

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
COMISSÃO DE GRADUAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

Rafael Augusto Machry

**CONCEPÇÃO DE PROJETO DE EXPERIMENTO PARA
CATEGORIZAÇÃO DE VEÍCULOS DE CARGAS ATRAVÉS
DA ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS**

Porto Alegre
Julho de 2019

RAFAEL AUGUSTO MACHRY

**CONCEPÇÃO DE PROJETO DE EXPERIMENTO PARA
CATEGORIZAÇÃO DE VEÍCULOS DE CARGAS ATRAVÉS
DA ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de
Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia
da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Daniel Sergio Presta García

Porto Alegre
Julho de 2019

RAFAEL AUGUSTO MACHRY

**CONCEPÇÃO DE PROJETO DE EXPERIMENTO PARA
CATEGORIZAÇÃO DE VEÍCULOS DE CARGAS ATRAVÉS
DA ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pelo/a Professor/a Orientador/a e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 17 de Julho de 2019

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Daniel Sergio Presta García (UFRGS)
Orientador

Profa. Dra. Christine Tessele Nodari (UFRGS)

Profa. Eng. Zélia Silveira d'Azevedo (UFRGS)

Dedico este trabalho a Cristiano Degasperi, Rafael Machado, Jorge Pereira, Rafael Kucharski e a minha namorada Bruna Radavelli, pela amizade e companheirismo desenvolvido ao longo dessa faculdade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Dr. Daniel Sergio Presta García professor da UFRGS, pela parceria e amizade desenvolvida ao longo dos últimos meses.

Agradeço a engenheira Zélia Silveira d'Azevedo mestranda da UFRGS, pela oportunidade de colaborar em sua tese de mestrado e pela parceria junto ao DAER.

Agradeço a Bruna Luísa Radavelli, graduada pela UFRGS, pela paciência e companheirismo nesses últimos meses.

Agradeço aos bolsistas Natália e Sander, graduandos pela UFRGS e colegas no Laboratório de Transportes pela amizade e troca de conhecimento nesses últimos meses.

A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar,
não seremos capazes de resolver os problemas causados
pela forma como nos acostumamos a ver o mundo.

Albert Einstein

RESUMO

A modelagem de veículos em simuladores de tráfego é uma realidade na busca do aperfeiçoamento de projetos e dimensionamento de rodovias. A concepção deste projeto de experimento busca contribuir ainda mais nessa área ao servir de roteiro para classificar veículos de carga de acordo com seu comportamento de velocidades e acelerações em curvas. Por intermédio de um referencial teórico de pesquisadores internacionalmente reconhecidos, estabeleceu-se as condições de contornos e metodologias necessárias para a seleção das curvas e de como a coleta de dados seria realizada. A escolha da ERS-122, além do critério de alto volume de tráfego no Rio Grande do Sul, é resultado de trabalhos em conjunto com os alunos bolsistas do Laboratório de Sistemas de Transportes que elaboraram toda a geometrização da rodovia por meio do *software* educacional SAEPRO e da parceria com o DAER-RS que cedeu os equipamentos para a contagem de tráfego. Ao final, encontra-se duas sugestões para a análise estatística, construídas por meio de consultorias ao Núcleo de Assessoria Estatística da UFRGS.

Palavras-chaves: simuladores de tráfego, V85, tubos pneumáticos, análise de agrupamentos, pista simples.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Cadeia de Eventos/Custo dos Acidentes.....	14
Figura 2 – Locais de Instalações dos radares móveis.....	18
Figura 3 – Pontos onde as velocidades foram coletadas.....	18
Figura 4 – Captura de tela software SAEPRO curva PI-39.....	21
Figura 5 – PI-39 Google Street View.....	21
Figura 6 – Verificação das Intertangentes na planilha planialtimétrica PI-39.....	22
Figura 7 – Verificação da inclinação do trecho.....	22
Figura 8 – Captura Individual MetroCount.....	24
Figura 9 – MetroCount 5600 series.....	25
Figura 10 – Equipamento e Instalação na rodovia.....	26
Figura 11 – Locais na curva como as mangueiras devem ser instaladas.....	26
Figura 12 – Linhas do Programa para preparação de dados em Macro Microsoft Excel.	27
Figura 13 – Preparação dos dados em Macro Microsoft Excel.....	28
Figura 14 – Exemplo de um agrupamento em árvore, adaptado de HAIR 2006.....	28

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Níveis de consistência em função do Δf_R de Lamm.....	16
Tabela 2 – Modelo de predição para caminhões de Donnell.....	19
Tabela 3 – Locais aprovados para a instalação das mangueiras pneumáticas.....	23
Tabela 4 – Curvas selecionadas pelo seu raio e inclinação.....	23
Tabela 5 – Correlação dos veículos pelo MetroCount.....	24
Tabela 6 – Organização dados para aplicação da ANOVA.....	29

LISTA DE SIGLAS

CPES – Centro de Pesquisa do Seguro

DAER – Departamento Autônomo de Estrada e Rodagem

ERS-122 Estrada do Rio Grande do Sul 122

FHWA- Federal Highway Administration

IHSDM- Interactive Highway Safety Design Model

PI-39 – Ponto de Início 39

SAEPRO- Sistema Avançado para estudo de Projetos Viários

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

WHO- World Health Organization

LISTA DE SÍMBOLOS

f_R : Força de rolamento transversal realizado

f_{RD} : Força de rolamento transversal solicitado

vd : velocidade de desenho (km/h)

v_{85} : velocidade de operação (km/h)

e : inclinação transversal

VD_{LU} : Solicitação visual para condutores não familiarizados com via

VD_{LF} : Solicitação visual para condutores familiarizados com a via

R : Raio da curva horizontal

Δf_R : Diferenças de Forças

SUMÁRIO

RESUMO	13
ABSTRACT	13
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS.....	14
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
3.1. Consistência do desenho geométrico.....	15
3.1.1. Estabilidade do veículo.....	15
3.1.2. Carga de trabalho do condutor	16
3.1.3. Velocidade de operação.....	17
3.2. Modelos de predição da V85	17
3.2.1 Modelos de predição de Leisch e Leisch's.....	17
3.2.2 Modelo de predição Lamm e Choueiri.....	18
3.2.3 Modelos de predição de Donnell et al.	18
4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	19
4.1. Identificação das condições de contorno.....	20
4.1.1. Independências das curvas:	20
4.1.2. Impossibilidade de interferências:	20
4.1.3 Parâmetros de inclinação:.....	20
4.2. Escolha da rodovia.....	20
4.3. Escolha das curvas.....	20
4.3.1. Observações das interferências.....	21
4.3.2 Verificação das independências das curvas.....	22
4.3.3. Verificação das inclinações do trajeto	22
4.4. Organização das curvas- Microsoft Excel:.....	22
4.5. Equipamentos usados no experimento:	24
5. ESTUDO DE CASO	27
5.1 Microsoft Excel Processamento de dados em Macro	27
5.2. Sugestões de Método Estatístico	29
5.2.1 Análise de Agrupamentos.....	29
5.2.2 Análise de Variância.....	29
6. CONCLUSÕES	30

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
----------------------------------	----

CONCEPÇÃO DE PROJETO DE EXPERIMENTO PARA CATEGORIZAÇÃO DE VEÍCULOS DE CARGAS ATRAVÉS DA ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS

Rafael Augusto Machry

Orientador: Prof. Daniel Sergio Presta García, Dr.

RESUMO

A modelagem de veículos em simuladores de tráfego é uma realidade na busca do aperfeiçoamento de projetos e dimensionamento de rodovias. A concepção deste projeto de experimento busca contribuir ainda mais nessa área ao servir de roteiro para classificar veículos de carga de acordo com seu comportamento de velocidades e acelerações em curvas. Por intermédio de um referencial teórico de pesquisadores internacionalmente reconhecidos, estabeleceu-se as condições de contornos e metodologias necessárias para a seleção das curvas e de como a coleta de dados seria realizada. A escolha da ERS-122, além do critério de alto volume de tráfego no Rio Grande do Sul, é resultado de trabalhos em conjunto com os alunos bolsistas do Laboratório de Sistemas de Transportes que elaboraram toda a geometrização da rodovia por meio do *software* educacional SAEPRO e da parceria com o DAER-RS que cedeu os equipamentos para a contagem de tráfego. Ao final, encontra-se duas sugestões para a análise estatística, construídas por meio de consultorias ao Núcleo de Assessoria Estatística da UFRGS.

Palavras-chaves: simuladores de tráfego, V85, tubos pneumáticos, análise de agrupamentos, pista simples.

ABSTRACT

The modeling of vehicles in traffic simulators is a reality in the search for the improvement of projects and the design of highways. The design of this experiment project seeks to contribute even more in this area by serving as a roadmap for classifying load vehicles according to their behavior by speeds and accelerations in curves. By means of a theoretical reference of internationally recognized researchers, the conditions of contours and methodologies necessary for the selection of the curves were established and how the data collection will be performed. The choice of ERS-122, in addition to the high traffic volume criterion in Rio Grande do Sul, is the result of joint work with scholarship students from the Transport Laboratory who developed all the geometry of the highway under study through educational software SAEPRO and the DAER-RS that provided equipment for traffic counting. At the end, there are two suggestions for the statistical analysis, built through consultancies to the Statistics Nucleus of UFRGS.

Key-words: traffic simulators, V85, pneumatic tubes, cluster analysis, one way road.

1. INTRODUÇÃO

Uma infraestrutura adequada que garanta a segurança de que as pessoas e bens cheguem ao seu destino é de extrema importância para o desenvolvimento de uma nação, no entanto para o Brasil isso ainda é um grande desafio. De acordo com a Organização Mundial da Saúde, em seu relatório de 2018, o Brasil teve um registro de 39 mil acidentes com mortes no trânsito, cerca de 19,7 óbitos para cada 100 mil habitantes (WHO, 2018). Estes números são alarmantes, ainda mais se compararmos com países de população similar como o Paquistão, o Brasil supera o número de mortes desse país em nove vezes, que tem cerca de 4500 casos. Não o suficiente, a perda econômica também é inevitável, segundo estimativas do Centro de Pesquisa e Economia do Seguro (CPES, 2015), o Brasil teve um prejuízo de 220,4 bilhões de reais em 2015 (4% do seu PIB daquele ano), em virtude do efeito cascata que esses acidentes desenvolvem, conforme pode ser observado na Figura 1.

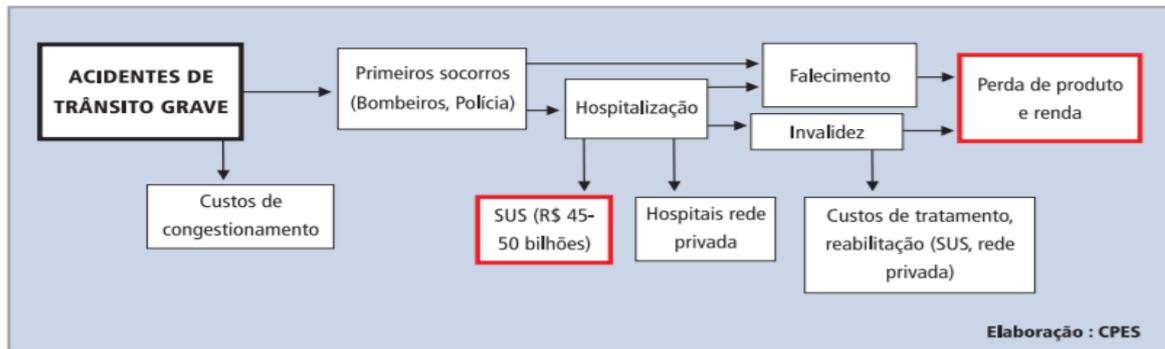


Figura 1: Cadeia de Eventos/Custos dos acidentes de trânsito

Em um país de proporções continentais, grande parte desses acidentes decorrem pela qualidade da rodovia, rodovias mal dimensionadas que não entregam conforto adequado a condução que promovem sensações de instabilidades, principalmente em curvas, ou que a dirigibilidade provoca distrações/alto processamento visual aumentam os riscos de acidentes. Para tentar contornar o problema de projetos, desde a década de 1970 pesquisadores norte-americanos e europeus desenvolvem modelos de predição de velocidades, as chamadas V85, com o intuito de identificar o perfil de comportamento dos condutores, frente as características geométricas da via. Essas características geométricas são importantes para o aperfeiçoamento o trabalho de dimensionamento de novas rodovias que permitem entender quais os traços que o motorista reage de forma negativa.

No Rio Grande do Sul, ainda são poucos os modelos desenvolvidos para os motoristas das rodovias gaúchas e grande parte do conteúdo utilizado nos estudos de novas propostas de projeto são de modelos norte-americanos. Diante disso, fica evidente a importância de trabalhos como este projeto experimento, contribuir na identificação de perfis comportamentais da região sul do Brasil, pode ajudar a desenvolver projetos de rodovias mais seguros e diminuir as perdas econômicas e vitais.

2. OBJETIVOS

O projeto *Concepção de projeto de experimento para categorização de veículos de carga através da análise de agrupamento* tem por **objetivo geral** propor um projeto de experimento que permita identificar, caracterizar e agrupar os elementos que, neste caso, são os veículos de carga por uma sugestão de método estatístico de acordo com seu comportamento de velocidades de entrada e saída de curvas. O presente projeto experimento pretende estabelecer as condições necessárias que permitam avaliar os comportamentos dos veículos de carga utilizando uma tecnologia de coleta de dados in loco em uma das principais rodovias do Rio Grande do Sul, as *mangueiras pneumáticas*.

Como objetivos específicos têm-se:

- **Identificação das condições de contorno para a construção do projeto experimento:** ao se buscar trechos específicos de rodovias para estudo é necessário cumprir certos pré-requisitos para que o local de interesse seja adequado, para isso o desenvolvimento de uma revisão bibliográfica foi fundamental para a justificativa de escolha das mesmas.
- **Elaboração de um roteiro para implementação do projeto experimento:** explicar o passo a passo das ações e o porquê da deliberação das decisões tomadas em cada etapa.
- **Avaliação de métodos estatístico de análise:** encontrar, analisar e sugerir métodos

para se trabalhar com banco de dados, por intermédio de referência bibliográfica e consultas aos alunos e professores ao setor de estatística da UFRGS.

Este trabalho visa também contribuir junto a uma pesquisa de mestrado no aprimoramento nas simulações de tráfego, como a elaboração de equações da V_{85} (velocidade oitenta e cinco percentis) específica de condutores da região do Rio Grande do Sul, assim como a construção de cenários virtuais que auxiliam projetistas a terem uma melhor perspectiva ao se dimensionar estradas mais seguras e funcionais.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico inicia-se com a leitura de artigos e documentos publicados e reconhecidos por universidades e organizações de excelência, um dos mais recentes é o caderno da Plataforma Tecnológica Espanhola “*La Velocidad de operación y su aplicación en el análisis de la consistência de carreteras para la mejora de la seguridad vial*” da Universidade Politecnica de Valecia, (Pérez-Zuriaga *et al.*, 2011) que estabelece novos critérios para a elaboração de modelos para estimativas de velocidades da V_{85} que serão apresentados ao longo desse referencial teórico, juntamente com outros artigos que justificam a tomada de decisões desse projeto de experimento como das condições de contorno. Na sequência, são elencados os principais tópicos.

3.1. Consistência do desenho geométrico

As três principais causas de ocorrência de acidentes em rodovias decorrem dos seguintes fatores: condutor, veículo e infraestrutura. Esse último, de acordo com alguns estudos, é responsável ou corresponsável por cerca 30% dos acidentes nas estradas, normalmente em trechos específicos de pistas simples, curvas acentuadas, mal sinalizadas, de baixa consistência geométrica (Treat *et al.*, 1977).

O fator humano que neste caso é o condutor também é alvo de estudiosos como (Ng e Sayed, 2004) e (Krammes *et al.*, 1995) que desenvolveram métodos para avaliar a carga de trabalho do condutor, já que ao dirigir todo motorista cria expectativa da configuração da estrada e em determinadas ocasiões pode ser surpreendido por não conseguir adequar sua velocidade, resultando em acidentes. Logo, essa adequação de suprir a expectativa é muito importante e faz parte dos critérios de avaliação da consistência geométrica que são baseados na velocidade de operação do percentil 85 dos veículos que circulam em condições de fluxo livre na estrada (Gibreel *et al.*, 1999).

Não só a velocidade de operação e a carga de trabalho de condutor estão como os principais critérios desenvolvidos para a elaboração da consistência do desenho geométrico, mas há também outros índices como o de traçado e a estabilidade do veículo que serão abordados a seguir.

3.1.1. Estabilidade do veículo.

Ao se realizar uma curva a diferença de forças entre os pneus e o pavimento é fator determinante para que um veículo possa completá-la, essa diferença é dada pela Equação 1 abaixo.

$$\Delta f_R = f_R - f_{RD} \quad (1)$$

Onde:

f_R : Força de rolamento transversal realizado

f_{RD} : Força de rolamento transversal solicitado

No entanto, apenas essa equação não é o suficiente para garantir que a curva seja segura é necessário também avaliar a sensação que esta causa ao motorista. Pensando nisso, (Lamm *et al.*, 1999) desenvolveram um modelo de avaliação dessa percepção, que é um dos mais difundido em virtude da sua simplicidade. Nele o atrito transversal é calculado de acordo com a velocidade de desenho enquanto que a fricção transversal exigida é baseada na velocidade de operação, raio e inclinação transversal da curva. A força centrípeta sentida pelo condutor é minimizada pela superelevação da pista de rolamento (inclinação transversal) que satisfaça a expectativa do usuário facilitando o controle do seu veículo, conforme Equação 2 abaixo.

$$f_R = 0,22 - 1,79 \times 10^{-3} \times vd + 0,56 \times 10^{-5} \times vd^2$$

$$f_{RD} = \frac{v_{85}}{127 \times R} - e \quad (2)$$

Onde:

f_R : Força de rolamento transversal realizado
 f_{RD} : Força de rolamento transversal solicitado
 vd : velocidade de desenho (km/h)
 v_{85} : velocidade de operação (km/h)
 e : inclinação transversal

Sendo que esse modelo apresenta os seguintes níveis de consistência em função do Δf_R , conforme Tabela 1.

Tabela 1: níveis de consistência em função do Δf_R de Lamm

Critério III de Lamm		
Bom	Aceitável	Ruim
$\Delta f_R \geq 0,01$	$0,01 > \Delta f_R \geq -0,04$	$\Delta f_R < -0,04$

Fonte: Critérios III de Lamm, adaptado do caderno da PTC

De acordo com as equações de Lamm, quanto maior for o raio e a inclinação transversal da pista, menor será a força de rolamento transversal solicitado e mais confortável a dirigibilidade se tornará ao condutor, já que a diferença das forças exercida pelos pneus e pavimento será menos perceptível.

3.1.2. Carga de trabalho do condutor

A carga de trabalho é a medida do esforço mental que uma pessoa exerce quando se dedica a uma atividade. Na tarefa de condução, por exemplo, a condição ótima é quando a carga de esforço transmitida pelo desenho de tramo da via é médio. Condições baixa e altas não são ideais já que a primeira pode provocar distrações ao motorista enquanto que a segunda produz um esforço excessivo para se processar toda a informação. Modelos pesquisados por (Krammes *et al.*, 1995) e (Wooldridge *et al.*, 2000) chegam a mesma conclusão: a carga de trabalho do condutor é inversamente proporcional ao raio da curva, ou seja, conforme o raio diminui aumenta a carga de trabalho (Equação 3).

$$VD_{LU} = 0,143 + 43/R$$

$$VD_{LF} = 0,198 + 29,2/R \quad (3)$$

Onde:

VD_{LU} : Solicitação visual para condutores não familiarizados com via
 VD_{LF} : Solicitação visual para condutores familiarizados com a via
 R : Raio da curva horizontal

Fonte: Carga de Trabalho do Condutor WOOLDRIDGE et al. 2000

Neste projeto foram reunidas 3 diferentes cargas de trabalho do condutor, uma vez que as curvas selecionadas possuem raios menores que 200 metros, entre 200 e 600 metros e maiores que 600 metros.

3.1.3. Velocidade de operação

Segundo a American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO, 1966), a velocidade de operação é a velocidade com a qual os motoristas operam seus veículos em condições de fluxo livre, sendo esse parâmetro normalmente utilizado para a obtenção do percentil 85 da velocidade de todos os veículos circulantes na via. No Brasil, de forma concordante o Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT/IPR, 2006) define a velocidade de operação como a mais alta velocidade com que o veículo pode percorrer uma dada via atendendo as limitações impostas pelo tráfego, sob condições favoráveis de tempo, sem exceder a velocidade de projeto.

No Departamento de Estrada de Rodagem de São Paulo (DER-SP, 2006) pode ser encontrada uma extensa análise quanto a forma de obtenção ou de fixação do valor a ser utilizado na velocidade de operação. Na página 24 das Normas Técnicas DER-SP consta que em trechos viários existentes a velocidade operacional pode ser aferida através de medições realizadas nos locais e; para tanto, existem equipamentos adequados para isso. No estudo de caso, do presente projeto experimento, os dados retirados serão por meio de tubos pneumáticos.

3.2. Modelos de predição da V85

Existe uma grande diversidade de modelos para estimar a velocidade de operação ao redor do mundo. Isso decorre em virtude das diferenças culturais de condução, percepção de risco, limites legais de velocidade, ações fiscalizadoras e grau tecnológico dos veículos, mas em geral são modelos de predição elaborados em curvas, retas e de diferenciais de aceleração e desaceleração. Este artigo revisa alguns modelos de curvas, buscando também pesquisadores que atuam no enfoque de veículos de carga.

3.2.1 Modelos de predição de Leisch e Leisch's

Leisch e Leisch, (1977) desenvolveram modelos para veículos de passeio e caminhões separadamente, considerando tanto o alinhamento horizontal como o vertical. O modelo de perfil de velocidade que eles desenvolveram fornece um gráfico contínuo das velocidades dos veículos ao longo da estrada, em cada direção de viagem, sob condições de fluxo livre. Seu modelo aplica as seguintes hipóteses: baixo volume, condições favoráveis de pista, movimento livre de veículos, velocidade de operação média equivalente a velocidade de projeto, velocidades médias separadas para carros de passeio e caminhões, e taxas de aceleração e desaceleração do Highway Capacity Manual e política de desenho geométrico da (AASHTO, 1966).

É interessante ressaltar que a técnica de Leisch e Leisch's faz suposições especiais sobre os caminhões com o Gradiente de pista, que tem pouco efeito sobre os carros, fazem com que os caminhões tenham taxas anormalmente altas de desaceleração e velocidades extremamente baixas em subidas contínuas e íngremes. As velocidades de operação do caminhão são determinadas principalmente pelas características mecânicas dos veículos e carros principalmente pelas características do motorista. As estatísticas utilizadas foram de 1972 das estradas americanas supondo que caminhões tem velocidades de 8km/h mais lentos que os carros em curvas.

3.2.2 Modelo de predição Lamm e Choueiri

(Lamm e Choueiri, 1987) desenvolveram um modelo de regressão para prever a velocidade de percentil 85 ao longo de rodovias de duas faixas, com um fluxo médio entre 400 e 5000 veículos/dia. Concentrando-se sobre os efeitos do alinhamento horizontal no comportamento do motorista, a condição de fluxo livre adotada foi de um *gap* mínimo superior a 6 segundos entre veículos. A V_{85} foi prevista em função do grau de curvatura e os critérios de consistência de projeto foram baseados na mudança das velocidades entre dois elementos de design sucessivos. Como a maioria dos projetos de estradas dos EUA consiste principalmente de seqüências de tangentes e curvas o DC é uma boa medida para detectar mudanças críticas de alinhamento horizontal.

3.2.3 Modelos de predição de Donnell et al.

Donnell et al. desenvolveram modelo de simulação, para caminhões, uma vez que há poucos estudos voltados para essa categoria. Para isso, utilizaram o *software* TWOPAS, um programa para simulação de fluxos de tráfego em rodovias de pistas simples para gerar os seus modelos. O *software* é disponibilizado pelo *Federal Highway Administration* como parte do *Interactive Highway Safety Design Model* (IHSDM) e é utilizado no módulo para análise de tráfego (FHWA, 2007). Além disso, para o seu estudo o IHSDM limita a seleção de locais em que a tangente mínima seja de 150 metros e inclinações longitudinais devem variar entre -5% a +5%. A partir do seu banco de dados eles selecionaram 17 lugares para a instalação de 3 radares móveis portáteis (Lider Meter) para a coleta de dados, conforme Figura 2.

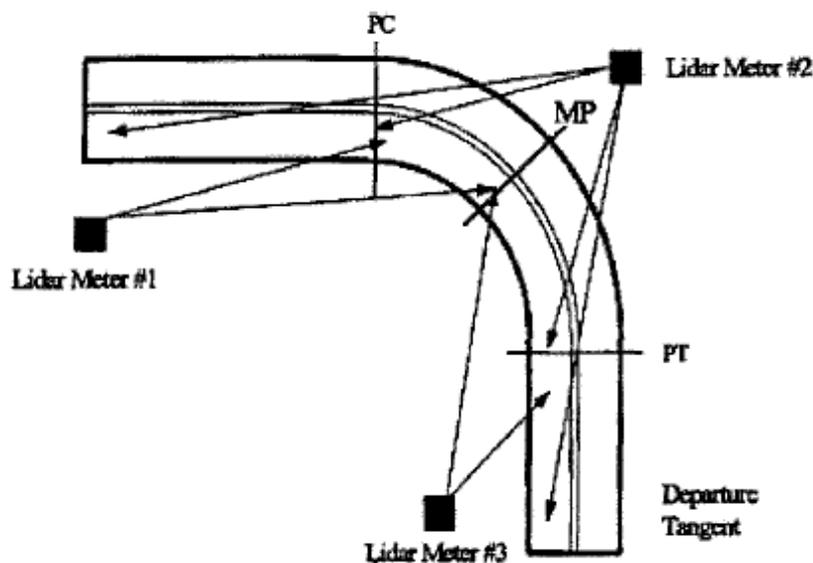


Figura 2: Locais de instalação dos radares móveis

Os dados coletados são de 200 metros antes do início e depois do final da curva e seguem de 50 em 50 metros. Na curva são coletados os pontos de início e final de curvatura (PC e PT), o ponto médio da curva (MP) e os quartos de distâncias (QP e 3QP), conforme Figura 3.

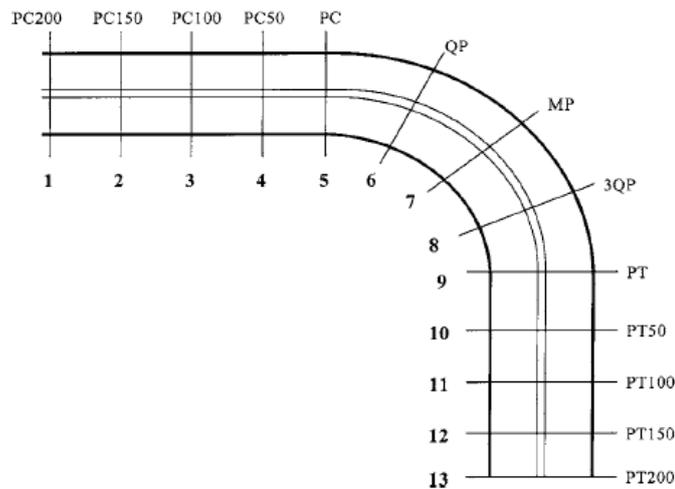


Figura 3: Pontos onde as velocidades foram coletadas

Cabe ressaltar que (Donnell *et al.*, 2001) não utilizaram um gap diferente para carros e caminhões, sendo que o seu tempo atribuído foi de um tempo mínimo de 5 segundo, já outros pesquisadores como Geistefeldt atribuem diferentes medidas como tempos de 2 e 4 segundos para carros subsequentes e de 3 segundos para caminhões, no entanto esses valores foram atribuídos para pistas duplas e velocidades acima de 70km/h (Geistefeldt, 2015). Apresenta-se na Tabela 2 os modelos de estimativa da V85 para cada um dos locais observados.

Tabela 2: Modelo de predição para caminhões de (Donnell et al., 2001)

Local	Modelo	R ²
PC200	$V_{85}=51,5+0,137R-0,779*GAPT+0,0127*LAPT-0,000119*(LAPT*R)$	0,622
PC150	$V_{85}=54,9+0,123-1,07*GAPT+0,0078*LAPT-0,000103*(LAPT*R)$	0,627
PC100	$V_{85}=56,1+0,117R-1,15*GAPT+0,0060*LAPT-0,000097*(LAPT*R)$	0,613
PC50	$V_{85}=78,7+0,0347R-1,30*GAPT+0,0226*LAPT$	0,552
PC	$V_{85}=78,4+0,0140R-1,4*GDEP-0,00724*LDEP$	0,562
QT	$V_{85}=75,8+0,0176R-1,41*GDEP-0,0086*LDEP$	0,600
MP	$V_{85}=75,1+0,0176R-1,48*GDEP-0,00836*LDEP$	0,600
3QP	$V_{85}=74,7+0,0176R-1,59*GDEP-0,00814*LDEP$	0,611
PT	$V_{85}=74,5+0,0176R+1,69*GDEP-0,00810*LDEP$	0,611
PT50	$V_{85}=82,8-2,00*GDEP-0,00925*LDEP$	0,564
PT100	$V_{85}=83,1-2,08*GDEP-0,00934*LDEP$	0,577
PT150	$V_{85}=83,6-2,29*GDEP-0,00919*LDEP$	0,604
PT200	$V_{85}=84,1-2,24*GDEP-0,00944*LDEP$	0,607

Sendo:

V85: velocidade média do percentil 85 dos motoristas(km/h)

R: raio da curva (m)

GAPT: grau de aproximação tangente da entrada (m)

LAPT: comprimento da aproximada tangente de entrada (m)

GDEP: grau da aproximada tangente da saída (m)

LDEP: comprimento da aproximada tangente de saída (m)

Fonte: adaptado (Geistefeldt, 2015)

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este tópico tem por objetivo definir uma estratégia e uma linha de pensamento objetiva para obtenção dos dados, demonstrando ao leitor todas as etapas que levaram decisões tomadas, servindo como roteiro.

4.1. Identificação das condições de contorno

O primeiro passo antes da escolha de uma rodovia é ter as condições de contorno bem definidas para que não haja problemas de precisar realizar uma nova escolha de rodovia durante o experimento. Posto isso, para que a coleta de dados do projeto experimento seja válida é preciso que o motorista esteja trafegando em sua velocidade de cruzeiro, livre de quaisquer distrações que poderiam alterar essa condição. Essa é uma regra para os modelos de V85, analisar a velocidade de 85% dos condutores que trafegam em fluxo livre, para isso os seguintes critérios foram definidos:

4.1.1. Independências das curvas:

As curvas selecionadas não podem ter suas tangentes sobrepostas e devem ter uma distância mínima entre as tangentes de 200 metros a fim de garantir que o veículo, assim que termina a curva anterior, possa retomar a sua velocidade de cruzeiro antes de iniciar a próxima.

4.1.2. Impossibilidade de interferências:

Os trechos de rodovias precisam ter uma condição satisfatória de pavimento e que sejam livres de distrações ao motorista como acessos a outras rodovias, entradas de propriedades, comércios, paradas de ônibus, etc. Isso evita que o motorista tenha a sua velocidade reduzida em virtude de outros veículos que acessam a via ou de pedestres que estejam no acostamento aguardando a condução.

4.1.3 Parâmetros de inclinação:

Dentre as curvas selecionadas buscou-se aquelas que teriam uma inclinação constante ao longo de toda sua trajetória e dentro do intervalo de -5% a +5%. Isso é importante, porque o motorista pode sentir insegurança em grandes declives e desacelerar, assim como aclives muito intensos podem naturalmente desacelerar o veículo.

4.2. Escolha da rodovia

Um dos objetivos que motivam a criação desse experimento é contribuir para o aperfeiçoamento de projeto em rodovias de pistas simples, logo esse é o principal critério de escolha, uma rodovia de pista simples.

Para respeitar as condições de contorno estabelecidas nesse projeto experimento é necessário ter uma ferramenta adequada que forneça as informações planimétricas, altimetria e da visualização da pista. O Laboratório de Sistemas de Transportes da UFRGS possui um acervo desenvolvido pelos pesquisadores e bolsistas que realizam a geometrização das rodovias, principalmente do Estado do Rio Grande do Sul, utilizando o *software* SAEPRO, prontamente é o local adequado para escolha.

Definiu-se então um trecho da rodovia ERS-122 do quilômetro 129+710 ao 166+104,10 de estaqueamento sentido norte região entre Ipê e Vacaria, pois se trata de uma rodovia de pista simples, categoria II em região ondulada e de um volume diário médio em torno de 3000 veículos (DAER, 2011), o trecho do estaqueamento escolhido é também de uma região pouco urbanizada e isso promove as condições de contorno, já que diminui distrações como paradas de ônibus e acessos de residências. A rodovia de escolha também é próxima de Porto Alegre, cerca de 180 quilômetros, é uma das principais vias de escoamento de produção da serra gaúcha, servindo de alternativa para quem trafega na BR-116 e recorrentemente essa rodovia é manchetes em jornais em virtude do número de acidentes e pela conhecida “curva da morte”. Em 2014 essa rodovia foi a mais perigosa do Rio Grande do Sul com 957 acidentes registrados, 32 mortes e 499 feridos (Pioneiro,2015), logo mais um fator de preferência.

4.3. Escolha das curvas

Para a escolha das curvas foi utilizado a ferramenta de Sistema Avançado para Estudos e Projetos Viários (SAEPRO), para realizar as devidas observações das condições de contorno por intermédio dos relatórios gerados por esse *software*. Na sequência são apresentados os procedimentos prático do trabalho.

4.3.1. Observações das interferências

A ferramenta SAEPRO disponibiliza a importação de mapas Google e, por meio destes, é possível verificar visualmente as curvas dos locais a estudar. A Figura 4 apresenta uma captura de tela com o uso do programa, neste procede-se uma primeira verificação visual da via sobre imagem de satélite, buscando acessos com outras estradas que interceptam o trecho.

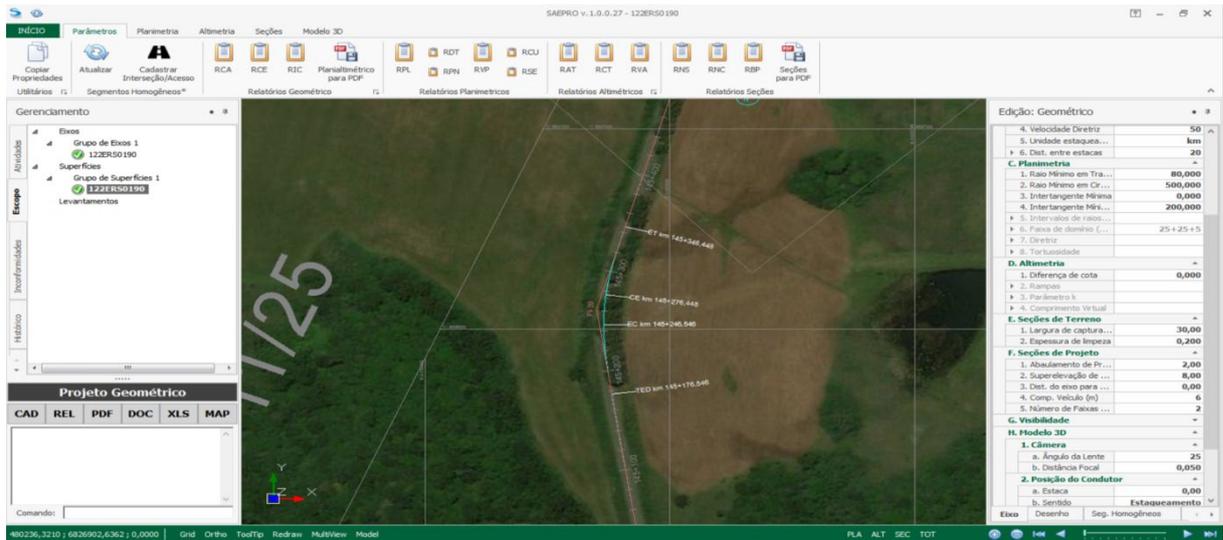


Figura 4: Captura de tela *software* SAEPRO curva PI-39

Após essa primeira verificação, é necessário também avaliar o trecho na visão do condutor, para confirmar se a curva não está inserida em um local de pista dupla, se há paradas de ônibus e demais elementos que pudessem interferir na condução dos veículos. Para isso, utilizou-se a ferramenta Google Street View que por meio das coordenadas geográficas do estaqueamento retiradas do relatório de planimetria do SAEPRO, encontrou-se a localização exata dos pontos de interesse, verificando assim uma condição ideal (Figura 5).



Figura 5: PI-39 Google Street View

4.3.2 Verificação das independências das curvas

A independência das curvas é também observada por meio dos relatórios de planimetria gerados no SAEPRO. Neste projeto experimento estabeleceu-se a intertangente mínima de 200 metros. A Figura 6 apresenta uma captura de tela da planilha gerada, a parte contornada em vermelho trata das distâncias que foram verificadas.

PLANILHA DE COORDENADAS																	
Rodovia: Grupo de Eixos 1																	
Trecho: 122ERS0190																	
Segmento: km: 129+710,00 ao km: 166+104,10																	
PI	ESTAQUEAMENTO (Est. ou km)				PARÂMETROS DA CURVA								ALINHAMENTO			COORDENADAS	
	PC ou TE	EC	CE	PT ou ET	AC (°°°)	R (m)	Lc1 (m)	Lc2 (m)	Dc (m)	T1 (m)	T2 (m)	Az (°°°)	IntTan (m)	ΔPI (m)	X (m)	Y (m)	
37	142+398,597	142+468,597	142+483,306	142+553,306	17°26'02,65"D	278,390	70,000	70,000	14,709	77,778	77,778	49°31'39,73"	56,775	231,824	478102,17792958	6825261,50068743	
38	144+341,917	144+391,917	144+722,271	144+772,271	75°24'25,85"E	289,000	50,000	50,000	330,354	248,666	248,666	66°57'42,38"	1788,611	2115,055	480048,54485975	6826089,21747422	
39	145+176,546	145+246,546	145+276,448	145+346,448	24°21'14,76"D	235,030	70,000	70,000	29,902	85,878	85,878	351°33'16,53"	404,275	738,819	479940,03675017	6826820,02480003	
40	145+581,212	145+651,212	145+718,084	145+788,084	39°14'10,84"D	199,870	70,000	70,000	66,872	106,570	106,570	15°54'31,29"	234,765	427,213	480057,13794930	6827230,87519600	
41	145+966,570	146+036,570	146+109,083	146+179,083	26°04'05,75"E	313,230	70,000	70,000	72,512	107,648	107,648	55°08'42,13"	178,486	392,704	480379,39111422	6827455,30575296	
												29°04'36,38"	110,946	276,739			

Figura 6: Verificação das intertangentes na planilha planialtimétrica -PI-39.

4.3.3. Verificação das inclinações do trajeto

A inclinação do trajeto foi outro fator que precisou ser levado em conta, já que uma inclinação grande pode causar desconforto, afetando o comportamento do condutor. Buscou-se curvas em que essa inclinação fosse constante ou que tivesse uma pequena variação até 1,5%. A figura abaixo é uma captura de tela do relatório de altimetria do SAEPRO, a parte verificada foi demarcada em vermelho que se trata da inclinação do trecho estudado, neste caso estaqueamento do PI-39 apresenta uma inclinação constante de -4,71%

COORDENADAS E PARÂMETROS POR ESTACAS											
Rodovia: Grupo de Eixos 1											
Trecho: 122ERS0190											
Segmento: km: 129+710,00 ao km: 166+104,10											
ESTACA		COORDENADAS CARTESIANAS (m)			COORD. GEOGRÁFICAS (°°°)		PARÂMETROS GEOMÉTRICOS				OBSERVAÇÃO
km	TIPO	X	Y	Z	LATITUDE	LONGITUDE	AZ (°°°)	R (m)	I (%)	SE (%)	
145+176.546	TED-39	479952.6494	6826735.0778	849.3360	28°41'11.22" S	51°12'18.75" O	351°33'16.53"		-4.71	0.00 / -2.00	Lc=70,000
145+180.000		479952.1426	6826738.4944	849.1733	28°41'11.11" S	51°12'18.77" O	351°34'31.32"	4763.224	-4.71	0.22 / -2.00	
145+200.000		479949.3342	6826758.2960	848.2317	28°41'10.46" S	51°12'18.87" O	352°30'44.85"	701.463	-4.71	1.52 / -2.00	
145+220.000		479947.0916	6826778.1685	847.2900	28°41'09.82" S	51°12'18.95" O	354°50'33.30"	378.610	-4.71	2.81 / -2.81	
145+240.000		479945.9015	6826798.1296	846.3483	28°41'09.17" S	51°12'19.00" O	358°33'56.66"	259.276	-4.71	4.11 / -4.11	
145+246.546	EC-39	479945.8231	6826804.6749	846.0401	28°41'08.96" S	51°12'19.00" O	360°05'12.90"	235.030	-4.71	4.53 / -4.53	R=235,030 / AC=24°21'14,76"
145+260.000		479946.2285	6826818.1209	845.4066	28°41'08.52" S	51°12'18.98" O	363°22'00.26"	235.030	-4.71	4.53 / -4.53	
145+276.448	CE-39	479947.7679	6826834.4931	844.6322	28°41'07.99" S	51°12'18.92" O	7°22'34.92"	235.030	-4.71	4.53 / -4.53	R=235,030 / AC=24°21'14,76"
145+280.000		479948.2501	6826838.0125	844.4649	28°41'07.87" S	51°12'18.91" O	8°13'13.37"	247.595	-4.71	4.30 / -4.30	
145+300.000		479951.8263	6826857.6861	843.5233	28°41'07.23" S	51°12'18.77" O	12°09'07.39"	354.207	-4.71	3.01 / -3.01	
145+320.000		479956.5075	6826877.1289	842.5816	28°41'06.60" S	51°12'18.60" O	14°41'26.50"	622.062	-4.71	1.71 / -2.00	
145+340.000		479961.8117	6826896.4124	841.6399	28°41'05.98" S	51°12'18.40" O	15°50'10.69"	2551.629	-4.71	0.42 / -2.00	
145+346.448	ET-39	479963.5764	6826902.6138	841.3363	28°41'05.77" S	51°12'18.34" O	15°54'31.29"		-4.71	0.00 / -2.00	Lc=70,000

Figura 7: Verificação da inclinação do trecho

4.4. Organização das curvas- Microsoft Excel:

Para organizar as informações criou-se uma planilha no Microsoft Excel reunindo os possíveis locais de instalação das mangueiras pneumáticas. Ao total foram encontradas 15 possíveis curvas. A ordem de serviço exemplificada está listada na Tabela 3, abaixo junto com o sentido de onde a mangueira pode ser instalada (estaqueamento sentido sul-norte) e as coordenadas geográficas do centro das curvas.

Tabela 3: locais aprovados para a instalação das mangueiras pneumáticas

PI	Sentido	Latitude	Longitude
24	Ambos	28°44'00.38" S	51°15'24.22" W
26	Estaqueamento	28°43'29.56" S	51°14'55.34" W
29	Contra	28°43'10.55" S	51°14'36.45" W
39	Ambos	28°41'08.96" S	51°12'19.00" W
40	Estaqueamento	28°40'54.97" S	51°12'14.12" W
55	Contra	28°40'19.76" S	51°09'13,82" W
56	Estaqueamento	28°40'17.93" S	51°08'59.71" W
58	Contra	28°40'23.33" S	51°08'35.23" W
59	Ambos	28°40'17.81" S	51°08'10.22" W
60	Estaqueamento	28°40'13.36" S	51°07'55.42" W
67	Ambos	28°39'30.68" S	51°05'59.43" W
68	Estaqueamento	28°39'03.88" S	51°06'00.65" W
69	Contra	28°39'00.14" S	51°05'59.41" W
73	Ambos	28°38'08.69" S	51°05'12.97" W
77	Estaqueamento	28°37'15.80" S	51°04'11.40" W

Para melhor aproveitamento de recursos financeiros e facilidade no processamento dos dados foi realizada uma nova filtragem, priorizando curvas em que instalação e coleta das informações pudessem ser feitos em ambos sentidos de tráfego. Esta opção também ficou alinhada com a sugestão do Núcleo de Assessoria Estatística da UFRGS, de maneira que ao se estabelecer 3 níveis de tratamento, diminuiu-se o número de vazios, uma vez que foi encontrada uma curva que atendesse a inclinação e raio. A Tabela 4 abaixo indica as curvas finais selecionadas pelo seu raio e inclinação, ao total foram 6 escolhidas. É interessante observar que as curvas de aclave são as mesmas de declive, em virtude do aproveitamento das inclinações que podemos ter na mesma curva e praticidade na hora da instalação dos equipamentos.

Tabela 4: curvas selecionadas pelo seu raio e inclinação

	R<200	200=<R<600	R>=600
Aclive ($i > +2\%$)	PI-67C (1,30% a 3,34%, R162 e d62°)	PI39C (+4,7%, R235 e d24°)	PI-73E (4,1%, R1000 e d10°)
Nível ($+2\% \leq i \leq -2\%$)	PI-29C (-0,97% a -1,44%, R143,27 e d25°)	PI-68E (1%, R200 e d25°)	PI-25EC (1,76% a -2,06%, R900 e d16°)
Declive ($i < -2\%$)	PI-67E (-3,34% a -1,30%, R162 e d62°)	PI-39E (-4,7%, R235 e d24°)	PI-73C (-4,3%, R1000 e d10°)

4.5. Equipamentos usados no experimento:

Após definidas as curvas parte-se para a coleta de dados em campo. Foi preciso entender os equipamentos utilizados as mangueiras pneumáticas da marca MetroCount que é dotada com um armazenador de dados capaz de contabilizar até 4 milhões de eixos (amostra suficiente para análise estatística). A Figura 4 ilustra o equipamento em funcionamento, revelando o tipo de veículo que trafega naquele local e a correta correspondência no relatório pela identificação do número de eixos e grupos - um veículo de passeio com reboque, categoria SVT.

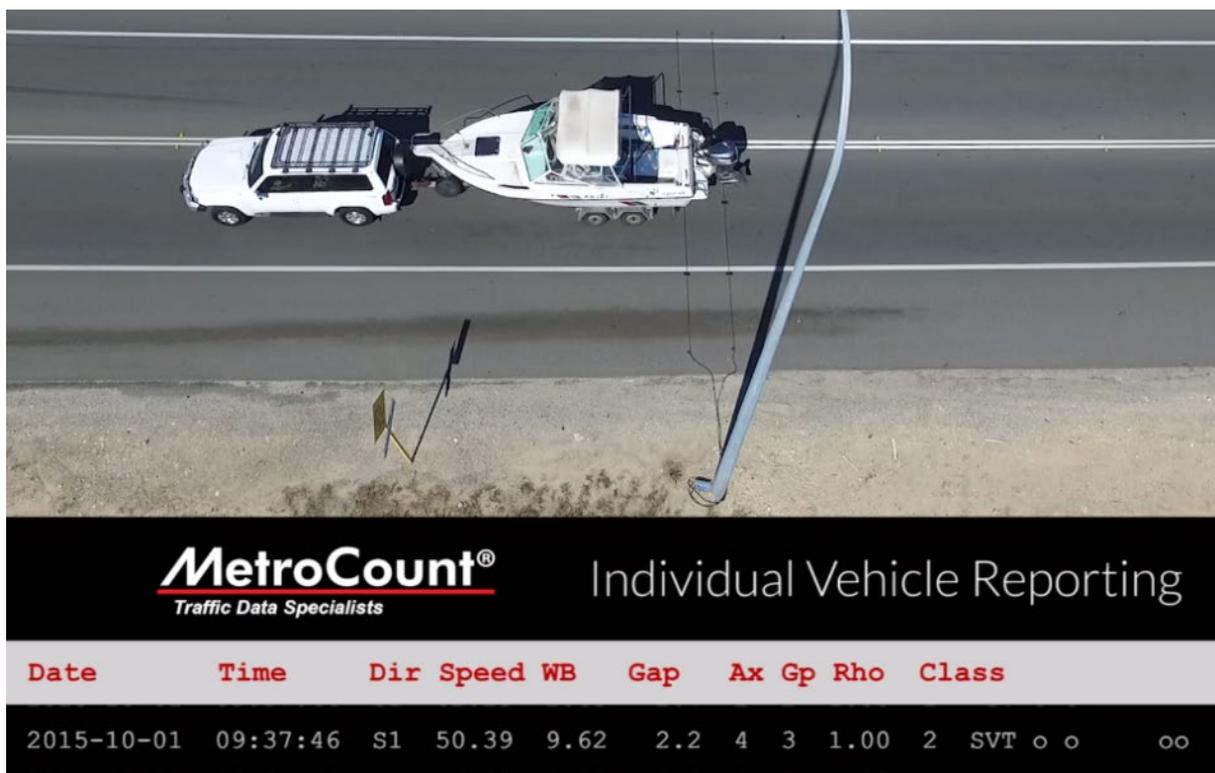


Figura 8: Exemplo de captura individual MetroCount

Na Figura 8 também é possível observar uma linha de registro de um dos inúmeros relatórios que podem ser configurados através do *software*, conforme a necessidade. Neste caso – da esquerda para a direita - é possível identificar o dia, hora, direção de tráfego, velocidade, distância entre o primeiro e último eixo, intervalo entre veículos, classe, tipo e ilustração da posição dos eixos. O fabricante também informa que é possível criar uma classificação de acordo com os interesses do usuário. Na Tabela 5, retirada do manual do usuário da MetroCount e adaptada a descrição de acordo com livro “Excesso de peso Rodoviário” de Wilson Vitória Machado (2013), observando as características dos veículos circulantes da frota brasileira, segundo sua configuração de eixos segundo.

Tabela 5: correlação dos veículos pelo MetroCount

Eixos	Grupos de eixos	Descrição	Classe		Parâmetros	Veículo Dominante
2	1 ou 2	Muito curto- motocicletas	MC	1	d(1)<1.7m e eixos=2	
2	1 ou 2	Curto- Veículos de passeio, vans pequenas	SV	2	d(1)>=1.7m, d(1)<=3.2m e eixos=2	
3, 4 ou 5	3	Curto com reboque – veículos de passeio com reboque	SVT	3	grupos=3, d(1)>=2.1m, d(1)<=3.2m, d(2)>=2.1m e eixos=3,4,5	
2	2	Caminhões de dois eixos ou ônibus	TB2	4	d(1)>3.2m e eixos=2	
3	2	Caminhões de 3 eixos ou ônibus	TB3	5	eixos=3 e grupos=2	
>3	2	Caminhões de quatro eixos	T4	6	eixos>3 e grupos=2	
3	3	Veículo de três eixos articulados-caminhão trator+semi-reboque	ART3	7	d(1)>3.2m, eixos=3 e grupos=3	
4	>2	Veículo de quatro eixos articulados - caminhão trator+ semi-reboque ou reboque ou +2 semi-reboque	ART4	8	d(2)<2.1m ou d(1)<2.1m ou d(1)>3.2m eixos = 4 e grupos>2	
5	>2	Veículo de cinco eixos articulados-caminhão trator+ semi-reboque ou caminhão+reboque ou caminhão trator+reboque+semi-reboque ou caminhão trator+ 2 semi-reboque	ART5	9	d(2)<2.1m ou d(1)<2.1m ou d(1)>3.2m eixos=5 e grupos>2	
>=6	>2	Veículo de seis ou mais eixos articulados- caminhão+reboque ou caminhão trator+ semi-reboque+reboque ou caminhão trator+2 semi-reboque ou caminhão trator+semi-reboque+ reboque	ART6	10	eixos=6 e grupos>2 ou eixos>6 e grupos=3	
>6	4	Bi-trem- caminhão+reboque ou caminhão trator+ 2 semi-reboque	BD	11	grupos=4 e eixos>6	
>6	>=5	Bi-trem ou tri-trem- caminhão trator+ 2 semi-reboques ou + 3 semi-reboques ou caminhão+2reboques	DRT	12	grupos=5 ou 6 e eixos>6	

Grupo: eixos adjacentes a menos de 2,1m

d(1): distância entre o primeiro e segundo eixo

d(2):distância entre o segundo e terceiro eixo

Fonte: adaptado do manual do usuário (MetroCount,2002)

Esse padrão foi o utilizado neste estudo, visto que engloba todos os tipos de veículos de carga brasileiros nessas 10 categorias e é o utilizado pelo DAER.

Os equipamentos MetroCount, disponibilizados pelo DAER-RS em um total de dez, são da série 5600. O equipamento é composto pela unidade armazenadora de dados protegida por uma armadura metálica (em azul), alimentada por baterias internas e mangueiras medidoras de borracha natural, conforme Figura 9.



Figura 9: MetroCounts 5600 series.

A instalação em campo, deve-se realizar de maneira transversal a rodovia, dois tubos são fixados paralelamente a uma distância de um metro entre si, atravessando toda a faixa de rodagem - conforme Figura 10. A unidade armazenadora já vem pré-programada para a distância entre as mangueiras de um metro e pela diferença de tempos entre os dois estímulos o equipamento encontra a velocidade.



Figura 10: Equipamento e maneira como é instalado na rodovia.

O equipamento identifica o sentido que o veículo se desloca, apontando no relatório a orientação geográfica. Foram escolhidos 7 pontos de avaliação, sendo eles 200 metros antes do início da curva, 100 metros antes do início da curva (para melhor avaliação da desaceleração do veículo antes da entrada da curva), início, centro e final de curva, 100 metros após e 200 metros após da curva (para análise de aceleração) durante um período de 24 horas entre segunda e sexta-feira. A Figura 11 exemplifica os locais de instalação das mangueiras.

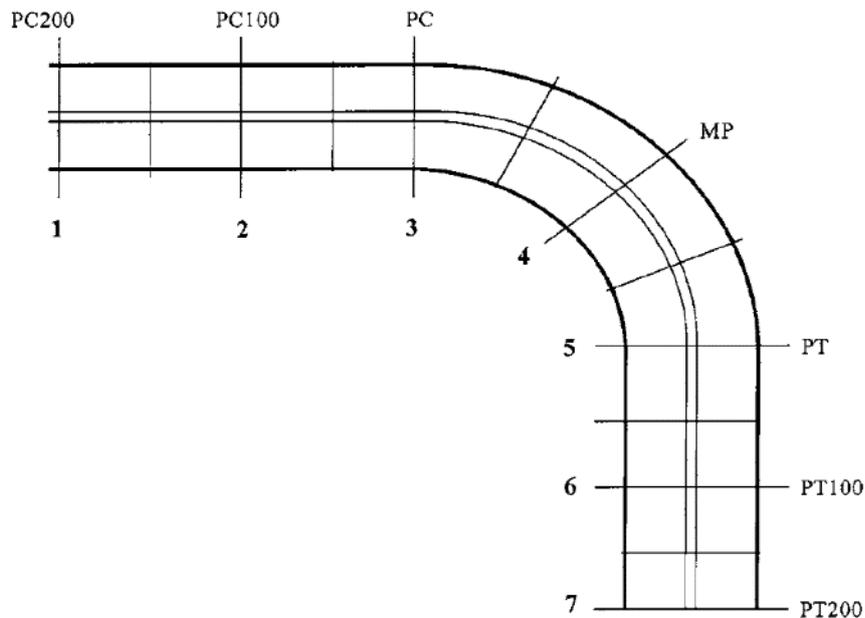


Figura 11: Locais na curva como as mangueiras devem ser instaladas

5. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso a seguir está dividido em: (i) Processamento de dados em Macro no Microsoft Excel e (ii) Sugestões de Método Estatístico.

5.1 Processamento de dados em Macro no Microsoft Excel

Até o final desse projeto de experimento não foi possível obter os relatórios oficiais para o processamento dos dados, no entanto foi obtido um exemplo dos relatórios gerados pelo equipamento, que foi usado para a preparação de uma programação em Macro, já que os dados dos veículos estavam embaralhados e algumas vezes continham erros. Logo, esse tratamento prévio dos dados foi necessário, separando os veículos de interesse e definindo um intervalo mínimo entre eles, “headway”, para assim filtrar os dados dos tubos pneumáticos que também continham algum erro. A programação tem as seguintes linhas, conforme a Figura 12, abaixo.

```

Sub Classifica()
    Dim Coluna As Integer
    Dim Linha As Integer
    Dim CodigoTexto As String
    Dim CodigoTamanho As Integer
    Dim CodigoLinha As Integer
    Dim Hdwy As Integer
    '----- Limpa dados classificados (resultados anteriores)
    Range("J2:Z10000").Select
    Range("J3").Activate
    Selection.ClearContents
    Range("A1").Select
    '----- Elimina Hdwy inferiores ao valor definido
    Hdwy = Cells(1, 9)
    Linha = 1
    Do
        Linha = Linha + 1
        If Cells(Linha, 1).Value = "" And Cells(Linha, 2).Value = "" And Cells(Linha, 3).Value = "" Then Exit Do
        If Cells(Linha, 2).Value < Hdwy Then
            Rows(Linha).Select
            Selection.Delete Shift:=xlUp
            Linha = Linha - 1
        End If
    Loop
    Range("A1").Select
    '----- Classifica dados
    Coluna = 9
    Do
        Coluna = Coluna + 1
        If Cells(1, Coluna) = "" Then
            Exit Do
        Else
            CodigoTexto = Cells(1, Coluna).Value
            CodigoTamanho = Len(CodigoTexto)
            Linha = 1
            CodigoLinha = 1
        End If
        Do
            Linha = Linha + 1
            If Cells(Linha, 1).Value = "" And Cells(Linha, 2).Value = "" And Cells(Linha, 3).Value = "" Then Exit Do
            If Left(Cells(Linha, 3).Value, CodigoTamanho) = CodigoTexto Then
                CodigoLinha = CodigoLinha + 1
                Cells(CodigoLinha, Coluna).Value = Cells(Linha, 1)
            End If
        Loop
    Loop
End Sub

```

Figura 12: Linhas do programa para preparação de dados em Macro Microsoft Excel

A seguir a Figura abaixo apresenta a interface dessa ferramenta funcional e simples de se manejar, o usuário necessita copiar da planilha fornecida pelo relatório do MetroCount, velocidades, headway e tipo de veículo nas três colunas da esquerda na figura acima (A,B,C) em seguida estabelecer um *headway* (entre 3 a 5 segundos) e clicar em classificar. O programa realiza toda uma verificação do conteúdo, filtrando e organizando nas suas respectivas categorias.

	A	B	C	D	E	F	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
	Vel	Hdwy	Veículo	CLASSIFICAR			Hdwy=	5	MC	SV	SVT	TB2	TB3	T4	ART3	ART4	ART5	ART6	BD	DRT			
2	46,11	10007	TB2						121,88	65,88	26,53	46,11	68,33	64,82		71,67	61,82	74,64		74,12	71,03		
3	65,88	3,3	SV						62,44	81,49	70,18	62,19	68,79	75,58		62,96	73,58	54,02		70,76			
4	121,88	350495	MC						88,50	26,53	69,76	75,13	65,52	65,34		70,59	75,62	72,41					
5	81,49	13,2	SV						84,09	91,34	57,47	67,58	43,29	63,77		54,80	68,85	61,20					
6	26,53	51	SVT							70,97	71,05	64,73	25,52			68,88	67,84	76,68					
7	91,34	19,5	SV							62,71		76,05	71,65			58,60	69,10	70,33					
8	71,67	31,3	ART4							91,62		71,01	77,57					64,94					
9	61,82	19,8	ART5							89,60			73,00					66,19					
10	62,96	105,8	ART4							92,56			76,56					69,38					
11	62,19	2,2	TB2							94,19			64,14					73,91					
12	70,97	14	SV							74,73								67,50					
13	68,33	14	TB3							69,02								61,14					
14	62,71	83,1	SV							78,77													

Figura 13: Preparação dos dados em Macro Microsoft Excel.

5.2. Sugestões de Método Estatístico

5.2.1 Análise de Agrupamentos

A Análise de Agrupamentos ou Clusters é um grupo de técnicas multivariadas cuja a finalidade principal é agregar objetos com base nas características que eles possuem, de modo que cada objeto é semelhante aos outros no agrupamento que se encontram. Os agrupamentos resultantes devem, então, exibir elevada homogeneidade interna (dentro dos agrupamentos) e elevada heterogeneidade externa (entre agrupamentos) (Hair, 2006).

A análise de agrupamentos é a única técnica multivariada que não estima a variável estatística empiricamente, mas usa a variável estatística como especificada pelo pesquisador. O foco da análise de agrupamentos é a comparação de objetos com base na variável estatística, não na estimação da variável estatística em si. Isso torna a definição da variável estatística feita pelo pesquisador um passo crítico na análise (Hair, 2006).

Essa é uma análise recomendada, pois cumpre com pré-requisitos procurados como a homogeneidade interna (características individuais de cada veículo), homogeneidade externa (comportamento de cada veículo em curva) e ao se elaborar um agrupamento em árvore, pode-se determinar o número de grupos de acordo com a variável desejada pelo pesquisador, similar ao dendograma da Figura 14, abaixo.

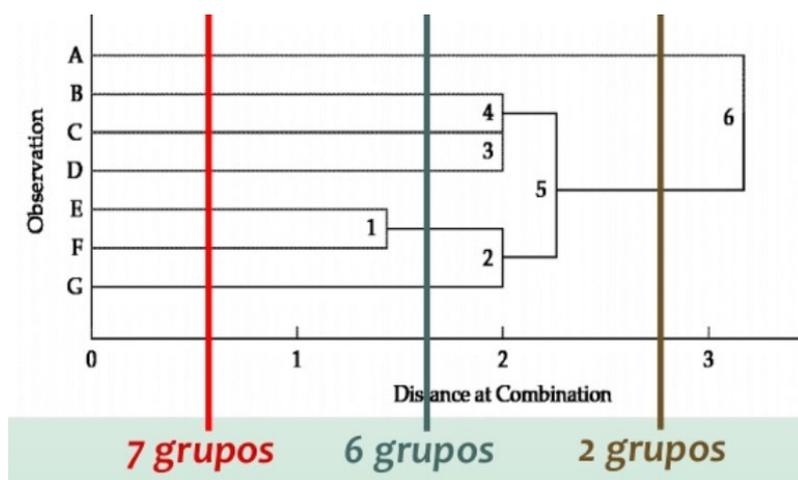


Figura 14: Exemplo de um agrupamento em árvore, adaptado de (Hair, 2006)

5.2.2 Análise de Variância

A análise de variância ou simplesmente ANOVA é uma técnica estatística para determinar se as amostras de dois ou mais grupos surgem de populações com médias iguais (ou seja, se as médias dos grupos diferem significativamente). A análise de variância examina uma medida dependente, ao passo que uma análise multivariada de variância, como a de agrupamento, compara diferenças de grupos quanto a duas ou mais variáveis dependentes. (Hair, 2006)

A partir dos grupos definidos pelas tabelas do MetroCount, verifica-se se há diferença entre a distribuição de uma medida entre três ou mais grupos (ideal testar de várias formas), partindo de hipóteses como H1: Não existe diferenças de comportamentos entre veículos, todos têm acelerações/desacelerações parecidas, logo pertencem a um mesmo grupo ou H2: Pelo menos um grupo de veículos possui comportamento diferente dos demais.

Essa análise pode ser feita organizando os dados e calculando as somas e médias dos fatores de estudo, conforme a tabela 6 abaixo (Portal Action, 2019)

Tabela 6: Organização dados para aplicação da ANOVA

Nível	Fator A				Somas	Médias
1	y_{11}	y_{12}	...	y_{1n_1}	$y_{1.}$	$\bar{y}_{1.}$
2	y_{21}	y_{22}	...	y_{2n_2}	$y_{2.}$	$\bar{y}_{2.}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
k	y_{k1}	y_{k2}	...	y_{kn_k}	$y_{k.}$	$\bar{y}_{k.}$

A partir disso o uso do *software* IBM SPSS se faz necessário para gerar gráficos que indicam se os valores dos grupos seguem algum tipo de padrão, caso os grupos apresentem a mesma variabilidade e mesma média de desempenho as suas distribuições tendem a se sobrepor, confirmando assim que não existe uma diferença entre o tipo de veículo e seu comportamento, caso contrário há o surgimento de novos grupos.

6. CONCLUSÕES

O presente projeto de experimento para categorização de veículos de cargas através da análise de agrupamentos é o resultado de uma parceria entre aluno e mestrandia em que se buscou por meio desse roteiro simplificar as categorias de veículos de cargas para assim futuramente contribuir para construção de equações da V_{85} com o intuito de aprimoramento de *softwares* de modelagem de tráfego em estradas específicas do Rio Grande do Sul.

Como todo projeto de experimento, partiu-se de um ideal de modelagem perfeita com bases consistentes de metodologia, porém devido algumas limitações físicas impossibilitou com que o projeto experimento tivesse os dados finais para serem analisados. Ainda assim, o estudo possui extrema importância para contribuição em futuras pesquisas, pois explica as etapas e quais as ferramentas que o pesquisador deve escolher e prosseguir para evitar erros.

As condições de contorno seguem a mesma linha de pensamento que foi desenvolvida pelos pesquisadores citados no referencial teórico e permitiram escolher os locais mais adequados da ERS-122 para coleta de dados e estudo da modelagem do percentil 85, as curvas estão com as coordenadas geográficas e o endereço online para visualização se encontra no referencial teórico (My Maps, 2019). O projeto experimento explica o uso e o funcionamento dos tubos pneumáticos, como também descreve os possíveis veículos de acordo com a legislação brasileira pelo seu número de eixos.

A sugestão de análise estatística foi criteriosamente escolhida e contou com a ajuda do Núcleo de Assessoria em Estatística da UFRGS – NAE que forneceu boa parte da referência que foi apresentada. Os dois métodos são importantes e vão de acordo com os critérios abordados como a homogeneidade e os grupos pré-definidos, por isso recomenda-se que os dados sejam analisados por esses dois métodos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A POLICY ON GEOMETRIC DESIGN OF RURAL HIGHWAYS - 1965. AN AASHTO ARCHIVES EDITION. (1966). Obtido de <https://trid.trb.org/view/473796>
- CNT Confederação Nacional dos Transportes. Relatório gerencial 2018. Disponível em: <<http://pesquisarodovias.cnt.org.br/Paginas/relatorio-gerencial>>. Acesso em 15 de Janeiro de 2019
- Cpes Centro de pesquisa de e economia do seguro. Pesquisa 2015. Rio de Janeiro. 2015. Disponível em: <http://www.ens.edu.br/arquivos/estatistica_da_dor_e_da_perda_do_futuro.pdf>. Acesso em 14 de Janeiro de 2019
- DAER Departamento Autonomo de Estradas e Rodagem 2011. Disponível em: <<https://www.daer.rs.gov.br/vdm-de-rodovias>>. Acesso em 24 de Abril de 2019.
- DER Departamento de Estrada de Rodagem de São Paulo 2006. Disponível em: <<http://www.der.sp.gov.br/WebSite/Documentos/Tecnicas.aspx>>. Acesso em 6 de março de 2019.
- DNIT Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte 2006. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/manual_estudos_trafego.pdf>. Acesso em 4 de março de 2019.
- Donnell, E. T., Ni, Y., Adolini, M., e Elefteriadou, L. (2001) Speed Prediction Models for Trucks on Two-Lane Rural Highways. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1751(1), 44–55. doi:10.3141/1751-06
- FHWA Federal Highway Administration 2007. Disponível em: https://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/statistics/2007/2007_hwy_statistics.pdf>. Acesso em 27 de Março de 2019
- Geistefeldt, J. (2015) Empirical Estimation of Desired Speed Distributions for Microscopic Traffic Simulation. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2490(1), 41–46. doi:10.3141/2490-05
- Gibreel, G. M., Easa, S. M., Hassan, Y., e El-Dimeery, I. A. (1999) State of the Art of Highway Geometric Design Consistency. *Journal of Transportation Engineering*, 125(4), 305–313. doi:10.1061/(ASCE)0733-947X(1999)125:4(305)
- Hair, J. F. (Ed). (2006) *Multivariate data analysis*. (6th ed.). Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J.
- Krammes, R. A., Brackett, R. Q., Shafer, M. A., Ottesen, J. L., Anderson, I. B., Fink, K. L., Collins, K. M., Pendleton, O. J., e Messer, C. J. (1995) HORIZONTAL ALIGNMENT DESIGN CONSISTENCY FOR RURAL TWO-LANE HIGHWAYS. FINAL REPORT. Obtido de <https://trid.trb.org/view/411863>
- Lamm, R., e Choueiri, E. M. (1987) RECOMMENDATIONS FOR EVALUATING HORIZONTAL DESIGN CONSISTENCY BASED ON INVESTIGATIONS IN THE STATE OF NEW YORK. *Transportation Research Record*, (1122). Obtido de <https://trid.trb.org/view/282364>
- Lamm, R., Psarianos, B., e Mailaender, T. (1999) *Highway design and traffic safety engineering handbook*. McGraw-Hill, New York.
- Leisch, J. E., e Leisch, J. P. (1977) NEW CONCEPTS IN DESIGN-SPEED APPLICATION. *Transportation Research Record*, (631). Obtido de <https://trid.trb.org/view/71966>
- MetroCount Manual do Usuário 2002. Disponível em: <<https://metrocount.com/downloads/MC5600%20RSU%20Operator%20Guide.pdf>> Acesso em 17 de abril de 2019.
- MyMaps. Disponível em: <<https://drive.google.com/open?id=1Xay-lGgDBWm83Z78OmjhOTAcUFNoHI4x&usp=sharing>> Acesso em 1 de julho de 2019.
- Ng, J. C. W., e Sayed, T. (2004) Effect of geometric design consistency on road safety. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 31(2), 218–227. doi:10.1139/103-090
- Pérez-Zuriaga, A., Camacho Torregrosa, F., e García, A. (2011) *La velocidad de operación y su aplicación en el análisis de la consistencia de carreteras para la mejora de la seguridad vial*.
- Pioneiro Jornal o Pioneiro 2015. Disponível em: <<http://pioneiro.clicrbs.com.br/rs/geral/cidades/noticia/2015/06/ers-122-e-a-estrada-estadual-que-mais-registrou-acidentes-em-2014-no-estado-4783324.html>> Acesso em 24 de Abril de 2019.
- Portal Action 2019. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/anova>>. Acesso em 26 de Junho de 2019.
- PRF Polícia Rodoviária Federal 2019. Disponível em: <<https://www.prf.gov.br/portal/dados-abertos/acidentes/acidentes>>. Acesso em 4 de março de 2019.
- Treat, J. R., Tumbas, N. S., McDonald, S. T., Shinar, David., Hume, R. D., Mayer, R. E., Stansifer, R. L., e Castellan, N. J. (1977) *Tri-level study of the causes of traffic accidents: final report. Volume I: causal factor tabulations and assessments*. Obtido de [//catalog.hathitrust.org/Record/005470460](http://catalog.hathitrust.org/Record/005470460)
- Vilson Vitoria Machado, V. D. G. ([s.d.]) *O Excesso de Peso Rodoviário*.

WHO, 2018. ([s.d.]). Obtido 7 de junho de 2019, de
https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2018/en/
Wooldridge, M. D., Fitzpatrick, K., Koppa, R., e Bauer, K. (2000) Effects of Horizontal Curvature on Driver
Visual Demand. *Transportation Research Record*, 1737(1), 71–77. doi:10.3141/1737-09

Rafael Augusto Machry (eng.machry@gmail.com)
Daniel Sergio Presta Garcia (daniel.garcia@ufrgs.br)
Zélia Silveira d'Azevedo (zelia@stesa.com.br)
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
Av. Osvaldo Aranha. 99 – Porto Alegre. RS. Brasil