub> <sup>5</sup>	N <sub>2</sub> <sup>6</sup>	N <sub>2</sub> <sup>7</sup>	N <sub>2</sub> <sup>8</sup>	N <sub>2</sub> <sup>9</sup>	N <sub>3</sub> <sup>10</sup>	62
11	N <sub>2</sub> <sup>1</sup>	N <sub>2</sub> <sup>2</sup>	N <sub>2</sub> <sup>3</sup>	N <sub>3</sub> <sup>4</sup>	N <sub>2</sub> <sup>5</sup>	N <sub>2</sub> <sup>6</sup>	N <sub>3</sub> <sup>7</sup>	N <sub>3</sub> <sup>8</sup>	N <sub>2</sub> <sup>9</sup>	N <sub>3</sub> <sup>10</sup>	88
12	N <sub>2</sub> <sup>1</sup>	N <sub>1</sub> <sup>2</sup>	N <sub>2</sub> <sup>3</sup>	N <sub>3</sub> <sup>4</sup>	N <sub>1</sub> <sup>5</sup>	N <sub>1</sub> <sup>6</sup>	N <sub>2</sub> <sup>7</sup>	N <sub>1</sub> <sup>8</sup>	N <sub>2</sub> <sup>9</sup>	N <sub>2</sub> <sup>10</sup>	55
13	N <sub>2</sub> <sup>1</sup>	N <sub>2</sub> <sup>2</sup>	N <sub>2</sub> <sup>3</sup>	N <sub>3</sub> <sup>4</sup>	N <sub>1</sub> <sup>5</sup>	N <sub>2</sub> <sup>6</sup>	N <sub>2</sub> <sup>7</sup>	N <sub>2</sub> <sup>8</sup>	N <sub>2</sub> <sup>9</sup>	N <sub>2</sub> <sup>10</sup>	77
14	N <sub>1</sub> <sup>1</sup>	N <sub>1</sub> <sup>2</sup>	N <sub>1</sub> <sup>3</sup>	N <sub>3</sub> <sup>4</sup>	N <sub>1</sub> <sup>5</sup>	N <sub>1</sub> <sup>6</sup>	N <sub>4</sub> <sup>7</sup>	N <sub>1</sub> <sup>8</sup>	N <sub>4</sub> <sup>9</sup>	N <sub>4</sub> <sup>10</sup>	56
15	N <sub>1</sub> <sup>1</sup>	N <sub>1</sub> <sup>2</sup>	N <sub>2</sub> <sup>3</sup>	N <sub>2</sub> <sup>4</sup>	N <sub>2</sub> <sup>5</sup>	N <sub>1</sub> <sup>6</sup>	N <sub>4</sub> <sup>7</sup>	N <sub>1</sub> <sup>8</sup>	N <sub>5</sub> <sup>9</sup>	N <sub>4</sub> <sup>10</sup>	65
16	N <sub>2</sub> <sup>1</sup>	N <sub>2</sub> <sup>2</sup>	N <sub>3</sub> <sup>4</sup>	N <sub>2</sub> <sup>4</sup>	N <sub>2</sub> <sup>5</sup>	N <sub>2</sub> <sup>6</sup>	N <sub>2</sub> <sup>7</sup>	N <sub>2</sub> <sup>8</sup>	N <sub>2</sub> <sup>9</sup>	N <sub>3</sub> <sup>10</sup>	79
17	N <sub>1</sub> <sup>1</sup>	N <sub>2</sub> <sup>2</sup>	N <sub>2</sub> <sup>3</sup>	N <sub>3</sub> <sup>4</sup>	N <sub>2</sub> <sup>5</sup>	N <sub>2</sub> <sup>6</sup>	N <sub>4</sub> <sup>7</sup>	N <sub>3</sub> <sup>8</sup>	N <sub>4</sub> <sup>9</sup>	N <sub>4</sub> <sup>10</sup>	87
18	N <sub>2</sub> <sup>1</sup>	N <sub>1</sub> <sup>2</sup>	N <sub>1</sub> <sup>3</sup>	N <sub>1</sub> <sup>4</sup>	N <sub>1</sub> <sup>5</sup>	N <sub>1</sub> <sup>6</sup>	N <sub>3</sub> <sup>7</sup>	N <sub>2</sub> <sup>8</sup>	N <sub>2</sub> <sup>9</sup>	N <sub>3</sub> <sup>10</sup>	58
19	N <sub>1</sub> <sup>1</sup>	N <sub>1</sub> <sup>2</sup>	N <sub>3</sub> <sup>4</sup>	N <sub>1</sub> <sup>4</sup>	N <sub>1</sub> <sup>5</sup>	N <sub>2</sub> <sup>6</sup>	N <sub>2</sub> <sup>7</sup>	N <sub>2</sub> <sup>8</sup>	N <sub>3</sub> <sup>9</sup>	N <sub>3</sub> <sup>10</sup>	64
20	N <sub>1</sub> <sup>1</sup>	N <sub>2</sub> <sup>2</sup>	N <sub>3</sub> <sup>3</sup>	N <sub>1</sub> <sup>4</sup>	N <sub>1</sub> <sup>5</sup>	N <sub>1</sub> <sup>6</sup>	N <sub>1</sub> <sup>7</sup>	N <sub>3</sub> <sup>8</sup>	N <sub>1</sub> <sup>9</sup>	N <sub>1</sub> <sup>10</sup>	55

Para analisar o Quadro 5.1 pelo ponto de vista da abordagem ao Conjunto Aproximativo baseado no Princípio da Dominância, por meio da qual propôs-se obter regras de apoio à decisão consistentes, alguns critérios básicos, além daqueles pré-determinados pela referida metodologia, precisam ser definidos. Neste caso, foram consideradas apenas as regras de apoio à decisão cuja quantidade de objetos que a suportem seja igual ou superior a 10% do total de objetos, ou seja, considerando o universo de 20 (vinte) segmentos viários pilotos, deverão haver pelo menos 2 (dois) deles que atestem a validade de cada regra para que a mesma seja considerada consistente.

Outro critério definido diz respeito à quantidade máxima de combinações entre atributos distintos para elaboração de cada uma das regras de apoio à decisão. Sabe-se que o total de combinações possíveis entre atributos é 10 (dez), correspondente ao número de critérios avaliativos adotados, entretanto, neste caso, considerou-se um limite máximo de 3 (três) combinações entre atributos para uma mesma regra, o que é justificado pelo fato de ter disponível apenas 20 (vinte) segmentos viários pilotos, e um número maior de combinações entre atributos poderia inviabilizar a pesquisa em função do critério estabelecido no parágrafo anterior.

O terceiro e último critério decorre das afirmações de Greco *et al.* (2001) e das Equações 1 e 2 apresentadas no item 4.1, por meio das quais, para configuração de regras de apoio à decisão pela metodologia adotada, nota-se a necessidade de divisão dos segmentos viários pilotos em classes ordenadas, respeitando o Princípio da Dominância e permitindo a aproximação dos conjuntos em uniões ascendentes e descendentes de classes.

Sendo assim, observados os 3 (três) critérios definidos, dividiu-se os segmentos viários pilotos, com suas respectivas velocidades limites recomendadas em 8 (oito) classes ordenadas, sendo a primeira metade em referência à união descendente de classes e a segunda metade em referência à união ascendente de classes. São elas:

- $Cl_1^{\leq}$  => Composta pelos segmentos viários pilotos com velocidade limite recomendada de “no máximo” 60 Km/h;
- $Cl_2^{\leq}$  => Composta pelos segmentos viários pilotos com velocidade limite recomendada de “no máximo” 70 Km/h;
- $Cl_3^{\leq}$  => Composta pelos segmentos viários pilotos com velocidade limite recomendada de “no máximo” 80 Km/h;

- $Cl_4^{\leq}$  => Composta pelos segmentos viários pilotos com velocidade limite recomendada de “no máximo” 90 Km/h;
- $Cl_1^{\geq}$  => Composta pelos segmentos viários pilotos com velocidade limite recomendada de “pelo menos” 60 Km/h;
- $Cl_2^{\geq}$  => Composta pelos segmentos viários pilotos com velocidade limite recomendada de “pelo menos” 70 Km/h;
- $Cl_3^{\geq}$  => Composta pelos segmentos viários pilotos com velocidade limite recomendada de “pelo menos” 80 Km/h;
- $Cl_4^{\geq}$  => Composta pelos segmentos viários pilotos com velocidade limite recomendada de “pelo menos” 90 Km/h.

O Quadro 5.2 apresenta a distribuição dos segmentos viários pilotos em suas respectivas classes ordenadas.

**Quadro 5.2 – Distribuição dos segmentos viários conforme suas classes ordenadas**

Classe Ordenada	Velocidade Limite (Km/h)	Segmentos Viários de Referência
$Cl_1^{\leq}$	$\leq 60$ Km/h	7, 12, 14, 18 e 20
$Cl_2^{\leq}$	$\leq 70$ Km/h	2, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 15, 18, 19 e 20
$Cl_3^{\leq}$	$\leq 80$ Km/h	2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19 e 20
$Cl_4^{\leq}$	$\leq 90$ Km/h	2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 e 20
$Cl_1^{\geq}$	$\geq 60$ Km/h	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 16, 17, 18, 19 e 20
$Cl_2^{\geq}$	$\geq 70$ Km/h	1, 3, 4, 5, 6, 11, 13, 16 e 17
$Cl_3^{\geq}$	$\geq 80$ Km/h	1, 4, 11 e 17
$Cl_4^{\geq}$	$\geq 90$ Km/h	1 e 4

A partir da metodologia DRSA, partiu-se para a análise dos dados dispostos no Quadro 5.1 após segregação dos segmentos viários pilotos em 8 (oito) classes ordenadas, conforme apresentado no Quadro 5.2. Esta análise objetiva identificar a relação entre os níveis hierárquicos pertencentes aos segmentos viários pilotos de uma mesma classe ordenada, tendo como produto as regras de apoio à decisão no formato “se... então..” conforme segue:

1. Se  $Ax \leq Na$ ,  $Ay \leq Nb$  e  $Az \leq Nc$ , então  $Vlim \leq W$  Km/h; ou
2. Se  $Ax \geq Na$ ,  $Ay \geq Nb$  e  $Az \geq Nc$ , então  $Vlim \geq W$  Km/h.



Em que:  $A = \{\text{Critério Avaliativo}\}$  e  $N = \{\text{Nível Hierárquico}\}$ ;  
 $x, y e z = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10\}$ ;  
 $a, b e c = \{1, 2, 3, 4 e 5\}$ ; e  
 $W = \{60, 70, 80 e 90\}$ .

Para formação de regras de apoio à decisão capazes de atender aos critérios pré-estabelecidos, foi desenvolvido um algoritmo próprio, apoiado na metodologia de abordagem ao Conjunto Aproximativo baseado no Princípio da Dominância. O *software* polonês jMAF (2018) também poderia ter sido utilizado para indução a regras de apoio à decisão. A escolha por um algoritmo próprio se deve à necessidade de direcionamento da ferramenta às peculiaridades individuais da presente pesquisa.

Cada regra de apoio à decisão se caracteriza pelo seu grau de consistência, o qual representa a força da regra, e é definido pelo número de objetos que suportam a regra em relação ao número de objetos pertencentes à respectiva classe ordenada, assim, quanto maior for este índice, maior será a força da regra de apoio à decisão, devendo ser desconsideradas aquelas regras que trazem um resultado idêntico, porém com um menor grau de consistência.

Ao todo, por meio da aplicação do algoritmo desenvolvido, foram induzidas cerca de 2.300 (duas mil e trezentas) regras de apoio à decisão, somadas as regras de união ascendente com aquelas de união descendente de classes. Entretanto, em virtude da quantidade de segmentos viários pilotos, da própria natureza da metodologia utilizada, e dos critérios adotados em relação ao grau de consistência, a grande maioria destas regras de apoio à decisão foram descartadas, seja pelo fato de terem sido consideradas inconsistentes, ou simplesmente pela existência de alguma outra regra similar ou correspondente com maior grau de consistência.

Desta forma, para composição da base de conhecimento do sistema especialista desejado, a metodologia da abordagem ao Conjunto Aproximativo baseado no Princípio da Dominância retornou 100 (cem) regras de apoio à decisão válidas e consistentes, sendo 40 (quarenta) delas no âmbito da união descendente de classes, e as outras 60 (sessenta) no âmbito da união ascendente de classes.

**O Apêndice V – Matriz de Regras de Apoio à Decisão** traz as regras de apoio à decisão conforme a classe ordenada em que se inserem, bem como associadas aos respectivos segmentos viários que as suportam, permitindo, assim, evidenciar a percepção dos especialistas sobre a relação entre as características da rodovia e a velocidade limite recomendada. Para

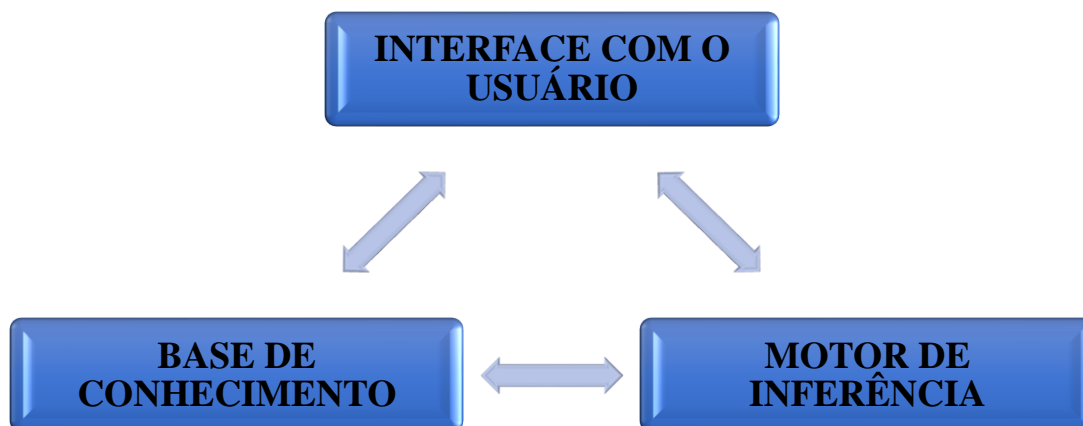
melhor interpretar as regras dispostas no referido apêndice, deve-se associar os critérios avaliativos e os níveis hierárquicos de cada uma aos seus respectivos descritores, conforme estabelecidos no **Apêndice I** desta dissertação. Segue alguns exemplos das regras obtidas:

- Regra nº 1: Se o segmento viário possuir alinhamento horizontal totalmente curvilíneo e sua seção transversal for formada por, no máximo, pista simples com plataforma adequada, então a velocidade limite recomendada será menor ou igual a 60 Km/h;
- Regra nº 12: Se o segmento viário possuir alto número de acidentes e possuir elementos próximos e desprotegidos em suas margens, então a velocidade limite recomendada será menor ou igual a 70 Km/h;
- Regra nº 35: Se o segmento viário possuir alto volume de tráfego e alto percentual de veículos pesados, e sua classificação funcional for, no máximo, arterial primário, então a velocidade limite recomendada será menor ou igual a 80 Km/h;
- Regra nº 40: Se a classificação técnica do segmento viário for, no máximo, Classe IB, então a velocidade limite recomendada será menor ou igual a 90 Km/h;
- Regra nº 44: Se o segmento viário não possuir atividade de pedestres e/ou ciclistas, e sua seção transversal for formada por, pelo menos, pista simples com plataforma adequada, então a velocidade limite recomendada será maior ou igual a 60 Km/h;
- Regra nº 65: Se o segmento viário possuir baixo número de acidentes, não possuir atividade de pedestres e/ou ciclistas, e seu alinhamento horizontal for, pelo menos, parcialmente curvilíneo, então a velocidade limite recomendada será maior ou igual a 70 Km/h;
- Regra nº 91: Se o segmento viário possuir baixo número de acidentes, o uso do solo em suas áreas lindeiras for típico de ambiente rural, e sua seção transversal for formada por, pelo menos, pista simples com plataforma adequada, então a velocidade limite será maior ou igual a 80 Km/h;
- Regra nº 98: Se o segmento viário não possuir atividade de pedestres e/ou ciclistas, e a sua seção transversal for formada por, pelo menos, pista dupla sem canteiro central ou separador de fluxos opostos, então a velocidade limite recomendada será maior ou igual a 90 Km/h.

As 100 (cem) regras de apoio à decisão, induzidas a partir da metodologia DRSA e após consulta a equipe de especialistas, conforme exemplos explicativos acima, são utilizadas para composição da base de conhecimento da ferramenta proposta para definição da velocidade limite em rodovias brasileiras.

## 5.2 DESENHO ESQUEMÁTICO DA FERRAMENTA PROPOSTA PARA DEFINIÇÃO DA VELOCIDADE LIMITE EM RODOVIAS BRASILEIRAS

Segundo Nilson (1982), um sistema especialista é uma ferramenta estruturada para reproduzir o conhecimento de peritos na busca pela solução de problemas específicos, e a sua estrutura básica é constituída por três elementos fundamentais: a base de conhecimento, o motor de inferência, e a interface com o usuário, conforme demonstrado na Figura 5.1.



**Figura 5.1 – Estrutura básica de um Sistema Especialista**

### 5.2.1 Base de Conhecimento

A base de conhecimento de um sistema especialista é geralmente formada por um conjunto de regras obtidas através do conhecimento extraído de especialistas. Ela tem a função de alimentar o sistema com o conhecimento adquirido, modulado e armazenado, de tal modo a fornecer subsídios para que este identifique qual a melhor solução para um determinado problema proposto pelo usuário.

No caso do sistema especialista para definição da velocidade limite, a base de conhecimento é formada pelo conjunto de 100 (cem) regras de apoio à decisão, obtidas através da consulta a uma equipe de 12 (doze) especialistas, após avaliação de 20 (vinte) segmentos viários com características variadas. Estas regras foram induzidas através da metodologia de abordagem ao conjunto aproximativo baseado no princípio da dominância, e refletem o conhecimento acumulado destes especialistas sobre a relação entre as características da rodovia e a sua velocidade limite recomendada. O **Apêndice V** representa a base de conhecimento do sistema especialista proposto nesta dissertação.

### 5.2.2 Motor de Inferência

O motor de inferência pode ser caracterizado como núcleo do sistema especialista, ou seja, é responsável por intermediar a aplicação das regras no processo de resolução dos problemas. A sua capacidade é baseada em uma combinação de procedimentos de raciocínios que se processam de forma progressiva e regressiva. Na primeira, as informações são fornecidas ao sistema pelo usuário, estimulando o desencadeamento o processo de busca na base de conhecimento pelas regras que melhor se aplicam a cada situação. Na segunda, o sistema parte de uma opinião conclusiva sobre o assunto, e inicia uma pesquisa pelas informações por meio das regras componentes da base de conhecimento, procurando provar se aquela conclusão é a mais adequada para o problema analisado (MENDES, 1997).

No caso do sistema especialista proposto neste trabalho, o motor de inferência deve fazer a leitura das 100 (cem) regras de apoio a decisão componentes da base de conhecimento, tendo como referência as informações fornecidas pelo usuário sobre as características do segmento viário para o qual se deseja recomendar a velocidade limite, e então, deve encontrar quais destas regras atendem às características da rodovia.

Em seguida, o motor de inferência deve avaliar todas as regras aplicáveis, de modo a recomendar a velocidade limite adequada para o segmento analisado, observados os modelos de raciocínio a seguir.

- i. No caso de todas as regras serem induzidas a partir da união descendente de classes:
  - Neste caso, todas as regras recomendam limites de velocidade menores ou iguais aos valores pertencentes ao intervalo entre 60 e 90 Km/h, logo o limite de velocidade adequado para o segmento analisado será de 50 Km/h;
  - Esta escolha ocorre por dois motivos: primeiro, pelo fato de que nenhuma das regras ter sido induzida a partir da união ascendente de classes, o que significa que há um segmento crítico, com níveis hierárquicos inferiores, típicos de rodovias com velocidade limite reduzida; e segundo, em detrimento das respostas apresentadas pelos especialistas, pois, embora a metodologia adotada tenha considerado, por motivos técnicos, um intervalo de velocidade limite entre 60 e 90 Km/h, valores de velocidade limite menores foram amplamente recomendados pelos especialistas para segmento críticos, com destaque para a velocidade de 50 Km/h.

- ii. No caso de todas as regras serem induzidas a partir da união ascendente de classes:
- Neste caso, todas as regras recomendam limites de velocidade maiores ou igual aos valores pertencentes ao intervalo entre 60 e 90 Km/h, logo o limite de velocidade adequado para o segmento analisado será de 100 Km/h;
  - Esta escolha ocorre por dois motivos: primeiro, pelo fato de que nenhuma das regras ter sido induzida a partir da união descendente de classes, o que significa que há um segmento pouco crítico, com níveis hierárquicos superiores, típicos de rodovias com velocidade limite elevada; e segundo, em detrimento das respostas apresentadas pelos especialistas, pois, embora a metodologia adotada tenha considerado, por motivos técnicos, um intervalo de velocidade limite entre 60 e 90 Km/h, valores de velocidade limite maiores foram amplamente recomendados pelos especialistas para segmentos com baixa criticidade, com destaque para a velocidade de 100 Km/h.
- iii. No caso de haverem regras induzidas tanto a partir da união ascendente de classes como da união descendente de classes:
- Neste caso, tem-se parte das regras recomendando limites de velocidade menores ou iguais aos valores pertencentes ao intervalo entre 60 e 90 Km/h, e a outra parte recomendando limites de velocidade maiores ou iguais aos valores pertencentes ao citado intervalo, assim, deverá haver uma análise complementar para identificar qual dos três modelos de raciocínio a seguir melhor se aplica ao segmento analisado;
- a) *Quando apenas um valor de velocidade limite atende a todas as regras induzidas pelo sistema:*
- Neste caso, como apenas um valor de velocidade limite pertencente ao intervalo entre 60 e 90 Km/h atende a todas as regras induzidas, o limite de velocidade adequado para o segmento analisado será exatamente este valor;
- b) *Quando dois ou mais valores de velocidade limite atendem a todas as regras induzidas pelo sistema:*
- Neste caso, como dois ou mais valores de velocidade limite pertencentes ao intervalo entre 60 e 90 Km/h atendem a todas as regras induzidas, o limite de velocidade adequado para o segmento analisado será algum destes valores, ficando a sua escolha definitiva a cargo do tomador de decisão;

- Apesar de haver uma certa indefinição por parte do sistema para este caso específico, entende-se que o mesmo consegue reduzir o campo de possibilidades para o tomador de decisão, e conseqüentemente a subjetividade do processo de escolha da velocidade limite;
- c) *Quando nenhum dos valores de velocidade limite atende a todas as regras induzidas pelo sistema:*
- Neste caso, tem-se uma situação atípica, onde para qualquer que seja a velocidade limite recomendada, pelo menos uma das regras será desrespeitada, haja vista que, em virtude da existência de regras conflitantes entre si, nenhum valor de velocidade limite conseguiria atender a todas elas;
  - De modo a solucionar este problema, recomenda-se adotar a velocidade limite de segurança para o segmento analisado, ou seja, aquela de menor valor pertencente ao intervalo entre 60 e 90 Km/h para a qual exista uma regra induzida a partir da união descendente de classes.

### 5.2.3 *Interface com o Usuário*

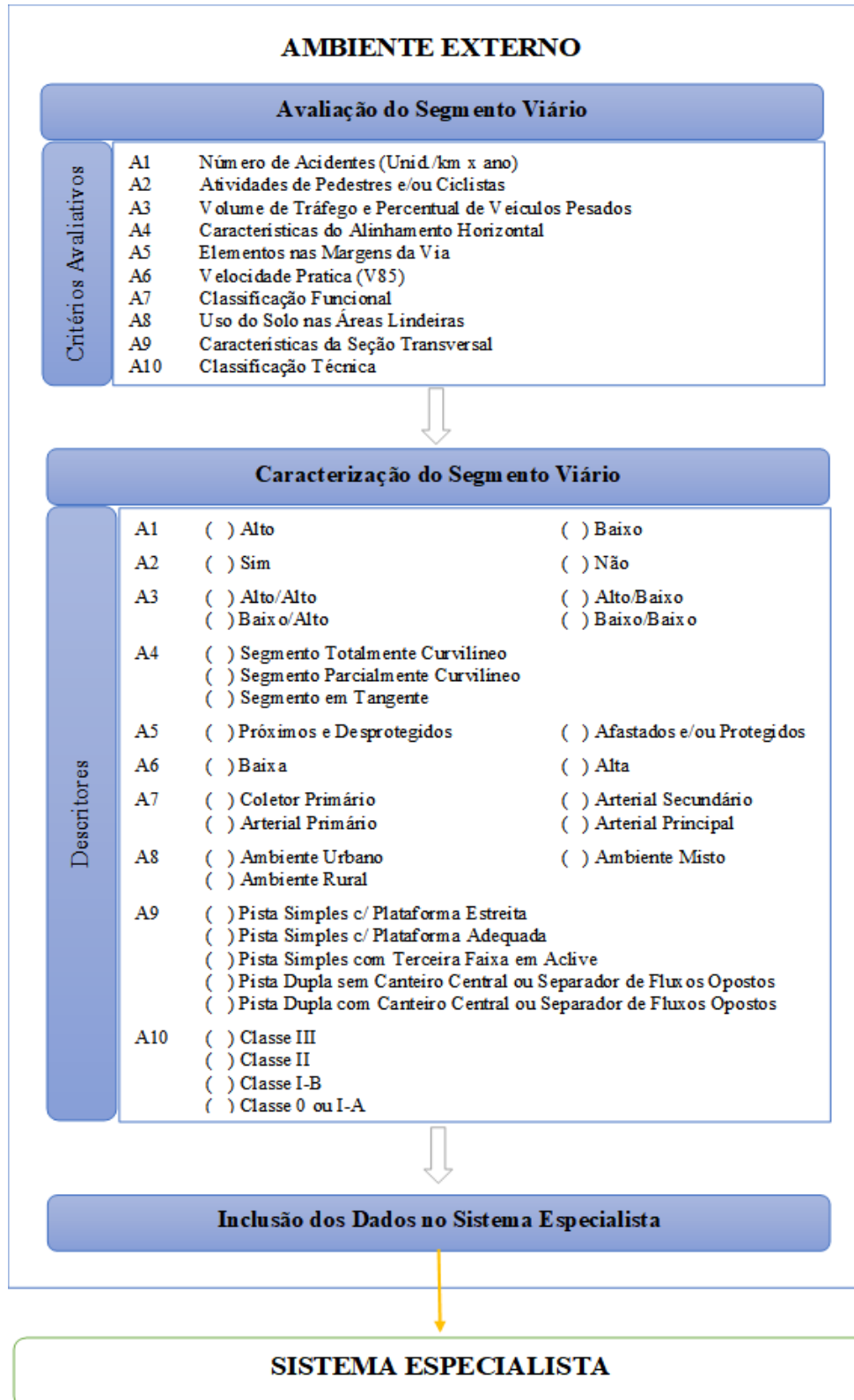
A interface com o usuário se caracteriza como sendo a estrutura responsável por receber as informações do ambiente externo, traduzi-las para a linguagem do sistema, e conduzi-las ao motor de inferência, para que este possa interagir com a base de conhecimento em busca da melhor solução. Ao final do processo, a interface com o usuário ficará encarregada de transmitir a solução encontrada de volta ao ambiente externo.

No caso do sistema especialista objeto deste trabalho, a interface com usuário deverá ser elaborada de modo que o tomador de decisão, após realizar o levantamento dos dados inerentes à definição da velocidade limite em rodovias, conforme estabelecido no Apêndice I, possa inserir os descritores associados ao segmento em análise para cada um dos dez critérios avaliativos considerados pelo sistema.

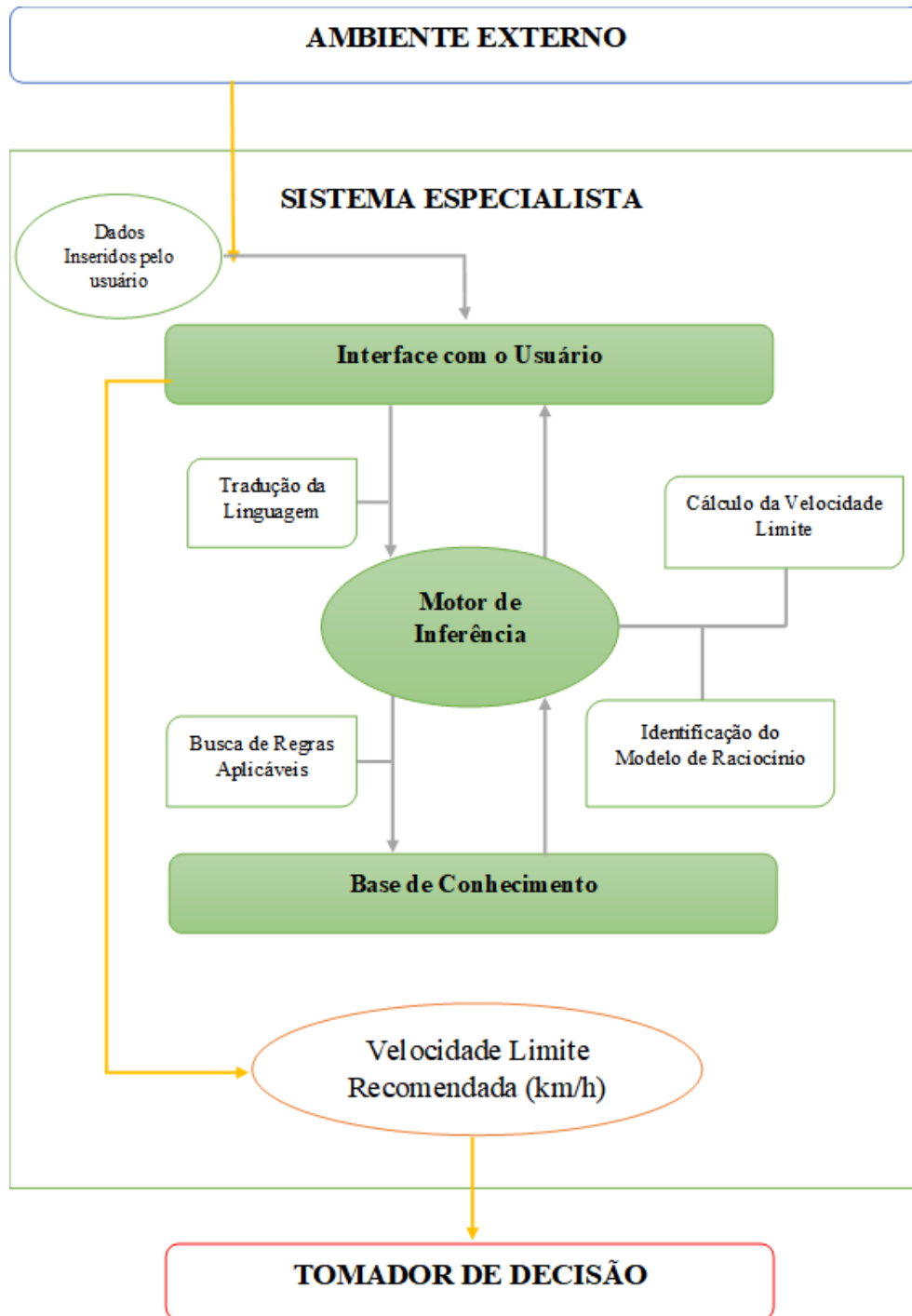
Após a interação entre as partes integrantes do sistema, com a busca de dados na base de conhecimento e o devido raciocínio pelo motor de inferência, conforme demonstrado ao longo deste capítulo, a interface com o usuário informará ao tomador de decisão a velocidade limite recomendada pelo sistema especialista, devendo a mesma ser apresentada na unidade Km/h e estar contida no intervalo  $V_{lim} = \{50, 60, 70, 80, 90, 100\}$ .

### 5.2.4 Desenho Esquemático da Ferramenta

A Figura 5.2 apresenta o desenho esquemático da ferramenta proposta para definição da velocidade limite em rodovias brasileiras.



Continua



**Figura 5.2 – Desenho esquemático da ferramenta proposta**

Conforme ilustrado na Figura 5.2, o processo ocorre da seguinte forma: o tomador de decisão avalia o segmento para o qual se deseja definir a velocidade limite, com foco nos dez critérios avaliativos expostos na Figura 4.2; determina, com auxílio da **Matriz de Critérios Avaliativos e Descritores**, os seus respectivos descritores, e, em seguida, introduz os dados obtidos no sistema especialista.



Dentro do sistema, a interface com o usuário é responsável por receber os dados inseridos pelo usuário; traduzi-los para a linguagem do sistema, transformando os descritores em níveis hierárquicos; e encaminhá-los para o motor de inferência. Este, por sua vez, busca na base de conhecimento as regras descritas na **Matriz de Regras de Apoio à Decisão** que se aplicam ao segmento em análise; identifica qual dos raciocínios constantes no item 5.2.2 melhor se adequa para a situação; e por fim, transmite o resultado à interface com o usuário, recomendando a velocidade limite para o caso em análise.

### 5.3 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA PROPOSTA EM ALGUNS SEGMENTOS VIÁRIOS HIPOTÉTICOS

De modo a testar a aplicabilidade do sistema especialista conceitualmente desenvolvido, tal como evidenciar a transparência do seu processo de operacionalização, apresenta-se uma aplicação da ferramenta proposta, por meio da qual pretende-se determinar a velocidade limite recomendada para 5 (cinco) segmentos viários hipotéticos, a partir de suas principais características físicas e operacionais, e das regras de apoio à decisão que compõem a base de conhecimento do sistema.

A escolha por segmentos viários hipotéticos para aplicação da ferramenta ocorreu em virtude da necessidade de demonstrar as 5 (cinco) possibilidades de raciocínio por parte do motor de inferência do sistema especialista desenvolvido, as quais exigem a combinação específica das características físicas e operacionais destes segmentos viários, o que não foi possível observar na restrita base de dados utilizada para seleção dos 20 (vinte) segmentos viários pilotos objetos desta pesquisa.

O Quadro 5.3 apresenta os critérios avaliativos e os respectivos descritores para cada um dos cinco segmentos viários hipotéticos, observados os conceitos estabelecidos na Matriz de Critérios Avaliativos e Descritores.

**Quadro 5.3 – Características viárias dos Segmentos Hipotéticos Avaliados**

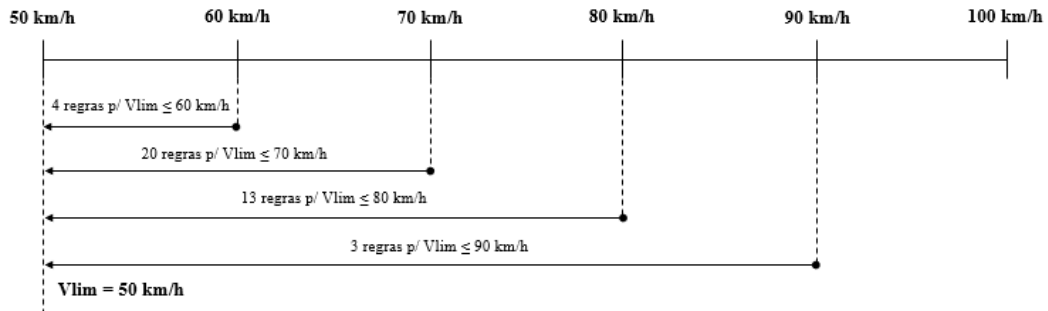
Critérios Avaliativos	Descritores				
	Segmento 01	Segmento 02	Segmento 03	Segmento 04	Segmento 05
Número de Acidentes (Unid./km x ano)	Alto	Baixo	Alto	Alto	Baixo
Atividade de Pedestres e/ou Ciclistas	Sim	Não	Não	Não	Não
Volume de Tráfego e Percentual de Veículos Pesados	Alto/Alto	Baixo/Baixo	Alto/Baixo	Alto/Alto	Baixo/Baixo
Características do Alinhamento Horizontal	Segmento Totalmente Curvilíneo	Segmento em Tangente	Segmento em Tangente	Segmento Parcialmente Curvilíneo	Segmento Totalmente Curvilíneo
Elementos nas Margens da Via	Próximos e Desprotegidos	Afastados e/ou Protegidos	Próximos e Desprotegidos	Próximos e Desprotegidos	Afastados e/ou Protegidos
Velocidade Praticada (V85)	Baixa	Alta	Alta	Baixa	Baixa
Classificação Funcional	Coletor Primário	Arterial Principal	Arterial Secundário	Arterial Secundário	Arterial Secundário
Uso do Solo nas Áreas Lindeiras	Ambiente Urbano	Ambiente Rural	Ambiente Misto	Ambiente Misto	Ambiente Rural
Características da Seção Transversal	Pista Simples com Plataforma Estreita	Pista Dupla com Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	Pista Simples com Plataforma Adequada	Pista Simples com Plataforma Adequada	Pista Simples com Plataforma Adequada
Classificação Técnica	Classe III	Classe 0 ou I-A	Classe II	Classe II	Classe II

Após avaliação das características físicas e operacionais de cada segmento viário hipotético, tendo como referência os princípios adotados para desenvolvimento conceitual e estrutural do sistema especialista desejado, e o conjunto de regras elencados na Matriz de Regras de Apoio à Decisão, a ferramenta de apoio à decisão proposta retornou 05 (cinco) resultados distintos sobre o limite de velocidade recomendado para os segmentos viários hipotéticos avaliados, conforme detalhado no Quadro 5.4.

**Quadro 5.4 – Velocidade limite recomendada para os Segmentos Hipotéticos Avaliados**

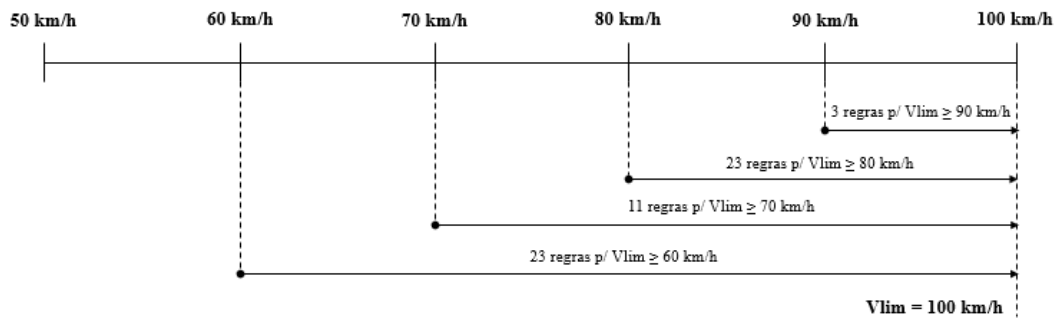
Segmento Viário	Análise	Regras de Referência	Velocidade Limite Recomendada
01	4 regras recomendam $V_{lim} \leq 60$ Km/h	1 a 4	50 Km/h
	20 regras recomendam $V_{lim} \leq 70$ Km/h	5 a 24	
	13 regras recomendam $V_{lim} \leq 80$ Km/h	25 a 37	
	3 regras recomendam $V_{lim} \leq 90$ Km/h	38 a 40	
02	23 regras recomendam $V_{lim} \geq 60$ Km/h	41 a 63	100 Km/h
	11 regras recomendam $V_{lim} \geq 70$ Km/h	64 a 74	
	23 regras recomendam $V_{lim} \geq 80$ Km/h	75 a 97	
	3 regras recomendam $V_{lim} \geq 90$ Km/h	98 a 100	
03	5 regras recomendam $V_{lim} \leq 70$ Km/h	12, 14, 18, 19 e 20	70 Km/h
	4 regras recomendam $V_{lim} \leq 80$ Km/h	25, 26, 27 e 33	
	3 regras recomendam $V_{lim} \leq 90$ Km/h	38 a 40	
	9 regras recomendam $V_{lim} \geq 60$ Km/h	41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48 e 51	
	3 regras recomendam $V_{lim} \geq 70$ Km/h	67, 68 e 70	
04	10 regras recomendam $V_{lim} \leq 70$ Km/h	7, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 21, 22 e 24	60 ou 70 Km/h
	11 regras recomendam $V_{lim} \leq 80$ Km/h	25, 26, 27, 28, 29, 30, 32, 33, 34, 35 e 36	
	3 regras recomendam $V_{lim} \leq 90$ Km/h	38 a 40	
	4 regras recomendam $V_{lim} \geq 60$ Km/h	41, 44, 45 e 48	
05	1 regra recomenda $V_{lim} \leq 60$ Km/h	1	60 Km/h
	4 regras recomendam $V_{lim} \leq 70$ Km/h	5, 7, 10 e 11	
	7 regras recomendam $V_{lim} \leq 80$ Km/h	26, 27, 28, 29, 30, 32 e 33	
	3 regras recomendam $V_{lim} \leq 90$ Km/h	38 a 40	
	11 regras recomendam $V_{lim} \geq 60$ Km/h	44, 45, 48, 49, 51, 52, 53, 55, 61, 62 e 63	
	1 regra recomenda $V_{lim} \geq 70$ Km/h	66	
	1 regra recomenda $V_{lim} \geq 80$ Km/h	75	

Como pode ser observado no Quadro 5.4, todas as regras de apoio à decisão aplicáveis ao Segmento Viário 01 recomendam uma velocidade limite igual ou inferior a 60 Km/h, não havendo, neste caso, nenhuma regra induzida a partir da união ascendente de classes, o que permite, segundo o sistema especialista, a escolha de um limite de velocidade de 50 Km/h para o segmento analisado, conforme detalhado na Figura 5.3.



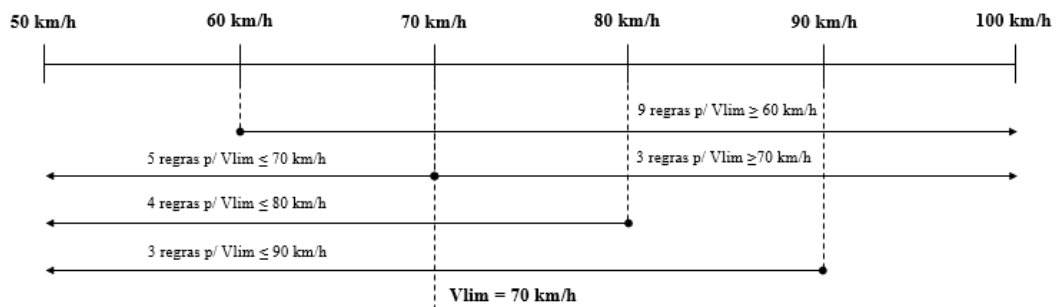
**Figura 5.3 – Velocidade limite para o Segmento Viário Hipotético 01**

De mesmo modo, todas as regras de apoio à decisão aplicáveis ao Segmento Viário 02 recomendam uma velocidade limite igual ou superior a 90 Km/h, não havendo, neste caso, nenhuma regra induzida a partir da união descendente de classes, o que permite, segundo o sistema especialista, a escolha de um limite de velocidade de 100 Km/h para o referido segmento viário, conforme detalhado na Figura 5.4.



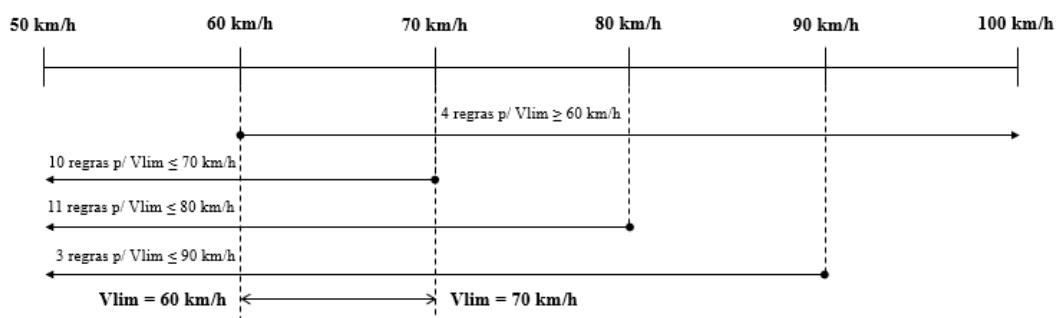
**Figura 5.4 – Velocidade limite para o Segmento Viário Hipotético 02**

Para o Segmento Viário 03, verifica-se que existem regras de apoio à decisão induzidas tanto a partir da união ascendente de classes como da união descendente de classes, o que permite uma análise aproximativa dos resultados gerados pelo sistema especialista, de tal forma que o valor de 70 Km/h é o único capaz de atender a todas as regras aplicáveis ao segmento em questão, sendo este, portanto, o limite de velocidade recomendado, conforme detalhado na Figura 5.5.



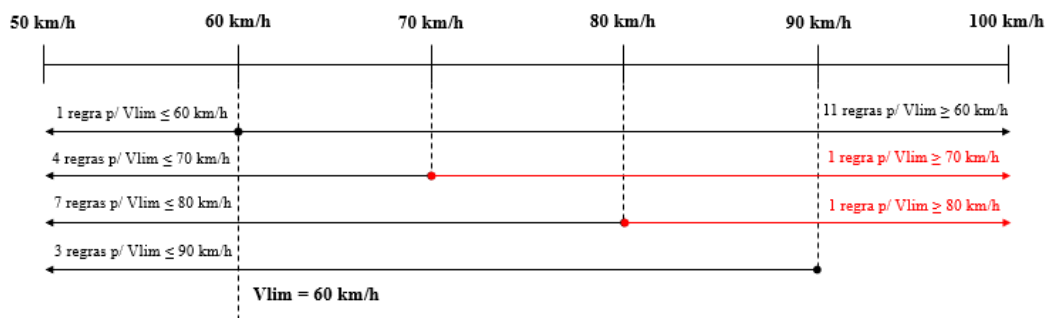
**Figura 5.5 – Velocidade limite para o Segmento Viário Hipotético 03**

O mesmo ocorre para o Segmento Viário 04, com a diferença de que 02 resultados atendem às regras aplicáveis a este segmento, 60 e 70 Km/h, tendo, neste caso, uma certa indefinição por parte do sistema, porém, com uma redução no campo de possibilidades, e conseqüentemente na subjetividade da escolha pelo tomador de decisão sobre a velocidade limite adequada para o segmento analisado, conforme detalhado na Figura 5.6.



**Figura 5.6 – Velocidade limite para o Segmento Viário Hipotético 04**

Já para o Segmento Viário 05, uma situação atípica acontece, haja vista que, para qualquer que seja a velocidade recomendada pelo sistema, ao menos uma das regras de apoio à decisão será desrespeitada. Neste caso, recomenda-se adotar a velocidade limite de segurança para o segmento analisado, ou seja, 60 Km/h, a qual permite reduzir a possibilidade de ocorrência de acidentes de trânsito em virtude da criticidade de algum dos critérios avaliativos considerados, e de todo modo, ainda atende a 26 das 28 regras induzidas pelo sistema especialista, conforme detalhado na Figura 5.7.



**Figura 5.7 – Velocidade limite para o Segmento Viário Hipotético 05**

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou o desenvolvimento conceitual de um sistema especialista para definição da velocidade limite em rodovias brasileiras, utilizando como referência os modelos adotados nos Estados Unidos e na Austrália, além daquele proposto por Augeri *et al.* (2015) para as rodovias da Itália.

A partir dos 10 (dez) critérios avaliativos identificados por Marques (2012) como sendo os principais para definição da velocidade limite em rodovias brasileiras, e da abordagem ao Conjunto Aproximativo baseado no Princípio da Dominância (DSRA), conceituou-se e estruturou-se um sistema especialista capaz de recomendar um limite de velocidade adequado de acordo com as características do segmento viário.

A base de conhecimento desta ferramenta foi formada a partir da experiência de 12 (doze) especialistas brasileiros, os quais analisaram e sugeriram a velocidade limite para 20 (vinte) segmentos viários pilotos com características diversas. A aplicação dos resultados em algoritmo desenvolvido com base na metodologia DRSA tornou possível a indução de 100 (cem) regras de apoio à decisão consistentes do tipo “*Se..., então...*”, por meio das quais o sistema especialista permite recomendar a velocidade limite para um segmento viário qualquer, conforme demonstrado no Capítulo 5 desta dissertação.

Deste modo, este trabalho consegue propor uma ferramenta aplicável aos órgãos e entidades rodoviários do país quando da avaliação de rodovias para definição de seus limites de velocidade, tendo como principais vantagens a eliminação ou redução da subjetividade encontrada nos métodos tradicionais, a transparência em seu modo de operação, haja vista que toda recomendação de velocidade limite é justificada pelas regras de apoio à decisão, e a possibilidade de ajustes no modelo de construção da ferramenta, de modo a melhor atender as funcionalidades para as quais se destina.

Neste sentido, aproveita-se a oportunidade para expor as principais limitações deste estudo, as quais não inviabilizaram o alcance de seu objetivo principal, mas afetaram a potencialização da efetividade da ferramenta proposta, são elas:

- Quantidade limitada de critérios avaliativos adotados, de descritores considerados para cada critério avaliativo, e de segmentos viários definidos como pilotos;
- Tempo reduzido nos vídeos de tráfego rodoviário.

Estas quatro limitações foram inseridas pelo pesquisador devido ao risco de tornar a aplicação do questionário com especialistas impraticável, haja vista a complexidade do tema e a previsão, posteriormente comprovada, e da baixa disponibilidade de tempo dos especialistas consultados, fatores que poderiam tornar a coleta de dados onerosa em termos psicológico-cognitivos e temporais.

Outra limitação também envolve a coleta de dados com os especialistas, pois o total de questionários respondidos ficou abaixo das expectativas iniciais. Entretanto, observou-se que a média ponderada das respostas apresentadas pelos especialistas, utilizada para composição da base de conhecimento, pouco flutuava com o acréscimo ou redução de novos dados, haja vista a baixa variância dos mesmos, o que contribuiu para atenuar o impacto no resultado desta dissertação.

De toda forma, recomenda-se para futuros trabalhos desta linha de pesquisa que, sejam desenvolvidos em parceria com órgãos e entidades governamentais que atuem na definição da velocidade limite em rodovias brasileiras e que adotem algumas medidas para ampliar o universo relacionado às principais variáveis utilizadas no desenvolvimento do sistema especialista, de modo a potencializar a sua efetividade. Dentre elas, destacam-se:

- Obter e reunir uma grande equipe de especialistas brasileiros com disponibilidade para participar de todo o processo de construção da ferramenta de apoio à decisão, de preferência, atuantes nos órgãos executivos rodoviários, nas polícias rodoviárias e nas escolas de engenharia rodoviária do país;
- Ampliar o número de critérios avaliativos considerados para definição da velocidade limite em rodovias brasileiras;
- Validar os descritores adotados nesta dissertação e, no caso de novos critérios avaliativos, criar descritores claros e objetivos para eles;
- Ampliar a quantidade de segmentos viários pilotos utilizados como referência para construção da base de conhecimento da ferramenta;
- Ampliar o tempo dos vídeos de tráfego rodoviário de cada segmento analisado pela equipe de especialistas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUGERI, M. G.; COZZO, P. & GRECO, S. (2015) Dominance-based rough set approach: An application case study for setting speed limits for vehicles in speed controlled zones. **Knowledge-based Systems**, Catania, v. 89, p.288-300, jul. 2015.

AUSTROADS (2005) **Balance between Harm Reduction and Mobility in Setting Speed Limits: A Feasibility Study**. Austroads Publication No. AP-R272/05. Sidney, Australia: Austroads, 2005.

BRASIL (1997) **Lei No. 9503, de 23 de setembro de 1997**. Institui o Código de Trânsito Brasileiro – CTB.

CAMERON, M. (2002) Estimation of the optimum speed on urban residential streets. **Monash University Accident Research Center**. Victoria, Australia.

CONTRAN – Conselho Nacional de Trânsito (2007) **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito, Volume I – Sinalização Vertical de Regulamentação**. 2ª Edição. Brasília: CONTRAN, 2007.

DAS, A.; ABDEL-ATY, M. & PANDE, A. (2009) Using conditional inference forests to identify the factors affecting crash severity on arterial corridors. **Journal of Safety Research**, [s.l.], v. 40, n. 4, p.317-327, ago. 2009. Elsevier BV.

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1999) **Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais**. Rio de Janeiro: DNER, 1999.

DNIT (2018) Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Dados abertos - Plano Nacional de Contagem de Tráfego. <http://servicos.dnit.gov.br/dadospnt/ContagemContinua>> Acesso em: 12 ago. 2018.

IPEA (2015a) **Acidentes em rodovias custam R\$ 40 milhões por ano**. Disponível em: [http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=26292](http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=26292). Acesso em: 03 jul. 2017.

IPEA (2015b) **Ipea traça panorama sobre acidentes nas rodovias federais**. Disponível em: [http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=26284](http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=26284). Acesso em: 03 jul. 2017.

jMAF (2018) Rough Set Data Analysis Framework. Disponível em: <http://idss.cs.put.poznan.pl/site/139.html> Acesso em: 22 set. 2018.

GRECO, S.; MATARAZZO, B.; SLOWINSKI, R. (2001) Rough sets methodology for multi-criteria decision analysis, **European Journal of Operational Research**, Catania, v. 129, p. 1–47., feb. 2001.

JACQUES, M. A. P. (2015) **Segurança Viária**. Apostila do Curso de Especialização em Operações Rodoviárias do Laboratório de Transporte e Logística da UFSC, 2015.



MARQUES, E. C. S. (2012) **Fatores a Serem Considerados para a Definição da Velocidade Limite em Rodovias Brasileiras**. Dissertação de Mestrado em Transportes, Publicação: T. DM – 006 A/2012, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 141 p.

NILSON, N. S. (1982) **Principles of Artificial Intelligence**. Berlin: Springer Verlag, 1982.

MENDES, R. D. (1997) Inteligência Artificial: Sistemas Especialistas no Gerenciamento da Informação. *Ciência da Informação*, [s.l.], v. 26, n. 1, p 39-45, jan. 1997.

MUTCD (2018) Queensland Manual of Uniform Traffic Control Devices, Part 4: Speed controls. The State of Queensland (Department of Transport and Main Roads) 2018. Queensland, 92 p.

PRF (2016) Dados agrupados por ocorrência – 2016. Dados abertos da Polícia Rodoviária Federal. Ministério da Segurança Pública. Disponível em: <http://www1.prf.gov.br/arquivos/index.php/s/AhSKXYgrFtfXMK3/download> Acesso em: 02 ago. 2018.

PRF (2017) Dados agrupados por ocorrência – 2017. Dados abertos da Polícia Rodoviária Federal. Ministério da Segurança Pública. Disponível em: <http://www1.prf.gov.br/arquivos/index.php/s/nqvFu7xEF6HhbAq/download> Acesso em: 02 ago. 2018.

ROBSON, M. (2000) Examples of Variable Speed Limit Applications. **Speed Management Workshop. In: TRB 79th Annual Meeting**, Washington D.C., January 9, 2000.

SRINIVASAN, R.; PARKER, M.; HARKEY, D.; SUMNER, R. (2006) Expert System for Recommending Speeds Limits in Speed Zones. Project NCHRP Project No. 3-67. **Transportation Research Board**, Washington D.C., November, 2006.

TINGVALL, C. & HAWORTH, N. (1999) Vision Zero – An ethical approach to safety and mobility. **In: ITE International Conference Road Safety & Traffic Enforcement: Beyond 2000**, Melbourne, 6-7 September 1999.

UN – United Nations (2010) **Global plan for the Decade of Action for Road Safety 2011 - 2020 Version 3**.

USLIMITS2 (2018) Página do Sistema USLIMITS2. Disponível em: < <https://safety.fhwa.dot.gov/uslimits/>> Acesso em: 03 mar. 2018.

VELLOSO, M. (2006) **Identificação dos fatores contribuintes dos atropelamentos de pedestres em rodovias inseridas em áreas urbanas: o caso do Distrito Federal**. Dissertação de Mestrado, Publicação T.DM- 001A/2006, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, DF, 178p.

WANG, Y.; CHEN, K. & HU, L. (2012) Killer Tailgating: Recommendation of Traveling Intervals between Consecutive Motor Vehicles for Rear-end Collision Avoidance. **Arabian Journal for Science and Engineering**, [s.l.], v. 37, n. 3, p.619-630, 21 fev. 2012. Springer Nature.

## APÊNDICE I – MATRIZ DE CRITÉRIOS AVALIATIVOS E DESCRITORES

<b>CrITÉrios Avaliativos</b>	<b>NÍvel Hierárquico</b>	<b>Descritores</b>	<b>Valores de Referência</b>
A1 - Número de Acidentes (Unid./Km x Ano)	N <sub>1</sub> <sup>1</sup>	Alto	Nº de Acidentes acima de 3 Unid./Km x Ano
	N <sub>2</sub> <sup>1</sup>	Baixo	Nº de Acidentes até 3 Unid./Km x Ano
A2 - Atividade de Pedestres e/ou Ciclistas	N <sub>1</sub> <sup>2</sup>	Sim	Existe atividade frequente ou eventual de pedestres e/ou ciclistas
	N <sub>2</sub> <sup>2</sup>	Não	Não existe atividade de pedestres e/ou ciclistas
A3 - Volume de Tráfego e Percentual de Veículos Pesados	N <sub>1</sub> <sup>3</sup>	Alto/Alto	VMDa acima de 3000 e Percentual de Veículos Pesados acima de 20%
	N <sub>2</sub> <sup>3</sup>	Alto/Baixo	VMDa acima de 3000 e Percentual de Veículos Pesados até 20%
	N <sub>3</sub> <sup>3</sup>	Baixo/Alto	VMDa até 3000 e Percentual de Veículos Pesados acima de 20%
	N <sub>4</sub> <sup>3</sup>	Baixo/Baixo	VMDa até 3000 e Percentual de Veículos Pesados até 20%
A4 - Características do Alinhamento Horizontal	N <sub>1</sub> <sup>4</sup>	Segmento Totalmente Curvilíneo	Segmento com duas ou mais curvas em sequência
	N <sub>2</sub> <sup>4</sup>	Segmento Parcialmente Curvilíneo	Segmento com algumas curvas isoladas
	N <sub>3</sub> <sup>4</sup>	Segmento em Tangente	Segmento isento de curvas horizontais
A5 - Elementos nas Margens da Via	N <sub>1</sub> <sup>5</sup>	Próximos e Desprotegidos	Em caso de saída de pista, existe o risco de choque grave
	N <sub>2</sub> <sup>5</sup>	Afastados e/ou Protegidos	Em caso de saída de pista, o veículo consegue retornar à pista sem maiores danos
A6 - Velocidade Praticada (V85)	N <sub>1</sub> <sup>6</sup>	Baixa	A velocidade praticada em condições de fluxo livre por 85% dos veículos é igual ou menor que a velocidade de projeto.
	N <sub>2</sub> <sup>6</sup>	Alta	A velocidade praticada em condições de fluxo livre por 85% dos veículos é maior que a velocidade de projeto.
A7 - Classificação Funcional	N <sub>1</sub> <sup>7</sup>	Coletor Primário	Atende o tráfego intermunicipal e centros geradores de tráfego menos expressivos
	N <sub>2</sub> <sup>7</sup>	Arterial Secundário	Proporciona viagens intraestaduais em áreas não servidas por sistema superior
	N <sub>3</sub> <sup>7</sup>	Arterial Primário	Proporciona viagens inter-regionais e interestaduais em áreas não servidas por sistema superior
	N <sub>4</sub> <sup>7</sup>	Arterial Principal	Proporciona viagens internacionais e inter-regionais
A8 - Uso do Solo nas Áreas Lindeiras	N <sub>1</sub> <sup>8</sup>	Ambiente Urbano	Área totalmente edificada, com elevada presença de polos geradores de tráfego
	N <sub>2</sub> <sup>8</sup>	Ambiente Misto	Área levemente edificada, com alguma presença de polos geradores de tráfego
	N <sub>3</sub> <sup>8</sup>	Ambiente Rural	Ambiente livre de edificações, sem nenhuma presença de polos geradores de tráfego

<b>Crêterios Avaliativos</b>	<b>Nível Hierárquico</b>	<b>Descritores</b>	<b>Referência</b>
A9 - Características da Se�o Transversal	N <sub>1</sub> <sup>9</sup>	Pista Simples com Plataforma Estreita	Possui faixa de rolamento menor que 3,30 metros e/ou acostamento menor que 1,50 metros
	N <sub>2</sub> <sup>9</sup>	Pista Simples com Plataforma Adequada	Possui faixa de rolamento maior ou igual a 3,30 metros e acostamento maior ou igual a 1,50 metros
	N <sub>3</sub> <sup>9</sup>	Pista Simples com Terceira Faixa em Aclive	Possui terceira faixa em segmento de aclive para facilitar as ultrapassagens
	N <sub>4</sub> <sup>9</sup>	Pista Dupla sem Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	Possui 4 (quatro) ou mais faixas, porém sem dispositivo físico central separador de fluxos opostos
	N <sub>5</sub> <sup>9</sup>	Pista Dupla com Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	Possui 4 (quatro) ou mais faixas, além de dispositivo físico central separador de fluxos opostos
A10 - Classifica�o Técnica	N <sub>1</sub> <sup>10</sup>	Classe III	Rodovias de pista simples de baixo padrão. Pode ser associado às rodovias coletoras primárias.
	N <sub>2</sub> <sup>10</sup>	Classe II	Rodovias de pista simples de médio padrão. Pode ser associado às rodovias arteriais secundárias e coletoras primárias.
	N <sub>3</sub> <sup>10</sup>	Classe I-B	Rodovias de pista simples de alto padrão. Pode ser associado às rodovias arteriais primárias e secundárias.
	N <sub>4</sub> <sup>10</sup>	Classe 0 ou I-A	Rodovias de pista dupla.

## APÊNDICE II – MATRIZ DESCRITIVA DOS SEGMENTOS VIÁRIOS PILOTOS

Segmento Viário	Critério Avaliativo	Descritor
1	Número de Acidentes	( x )                      Alto
		(   )                      Baixo
	Atividade de Pedestres e/ou Ciclistas	(   )                      Sim
		( x )                      Não
	Volume de Tráfego e Percentual de Veículos Pesados	( x )                      Alto/Alto
		(   )                      Alto/Baixo
		(   )                      Baixo/Alto
		(   )                      Baixo/Baixo
	Características do Alinhamento Horizontal	(   )                      Segmento Totalmente Curvilíneo
		( x )                      Segmento Parcialmente Curvilíneo
		(   )                      Segmento em Tangente
	Elementos nas Margens da Via	(   )                      Próximos e Desprotegidos
		( x )                      Afastados e/ou Protegidos
Velocidade Praticada (V85)	(   )                      Baixa	
	( x )                      Alta	
Classificação Funcional	(   )                      Coletor Primário	
	(   )                      Arterial Secundário	
	(   )                      Arterial Primário	
	( x )                      Arterial Principal	
Uso do Solo nas Áreas Lindeiras	(   )                      Ambiente Urbano	
	(   )                      Ambiente Misto	
	( x )                      Ambiente Rural	
Características da Seção Transversal	(   )                      Pista Simples com Plataforma Estreita	
	(   )                      Pista Simples com Plataforma Adequada	
	(   )                      Pista Simples com Terceira Faixa em Active	
	(   )                      Pista Dupla sem Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
	( x )                      Pista Dupla com Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
Classificação Técnica	(   )                      Classe III	
	(   )                      Classe II	
	(   )                      Classe I-B	
	( x )                      Classe 0 ou I-A	

<b>Segmento Viário</b>	<b>Critério Avaliativo</b>	<b>Descritor</b>
2	Número de Acidentes	( ) Alto
		( x ) Baixo
	Atividade de Pedestres e/ou Ciclistas	( ) Sim
		( x ) Não
	Volume de Tráfego e Percentual de Veículos Pesados	( ) Alto/Alto
		( x ) Alto/Baixo
		( ) Baixo/Alto
		( ) Baixo/Baixo
	Características do Alinhamento Horizontal	( x ) Segmento Totalmente Curvilíneo
		( ) Segmento Parcialmente Curvilíneo
		( ) Segmento em Tangente
	Elementos nas Margens da Via	( x ) Próximos e Desprotegidos
( ) Afastados e/ou Protegidos		
Velocidade Praticada (V85)	( x ) Baixa	
	( ) Alta	
Classificação Funcional	( ) Coletor Primário	
	( ) Arterial Secundário	
	( x ) Arterial Primário	
	( ) Arterial Principal	
Uso do Solo nas Áreas Lindeiras	( ) Ambiente Urbano	
	( ) Ambiente Misto	
	( x ) Ambiente Rural	
Características da Seção Transversal	( ) Pista Simples com Plataforma Estreita	
	( ) Pista Simples com Plataforma Adequada	
	( x ) Pista Simples com Terceira Faixa em Aclive	
	( ) Pista Dupla sem Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
	( ) Pista Dupla com Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
Classificação Técnica	( ) Classe III	
	( ) Classe II	
	( x ) Classe I-B	
	( ) Classe 0 ou I-A	

<b>Segmento Viário</b>	<b>Critério Avaliativo</b>	<b>Descritor</b>
3	Número de Acidentes	<input type="checkbox"/> Alto
		<input checked="" type="checkbox"/> Baixo
	Atividade de Pedestres e/ou Ciclistas	<input checked="" type="checkbox"/> Sim
		<input type="checkbox"/> Não
	Volume de Tráfego e Percentual de Veículos Pesados	<input checked="" type="checkbox"/> Alto/Alto
		<input type="checkbox"/> Alto/Baixo
		<input type="checkbox"/> Baixo/Alto
		<input type="checkbox"/> Baixo/Baixo
	Características do Alinhamento Horizontal	<input type="checkbox"/> Segmento Totalmente Curvilíneo
		<input checked="" type="checkbox"/> Segmento Parcialmente Curvilíneo
		<input type="checkbox"/> Segmento em Tangente
Elementos nas Margens da Via	<input checked="" type="checkbox"/> Próximos e Desprotegidos	
	<input type="checkbox"/> Afastados e/ou Protegidos	
Velocidade Praticada (V85)	<input checked="" type="checkbox"/> Baixa	
	<input type="checkbox"/> Alta	
Classificação Funcional	<input type="checkbox"/> Coletor Primário	
	<input type="checkbox"/> Arterial Secundário	
	<input type="checkbox"/> Arterial Primário	
	<input checked="" type="checkbox"/> Arterial Principal	
Uso do Solo nas Áreas Lindeiras	<input checked="" type="checkbox"/> Ambiente Urbano	
	<input type="checkbox"/> Ambiente Misto	
	<input type="checkbox"/> Ambiente Rural	
Características da Seção Transversal	<input type="checkbox"/> Pista Simples com Plataforma Estreita	
	<input type="checkbox"/> Pista Simples com Plataforma Adequada	
	<input type="checkbox"/> Pista Simples com Terceira Faixa em Aclive	
	<input type="checkbox"/> Pista Dupla sem Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
	<input checked="" type="checkbox"/> Pista Dupla com Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
Classificação Técnica	<input type="checkbox"/> Classe III	
	<input type="checkbox"/> Classe II	
	<input type="checkbox"/> Classe I-B	
	<input checked="" type="checkbox"/> Classe 0 ou I-A	

<b>Segmento Viário</b>	<b>Critério Avaliativo</b>	<b>Descritor</b>
4	Número de Acidentes	( ) Alto
		( x ) Baixo
	Atividade de Pedestres e/ou Ciclistas	( ) Sim
		( x ) Não
	Volume de Tráfego e Percentual de Veículos Pesados	( x ) Alto/Alto
		( ) Alto/Baixo
		( ) Baixo/Alto
		( ) Baixo/Baixo
	Características do Alinhamento Horizontal	( ) Segmento Totalmente Curvilíneo
		( ) Segmento Parcialmente Curvilíneo
		( x ) Segmento em Tangente
	Elementos nas Margens da Via	( ) Próximos e Desprotegidos
( x ) Afastados e/ou Protegidos		
Velocidade Praticada (V85)	( ) Baixa	
	( x ) Alta	
Classificação Funcional	( ) Coletor Primário	
	( ) Arterial Secundário	
	( ) Arterial Primário	
	( x ) Arterial Principal	
Uso do Solo nas Áreas Lindeiras	( ) Ambiente Urbano	
	( ) Ambiente Misto	
	( x ) Ambiente Rural	
Características da Seção Transversal	( ) Pista Simples com Plataforma Estreita	
	( ) Pista Simples com Plataforma Adequada	
	( ) Pista Simples com Terceira Faixa em Aclive	
	( ) Pista Dupla sem Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
	( x ) Pista Dupla com Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
Classificação Técnica	( ) Classe III	
	( ) Classe II	
	( ) Classe I-B	
	( x ) Classe 0 ou I-A	

<b>Segmento Viário</b>	<b>Critério Avaliativo</b>	<b>Descritor</b>
5	Número de Acidentes	( ) Alto
		( x ) Baixo
	Atividade de Pedestres e/ou Ciclistas	( ) Sim
		( x ) Não
	Volume de Tráfego e Percentual de Veículos Pesados	( ) Alto/Alto
		( ) Alto/Baixo
		( x ) Baixo/Alto
		( ) Baixo/Baixo
	Características do Alinhamento Horizontal	( ) Segmento Totalmente Curvilíneo
		( ) Segmento Parcialmente Curvilíneo
		( x ) Segmento em Tangente
	Elementos nas Margens da Via	( x ) Próximos e Desprotegidos
		( ) Afastados e/ou Protegidos
Velocidade Praticada (V85)	( ) Baixa	
	( x ) Alta	
Classificação Funcional	( x ) Coletor Primário	
	( ) Arterial Secundário	
	( ) Arterial Primário	
	( ) Arterial Principal	
Uso do Solo nas Áreas Lindeiras	( ) Ambiente Urbano	
	( ) Ambiente Misto	
	( x ) Ambiente Rural	
Características da Seção Transversal	( x ) Pista Simples com Plataforma Estreita	
	( ) Pista Simples com Plataforma Adequada	
	( ) Pista Simples com Terceira Faixa em Aclive	
	( ) Pista Dupla sem Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
	( ) Pista Dupla com Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
Classificação Técnica	( x ) Classe III	
	( ) Classe II	
	( ) Classe I-B	
	( ) Classe 0 ou I-A	



<b>Segmento Viário</b>	<b>Critério Avaliativo</b>	<b>Descritor</b>
6	Número de Acidentes	( ) Alto
		( x ) Baixo
	Atividade de Pedestres e/ou Ciclistas	( ) Sim
		( x ) Não
	Volume de Tráfego e Percentual de Veículos Pesados	( x ) Alto/Alto
		( ) Alto/Baixo
		( ) Baixo/Alto
		( ) Baixo/Baixo
	Características do Alinhamento Horizontal	( ) Segmento Totalmente Curvilíneo
		( x ) Segmento Parcialmente Curvilíneo
		( ) Segmento em Tangente
	Elementos nas Margens da Via	( x ) Próximos e Desprotegidos
		( ) Afastados e/ou Protegidos
Velocidade Praticada (V85)	( ) Baixa	
	( x ) Alta	
Classificação Funcional	( x ) Coletor Primário	
	( ) Arterial Secundário	
	( ) Arterial Primário	
	( ) Arterial Principal	
Uso do Solo nas Áreas Lindeiras	( ) Ambiente Urbano	
	( ) Ambiente Misto	
	( x ) Ambiente Rural	
Características da Seção Transversal	( ) Pista Simples com Plataforma Estreita	
	( x ) Pista Simples com Plataforma Adequada	
	( ) Pista Simples com Terceira Faixa em Aclive	
	( ) Pista Dupla sem Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
	( ) Pista Dupla com Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
Classificação Técnica	( ) Classe III	
	( x ) Classe II	
	( ) Classe I-B	
	( ) Classe 0 ou I-A	

<b>Segmento Viário</b>	<b>Critério Avaliativo</b>	<b>Descritor</b>
7	Número de Acidentes	( ) Alto
		( x ) Baixo
	Atividade de Pedestres e/ou Ciclistas	( ) Sim
		( x ) Não
	Volume de Tráfego e Percentual de Veículos Pesados	( ) Alto/Alto
		( ) Alto/Baixo
		( x ) Baixo/Alto
		( ) Baixo/Baixo
	Características do Alinhamento Horizontal	( x ) Segmento Totalmente Curvilíneo
		( ) Segmento Parcialmente Curvilíneo
		( ) Segmento em Tangente
	Elementos nas Margens da Via	( x ) Próximos e Desprotegidos
( ) Afastados e/ou Protegidos		
Velocidade Praticada (V85)	( ) Baixa	
	( x ) Alta	
Classificação Funcional	( x ) Coletor Primário	
	( ) Arterial Secundário	
	( ) Arterial Primário	
	( ) Arterial Principal	
Uso do Solo nas Áreas Lindeiras	( ) Ambiente Urbano	
	( ) Ambiente Misto	
	( x ) Ambiente Rural	
Características da Seção Transversal	( x ) Pista Simples com Plataforma Estreita	
	( ) Pista Simples com Plataforma Adequada	
	( ) Pista Simples com Terceira Faixa em Aclive	
	( ) Pista Dupla sem Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
	( ) Pista Dupla com Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
Classificação Técnica	( x ) Classe III	
	( ) Classe II	
	( ) Classe I-B	
	( ) Classe 0 ou I-A	

<b>Segmento Viário</b>	<b>Critério Avaliativo</b>	<b>Descritor</b>
8	Número de Acidentes	( x ) Alto
		( ) Baixo
	Atividade de Pedestres e/ou Ciclistas	( ) Sim
		( x ) Não
	Volume de Tráfego e Percentual de Veículos Pesados	( x ) Alto/Alto
		( ) Alto/Baixo
		( ) Baixo/Alto
		( ) Baixo/Baixo
	Características do Alinhamento Horizontal	( x ) Segmento Totalmente Curvilíneo
		( ) Segmento Parcialmente Curvilíneo
		( ) Segmento em Tangente
	Elementos nas Margens da Via	( x ) Próximos e Desprotegidos
( ) Afastados e/ou Protegidos		
Velocidade Praticada (V85)	( x ) Baixa	
	( ) Alta	
Classificação Funcional	( ) Coletor Primário	
	( ) Arterial Secundário	
	( x ) Arterial Primário	
	( ) Arterial Principal	
Uso do Solo nas Áreas Lindeiras	( ) Ambiente Urbano	
	( x ) Ambiente Misto	
	( ) Ambiente Rural	
Características da Seção Transversal	( ) Pista Simples com Plataforma Estreita	
	( ) Pista Simples com Plataforma Adequada	
	( x ) Pista Simples com Terceira Faixa em Aclive	
	( ) Pista Dupla sem Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
	( ) Pista Dupla com Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
Classificação Técnica	( ) Classe III	
	( ) Classe II	
	( x ) Classe I-B	
	( ) Classe 0 ou I-A	

<b>Segmento Viário</b>	<b>Critério Avaliativo</b>	<b>Descritor</b>
9	Número de Acidentes	( ) Alto
		( x ) Baixo
	Atividade de Pedestres e/ou Ciclistas	( x ) Sim
		( ) Não
	Volume de Tráfego e Percentual de Veículos Pesados	( x ) Alto/Alto
		( ) Alto/Baixo
		( ) Baixo/Alto
		( ) Baixo/Baixo
	Características do Alinhamento Horizontal	( ) Segmento Totalmente Curvilíneo
		( ) Segmento Parcialmente Curvilíneo
		( x ) Segmento em Tangente
	Elementos nas Margens da Via	( x ) Próximos e Desprotegidos
( ) Afastados e/ou Protegidos		
Velocidade Praticada (V85)	( x ) Baixa	
	( ) Alta	
Classificação Funcional	( ) Coletor Primário	
	( x ) Arterial Secundário	
	( ) Arterial Primário	
	( ) Arterial Principal	
Uso do Solo nas Áreas Lindeiras	( ) Ambiente Urbano	
	( x ) Ambiente Misto	
	( ) Ambiente Rural	
Características da Seção Transversal	( ) Pista Simples com Plataforma Estreita	
	( x ) Pista Simples com Plataforma Adequada	
	( ) Pista Simples com Terceira Faixa em Aclive	
	( ) Pista Dupla sem Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
	( ) Pista Dupla com Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
Classificação Técnica	( ) Classe III	
	( x ) Classe II	
	( ) Classe I-B	
	( ) Classe 0 ou I-A	

<b>Segmento Viário</b>	<b>Critério Avaliativo</b>	<b>Descritor</b>
10	Número de Acidentes	( ) Alto
		( x ) Baixo
	Atividade de Pedestres e/ou Ciclistas	( x ) Sim
		( ) Não
	Volume de Tráfego e Percentual de Veículos Pesados	( ) Alto/Alto
		( ) Alto/Baixo
		( x ) Baixo/Alto
		( ) Baixo/Baixo
	Características do Alinhamento Horizontal	( ) Segmento Totalmente Curvilíneo
		( x ) Segmento Parcialmente Curvilíneo
		( ) Segmento em Tangente
Elementos nas Margens da Via	( ) Próximos e Desprotegidos	
	( x ) Afastados e/ou Protegidos	
Velocidade Praticada (V85)	( ) Baixa	
	( x ) Alta	
Classificação Funcional	( ) Coletor Primário	
	( x ) Arterial Secundário	
	( ) Arterial Primário	
	( ) Arterial Principal	
Uso do Solo nas Áreas Lindeiras	( ) Ambiente Urbano	
	( x ) Ambiente Misto	
	( ) Ambiente Rural	
Características da Seção Transversal	( ) Pista Simples com Plataforma Estreita	
	( x ) Pista Simples com Plataforma Adequada	
	( ) Pista Simples com Terceira Faixa em Aclive	
	( ) Pista Dupla sem Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
	( ) Pista Dupla com Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
Classificação Técnica	( ) Classe III	
	( ) Classe II	
	( x ) Classe I-B	
	( ) Classe 0 ou I-A	

<b>Segmento Viário</b>	<b>Critério Avaliativo</b>	<b>Descritor</b>
11	Número de Acidentes	( ) Alto
		( x ) Baixo
	Atividade de Pedestres e/ou Ciclistas	( ) Sim
		( x ) Não
	Volume de Tráfego e Percentual de Veículos Pesados	( ) Alto/Alto
		( x ) Alto/Baixo
		( ) Baixo/Alto
		( ) Baixo/Baixo
	Características do Alinhamento Horizontal	( ) Segmento Totalmente Curvilíneo
		( ) Segmento Parcialmente Curvilíneo
		( x ) Segmento em Tangente
Elementos nas Margens da Via	( ) Próximos e Desprotegidos	
	( x ) Afastados e/ou Protegidos	
Velocidade Praticada (V85)	( ) Baixa	
	( x ) Alta	
Classificação Funcional	( ) Coletor Primário	
	( ) Arterial Secundário	
	( x ) Arterial Primário	
	( ) Arterial Principal	
Uso do Solo nas Áreas Lindeiras	( ) Ambiente Urbano	
	( ) Ambiente Misto	
	( x ) Ambiente Rural	
Características da Seção Transversal	( ) Pista Simples com Plataforma Estreita	
	( x ) Pista Simples com Plataforma Adequada	
	( ) Pista Simples com Terceira Faixa em Aclive	
	( ) Pista Dupla sem Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
	( ) Pista Dupla com Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
Classificação Técnica	( ) Classe III	
	( ) Classe II	
	( x ) Classe I-B	
	( ) Classe 0 ou I-A	

<b>Segmento Viário</b>	<b>Critério Avaliativo</b>	<b>Descritor</b>
12	Número de Acidentes	( ) Alto
		( x ) Baixo
	Atividade de Pedestres e/ou Ciclistas	( x ) Sim
		( ) Não
	Volume de Tráfego e Percentual de Veículos Pesados	( ) Alto/Alto
		( x ) Alto/Baixo
		( ) Baixo/Alto
		( ) Baixo/Baixo
	Características do Alinhamento Horizontal	( ) Segmento Totalmente Curvilíneo
		( ) Segmento Parcialmente Curvilíneo
		( x ) Segmento em Tangente
	Elementos nas Margens da Via	( x ) Próximos e Desprotegidos
( ) Afastados e/ou Protegidos		
Velocidade Praticada (V85)	( x ) Baixa	
	( ) Alta	
Classificação Funcional	( ) Coletor Primário	
	( x ) Arterial Secundário	
	( ) Arterial Primário	
	( ) Arterial Principal	
Uso do Solo nas Áreas Lindeiras	( x ) Ambiente Urbano	
	( ) Ambiente Misto	
	( ) Ambiente Rural	
Características da Seção Transversal	( ) Pista Simples com Plataforma Estreita	
	( x ) Pista Simples com Plataforma Adequada	
	( ) Pista Simples com Terceira Faixa em Aclive	
	( ) Pista Dupla sem Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
	( ) Pista Dupla com Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
Classificação Técnica	( ) Classe III	
	( x ) Classe II	
	( ) Classe I-B	
	( ) Classe 0 ou I-A	

<b>Segmento Viário</b>	<b>Critério Avaliativo</b>	<b>Descritor</b>
13	Número de Acidentes	( ) Alto
		( x ) Baixo
	Atividade de Pedestres e/ou Ciclistas	( ) Sim
		( x ) Não
	Volume de Tráfego e Percentual de Veículos Pesados	( ) Alto/Alto
		( x ) Alto/Baixo
		( ) Baixo/Alto
		( ) Baixo/Baixo
	Características do Alinhamento Horizontal	( ) Segmento Totalmente Curvilíneo
		( ) Segmento Parcialmente Curvilíneo
		( x ) Segmento em Tangente
	Elementos nas Margens da Via	( x ) Próximos e Desprotegidos
		( ) Afastados e/ou Protegidos
Velocidade Praticada (V85)	( ) Baixa	
	( x ) Alta	
Classificação Funcional	( ) Coletor Primário	
	( x ) Arterial Secundário	
	( ) Arterial Primário	
	( ) Arterial Principal	
Uso do Solo nas Áreas Lindeiras	( ) Ambiente Urbano	
	( x ) Ambiente Misto	
	( ) Ambiente Rural	
Características da Seção Transversal	( ) Pista Simples com Plataforma Estreita	
	( x ) Pista Simples com Plataforma Adequada	
	( ) Pista Simples com Terceira Faixa em Aclive	
	( ) Pista Dupla sem Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
	( ) Pista Dupla com Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
Classificação Técnica	( ) Classe III	
	( x ) Classe II	
	( ) Classe I-B	
	( ) Classe 0 ou I-A	



<b>Segmento Viário</b>	<b>Critério Avaliativo</b>	<b>Descritor</b>
14	Número de Acidentes	<input checked="" type="checkbox"/> Alto
		<input type="checkbox"/> Baixo
	Atividade de Pedestres e/ou Ciclistas	<input checked="" type="checkbox"/> Sim
		<input type="checkbox"/> Não
	Volume de Tráfego e Percentual de Veículos Pesados	<input checked="" type="checkbox"/> Alto/Alto
		<input type="checkbox"/> Alto/Baixo
		<input type="checkbox"/> Baixo/Alto
		<input type="checkbox"/> Baixo/Baixo
	Características do Alinhamento Horizontal	<input type="checkbox"/> Segmento Totalmente Curvilíneo
		<input type="checkbox"/> Segmento Parcialmente Curvilíneo
<input checked="" type="checkbox"/> Segmento em Tangente		
Elementos nas Margens da Via	<input checked="" type="checkbox"/> Próximos e Desprotegidos	
	<input type="checkbox"/> Afastados e/ou Protegidos	
Velocidade Praticada (V85)	<input checked="" type="checkbox"/> Baixa	
	<input type="checkbox"/> Alta	
Classificação Funcional	<input type="checkbox"/> Coletor Primário	
	<input type="checkbox"/> Arterial Secundário	
	<input type="checkbox"/> Arterial Primário	
	<input checked="" type="checkbox"/> Arterial Principal	
Uso do Solo nas Áreas Lindeiras	<input checked="" type="checkbox"/> Ambiente Urbano	
	<input type="checkbox"/> Ambiente Misto	
	<input type="checkbox"/> Ambiente Rural	
Características da Seção Transversal	<input type="checkbox"/> Pista Simples com Plataforma Estreita	
	<input type="checkbox"/> Pista Simples com Plataforma Adequada	
	<input type="checkbox"/> Pista Simples com Terceira Faixa em Aclive	
	<input checked="" type="checkbox"/> Pista Dupla sem Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
	<input type="checkbox"/> Pista Dupla com Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
Classificação Técnica	<input type="checkbox"/> Classe III	
	<input type="checkbox"/> Classe II	
	<input type="checkbox"/> Classe I-B	
	<input checked="" type="checkbox"/> Classe 0 ou I-A	

<b>Segmento Viário</b>	<b>Critério Avaliativo</b>	<b>Descritor</b>
15	Número de Acidentes	<input checked="" type="checkbox"/> Alto
		<input type="checkbox"/> Baixo
	Atividade de Pedestres e/ou Ciclistas	<input checked="" type="checkbox"/> Sim
		<input type="checkbox"/> Não
	Volume de Tráfego e Percentual de Veículos Pesados	<input type="checkbox"/> Alto/Alto
		<input checked="" type="checkbox"/> Alto/Baixo
		<input type="checkbox"/> Baixo/Alto
		<input type="checkbox"/> Baixo/Baixo
	Características do Alinhamento Horizontal	<input type="checkbox"/> Segmento Totalmente Curvilíneo
		<input checked="" type="checkbox"/> Segmento Parcialmente Curvilíneo
<input type="checkbox"/> Segmento em Tangente		
Elementos nas Margens da Via	<input type="checkbox"/> Próximos e Desprotegidos	
	<input checked="" type="checkbox"/> Afastados e/ou Protegidos	
Velocidade Praticada (V85)	<input checked="" type="checkbox"/> Baixa	
	<input type="checkbox"/> Alta	
Classificação Funcional	<input type="checkbox"/> Coletor Primário	
	<input type="checkbox"/> Arterial Secundário	
	<input type="checkbox"/> Arterial Primário	
	<input checked="" type="checkbox"/> Arterial Principal	
Uso do Solo nas Áreas Lindeiras	<input checked="" type="checkbox"/> Ambiente Urbano	
	<input type="checkbox"/> Ambiente Misto	
	<input type="checkbox"/> Ambiente Rural	
Características da Seção Transversal	<input type="checkbox"/> Pista Simples com Plataforma Estreita	
	<input type="checkbox"/> Pista Simples com Plataforma Adequada	
	<input type="checkbox"/> Pista Simples com Terceira Faixa em Aclive	
	<input type="checkbox"/> Pista Dupla sem Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
	<input checked="" type="checkbox"/> Pista Dupla com Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
Classificação Técnica	<input type="checkbox"/> Classe III	
	<input type="checkbox"/> Classe II	
	<input type="checkbox"/> Classe I-B	
	<input checked="" type="checkbox"/> Classe 0 ou I-A	

<b>Segmento Viário</b>	<b>Critério Avaliativo</b>	<b>Descritor</b>
16	Número de Acidentes	( ) Alto
		( x ) Baixo
	Atividade de Pedestres e/ou Ciclistas	( ) Sim
		( x ) Não
	Volume de Tráfego e Percentual de Veículos Pesados	( ) Alto/Alto
		( ) Alto/Baixo
		( ) Baixo/Alto
		( x ) Baixo/Baixo
	Características do Alinhamento Horizontal	( ) Segmento Totalmente Curvilíneo
		( x ) Segmento Parcialmente Curvilíneo
		( ) Segmento em Tangente
Elementos nas Margens da Via	( ) Próximos e Desprotegidos	
	( x ) Afastados e/ou Protegidos	
Velocidade Praticada (V85)	( ) Baixa	
	( x ) Alta	
Classificação Funcional	( ) Coletor Primário	
	( x ) Arterial Secundário	
	( ) Arterial Primário	
	( ) Arterial Principal	
Uso do Solo nas Áreas Lindeiras	( ) Ambiente Urbano	
	( x ) Ambiente Misto	
	( ) Ambiente Rural	
Características da Seção Transversal	( ) Pista Simples com Plataforma Estreita	
	( x ) Pista Simples com Plataforma Adequada	
	( ) Pista Simples com Terceira Faixa em Aclive	
	( ) Pista Dupla sem Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
	( ) Pista Dupla com Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
Classificação Técnica	( ) Classe III	
	( ) Classe II	
	( x ) Classe I-B	
	( ) Classe 0 ou I-A	

<b>Segmento Viário</b>	<b>Critério Avaliativo</b>	<b>Descritor</b>
17	Número de Acidentes	<input checked="" type="checkbox"/> Alto
		<input type="checkbox"/> Baixo
	Atividade de Pedestres e/ou Ciclistas	<input type="checkbox"/> Sim
		<input checked="" type="checkbox"/> Não
	Volume de Tráfego e Percentual de Veículos Pesados	<input type="checkbox"/> Alto/Alto
		<input checked="" type="checkbox"/> Alto/Baixo
		<input type="checkbox"/> Baixo/Alto
		<input type="checkbox"/> Baixo/Baixo
	Características do Alinhamento Horizontal	<input type="checkbox"/> Segmento Totalmente Curvilíneo
		<input type="checkbox"/> Segmento Parcialmente Curvilíneo
		<input checked="" type="checkbox"/> Segmento em Tangente
Elementos nas Margens da Via	<input type="checkbox"/> Próximos e Desprotegidos	
	<input checked="" type="checkbox"/> Afastados e/ou Protegidos	
Velocidade Praticada (V85)	<input type="checkbox"/> Baixa	
	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	
Classificação Funcional	<input type="checkbox"/> Coletor Primário	
	<input type="checkbox"/> Arterial Secundário	
	<input type="checkbox"/> Arterial Primário	
	<input checked="" type="checkbox"/> Arterial Principal	
Uso do Solo nas Áreas Lindeiras	<input type="checkbox"/> Ambiente Urbano	
	<input type="checkbox"/> Ambiente Misto	
	<input checked="" type="checkbox"/> Ambiente Rural	
Características da Seção Transversal	<input type="checkbox"/> Pista Simples com Plataforma Estreita	
	<input type="checkbox"/> Pista Simples com Plataforma Adequada	
	<input type="checkbox"/> Pista Simples com Terceira Faixa em Aclive	
	<input checked="" type="checkbox"/> Pista Dupla sem Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
	<input type="checkbox"/> Pista Dupla com Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
Classificação Técnica	<input type="checkbox"/> Classe III	
	<input type="checkbox"/> Classe II	
	<input type="checkbox"/> Classe I-B	
	<input checked="" type="checkbox"/> Classe 0 ou I-A	

<b>Segmento Viário</b>	<b>Critério Avaliativo</b>	<b>Descritor</b>
18	Número de Acidentes	( ) Alto
		( x ) Baixo
	Atividade de Pedestres e/ou Ciclistas	( x ) Sim
		( ) Não
	Volume de Tráfego e Percentual de Veículos Pesados	( x ) Alto/Alto
		( ) Alto/Baixo
		( ) Baixo/Alto
		( ) Baixo/Baixo
	Características do Alinhamento Horizontal	( x ) Segmento Totalmente Curvilíneo
		( ) Segmento Parcialmente Curvilíneo
		( ) Segmento em Tangente
	Elementos nas Margens da Via	( x ) Próximos e Desprotegidos
( ) Afastados e/ou Protegidos		
Velocidade Praticada (V85)	( x ) Baixa	
	( ) Alta	
Classificação Funcional	( ) Coletor Primário	
	( ) Arterial Secundário	
	( x ) Arterial Primário	
	( ) Arterial Principal	
Uso do Solo nas Áreas Lindeiras	( ) Ambiente Urbano	
	( x ) Ambiente Misto	
	( ) Ambiente Rural	
Características da Seção Transversal	( ) Pista Simples com Plataforma Estreita	
	( x ) Pista Simples com Plataforma Adequada	
	( ) Pista Simples com Terceira Faixa em Aclive	
	( ) Pista Dupla sem Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
	( ) Pista Dupla com Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
Classificação Técnica	( ) Classe III	
	( ) Classe II	
	( x ) Classe I-B	
	( ) Classe 0 ou I-A	

<b>Segmento Viário</b>	<b>Critério Avaliativo</b>	<b>Descritor</b>
19	Número de Acidentes	( x ) Alto
		( ) Baixo
	Atividade de Pedestres e/ou Ciclistas	( x ) Sim
		( ) Não
	Volume de Tráfego e Percentual de Veículos Pesados	( ) Alto/Alto
		( ) Alto/Baixo
		( ) Baixo/Alto
		( x ) Baixo/Baixo
	Características do Alinhamento Horizontal	( x ) Segmento Totalmente Curvilíneo
		( ) Segmento Parcialmente Curvilíneo
		( ) Segmento em Tangente
	Elementos nas Margens da Via	( x ) Próximos e Desprotegidos
( ) Afastados e/ou Protegidos		
Velocidade Praticada (V85)	( ) Baixa	
	( x ) Alta	
Classificação Funcional	( ) Coletor Primário	
	( x ) Arterial Secundário	
	( ) Arterial Primário	
	( ) Arterial Principal	
Uso do Solo nas Áreas Lindeiras	( ) Ambiente Urbano	
	( x ) Ambiente Misto	
	( ) Ambiente Rural	
Características da Seção Transversal	( ) Pista Simples com Plataforma Estreita	
	( ) Pista Simples com Plataforma Adequada	
	( x ) Pista Simples com Terceira Faixa em Aclive	
	( ) Pista Dupla sem Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
	( ) Pista Dupla com Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
Classificação Técnica	( ) Classe III	
	( ) Classe II	
	( x ) Classe I-B	
	( ) Classe 0 ou I-A	

<b>Segmento Viário</b>	<b>Critério Avaliativo</b>	<b>Descritor</b>
20	Número de Acidentes	( x ) Alto
		( ) Baixo
	Atividade de Pedestres e/ou Ciclistas	( ) Sim
		( x ) Não
	Volume de Tráfego e Percentual de Veículos Pesados	( ) Alto/Alto
		( ) Alto/Baixo
		( x ) Baixo/Alto
		( ) Baixo/Baixo
	Características do Alinhamento Horizontal	( x ) Segmento Totalmente Curvilíneo
		( ) Segmento Parcialmente Curvilíneo
		( ) Segmento em Tangente
	Elementos nas Margens da Via	( x ) Próximos e Desprotegidos
( ) Afastados e/ou Protegidos		
Velocidade Praticada (V85)	( x ) Baixa	
	( ) Alta	
Classificação Funcional	( x ) Coletor Primário	
	( ) Arterial Secundário	
	( ) Arterial Primário	
	( ) Arterial Principal	
Uso do Solo nas Áreas Lindeiras	( ) Ambiente Urbano	
	( ) Ambiente Misto	
	( x ) Ambiente Rural	
Características da Seção Transversal	( x ) Pista Simples com Plataforma Estreita	
	( ) Pista Simples com Plataforma Adequada	
	( ) Pista Simples com Terceira Faixa em Aclive	
	( ) Pista Dupla sem Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
	( ) Pista Dupla com Canteiro Central ou Separador de Fluxos Opostos	
Classificação Técnica	( x ) Classe III	
	( ) Classe II	
	( ) Classe I-B	
	( ) Classe 0 ou I-A	

## **APÊNDICE III – GUIA PRÁTICO**





## GUIA PRÁTICO

### 1. INTRODUÇÃO

Este guia prático tem como objetivo auxiliar o especialista durante sua participação na pesquisa decorrente de minha dissertação de mestrado, a qual visa o desenvolvimento conceitual de um sistema especialista que possa contribuir com a definição objetiva da velocidade limite em rodovias brasileiras.

### 2. METODOLOGIA

O especialista deverá analisar, com base em seu conhecimento e experiência adquiridos, 20 segmentos de rodovias brasileiras, e, em seguida, recomendar um limite de velocidade a cada um deles. Este limite de velocidade deverá ser único, múltiplo de 10, e estar contido no intervalo de 30 a 120 km/h.

Para realização desta análise, o especialista deverá observar 10 critérios avaliativos atrelados aos segmentos viários e seus respectivos descritores, os quais são apresentados em escala hierárquica de valores, em que o primeiro nível representa, qualitativamente, a situação mais crítica, e os limites de velocidade tendem a ser inferiores perante os níveis restantes, conforme disposto no **Apêndice I** deste guia prático (Apêndice I da Dissertação).

De forma auxiliar, para tomada de decisão, estarão disponíveis vídeos gravados a partir de uma câmera colocada na parte frontal de um veículo, que trafega entre 50 e 60 km/h. Estes vídeos têm duração de 15 a 20 segundos, e possibilitam a visualização, em ângulo obtuso, de 200 a 350 metros de cada segmento viário.

Nesta etapa, sugere-se repetir a visualização dos vídeos quantas vezes forem necessárias para melhor identificar possíveis características que contribuam com a definição da velocidade limite nos segmentos viários analisados.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados obtidos por meio desta pesquisa serão lapidados e posteriormente compilados em uma ampla base de conhecimento, a qual servirá de referência para o desenvolvimento conceitual do sistema especialista desejado.

## **APÊNDICE IV – QUESTIONÁRIO 1**

## QUESTIONÁRIO 1

### OBJETIVO:

IDENTIFICAR A VELOCIDADE LIMITE (Vlim) RECOMENDADA POR ESPECIALISTAS PARA OS SEGMENTOS VIÁRIOS PILOTOS.

### I – DADOS DO ESPECIALISTA

NOME:

ÓRGÃO:

CARGO/FUNÇÃO:

GRAU DE INSTRUÇÃO:

GRADUAÇÃO     ESPECIALIZAÇÃO     MESTRADO     DOUTORADO     PhD

TEMPO DE ATUAÇÃO NA ÁREA RODOVIÁRIA:

< 02 ANOS     ENTRE 02 e 05 ANOS     ENTRE 06 E 10 ANOS     > 10 ANOS

### II – VELOCIDADE LIMITE (Vlim)

1) Avalie os segmentos viários abaixo por meio de seus descritores e indique qual limite de velocidade você recomendaria para cada um deles.

Segmento Viário	Localização	Descritores (Link)	Vlim (km/h)
01	BR-060_Brasília/DF	<a href="#">Aperte Ctrl e Clique Aqui!</a>	Escolher um item.
02	BR-262_Viana/ES	<a href="#">Aperte Ctrl e Clique Aqui!</a>	Escolher um item.
03	BR-060_Guapó/GO	<a href="#">Aperte Ctrl e Clique Aqui!</a>	Escolher um item.
04	BR-060_Jataí/GO	<a href="#">Aperte Ctrl e Clique Aqui!</a>	Escolher um item.
05	BR-080_Padre Bernardo/GO	<a href="#">Aperte Ctrl e Clique Aqui!</a>	Escolher um item.
06	BR-267_Caxambu/MG	<a href="#">Aperte Ctrl e Clique Aqui!</a>	Escolher um item.
07	BR-354_Pouso Alto/MG	<a href="#">Aperte Ctrl e Clique Aqui!</a>	Escolher um item.
08	BR-381_Sabará/MG	<a href="#">Aperte Ctrl e Clique Aqui!</a>	Escolher um item.
09	BR-070_Campo Verde/MT	<a href="#">Aperte Ctrl e Clique Aqui!</a>	Escolher um item.
10	BR-163_Belterra/PA	<a href="#">Aperte Ctrl e Clique Aqui!</a>	Escolher um item.
11	BR-230_Cajazeiras/PB	<a href="#">Aperte Ctrl e Clique Aqui!</a>	Escolher um item.
12	BR-407_Picos/PI	<a href="#">Aperte Ctrl e Clique Aqui!</a>	Escolher um item.
13	BR-356_Itaperuna/RJ	<a href="#">Aperte Ctrl e Clique Aqui!</a>	Escolher um item.
14	BR-364_Vilhena/RO	<a href="#">Aperte Ctrl e Clique Aqui!</a>	Escolher um item.
15	BR-116_São Leopoldo/RS	<a href="#">Aperte Ctrl e Clique Aqui!</a>	Escolher um item.
16	BR-287_Santiago/RS	<a href="#">Aperte Ctrl e Clique Aqui!</a>	Escolher um item.
17	BR-386_Nova Santa Rita/RS	<a href="#">Aperte Ctrl e Clique Aqui!</a>	Escolher um item.
18	BR-153_Concórdia/SC	<a href="#">Aperte Ctrl e Clique Aqui!</a>	Escolher um item.
19	BR-282_Vargem/SC	<a href="#">Aperte Ctrl e Clique Aqui!</a>	Escolher um item.
20	BR-459_Piquete/SP	<a href="#">Aperte Ctrl e Clique Aqui!</a>	Escolher um item.

**APÊNDICE V – MATRIZ DE REGRAS DE APOIO À DECISÃO**

Classe Ordenada	Nº da Regra	Recomendação		Segmentos Viários de Referência
		Se...	Então...	
$Cl_1^{\leq}$	1	$A4 \leq N_1^4$ e $A9 \leq N_2^9$	Vlim $\leq$ 60 Km/h	7, 18 e 20
	2	$A4 \leq N_1^4$ e $A7 \leq N_1^7$		7 e 20
	3	$A4 \leq N_1^4$ e $A10 \leq N_1^{10}$		7 e 20
	4	$A8 \leq N_1^8$ e $A9 \leq N_4^9$		12 e 14
$Cl_2^{\leq}$	5	$A4 \leq N_1^4$	Vlim $\leq$ 70 Km/h	2, 7, 8, 18, 19 e 20
	6	$A2 \leq N_1^2$ e $A9 \leq N_4^9$		9, 10, 12, 14, 18 e 19
	7	$A6 \leq N_1^6$ e $A9 \leq N_4^9$		8, 9, 12, 14, 18 e 20
	8	$A2 \leq N_1^2$ e $A7 \leq N_3^7$		9, 10, 12, 18 e 19
	9	$A2 \leq N_1^2$ e $A10 \leq N_3^{10}$		9, 10, 12, 18 e 19
	10	$A6 \leq N_1^6$ e $A7 \leq N_3^7$		8, 9, 12, 18 e 20
	11	$A6 \leq N_1^6$ e $A10 \leq N_3^{10}$		8, 9, 12, 18 e 20
	12	$A1 \leq N_1^1$ e $A5 \leq N_1^5$		8, 14, 19 e 20
	13	$A1 \leq N_1^1$ e $A6 \leq N_1^6$		8, 14, 15 e 20
	14	$A1 \leq N_1^1$ e $A8 \leq N_2^8$		8, 14, 15 e 19
	15	$A3 \leq N_1^3$ , $A8 \leq N_2^8$ e $A9 \leq N_4^9$		8, 9, 14 e 18
	16	$A1 \leq N_1^1$ e $A2 \leq N_1^2$		14, 15 e 19
	17	$A1 \leq N_1^1$ e $A4 \leq N_1^4$		8, 19 e 20
	18	$A1 \leq N_1^1$ e $A7 \leq N_3^7$		8, 19 e 20
	19	$A1 \leq N_1^1$ e $A9 \leq N_3^9$		8, 19 e 20
	20	$A1 \leq N_1^1$ e $A10 \leq N_3^{10}$		8, 19 e 20
	21	$A3 \leq N_1^3$ , $A7 \leq N_3^7$ e $A8 \leq N_2^8$		8, 9 e 18
	22	$A3 \leq N_1^3$ , $A8 \leq N_2^8$ e $A10 \leq N_3^{10}$		8, 9 e 18
	23	$A2 \leq N_1^2$ e $A4 \leq N_1^4$		18 e 19
	24	$A1 \leq N_1^1$ , $A3 \leq N_1^3$ e $A9 \leq N_4^9$		8 e 14
$Cl_3^{\leq}$	25	$A5 \leq N_1^5$	Vlim $\leq$ 80 Km/h	2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 14, 18, 19 e 20
	26	$A8 \leq N_2^8$		3, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 18 e 19
	27	$A7 \leq N_2^7$		5, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 16, 19 e 20
	28	$A4 \leq N_2^4$ e $A7 \leq N_3^7$		2, 6, 7, 8, 10, 16, 18, 19 e 20
	29	$A4 \leq N_2^4$ e $A9 \leq N_3^9$		2, 6, 7, 8, 10, 16, 18, 19 e 20

Classe Ordenada	Nº da Regra	Recomendação		Segmentos Viários de Referência
		Se...	Então...	
$Cl_3^{\leq}$	30	$A4 \leq N_2^4$ e $A10 \leq N_3^{10}$	Vlim $\leq$ 80 Km/h	2, 6, 7, 8, 10, 16, 18, 19 e 20
	31	$A2 \leq N_1^2$		3, 9, 10, 12, 14, 15, 18 e 19
	32	$A6 \leq N_1^6$		3, 8, 9, 12, 14, 15, 18 e 20
	33	$A10 \leq N_2^{10}$		5, 6, 7, 9, 12, 13 e 20
	34	$A3 \leq N_1^3$ e $A9 \leq N_4^9$		6, 8, 9, 14 e 18
	35	$A3 \leq N_1^3$ e $A7 \leq N_3^7$		6, 8, 9 e 18
	36	$A3 \leq N_1^3$ e $A10 \leq N_3^{10}$		6, 8, 9 e 18
	37	$A9 \leq N_1^9$		5, 7 e 20
$Cl_4^{\leq}$	38	$A9 \leq N_1^4$	Vlim $\leq$ 90 Km/h	2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19 e 20
	39	$A7 \leq N_3^7$		2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 16, 18, 19 e 20
	40	$A10 \leq N_3^{10}$		2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 16, 18, 19 e 20
$Cl_1^{\geq}$	41	$A4 \geq N_2^4$ e $A8 \geq N_2^8$	Vlim $\geq$ 60 Km/h	1, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 13, 16 e 17
	42	$A6 \geq N_2^6$ e $A9 \geq N_2^9$		1, 2, 4, 6, 10, 11, 13, 16, 17 e 19
	43	$A6 \geq N_2^6$ e $A10 \geq N_2^{10}$		1, 2, 4, 6, 10, 11, 13, 16, 17 e 19
	44	$A2 \geq N_2^2$ e $A9 \geq N_2^9$		1, 2, 4, 6, 8, 11, 13, 16 e 17
	45	$A2 \geq N_2^2$ e $A10 \geq N_2^{10}$		1, 2, 4, 6, 8, 11, 13, 16 e 17
	46	$A4 \geq N_2^4$ e $A6 \geq N_2^6$		1, 4, 5, 6, 10, 11, 13, 16 e 17
	47	$A6 \geq N_2^6$ e $A7 \geq N_2^7$		1, 2, 4, 10, 11, 13, 16, 17 e 19
	48	$A2 \geq N_2^2$ e $A7 \geq N_2^7$		1, 2, 4, 8, 11, 13, 16 e 17
	49	$A5 \geq N_2^5$		1, 4, 10, 11, 15, 16 e 17
	50	$A3 \geq N_2^3$ e $A10 \geq N_3^{10}$		2, 10, 11, 13, 16, 17 e 19
	51	$A3 \geq N_2^3$ , $A7 \geq N_2^7$ e $A8 \geq N_2^8$		2, 10, 11, 13, 16, 17 e 19
	52	$A8 \geq N_3^8$ e $A9 \geq N_2^9$		1, 2, 4, 6, 11 e 17
	53	$A8 \geq N_3^8$ e $A10 \geq N_2^{10}$		1, 2, 4, 6, 11 e 17
	54	$A8 \geq N_2^8$ e $A9 \geq N_3^9$		1, 2, 4, 8, 17 e 19
	55	$A7 \geq N_2^7$ e $A8 \geq N_3^8$		1, 2, 4, 11 e 17
56	$A9 \geq N_5^9$	1, 3, 4 e 15		

Classe Ordenada	Nº da Regra	Recomendação		Segmentos Viários de Referência
		Se...	Então...	
$Cl_1^{\geq}$	57	$A3 \geq N_2^3$ e $A7 \geq N_3^7$	Vlim $\geq$ 60 Km/h	2, 11 e 15 e 17
	58	$A3 \geq N_2^3$ e $A9 \geq N_3^9$		2, 15, 17 e 19
	59	$A1 \geq N_2^1$ e $A9 \geq N_3^9$		2, 3 e 4
	60	$A3 \geq N_3^3$ e $A4 \geq N_2^4$		5, 10 e 16
	61	$A3 \geq N_3^3$ e $A7 \geq N_2^7$		10, 16 e 19
	62	$A3 \geq N_3^3$ e $A9 \geq N_2^9$		10, 16 e 19
	63	$A3 \geq N_4^3$		16 e 19
$Cl_2^{\geq}$	64	$A4 \geq N_2^4$ e $A8 \geq N_3^8$	Vlim $\geq$ 70 Km/h	1, 4, 5, 6, 11 e 17
	65	$A1 \geq N_2^1$ , $A2 \geq N_2^2$ e $A4 \geq N_2^4$		4, 5, 6, 11, 13 e 16
	66	$A2 \geq N_2^2$ e $A5 \geq N_2^5$		1, 4, 11, 16 e 17
	67	$A4 \geq N_3^4$ e $A6 \geq N_2^6$		4, 5, 11, 13 e 17
	68	$A2 \geq N_2^2$ , $A3 \geq N_2^3$ e $A4 \geq N_2^4$		5, 11, 13, 16 e 17
	69	$A2 \geq N_2^2$ , $A5 \geq N_2^5$ e $A7 \geq N_3^7$		1, 4, 11 e 17
	70	$A3 \geq N_2^3$ , $A4 \geq N_3^4$ e $A8 \geq N_2^8$		5, 11, 13 e 17
	71	$A1 \geq N_2^1$ , $A4 \geq N_2^4$ e $A7 \geq N_3^7$		3, 4 e 11
	72	$A1 \geq N_2^1$ e $A7 \geq N_4^7$		3 e 4
	73	$A1 \geq N_2^1$ e $A9 \geq N_5^9$		3 e 4
	74	$A1 \geq N_2^1$ e $A10 \geq N_4^{10}$		3 e 4
$Cl_3^{\geq}$	75	$A5 \geq N_2^5$ e $A8 \geq N_3^8$	Vlim $\geq$ 80 Km/h	1, 4, 11 e 17
	76	$A4 \geq N_2^4$ , $A6 \geq N_2^6$ e $A7 \geq N_3^7$		1, 4, 11 e 17
	77	$A4 \geq N_2^4$ , $A7 \geq N_3^7$ e $A8 \geq N_3^8$		1, 4, 11 e 17
	78	$A4 \geq N_2^4$ , $A8 \geq N_3^8$ e $A10 \geq N_3^{10}$		1, 4, 11 e 17
	79	$A5 \geq N_2^5$ , $A6 \geq N_2^6$ e $A7 \geq N_3^7$		1, 4, 11 e 17
	80	$A2 \geq N_2^2$ e $A7 \geq N_4^7$		1, 4 e 17
	81	$A2 \geq N_2^2$ e $A9 \geq N_4^9$		1, 4 e 17
	82	$A2 \geq N_2^2$ e $A10 \geq N_4^{10}$		1, 4 e 17
	83	$A4 \geq N_3^4$ e $A5 \geq N_2^5$		4, 11 e 17
	84	$A6 \geq N_2^6$ e $A7 \geq N_4^7$		1, 4 e 17
	85	$A6 \geq N_2^6$ e $A9 \geq N_4^9$		1, 4 e 17
	86	$A6 \geq N_2^6$ e $A10 \geq N_4^{10}$		1, 4 e 17
	87	$A7 \geq N_4^7$ e $A8 \geq N_3^8$		1, 4 e 17
	88	$A8 \geq N_3^8$ e $A9 \geq N_4^9$		1, 4 e 17

Classe Ordenada	Nº da Regra	Recomendação		Segmentos Viários de Referência
		Se...	Então...	
$Cl_3^{\geq}$	89	$A8 \geq N_3^8$ e $A10 \geq N_4^{10}$	Vlim $\geq$ 80 Km/h	1, 4 e 17
	90	$A4 \geq N_3^4$ , $A6 \geq N_2^6$ e $A10 \geq N_3^{10}$		4, 11 e 17
	91	$A4 \geq N_3^4$ , $A8 \geq N_3^8$ e $A9 \geq N_2^9$		4, 11 e 17
	92	$A4 \geq N_3^4$ , $A8 \geq N_3^8$ e $A10 \geq N_3^{10}$		4, 11 e 17
	93	$A1 \geq N_2^1$ , $A4 \geq N_3^4$ e $A7 \geq N_3^7$		4 e 11
	94	$A1 \geq N_2^1$ , $A4 \geq N_3^4$ e $A10 \geq N_3^{10}$		4 e 11
	95	$A1 \geq N_2^1$ , $A5 \geq N_2^5$ e $A7 \geq N_3^7$		4 e 11
	96	$A3 \geq N_2^3$ , $A4 \geq N_3^4$ e $A7 \geq N_3^7$		11 e 17
	97	$A3 \geq N_2^3$ , $A4 \geq N_3^4$ e $A10 \geq N_3^{10}$		11 e 17
$Cl_4^{\geq}$	98	$A2 \geq N_2^2$ e $A9 \geq N_5^9$	Vlim $\geq$ 90 Km/h	1 e 4
	99	$A6 \geq N_2^6$ e $A9 \geq N_5^9$		1 e 4
	100	$A8 \geq N_3^8$ e $A9 \geq N_5^9$		1 e 4