

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**GABRIEL LOMBARDI**

**ESTUDO DE TECNOLOGIAS DE NAVEGAÇÃO E BIG DATA  
EM RODOVIAS INTERMUNICIPAIS**

Avaliador:
Defesa: dia __/__/2014 às _____ horas
Local: UFRGS / Engenharia Nova Osvaldo Aranha, 99, sala 304
Anotações com sugestões para qualificar o trabalho são bem-vindas. O aluno fará as correções e lhe passará a versão final do trabalho, se for de seu interesse.

Porto Alegre  
Novembro de 2018



**GABRIEL LOMBARDI**

**ESTUDO DE TECNOLOGIAS DE NAVEGAÇÃO E BIG DATA  
EM RODOVIAS INTERMUNICIPAIS**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento 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/a: Daniel Sergio Presta García**

Porto Alegre  
Dezembro de 2018



**GABRIEL LOMBARDI**

**ESTUDO DE TECNOLOGIAS DE NAVEGAÇÃO E BIG DATA  
EM RODOVIAS INTERMUNICIPAIS**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo/a Professor/a Orientador/a e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, dezembro de 2018

Prof. Daniel Sergio Presta García  
Dr. Pelo PPGEP / UFRGS  
Orientador

Prof. \_\_\_\_\_  
Coordenador/a

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Daniel Sergio Presta García**  
Dr. Pelo PPGEP / UFRGS

**Prof. Luiz Afonso dos Santos Senna**  
Dr. pela University of Leeds, Inglaterra

**Maria Cristina Molina Ladeira**  
Me. pelo PPGEP / UFRGS



Dedico este trabalho àqueles que, por acreditarem,  
tornaram meu trajeto possível.





O conhecimento serve para encantar as pessoas, não para humilhá-las.

*Mário Sergio Cortella*



## RESUMO

A mobilidade urbana, adequando-se e incluindo os avanços da tecnologia em seus estudos, foi capaz de desenvolver novas pesquisas e projetos, ou ainda adaptar métodos antigos à novas técnicas relacionadas aos avanços digitais. Este trabalho apresenta um estudo de engenharia de transportes, relacionando a operação de transportes rodoviários em centros urbanos com as novas tecnologias de *big data* através de um projeto de experimentos.

Esse projeto consiste em coletas de tempos fornecidos por softwares de navegação: Google, Here, Bing e Waze, e de tempos reais de viagem. A cada amostra foi consultado o que se dizia em cada aplicativo, e depois a viagem foi efetivamente realizada por meio de um automóvel, gerando assim uma base de dados.

Esses dados foram analisados utilizando uma ANOVA, e foram capazes de concluir qual dentre os aplicativos mais populares hoje em dia são mais precisos quanto a previsão de tempo de viagem, que são o Google, Here e Waze.

Palavras-chave: *Big data*, ANOVA, transportes rodoviários, mobilidade urbana



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Procedimento da pesquisa.....	28
Figura 2 - População residente no Brasil, por situação de domicílio.....	31
Figura 3 - Condicionantes da qualidade em qualidade em serviços de transporte.....	33
Figura 4- Exemplo de aplicação de big data em transportes, mapa de calor de acidentes viários em um centro urbano .....	36
Figura 5 - Trajeto escolhido como objeto de estudo para o trecho de ida.....	39
Figura 6- Trajeto escolhido como objeto de estudo para o trecho de volta.....	39
Figura 7 - Ponto escolhido para parada próxima ao campus do centro.....	40
Figura 8 - Ponto escolhido para parada próximo ao campus do vale.....	40
Figura 9 - Resultado da análise de tamanho de amostra no Stata.....	44
Figura 10 - Gráfico das médias de tempos para o trajeto de ida ao campus do vale.....	47
Figura 11 - Gráficos comparando desvios padrão, referentes aos dados dos apêndices E, G, H e J.....	48



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modelo de resultados de experimentos que formarão o banco de dados.....	42
<i>Tabela 2 - exemplo de organização de dados com valores fictícios.....</i>	45
<i>Tabela 3 - Tabela ANOVA para um fator (one-way ANOVA).....</i>	45
Tabela 4 - Resultado mais significativo dentre as análises.....	47





## LISTA DE SIGLAS

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

GPS – *global positioning system*

UTM – universal transversa de Mercator

API - application programming interface

DSL – *dynamic speed limit*

VOT – *value of time*

ANOVA – análise de variância

SQT - soma dos quadrados totais

SQG – soma dos quadrados dos grupos

SQR – soma dos quadrados dos resíduos

MQG – média quadrada dos grupos

MQR – média quadrada dos resíduos

CMM – comparação múltipla de médias



## LISTA DE SÍMBOLOS

A – área (m<sup>2</sup>)

h – horas

min – minutos

cm - centímetros

m - metros

km – quilômetros

U - fator de utilidade de um meio de transporte

f(x) - vetor de atributos

C – custo (R\$)

t – tempo

k – níveis para a ANOVA

n – repetições para a ANOVA



## Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	25
2 DIRETRIZES DA PESQUISA .....	26
2.1 QUESTÃO DA PESQUISA.....	26
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO .....	26
2.2.1 Objetivo Principal .....	26
2.2.2 Objetivo Secundário .....	27
2.3 HIPÓTESE .....	27
2.4 DELIMITAÇÕES.....	27
2.5 LIMITAÇÕES .....	27
2.6 DELINEAMENTO.....	28
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	30
3.1 TRANSPORTE RODOVIÁRIO .....	30
3.2 O VALOR DO TEMPO .....	33
3.3 BIG DATA EM TRANSPORTES .....	35
3.4 APLICATIVOS DE NAVEGAÇÃO .....	37
3.4.1 Google maps .....	37
3.4.2 Here WeGo .....	37
3.4.3 Bing maps .....	38
3.4.4 Waze .....	38
4 MÉTODO DE PESQUISA.....	38
4.1 PROJETO DE EXPERIMENTOS .....	39
4.2 ANÁLISE DE VARIÂNCIA .....	43
5. RESULTADOS E ANÁLISES .....	46
5.1 RESULTADO MAIS SIGNIFICATIVO .....	46
5.2 RESULTADOS DESCONSIDERADOS.....	50
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	51
REFERÊNCIAS .....	53
APÊNDICE A – Tabela de tempos de viagem do campus do centro para o campus do vale com valores em minutos:segundos .....	55
APÊNDICE B – Tabela de tempos de viagem do campus do centro para o campus do vale em valores decimais .....	57
APÊNDICE C – Tabela de tempos de viagem do campus do vale para o campus do centro com valores em [minutos:segundos] .....	59
APÊNDICE D – Tabela de tempos de viagem do campus do vale para o campus do centro em valores decimais .....	61
APÊNDICE E – Resultado da ANOVA analisando os dados coletados antes da viagem, trajeto centro - vale .....	63

APÊNDICE F - Resultado da ANOVA analisando os dados coletados depois da viagem, trajeto centro - vale .....	65
APÊNDICE G - Resultado da ANOVA analisando a média entre a coleta feita antes e depois, trajeto centro - vale .....	67
APÊNDICE H - Resultado da ANOVA analisando os dados coletados antes da viagem, trajeto vale - centro .....	69
APÊNDICE I - Resultado da ANOVA analisando os dados coletados depois da viagem, trajeto vale - centro .....	71
APÊNDICE J - Resultado da ANOVA analisando a média entre a coleta feita antes e depois, trajeto vale - centro .....	73







# 1 INTRODUÇÃO

Inspirado nos avanços da tecnologia, relacionados ao desenvolvimento de pesquisas ao redor do mundo por parte da comunidade acadêmica e pela grande quantidade de novas aplicações que os meios digitais nos oferecem no âmbito dos transportes, esse trabalho busca analisar as aplicações de tais tecnologias em relação aos sistemas de transportes rodoviários atuais e como os programas *Big Data* se relacionam com esta realidade e seu nível de confiabilidade

Existe uma parcela considerável da população com acesso a veículos automotivos e smartphones com acesso à internet, o que possibilita que estes aparelhos sirvam como dispositivos de navegação que auxiliam o condutor na tomada de decisões e definição de rotas.

Os objetos de estudo desse trabalho foram esses aplicativos de navegação que são disponibilizados gratuitamente para aqueles que possuem o dispositivo compatível com seu uso. O *Waze*, *Here*, *Google maps* e *Bing maps* são as opções mais difundidas e com plataformas intuitivas para utilização, além de fornecerem os dados necessários para a realização deste trabalho.

Dentre as diversas técnicas para o estudo da engenharia de transportes, como aqueles de demanda, distribuição, economia, sustentabilidade, segurança, foram escolhidos parâmetros específicos como foco deste estudo por ser um trabalho de conclusão de curso, sendo que cada delimitação é justificada ao longo dos itens apresentados.

Além disso, o estudo aborda um assunto relevante tanto para a população de Porto Alegre que trafega pelas vias Ipiranga e Bento Gonçalves, tanto para a comunidade acadêmica da UFRGS, no sentido que o caso escolhido para as medições é o trecho entre os campi da universidade, trajeto que é feito por muitos alunos e funcionários que exercem atividades em diferentes departamentos desta universidade.

Neste trabalho, é apresentado o método aplicado, o projeto de experimentos, os resultados obtidos juntamente com sua análise crítica por ferramentas estatísticas e também uma base bibliográfica é abordada para a elaboração de conclusões mais profundas.

## **2 DIRETRIZES DA PESQUISA**

Nesta etapa é delimitado de forma preliminar os pontos primordiais para o direcionamento deste trabalho visando alcançar os objetivos desejados. A seguir é descrito estes pontos fundamentais.

### **2.1 QUESTÃO DA PESQUISA**

Busca-se esclarecer quão precisos são os dados de previsão de tempo de viagem que atualmente nos são fornecidos pelas tecnologias de *big data* e se esses dados são confiáveis se confrontados com a realidade e com outros aplicativos competidores.

### **2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO**

Os objetivos podem ser classificados como principal e secundários, já que se busca aplicar o método descrito no item 4 MÉTODO DE PESQUISA, sendo que os resultados obtidos podem gerar novos objetos de interesse.

#### **2.2.1 Objetivo Principal**

A aplicação do método busca principalmente esclarecer se as tecnologias de navegação por GPS fornecem dados de previsão de tempo de viagem coerentes com os tempos de viagem reais da cidade de Porto Alegre. Dentro desse contexto, os aplicativos escolhidos foram o Waze, Google mapas, o Here WeGo, e o Bing mapas.

### **2.2.2 Objetivo Secundário**

Munidos dos dados coletados no projeto de experimentos realizado, o objetivo secundário desta pesquisa é analisar a variância das quatro opções de aplicativos abordados em relação a aproximação do tempo medido com o tempo real do percurso. A partir dos parâmetros estabelecidos e resultados obtidos, busca-se a explicação para o aplicativo que mais se distanciou do real e dos que se distanciaram entre si baseando-se na bibliografia pesquisada.

## **2.3 HIPÓTESE**

A hipótese inicial é que ao se aplicar ferramentas de qualidade e análise de dados no resultado da pesquisa, seja possível se apontar um aplicativo que se aproxime da realidade no fator tempo de viagem.

## **2.4 DELIMITAÇÕES**

Para a elaboração do estudo foi escolhido um trecho de grande importância para a comunidade acadêmica da UFRGS que é o trajeto entre os campi do centro e do vale. Esse trajeto passa, na maior parte de sua extensão, pelas avenidas Ipiranga e Bento Gonçalves, que são avenidas de 3 ou 4 faixas, dependendo do trecho, e aonde há um grande volume de carros, motocicletas e ônibus. Será levado em consideração apenas o trecho escolhido com pontos fixos de partida já que se busca filtrar a grande quantidade de veículos que passam por esses trechos que podem não ter sua origem e destino na universidade.

## **2.5 LIMITAÇÕES**

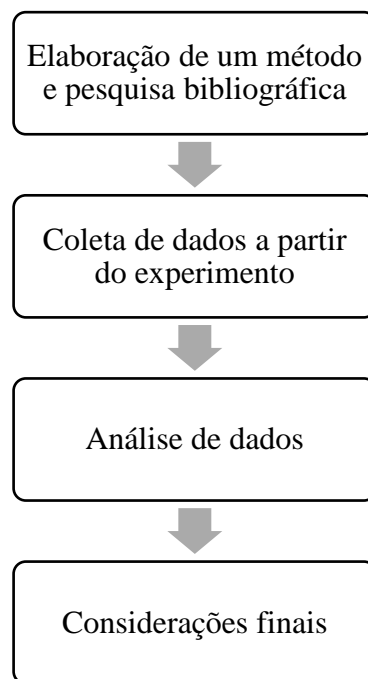
Para uma análise completa e que forneça resultados robustos o suficiente para explicar tempos e viagens de uma cidade da dimensão de Porto Alegre, a amostra deveria contemplar diversos meses do ano, períodos letivos e não-letivos, além de considerar a variação de fluxo em dias de semana, porém se trata de um trabalho de conclusão de curso aonde o foco é a aplicação de um método de engenharia, a análise de variância que está

descrita de maneira mais aprofundada no item 4 MÉTODO DE PESQUISA, então a pesquisa terá a limitação do período de coleta de dados.

## 2.6 DELINEAMENTO

Por se tratar de uma pesquisa exploratória, aqui se utilizarão levantamento bibliográfico, amostragem e análise de dados, e um estudo de caso que é o trajeto entre dois dos campi da UFRGS. Busca-se uma maior familiaridade com as tecnologias de navegação para carros, tornar tais tecnologias mais claras para os usuários e estudar suas relações com os centros urbanos. Através da Figura 1 pode se ver o procedimento de maneira ilustrada.

Figura 1 - Procedimento da pesquisa



(fonte: elaborada pelo autor)

No referencial teórico houve um embasamento sobre os assuntos que são tratados no trabalho, a respeito do transporte rodoviário, sobre o conceito de valor do tempo e das tecnologias de big data.

Na metodologia foi demonstrado como foram escolhidos os parâmetros da pesquisa e como foram executados todos os procedimentos, o projeto de experimentos e a construção da base de dados.

E a partir do estudo de caso foi apresentada uma análise técnica do que foi obtido para elaboração de uma conclusão da questão desta pesquisa, além de apontar dados que podem ser objetos de estudo de trabalhos futuros.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção se realiza a apresentação e discussão de pesquisas anteriores e alguns dados que ilustram a motivação e mostram o cenário onde este trabalho está se inserindo.

#### 3.1 TRANSPORTE RODOVIÁRIO

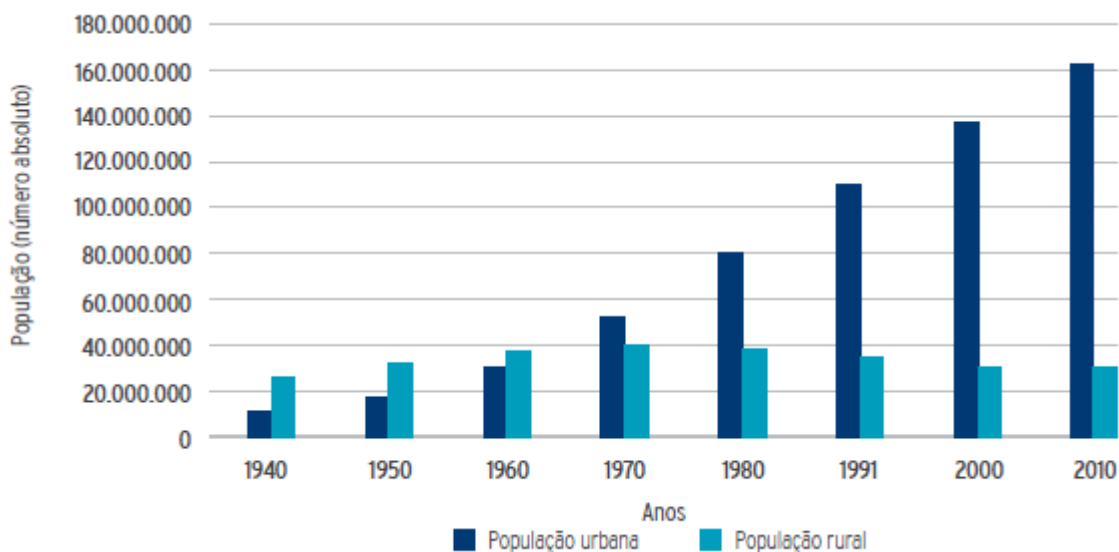
O meio de transporte predominante no Brasil atualmente é o rodoviário, com uma malha rodoviária de 1 435 856 km de extensão, maior que as 32 estradas de ferro que compõe uma malha de 30,6 mil km de extensão e maior que os 21 mil km de hidrovias economicamente navegáveis<sup>1</sup>, portanto estudos a respeito desse modal são mais relevantes no âmbito do nosso país. Tamanha preferência por um mesmo meio de transporte tanto de passageiros como de carga, gera um maior número de conflitos e acidentes, que são o maior foco de estudo de engenheiros que trabalham neste ramo.

Por uma série de decisões governamentais que geraram o cenário atual de predominância de um mesmo modal, há uma necessidade de medidas mitigadoras que possam fazer com que o trânsito consiga suprir a demanda de viagens, pois mesmo que possam se inserir novos modais para que o sistema todo funcione, ainda precisaria de uma solução de curto e médio prazo já que a infraestrutura do país já se encontra nessa situação de preferência pelo meio rodoviário (SILVA, 2018).

---

<sup>1</sup> MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL, Anuário estatístico de transportes 2010 – 2016.

Figura 2 - População residente no Brasil, por situação de domicílio



fonte: elaboração CNT com dados do IBGE 2001,2007 e 2011

A Figura 2 mostra o panorama da população brasileira, destaca-se que entre 1960 e 1970 houve a inversão do perfil da população, alternando-se de rural para majoritariamente urbana. Entre 1940 e 2010, houve um acréscimo de cerca de 145 milhões de habitantes nos grandes centros urbanos, resultando em um grau de urbanização de 31,3% em 1940, para 84,4% em 2010. De acordo com uma pesquisa da Confederação Nacional do Transporte (2017), essa grande movimentação de pessoas em busca de serviços essenciais como saúde e educação, sem o devido planejamento e organização, contribui para o fenômeno da marginalização social e dificulta o acesso das pessoas e distribuição de bens:

A migração para as áreas urbanas e o planejamento incipiente contribuíram para que a maioria das cidades se desenvolvesse sem o adequado aproveitamento e ocupação do território. Esse processo de desenvolvimento contribuiu com a periferização da população urbana, que consiste na criação de áreas habitacionais distantes dos centros das cidades. Assim, configura-se um desequilíbrio espacial, pois nem sempre a oferta de emprego, educação, saúde, lazer e serviço está próxima ao local de residência das pessoas. Consequentemente, os padrões de deslocamento são impactados e tornam-se cada vez mais longos, dispendiosos e ineficientes.

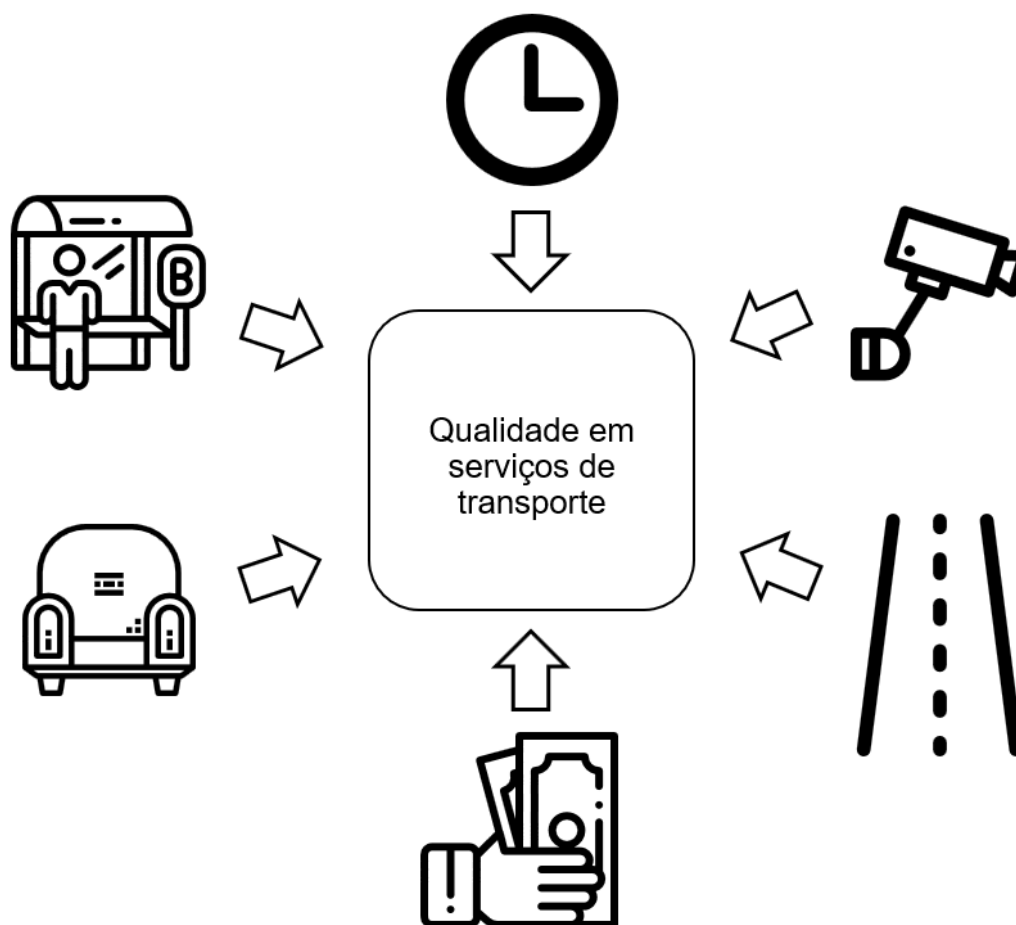
Pode se concluir que atualmente se encaram as consequências de um crescimento com ausência de planejamento, e a sociedade no geral é afetada pela ineficiência, em diversos setores mais abrangentes que apenas a engenharia. Para o caso de Porto Alegre, como de qualquer metrópole, há uma grande demanda de transportes pelo fato de sua região metropolitana ser muito ampla e com a grande concentração de comércio e serviços na

região central, e as zonas residenciais, geralmente em zonas afastadas, ou até em cidades vizinhas. O serviço de transporte exige uma malha eficiente com infraestrutura adequada, material rodante suficiente e vias arteriais de qualidade para atender a população de cerca de 1 milhão e meio de habitantes apenas na capital gaúcha (IBGE, 2018).

A situação é abrangente e há uma grande quantidade de frentes que podem ser enfrentadas para que se obtenha o melhor sistema de transportes, que idealmente consiga conciliar diferentes modais, tanto públicos quanto privados. Cruz e Carvalho (2015) propõem uma análise do transporte urbano de passageiros como um processo de produção, aonde os recursos de entrada são o pessoal de operação e manutenção, veículos e equipamentos diversos, e como recursos de saída temos passageiros transportados aos seus destinos. Dentro desse processo há diversos fatores que determinam a expectativa dos usuários, como a condição de paradas, terminais e estações, confiabilidade e pontualidade dos veículos, ilustrado na Figura 3. Dentro desse grupo de fatores se encontra o objeto de ênfase deste trabalho, que é a garantia de que os usuários cheguem ao seu destino dentro do tempo previsto, sem que haja desgaste físico e mental decorrente do serviço.



Figura 3 - Condicionantes da qualidade em qualidade em serviços de transporte



fonte: adaptado de LIMA JÚNIOR; GUALDA, 1995

Com base no que foi apresentado pode se concluir que a variabilidade do tempo de viagem é algo importante e que afeta diretamente a qualidade de um serviço de transporte, e se dispõe de ferramentas que podem diminuir a margem de erro dessa variável, tornando-a mais previsível e controlada, considerando que existem mapeamentos e bases de dados que armazenam informações de vias urbanas e rurais dentro de grandes aparelhos de *big data*. Por ser uma variável robusta que pode explicar ou determinar fenômenos importantes em projetos de transportes rurais e urbanos, justifica-se o foco nesse fator.

### 3.2 O VALOR DO TEMPO

As atividades de transporte são um meio, ao contrário de outros serviços e bens no geral, ao transporte se atribui o valor de “desutilidade”, ou seja, o tempo de transporte deve ser o

mínimo possível, ou idealmente zero. O usuário sempre procura o meio de se transportar ao seu destino para que possa valorizar seu tempo. Neste sentido, Senna (1996) propõe a atribuição de um valor de tempo ao modelar uma equação que pudesse mensurar o valor monetário que pode ser atribuído para cada minuto gasto dentro de um carro, ônibus, trem, metrô, entre outros.

$$\text{Min } U = f(x) \quad (1)$$

$$U = \alpha * t + \theta * C \quad (2)$$

Onde  $U$  é o fator de utilidade de um meio de transporte,  $f(x)$  é o vetor de atributos. A Equação 2 exemplifica os atributos que podem ser considerados na escolha de um modal, neste caso tempo e custo, os fatores mais usuais e importantes, junto de seus coeficientes  $\alpha$  e  $\theta$  que ajustam o modelo para que corresponda com a realidade (SENNA, 1996).

A partir da calibração do modelo e da aplicação da técnica de preferência declarada, pode se estimar o valor do tempo a partir dos dados de custo e tempo da viagem.

$$VOT = \frac{\frac{\partial U}{\partial t}}{\frac{\partial U}{\partial C}} \quad (3)$$

Onde VOT é o valor do tempo em R\$/min.

Conceitualmente, vale lembrar que a variabilidade do tempo de uma viagem está diretamente relacionado com a escolha modal por parte da população, e o método apresentado estima com uma boa precisão o quanto o usuário está disposto a pagar por uma diminuição do tempo de viagem.

A definição de um traçado deve seguir condições de tráfego e topográficas em seu projeto. Em casos que sejam necessárias análises mais aprofundadas, o critério a ser escolhido é o tempo de viagem, conforme enuncia O'Rourke (1940):

So far as possible, an existing right of way is utilized, but frequently the demands of traffic and topographic conditions will permit shortening the route by means of relocations. When such relocations do not involve questions of safety, the justifiable expenditure for the relocations will be based on time – and cost savings to vehicle operators. Savings can reasonably be assumed to be 4 cts. per vehicle mile for automobiles and 10 cts. per vehicle mile for commercial vehicles.

Pelos estudos apresentados há uma adição a motivação de pesquisar a respeito de variabilidade do tempo e confiabilidade nos dados fornecidos para previsão do tempo de viagem, já que dentre as diversas variáveis como custo, conforto ou segurança, fatores que influenciam a escolha modal, que por sua vez, afetam diretamente no sistema de transportes de uma sociedade.

### 3.3 BIG DATA EM TRANSPORTES

Atualmente as diferentes aplicações da tecnologia estão sendo muito pesquisadas e discutidas. Especificamente na área de transportes destacam-se as medidas de controle, fiscalização e navegação. As soluções de engenharia estão se modernizando a medida que mais recursos de big data são disponibilizados.

White (2015) estima que, no “universo digital”, havia aproximadamente 4,4 *zettabytes*<sup>1</sup> de dados armazenados em forma de mídia digital ao redor de todo o mundo. A expectativa é que até 2020 esteja próximo a 44 zettabytes. A maior parte desses dados, mesmo que sejam propriedade de grandes empresas relacionadas a web ou serviços online, podem afetar o funcionamento de pequenas corporações ou até do indivíduo.

*Big data* é um termo originário da área da tecnologia da informação, que inclui armazenamento de uma imensa quantidade de dados computacionais para análises e processamento futuros, a fim de encontrar padrões, tendências ou associações. O big data se baseia tradicionalmente em 5 “V’s”: velocidade, volume, variedade, veracidade e valor (WHITE, 2009).

Nos transportes, o *big data* já é amplamente difundido na elaboração de modelos para previsão de demanda, ou até para distribuição de viagens. A técnica de entrevista domiciliar que já era utilizada há muito tempo, se tornou mais dinâmica e ágil para tomada de decisão de engenheiros de tráfego.

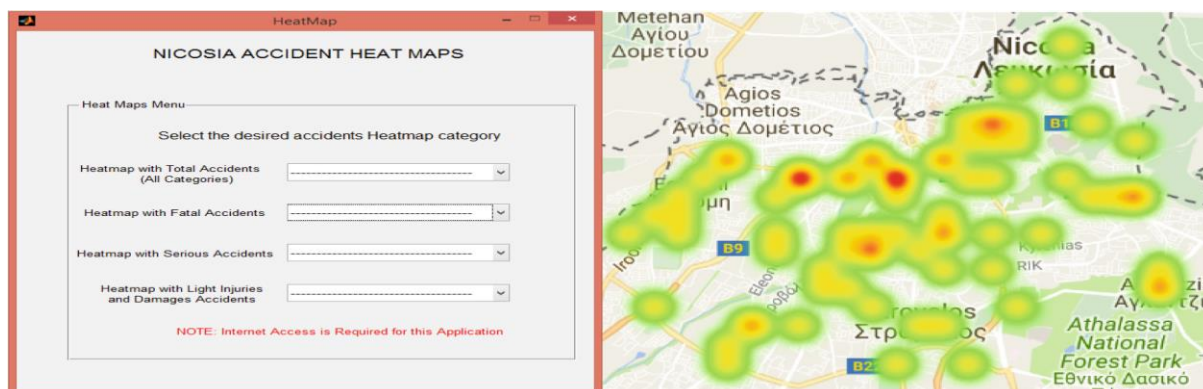
Estar familiarizado com o ambiente onde o condutor se situa é um fator importante para a segurança viária. Em cidades que recebem turistas isso pode se tornar um problema para o

---

<sup>1</sup> Um zettabyte é uma unidade de memória digital, corresponde a 1 bilhão de terabytes, ou 10<sup>21</sup> bytes

sistema de transporte, já que aumenta a concentração de condutores sem conhecimento da cidade. Hoje com a utilização de *traffic data mining* já é possível propor soluções de zoneamento e alerta para turistas visitando uma cidade, conforme a Figura 4 demonstra (GREGORIADES; CHRISTODOULIDES; MICHAEL, 2018).

Figura 4- Exemplo de aplicação de big data em transportes, mapa de calor de acidentes viários em um centro urbano



(fonte: GREGORIADES et al, Mining Traffic Data for the Development of an Accident Warning Application for Tourists, 2018)

Além disso, a colaboração de entidades que coletam grande quantidade de dados pertinentes a segurança viária aliada com as ferramentas de análise podem gerar um mapeamento preciso de acidentes viários e pode fazer um sistema de gerenciamento de tráfego com a tecnologia de GPS e as bases de dados de empresas de seguros e informações da polícia local (ZUO et al., 2018).

De Pauw (2018) apresentou um estudo feito na Bélgica que utilizou informações de rodovias e propôs uma implantação de limites de velocidade dinâmicos (DSL), apontando possíveis melhorias para redução de acidentes e congestionamentos na via. A pesquisa apresenta a disposição de painéis que limitam a velocidade de acordo com condições meteorológicas, de volume de tráfego, ou de acidentes em atendimento. Ainda com a ferramenta de *big data* pode se obter uma boa estimativa do custo benefício do investimento em questão.

Estes exemplos ilustram algumas das possíveis aplicações que já foram pensadas e redigidas pela comunidade acadêmica ao redor do mundo, o que mostra que há uma quantidade imensa de possibilidades quando se busca encontrar soluções em transportes aliando o avanço da tecnologia com a engenharia.

### 3.4 APLICATIVOS DE NAVEGAÇÃO

Baseando-se na projeção cartográfica que define latitudes e longitudes e na universal transversa de Mercator (UTM), grandes corporações de big data já criaram sistemas georreferenciados capazes de oferecer diversos serviços relacionados a navegação. A interface com a qual o usuário pode acessar esses serviços é o aplicativo de navegação. Geralmente gratuitos, esses aplicativos utilizam tecnologias de *global positioning system* (GPS) para fornecer informações que auxiliam na mobilidade de transportes terrestres. Os aplicativos mais populares e objetos de estudo estão listados abaixo.

#### 3.4.1 Google maps

De acordo com o próprio serviço do *Google Press* (2018), conhecido como *Google maps* é uma continuação de um projeto inicialmente criado pela *Where 2 Technologies*, que estava inicialmente trabalhando em um programa chamado *Expedition*, que mais se aproximava do que seria o atual *Google maps*. A *Where 2* foi comprada pela *Google* após apresentar um projeto que atendia as suas exigências, ou seja, um software que funcionasse on-line que fornecesse informações de navegação. Além disso, a *Google* uniu ao desenvolvimento deste programa um outro software chamado *Earth Viewer*, que havia sido adquirido da *Keyhole*, que futuramente seria desenvolvido para *Google Earth*, colaborando para o desenvolvimento do *Google maps* (GOOGLE, 2018a).

#### 3.4.2 Here WeGo

Iniciando seu desenvolvimento em 1985, originalmente pela NAVTEQ, a *Here* é uma empresa que fornecia dados de mapeamento, em 2007 tal companhia foi adquirida pela *Nokia*, assim se tornando o programa padrão para navegação de seus sistemas operacionais. O *Here WeGo* trouxe a proposta de um *software* disponível para qualquer dispositivo móvel, inclusive smartwatch, ou integrado com alguns sistemas multimídia de carros. A visão da empresa também incentiva o acesso de desenvolvedores e disponibiliza o acesso as suas APIs (*application programming interface*) (HERE, 2018).

### **3.4.3 Bing maps**

A Microsoft iniciou o desenvolvimento de seu próprio aplicativo de mapas em 2000 com o Microsoft MapPoint, que desde então passou por diversas modificações, inclusive em seu nome. Passou para MSN Virtual Earth, posteriormente para Windows Live Local e finalmente, por se vincular ao mecanismo de busca da Microsoft, recebeu o nome atual de Bing maps. O Bing é um serviço de geolocalização e acesso on-line de mapas que também permite acesso de desenvolvedores aos seus APIs para consultas em sua programação (MICROSOFT, 2018).

### **3.4.4 Waze**

Inicialmente desenvolvido por uma empresa israelense, o Waze criou o conceito de “derrotar o trânsito juntos”, onde os usuários do aplicativo, de maneira passiva apenas mantendo o programa ligado enquanto dirigem, estão constantemente fornecendo informações ao sistema da Waze. Dessa maneira, o Waze se difere dos demais citados por se tratar de um aplicativo- comunidade, que oferece um serviço de navegação completo e interativo, aonde é possível contribuir facilmente com alertas de trânsito, tanto quanto receber informações de diversos outros usuários ativos no momento. A Waze Ltd. foi fundada em 2008. Ao desenvolver o software chamou a atenção da Google, que adquiriu a empresa em 2013 e manteve o nome do aplicativo e continuou desenvolvendo-o (GOOGLE, 2018b).

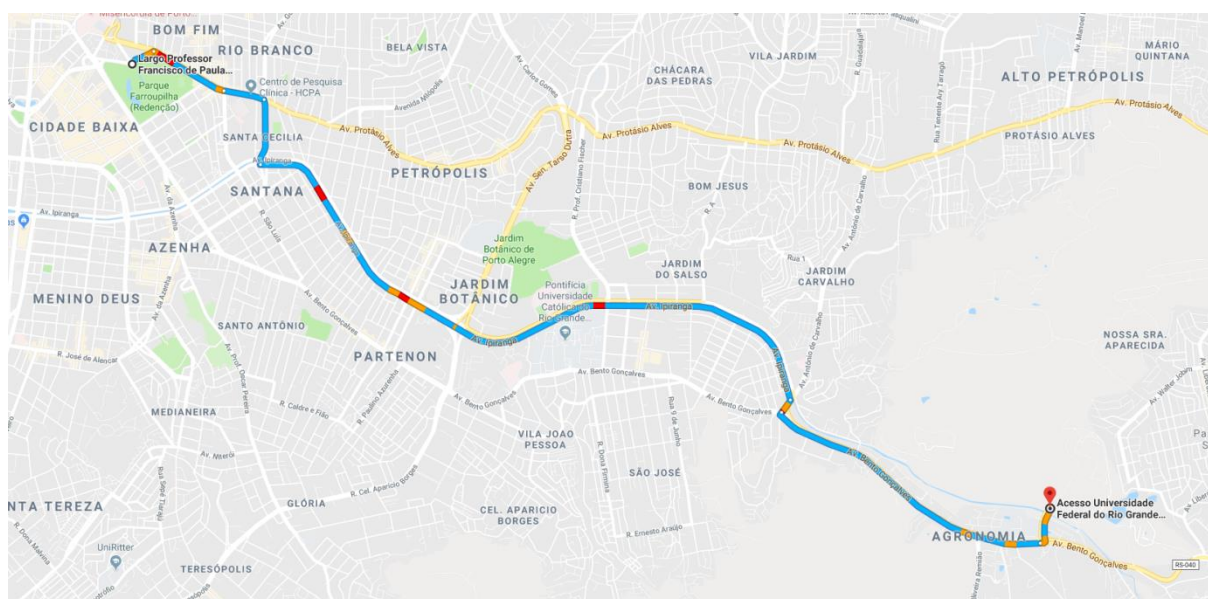
## **4 MÉTODO DE PESQUISA**

A fim de atingir os objetivos de pesquisa, serão apresentados a seguir os procedimentos para concretização das hipóteses levantadas.

## 4.1 PROJETO DE EXPERIMENTOS

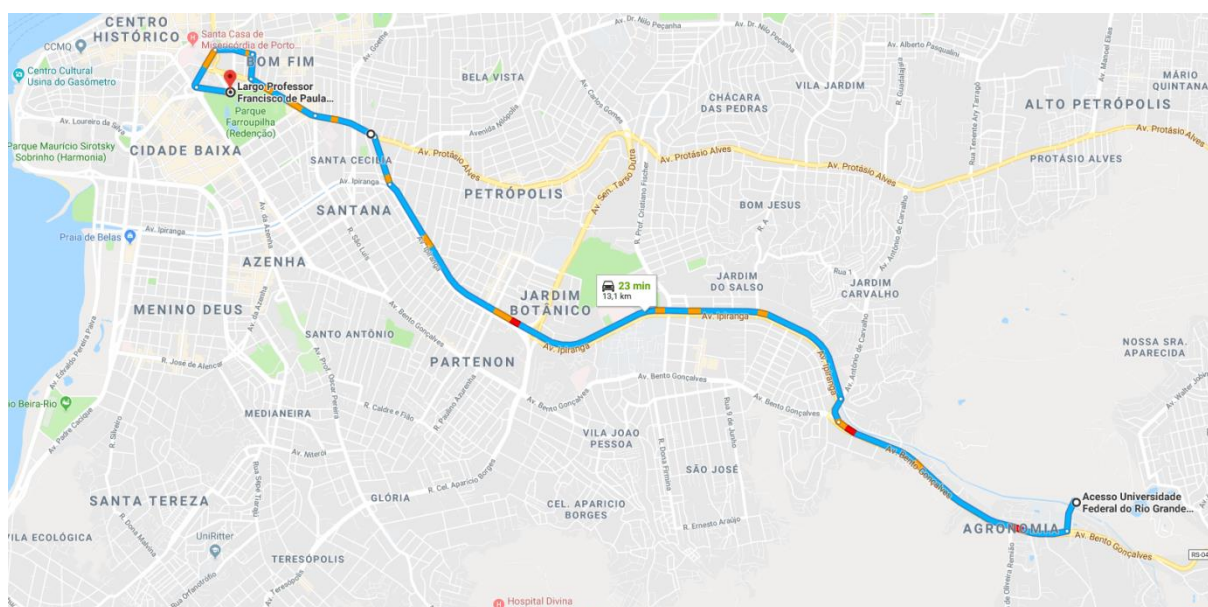
Para se construir uma base de dados, foi conduzida uma série de coletas de dados de tempos. Foi escolhido um trecho com pontos de partida e chegada fixos, um horário, data e uma rota fixa para diminuir o impacto ou ruído de outros fatores nas medições, as figuras abaixo mostram os trajetos escolhidos.

Figura 5 - Trajeto escolhido como objeto de estudo para o trecho de ida



(fonte: Google maps)

Figura 6- Trajeto escolhido como objeto de estudo para o trecho de volta

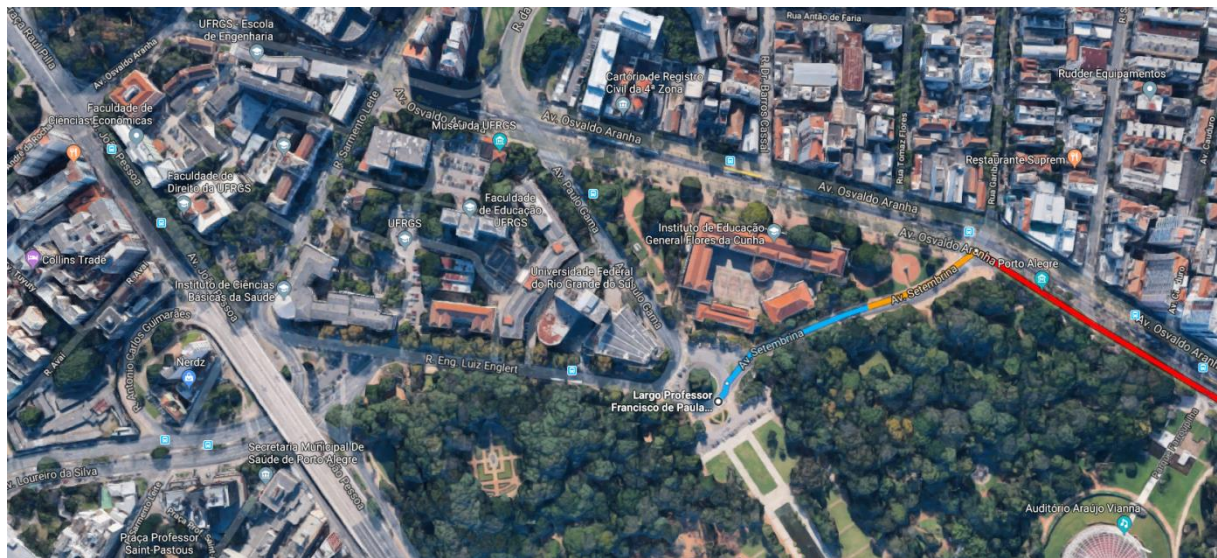


(fonte: Google maps)



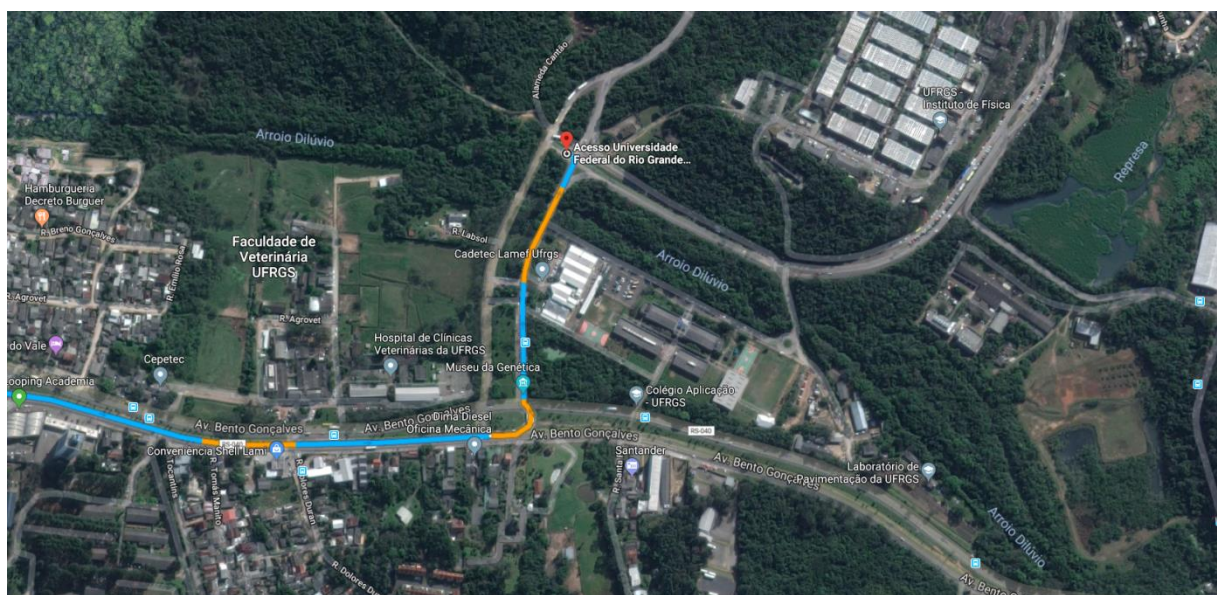
Os pontos de partida e chegada foram definidos em locais aonde é permitida a parada de veículos para que pudesse ser feito o procedimento de marcação do tempo, já que se busca a maior precisão possível dos dados sem que haja necessidade do condutor realizar atividades paralelas. As figuras abaixo mostram uma foto de satélite mostrando a localização descrita.

Figura 7 - Ponto escolhido para parada próxima ao campus do centro



(fonte: Google Maps)

Figura 8 - Ponto escolhido para parada próximo ao campus do vale



(fonte: Google maps)



No ponto ilustrado na Figura 7 se encontra uma das saídas próximas ao campus centro da UFRGS, onde há uma rotatória com estacionamento que permite paradas, no endereço Largo Prof. Francisco de Paula Brochado Rocha - Farroupilha, Porto Alegre - RS, 90040-080. Já no ponto da Figura 8 há um retorno na entrada do campus do vale da UFRGS, na avenida Bento Gonçalves, 9500, Partenon, Porto Alegre – RS, 90650-002. Entre os dois pontos há aproximadamente 14 km. Ambos os pontos servirão como largada e como chegada já que foram analisados os trechos na ida e na volta separadamente.

Durante o trajeto, foi mantido o mesmo condutor para que não haja consequências nas medições, vale ressaltar que o condutor foi orientado a seguir o fluxo de veículos, ou seja, que se mantenha atento para que o número de veículos ultrapassados seja igual ao número de veículos que o ultrapassaram. O objetivo desta orientação é fazer com que se obtenha uma informação coerente com a maioria da frota da cidade de Porto Alegre, excluindo condutores excepcionais, sejam eles muito rápidos ou muito lentos. Mesmo com essas orientações ainda há as restrições do Código de trânsito brasileiro, atualizado em 2008, que define as velocidades mínimas e máximas para automóveis:

**Art. 61.** A velocidade máxima permitida para a via será indicada por meio de sinalização, obedecidas suas características técnicas e as condições de trânsito.

**Art. 62.** A velocidade mínima não poderá ser inferior à metade da velocidade máxima estabelecida, respeitadas as condições operacionais de trânsito e da via. está próxima ao local de residência das pessoas. Consequentemente, os padrões de deslocamento são impactados e tornam-se cada vez mais longos, dispendiosos e ineficientes.

A cada coleta é feita a medição de tempo inicial e tempo final, obtendo assim o tempo de viagem real entre o campus do centro e o campus do vale da UFRGS. Assim que o veículo foi posicionado e o tempo inicial foi marcado, foi feita a consulta nos quatro aplicativos (Google , Here, Bing e Waze) anotando-se o tempo estimado de viagem. Os aplicativos fornecem a previsão de chegada considerando o trânsito e a previsão em condição de fluxo livre, dados importantes para a análise final do trabalho. O período de coleta de dados foram nos meses de junho e julho de 2018 Busca-se uma tabela de informações como a Tabela 1 a seguir:

Tabela 1 - Modelo de resultados de experimentos que formarão o banco de dados

## TRAJETO CENTRO - VALE

Coleta	Data	Horário de largada	Horário de chegada	Tempo de viagem					Observações
				Real	Google	Here	Bing	Waze	
1	06/06/18	12:10:00	12:31:58	21:58,3	22:0	32:0	31:0	22:0	
2	11/06/18	13:04:00	13:33:37	29:37,0	21:0	25:0	30:0	21:0	
3	13/06/18	13:15:00	13:31:05	16:05,0	23:0	24:0	29:0	22:0	
4	18/06/18	13:00:00	13:25:47	25:46,9	22:0	24:0	30:0	21:0	
5	20/06/18	13:01:00	13:25:51	24:51,0	22:0	26:0	31:0	21:0	
6	25/06/18	12:00:00	12:22:13	22:12,7	22:0	26:0	31:0	21:0	
7	27/06/18	12:12:00	12:38:03	26:03,1	24:0	25:0	31:0	22:0	
8	02/07/18	13:50:00	14:15:03	25:03,2	25:0	26:0	33:0	25:0	
9	04/07/18	13:15:00	13:37:55	22:55,0	24:0	27:0	31:0	23:0	
10	09/07/18	12:00:00	12:22:23	22:22,9	23:0	19:0	30:0	21:0	
11	11/07/18	11:45:00	12:05:31	20:31,3	22:0	26:0	31:0	21:0	
12	16/07/18	12:40:00	13:02:57	22:57,0	22:0	25:0	30:0	21:0	

(fonte: elaborada pelo autor)

A coluna de tempo de viagem real é uma subtração dos horários de largada e chegada e estima-se de antemão que os resultados estejam em torno de 20 a 25 minutos. Quaisquer valores atípicos que tenham sido afetados por fatores anormais devem ser descartados para que a análise se limite apenas aos tempos de viagem, e os motivos podem ser anotados na coluna de observações.

Na Tabela 1 foi ilustrado o projeto a ser adotado já com as previsões de datas, em etapas posteriores será mostrada a tabela com o resultado das medições e com as análises do procedimento.

Para se obter uma análise mais profunda dos dados, foram feitas duas medições em cada trecho, uma no ponto A e uma no ponto B, por exemplo, no trecho de ida se consulta os quatro aplicativos antes de se executar a viagem e após a chegada, é medido o tempo real

e depois os quatro aplicativos novamente, obtendo assim uma previsão de tempo de viagem antes dela ser executada e logo após ser finalizada.

## 4.2 ANÁLISE DE VARIÂNCIA

O método da ANOVA permite que possa ser verificado se há diferenças significativas entre os grupos de interesse. É uma técnica estatística consolidada da área da gestão e controle da qualidade, e de acordo com Werkema (1996) tem como conceitos básicos os seguintes itens:

- a) aleatorização: os dados utilizados devem refletir a influência de mudanças ocorridas nos fatores de interesse sobre a variável resposta do processo sob consideração.
- b) variável resposta: é a característica da qualidade de interesse, para este caso, o tempo de viagem entre os pontos descritos anteriormente.
- c) fator: é a variável que pode estar influenciando a característica da qualidade de interesse, neste caso, os aplicativos que utilizam de tecnologia big data.
- d) nível: cada um dos diferentes modos de presença de um fator é denominado nível do fator, aqui são os aplicativos Google, Here, Bing e Waze e o tempo real, totalizando 5 níveis.

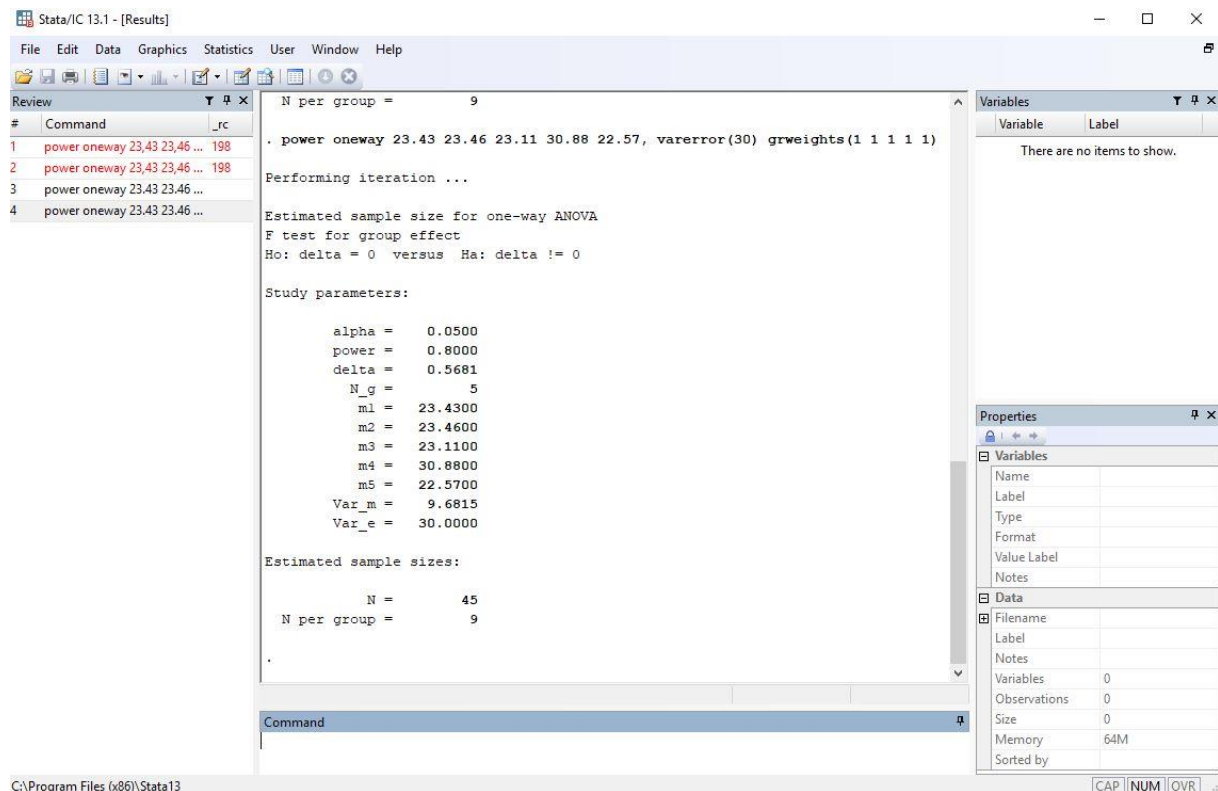
A técnica ANOVA (Analysis of Variance), testa a igualdade de três ou mais tratamentos com base na partição da variabilidade total dos componentes associados a fontes de variação (ARMBORST, 2003).

A partir da amostra que será obtida com o método proposto no item 4.1, será possível aplicar uma ferramenta que possa fornecer análises com embasamento, a partir de estudos já realizados na área de engenharia de qualidade e estatística. O método escolhido foi a Análise de variância, já que é um método que se encaixa com a matriz de dados e que fornece o resultado procurado, ou seja, pode confirmar se os dados têm uma relação entre si e quais deles se assemelham entre si.

Para que um procedimento estatístico seja válido, a amostra retirada para ser analisada deve ser suficientemente robusta para se retirar conclusões confiáveis. Como não é possível obter dados da população para realizar análises mais tradicionais da estatística, optou-se por realizar o experimento, e depois de obtidos alguns parâmetros inseri-los no software de

análise estatística chamado Stata, uma ferramenta precisa que é capaz de fornecer a informação de tamanho de amostra necessária (CAMERON; TRIVEDI, 2009). A Figura 9 abaixo mostra o resultado da análise feita no Stata/IC 14 considerando um parâmetro de confiabilidade de 95%.

Figura 9 - Resultado da análise de tamanho de amostra no Stata



(fonte: Stata statistics)

Esse software já passou por testes de confiabilidade em trabalhos acadêmicos, sendo submetido a processos de modelos de regressão para comprovação de acurácia numérica, portanto para a necessidade de confirmação do tamanho da amostra ele é compatível (BERGTOLD et al., 2018).

Determinado o tamanho da amostra, prosseguimos para explicar o procedimento de uma aplicação da ANOVA, Bussab (1986) descreve que devem ser identificados o fator controlável, os seus respectivos “k” níveis e a quantidade “n” de repetições da amostra. Com esses dados agrupados em uma tabela, calcula-se a soma das amostras “Tj” e divide-

se pelo número de níveis para se obter a média “ $\bar{Y}_j$ ”. A organização está ilustrada na Tabela 2 com valores estimados apenas para demonstração didática.

Tabela 2 - exemplo de organização de dados com valores fictícios

		Níveis					
		$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$	$k_5$	
		9	10	11	12	13	
		10	11	12	13	14	
		11	12	13	14	15	
$T_j$		30	33	36	39	42	$T = 180$
$n_j$		3	3	3	3	3	$N = 15$
$\bar{Y}_j$		10	11	12	13	14	$\bar{Y} = 16$

fonte: elaborada pelo autor

Feito isso se obtém os parâmetros soma dos quadrados totais SQT, soma dos quadrados dos grupos SQG e soma dos quadrados dos resíduos SQR: Suas equações estão descritas abaixo.

Tabela 3 - Tabela ANOVA para um fator (one-way ANOVA)

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Média quadrada	Teste F
Entre grupos (agente)	$SQG = \sum \frac{T_i^2}{n_i} - T_c$	k-1	$MQG = \frac{SQG}{k-1}$	$\frac{MQG}{MQR}$
Dentro dos grupos (residual)	$SQR = \sum Y_{ij}^2 - \sum \frac{T_i^2}{n_i}$	N-k	$MQR = \frac{SQR}{N-k}$	
Total	$SQT = SQG + SQR$	N-1		

fonte: DRUMOND et al, 1996 p. 96

O teste F apresentado na Tabela 3 faz o quociente entre duas variâncias, as médias quadradas dos grupos e residuais, e este valor é comparado com um valor F crítico que é obtido a partir da distribuição f de Fisher-Snedecor. Caso o valor F calculado seja maior que o f tabelado, conclui-se que existem diferenças significativas entre os grupos, devido ao fator controlável (SEARLE et al, 2009).

A análise *a posteriori* é um procedimento feito para analisar padrões nos dados que não foram detectados *a priori*. Após a execução da ANOVA e confirmação de que há um

resultado significativo dos dados, se executa uma comparação múltipla de médias, técnica que permite detalhar onde estão as diferenças detectadas pelo teste F (BLUMAN, 2017). Para o caso da pesquisa, a ferramenta adequada é o teorema do limite central, pois fornece resultados coerentes com a pesquisa e suficientemente precisos. Conforme se comparam as médias e elas se distanciam da curva do outro grupo, pode se afirmar que elas se diferem significativamente. E para determinar esses limites de decisão se considera 3 vezes o desvio padrão das médias (NAVIDI, 2012)

$$S_{\bar{Y}_j} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{\sqrt{MQR}}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

$$L_d = 3 * S_{\bar{Y}_j} \quad (5)$$

Com o resultado do limite de decisão ordenam-se as médias em ordem crescente e calcula-se a diferença em módulo de duas médias, e a diferença será significativa entre grupos se ela for maior que o  $L_d$  encontrado. Esse procedimento é a comparação múltipla de médias ou CMM.

## 5. RESULTADOS E ANÁLISES

Realizado o projeto de experimentos explicado no item 4 MÉTODO DE PESQUISA, puderam ser tomadas conclusões a partir do resultado da ANOVA e da CMM, que estão detalhados nos apêndices.

### 5.1 RESULTADO MAIS SIGNIFICATIVO

Conforme explicado no item 4.1 PROJETO DE EXPERIMENTOS, foram feitas coletas de dados em momentos diferentes. Na Tabela 4 está demonstrado o resultado mais frequente e, portanto, mais significativo dentre as coletas realizadas. A maioria dos apêndices aponta resultados convergentes, então arbitrariamente foi escolhido o APÊNDICE G - Resultado da ANOVA analisando a média entre a coleta feita antes e depois, trajeto centro - vale.

Tabela 4 - Resultado mais significativo dentre as análises

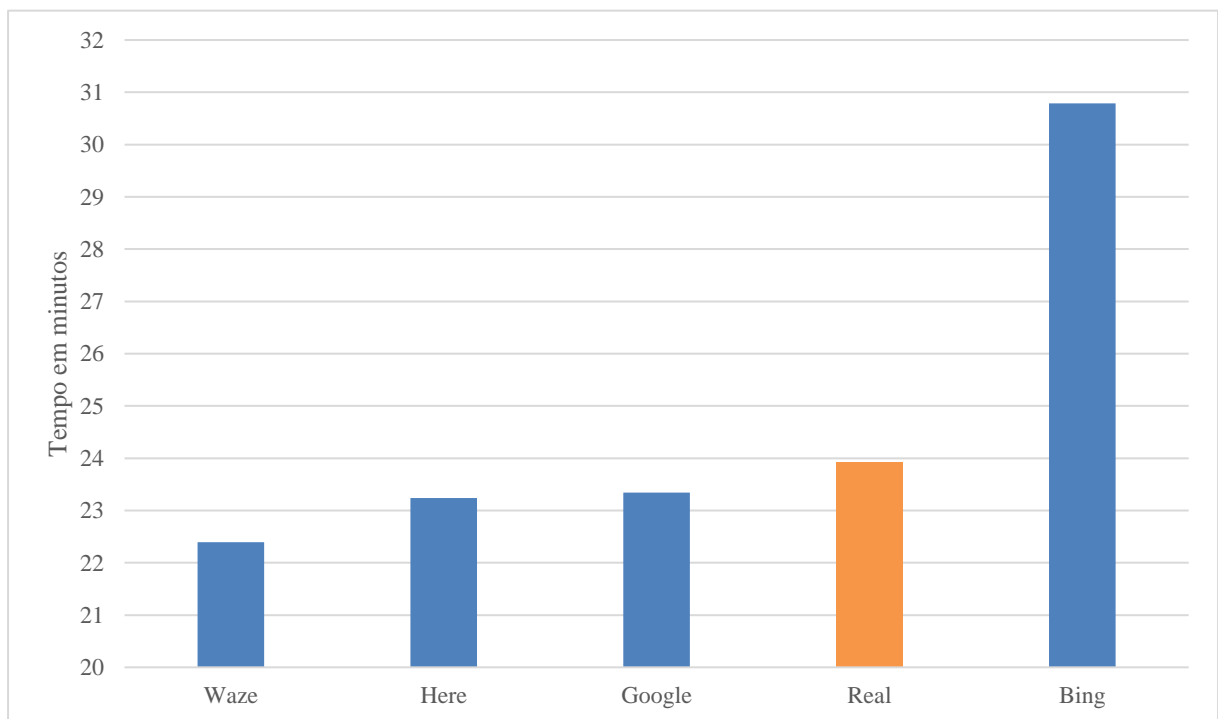
	$\bar{Y}_{Waze}$	$\bar{Y}_{Here}$	$\bar{Y}_{Google}$	$\bar{Y}_{Real}$	$\bar{Y}_{Bing}$
Ordenar médias	22,395	23,237	23,342	23,922	30,789
Diferenças	0,842	0,105	0,5798	6,868	

fonte: elaborada pelo autor

Nota-se que das 5 médias de tempos apenas uma se distancia enquanto quatro tem valores semelhantes entre si. Esta média de valor distante é a do Bing, que em todas as análises se mostrou a menos precisa em comparação com a real. Os outros provedores de dados de navegação conseguiram se aproximar do valor real e por consequência, se aproximaram entre si, mostrando assim maior precisão quando se deseja realizar previsões.

Como se trata do resultado mais significativo, é válida uma análise gráfica das médias das amostras. Na Figura 10 está demonstrado um gráfico do apêndice APÊNDICE G - Resultado da ANOVA analisando a média entre a coleta feita antes e depois, trajeto centro - vale, também com médias ordenadas conforme padrão da Tabela 4, através do qual pode se observar a convergência dos quatro primeiros grupos enquanto o outro diverge.

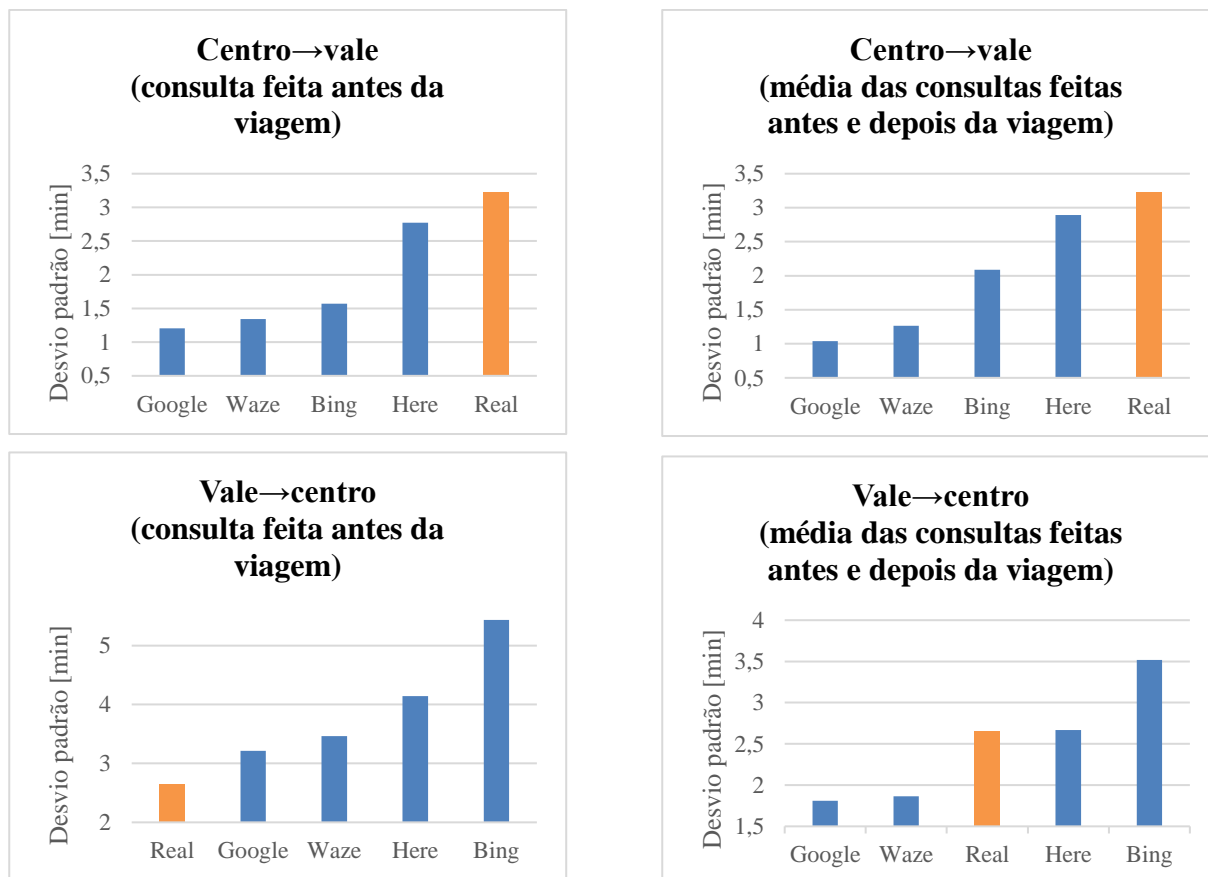
Figura 10 - Gráfico das médias de tempos para o trajeto de ida ao campus do vale



fonte: elaborada pelo autor

Outra interpretação interessante é feita a partir do agrupamento dos dados de desvios padrão. Onde se nota que, embora o desvio padrão das amostras esteja fluando em diversas posições, os aplicativos tendem a seguir um mesmo padrão e mantém sua tendência, conforme os dados dos gráficos da Figura 11, retirados dos apêndices E, G, H e J.

Figura 11 - Gráficos comparando desvios padrão, referentes aos dados dos apêndices E, G, H e J



fonte: elaborada pelo autor

Nota-se que o Google e o Waze tendem a um desvio padrão menor enquanto o Here e Bing desvios maiores. O cenário ideal nas previsões de tempo de viagem seria o erro próximo de zero, ou seja a exatidão, porém os resultados mostram que essa alternativa não se concretizou. Existem apenas as opções com maior acurácia, que seria o Here, ou as mais precisas, Google e Waze.



Com base na ANOVA e nos gráficos apresentados, há uma forte indicação de que o Bing é a pior opção de escolha para navegação utilizando aplicativos. Apesar de haver fatores imensuráveis e intangíveis, como o suporte ao cliente, a interoperabilidade com outros aplicativos ou a facilidade de utilização da interface, do ponto de vista de tempos de viagem, numérico e de engenharia pode se afirmar que o Bing não é uma opção viável.

## 5.2 RESULTADOS DESCONSIDERADOS

O apêndice APÊNDICE I - Resultado da ANOVA analisando os dados coletados depois da viagem, trajeto vale - centro, que detalha os resultados da análise das viagens feitas do vale até o centro, tem um resultado diferente dos demais por concluir que: “nenhum aplicativo seria confiável para consultas”. Interpretando a comparação múltipla de médias, pode se concluir que as médias de tempos do Google e do Waze se assemelham entre si, o que pode se explicar pelo fato de serem da mesma empresa (Item 3.4 APLICATIVOS DE NAVEGAÇÃO), mas todas as outras médias se mostraram distantes, entre Here, Waze, Bing e tempo real de viagem.

Por esse resultado mostrar conclusões de padrão muito diferente dos demais, pode se realizar uma análise crítica dessa informação e desconsiderar esses dados para os efeitos conclusivos do trabalho como um todo. Há ainda a possibilidade de se aprofundar esse estudo futuramente para se entender os motivos que podem ter levado a esse acontecimento, o que está fora do escopo do trabalho. Causas possíveis e simplesmente especulativas seriam a maior instabilidade do horário fora do pico, entre 14h e 15h, quando não há algum padrão de movimentos de massa, como movimentos pendulares (MOURA; CASTELLO BRANCO; FIRKOWSKI, 2005), ou ainda o fato de serem coletados dados durante o período letivo e não letivo da UFRGS no mesmo experimento.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No início do trabalho foi descrita a ideia de estudar a relação entre a tecnologia e a rede de transportes por meio rodoviário. O objetivo principal era examinar, através de ferramentas de engenharia, os softwares dotados de big data e qual sua capacidade de prever tempos de viagem no mundo real.

O estudo foi conduzido através de um projeto de experimentos que foi a campo realizar tomadas de tempo, com parâmetros e diretrizes bem definidos. A partir disso, foi possível se obter com sucesso uma base de dados sólida o suficiente para que a hipótese pudesse ser afirmada.

Interpretando os resultados do item 5. , e considerando o referencial teórico do trabalho, afirma-se que dentre as alternativas de softwares apresentadas para o estudo, Google, Here, Bing e Waze, apenas o Bing forneceu resultados inconsistentes com o resultado real, e considerando que o usuário de serviços virtuais de navegação procura sempre a informação mais verossímil e precisa, é o aplicativo menos indicado.

O Google e o Waze mantiveram comportamentos semelhantes, sempre se aproximando mais do valor real, porém com variações consideráveis, mostrando uma maior sensibilidade a fatores geradores de trânsito.

Já o Here não teve resultado tão próximo do real como os demais, mas preciso o suficiente para atender os critérios da ANOVA, e também com a vantagem de ter o menor desvio padrão de todos, ou seja, mantém uma coerência com o seu próprio fornecimento de dados.

Os dados desse trabalho estão limitados a um período relativamente curto de tempo aonde foram coletados os dados. As tabelas mostradas nos apêndices, apesar de terem sido cuidadosamente construídas, inevitavelmente estão sujeitas a variações sazonais ou semanais, já que o calendário letivo das universidades de Porto Alegre ou até eventos e obras acontecendo na cidade geram congestionamento na rede.

O estudo elaborado trata de maneira objetiva e didática um assunto complexo e de muitos fatores envolvidos. Conforme mencionado no item 6. , a rede de transportes urbanos pode ter sua demanda muito sensível a variações, portanto as decisões a serem tomadas nessa área devem sempre ser muito estudadas e as diversas variáveis devem ser consideradas. Ao apresentar esse trabalho a expectativa é de ter contribuído com o desenvolvimento das operações de transporte no geral, e fornecido mais uma fonte bibliográfica para embasar estudos mais aprofundados a respeito dos fatores que influenciam o transporte em áreas urbanas.

## REFERÊNCIAS

- ARMBORST, T. **Análise de variância para dados categóricos: uma aplicação em genética**. 2003. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, [s. l.], 2003.
- BERGTOLD, J. S. et al. On the examination of the reliability of statistical software for estimating regression models with discrete dependent variables. **Computational Statistics**, [s. l.], v. 33, n. 2, p. 757–786, 2018.
- BLUMAN, A. G. **Elementary Statistics. A Step by Step Approach**. 10. ed. [s.l: s.n.].
- BRASIL. Código de Trânsito Brasileiro. **Denatran**, [s. l.], p. 708, 2008. Disponível em: <[http://www.denatran.gov.br/publicacoes/download/ctb\\_e\\_legislacao\\_complementar.pdf](http://www.denatran.gov.br/publicacoes/download/ctb_e_legislacao_complementar.pdf)>
- BUSSAB, W. de O. **Análise de Variância e de regressão**. São Paulo: Editora Atual, 1986.
- CAMERON, A. C.; TRIVEDI, P. K. Microeconometrics using Stata. **Stata Press books**, [s. l.], v. 5, p. 706, 2009. Disponível em: <<http://stata.biz/news/statanews.23.4.pdf>>
- CNT; NTU. **Pesquisa Mobilidade da População Urbana 2017**. Disponível em <<http://www.cnt.org.br/Pesquisa/mobilidade-populacao-urbana>> .
- DE PAUW, E. et al. Safety effects of dynamic speed limits on motorways. **Accident Analysis and Prevention**, [s. l.], v. 114, n. June, p. 83–89, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2017.06.013>>
- DRUMOND, F. B.; WERKEMA, M. C. C.; AGUIAR, S. Análise de variância: comparação de várias situações. In: Belo Horizonte: UFMG, 1996. p. 96.
- GREGORIADES, A.; CHRISTODOULIDES, A.; MICHAEL, H. Advances in Safety Management and Human Factors. [s. l.], v. 604, 2018. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-60525-8>>
- GOOGLE (2018a) Google Acquires Keyhole Corp. Disponível em: <<http://googlepress.blogspot.com/2004/10/google-acquires-keyhole-corp.html>>.
- GOOGLE (2018b) Google Maps and Waze, outsmarting traffic together. Disponível em: <<https://googleblog.blogspot.com/2013/06/google-maps-and-waze-outsmarting.html>>
- HERE (2018) The journey of mapping . Disponível em <<https://www.here.com/en/company/about-here-technologies/about-us>>.
- IBGE. **Panoramas municipais**. Porto Alegre. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/porto-alegre/panorama>>.
- LIMA JÚNIOR, O. F.; GUALDA, N. D. F. Condicionantes da qualidade em serviços de transporte. **Anais do IX ANPET**, [s. l.], p. 634–645, 1995.
- MICROSOFT (2018) Bing Maps. Disponível em: <<https://msdn.microsoft.com/en-us/library/dd877180.aspx>>
- MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL, Anuário estatístico de

transportes 2010 – 2016

MOURA, R.; CASTELLO BRANCO, M. L. G.; FIRKOWSKI, O. L. C. D. F. Movimento pendular e perspectivas de pesquisas em aglomerados urbanos. **São Paulo em Perspectiva**, [s. l.], v. 19, n. 4, p. 121–133, 2005.

NAVIDI, W. Probabilidade e Estatística para ciências exatas. In: [s.l.] : AMGH editora, 2012. p. 616.

O'ROURKE, C. E. **General Engineering Handbook**. 2nd editio ed. New York and London: McGraw Hill, 1940.

SEARLE, S. R.; CASELLA, G.; MCCULLOCH, C. E. **Variance components**. [s.l.] : John Wiley & Sons, 2009.

SENNA, L. A. D. S. Escolha modal e integração nos transportes urbanos: o valor do tempo de transporo. **X Congresso de pesquisa e ensino em transportes**, [s. l.], p. 119–125, 1996.

SILVA, J. C. L. A estratégia brasileira de privilegiar as rodovias em detrimento das ferrovias; Brasil Escola. Disponível em <<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/por-que-brasil-adotou-utilizacao-das-rodovias-ao-inves-.htm>>. Acesso em 26 de setembro de 2018.

VALENTE, A. M. et al. Qualidade e produtividade nos transportes. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2015

WERKEMA, M. C. C. **Análise de variância: comparação de várias situações**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1996.

WHITE, T. **Hadoop: The Definitive Guide**. 1. ed. [s.l.] : O'Reilly Media, 2009.

ZUO, W. et al. A police and insurance joint management system based on high precision BDS/GPS positioning. **Sensors (Switzerland)**, [s. l.], v. 18, n. 1, 2018.



**APÊNDICE A – Tabela de tempos de viagem do campus do centro para o  
campus do vale com valores em minutos:segundos**

## TRAJETO CENTRO - VALE

Coleta	Data	Horário de largada	Horário de chegada	Real	Tempo de viagem [min:seg]				Observações
					Google	Here	Bing	Waze	
1	06/06/18	12:10:00	12:31:58	21:58,3	22:0	32:0	31:0	22:0	
					23:0	32:0	31:0	22:0	
2	11/06/18	13:04:00	13:33:37	29:37,0	21:0	25:0	30:0	21:0	
					24:0	29:0	30:0	24:0	
3	13/06/18	13:15:00	13:31:05	16:05,0	23:0	24:0	29:0	22:0	
					27:0	19:0	20:0	28:0	
4	18/06/18	13:00:00	13:25:47	25:46,9	22:0	24:0	30:0	21:0	
					24:0	19:0	32:0	23:0	
5	20/06/18	13:01:00	13:25:51	24:51,0	22:0	26:0	31:0	21:0	Fim das aulas de 2018/1
					26:0	19:0	33:0	24:0	
6	25/06/18	12:00:00	12:22:13	22:12,7	22:0	26:0	31:0	21:0	Chuva leve
					23:0	19:0	30:0	22:0	
7	27/06/18	12:12:00	12:38:03	26:03,1	24:0	25:0	31:0	22:0	
					26:0	19:0	34:0	25:0	
8	02/07/18	13:50:00	14:15:03	25:03,2	25:0	26:0	33:0	25:0	Chuva
					26:0	19:0	36:0	24:0	
9	04/07/18	13:15:00	13:37:55	22:55,0	24:0	27:0	31:0	23:0	
					25:0	19:0	36:0	24:0	
10	09/07/18	12:00:00	12:22:23	22:22,9	23:0	19:0	30:0	21:0	Chuva
					23:0	19:0	30:0	22:0	
11	11/07/18	11:45:00	12:05:31	20:31,3	22:0	26:0	31:0	21:0	
					22:0	19:0	30:0	22:0	
12	16/07/18	12:40:00	13:02:57	22:57,0	22:0	25:0	30:0	21:0	
					24:0	19:0	29:0	22:0	
13	18/07/18	12:00:00	12:24:19	24:19,1	22:0	26:0	33:0	21:0	
					23:0	19:0	31:0	23:0	
14	23/07/18	13:06:00	13:35:41	29:40,9	22:0	24:0	30:0	20:0	
					23:0	27:0	32:0	22:0	
15	25/07/18	12:56:00	13:23:43	27:43,0	25:0	26:0	31:0	24:0	
					23:0	25:0	30:0	24:0	
16	30/07/18	13:05:00	13:25:58	20:58,2	21:0	19:0	30:0	19:0	
					24:0	19:0	32:0	21:0	
17	01/08/18	12:45:00	13:09:14	24:14,0	22:0	25:0	29:0	22:0	
					23:0	22:0	31:0	21:0	
18	06/08/18	13:01:00	13:25:56	24:56,0	24:0	26:0	27:0	22:0	
					23:0	23:0	30:0	23:0	
19	08/08/18	12:15:00	12:37:16	22:16,4	23:0	27:0	34:0	22:0	Início das aulas de 2018/2
					24:0	19:0	31:0	24:0	

**APÊNDICE B – Tabela de tempos de viagem do campus do centro para o  
campus do vale em valores decimais**



## TRAJETO CENTRO - VALE

Coleta	Data	Horário de largada	Horário de chegada	Real	Tempo de viagem [min]				Observações
					Google	Here	Bing	Waze	
1	06/06/18	12:10:00	12:31:58	21,97	22	32	31	22	
					23	32	31	22	
2	11/06/18	13:04:00	13:33:37	29,62	21	25	30	21	
					24	29	30	24	
3	13/06/18	13:15:00	13:31:05	16,08	23	24	29	22	
					27	19	20	28	
4	18/06/18	13:00:00	13:25:47	25,78	22	24	30	21	
					24	19	32	23	
5	20/06/18	13:01:00	13:25:51	24,85	22	26	31	21	Fim das aulas de 2018/1
					26	19	33	24	
6	25/06/18	12:00:00	12:22:13	22,21	22	26	31	21	Chuva leve
					23	19	30	22	
7	27/06/18	12:12:00	12:38:03	26,05	24	25	31	22	
					26	19	34	25	
8	02/07/18	13:50:00	14:15:03	25,05	25	26	33	25	Chuva
					26	19	36	24	
9	04/07/18	13:15:00	13:37:55	22,92	24	27	31	23	
					25	19	36	24	
10	09/07/18	12:00:00	12:22:23	22,38	23	19	30	21	Chuva
					23	19	30	22	
11	11/07/18	11:45:00	12:05:31	20,52	22	26	31	21	
					22	19	30	22	
12	16/07/18	12:40:00	13:02:57	22,95	22	25	30	21	
					24	19	29	22	
13	18/07/18	12:00:00	12:24:19	24,32	22	26	33	21	
					23	19	31	23	
14	23/07/18	13:06:00	13:35:41	29,68	22	24	30	20	
					23	27	32	22	
15	25/07/18	12:56:00	13:23:43	27,72	25	26	31	24	
					23	25	30	24	
16	30/07/18	13:05:00	13:25:58	20,97	21	19	30	19	
					24	19	32	21	
17	01/08/18	12:45:00	13:09:14	24,23	22	25	29	22	
					23	22	31	21	
18	06/08/18	13:01:00	13:25:56	24,93	24	26	27	22	
					23	23	30	23	
19	08/08/18	12:15:00	12:37:16	22,27	23	27	34	22	Início das aulas de 2018/2
					24	19	31	24	

**APÊNDICE C – Tabela de tempos de viagem do campus do vale para o  
campus do centro com valores em [minutos:segundos]**

**TRAJETO VALE - CENTRO**

Coleta	Data	Horário de largada	Horário de chegada	Tempo de viagem [min:seg]					Observações
				Real	Google	Here	Bing	Waze	
1	06/06/18	14:35:00	15:03:21	28:21,1	29:0 28:0	37:0 32:0	41:0 37:0	26:0 26:0	
2	11/06/18	14:31:00	14:58:20	27:20,0	27:0 26:0	29:0 32:0	38:0 37:0	25:0 25:0	
3	13/06/18	14:20:00	14:47:49	27:49,0	31:0 30:0	23:0 25:0	43:0 37:0	30:0 29:0	
4	18/06/18	14:15:00	14:37:25	22:25,4	25:0 24:0	28:0 25:0	33:0 31:0	25:0 24:0	
5	20/06/18	13:54:00	14:20:53	26:53,5	30:0 26:0	28:0 31:0	35:0 37:0	28:0 25:0	Fim das aulas de 2018/1
6	25/06/18	14:25:00	14:52:14	27:14,0	28:0 25:0	23:0 31:0	37:0 36:0	29:0 25:0	Chuva leve
7	27/06/18	13:35:00	14:05:18	30:18,3	30:0 27:0	23:0 29:0	34:0 37:0	31:0 29:0	
8	02/07/18	15:10:00	15:43:17	33:16,8	40:0 26:0	23:0 31:0	49:0 36:0	37:0 25:0	Chuva
9	04/07/18	14:15:00	14:40:04	25:03,8	30:0 27:0	27:0 31:0	39:0 37:0	31:0 25:0	
10	09/07/18	13:10:00	13:39:09	29:08,7	26:0 28:0	22:0 33:0	33:0 36:0	26:0 27:0	Chuva
11	11/07/18	14:45:00	15:13:22	28:22,1	26:0 29:0	28:0 35:0	50:0 39:0	27:0 29:0	
12	16/07/18	13:50:00	14:19:14	29:14,2	29:0 26:0	27:0 32:0	40:0 35:0	27:0 24:0	
13	18/07/18	13:20:00	13:49:41	29:40,9	29:0 30:0	28:0 33:0	49:0 40:0	27:0 29:0	
14	23/07/18	13:25:00	13:55:42	30:42,3	26:0 26:0	30:0 32:0	36:0 38:0	23:0 29:0	
15	25/07/18	13:46:00	14:17:53	31:52,6	28:0 29:0	29:0 32:0	34:0 33:0	33:0 25:0	
16	30/07/18	14:20:00	14:46:02	26:01,9	28:0 26:0	22:0 31:0	36:0 36:0	27:0 23:0	
17	01/08/18	13:32:00	14:01:11	29:10,8	27:0 28:0	30:0 32:0	34:0 32:0	25:0 31:0	
18	06/08/18	13:40:00	14:10:54	30:54,1	29:0 27:0	29:0 30:0	37:0 33:0	28:0 30:0	
19	08/08/18	13:50:00	14:22:29	32:28,6	31:0 27:0	35:0 32:0	38:0 37:0	33:0 25:0	Início das aulas de 2018/2

**APÊNDICE D – Tabela de tempos de viagem do campus do vale para o  
campus do centro em valores decimais**

---

**TRAJETO VALE - CENTRO**

Coleta	Data	Horário de largada	Horário de chegada	Real	Tempo de viagem [min]				Observações
					Google	Here	Bing	Waze	
1	06/06/18	14:35:00	15:03:21	28,35	29 28	37 32	41 37	26 26	
2	11/06/18	14:31:00	14:58:20	27,33	27 26	29 32	38 37	25 25	
3	13/06/18	14:20:00	14:47:49	27,82	31 30	23 25	43 37	30 29	
4	18/06/18	14:15:00	14:37:25	22,42	25 24	28 25	33 31	25 24	
5	20/06/18	13:54:00	14:20:53	26,89	30 26	28 31	35 37	28 25	Fim das aulas de 2018/1
6	25/06/18	14:25:00	14:52:14	27,23	28 25	23 31	37 36	29 25	Chuva leve
7	27/06/18	13:35:00	14:05:18	30,31	30 27	23 29	34 37	31 29	
8	02/07/18	15:10:00	15:43:17	33,28	40 26	23 31	49 36	37 25	Chuva
9	04/07/18	14:15:00	14:40:04	25,06	30 27	27 31	39 37	31 25	
10	09/07/18	13:10:00	13:39:09	29,15	26 28	22 33	33 36	26 27	Chuva
11	11/07/18	14:45:00	15:13:22	28,37	26 29	28 35	50 39	27 29	
12	16/07/18	13:50:00	14:19:14	29,24	29 26	27 32	40 35	27 24	
13	18/07/18	13:20:00	13:49:41	29,68	29 30	28 33	49 40	27 29	
14	23/07/18	13:25:00	13:55:42	30,71	26 26	30 32	36 38	23 29	
15	25/07/18	13:46:00	14:17:53	31,88	28 29	29 32	34 33	33 25	
16	30/07/18	14:20:00	14:46:02	26,03	28 26	22 31	36 36	27 23	
17	01/08/18	13:32:00	14:01:11	29,18	27 28	30 32	34 32	25 31	
18	06/08/18	13:40:00	14:10:54	30,90	29 27	29 30	37 33	28 30	
19	08/08/18	13:50:00	14:22:29	32,48	31 27	35 32	38 37	33 25	Início das aulas de 2018/2

---

**APÊNDICE E – Resultado da ANOVA analisando os dados coletados antes  
da viagem, trajeto centro - vale**

### Anova: centro - vale

Análise da coleta feita antes da viagem

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Real	19	454,515833	23,921886	10,384051
Google	19	431	22,6842105	1,4502924
Here	19	478	25,1578947	7,69590643
Bing	19	582	30,6315789	2,46783626
Waze	19	411	21,6315789	1,80116959

### ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	939,014116	4	234,753529	49,3195107	6,62405E-22	2,47292704
Dentro dos grupos	428,386602	90	4,75985114			
Total	1367,40072	94				

nc	19
Sx	0,500518
Ld	1,501555

	$\bar{Y}_{Waze}$	$\bar{Y}_{Google}$	$\bar{Y}_{Real}$	$\bar{Y}_{Here}$	$\bar{Y}_{Bing}$
Ordenar médias	21,63158	22,68421	23,921886	25,15789	30,63158
Diferenças entre médias		1,052632	1,237675	1,236009	5,473684

$\sigma^2$	4,759851
$\sigma^2_{\tau}$	12,10493
$\sigma^2_{TOTAL}$	16,86478

Variab. Tratamento	71,78%
Variab. Erro Aleat.	28,22%
	100%

**APÊNDICE F - Resultado da ANOVA analisando os dados coletados depois  
da viagem, trajeto centro - vale**



### Anova: centro - vale

Análise da coleta feita depois da viagem

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Real	19	454,515833	23,921886	10,384051
Google	19	456	24	1,88888889
Here	19	405	21,3157895	16,2280702
Bing	19	588	30,9473684	10,9415205
Waze	19	440	23,1578947	2,69590643

### ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	1025,07108	4	256,26777	30,40784	5,23559E-16	2,47292704
Dentro dos grupos	758,491866	90	8,42768739			
Total	1783,56295	94				

nc	19
Sx	0,666005
Ld	1,998015

	$\bar{Y}_{Here}$	$\bar{Y}_{Waze}$	$\bar{Y}_{Real}$	$\bar{Y}_{Google}$	$\bar{Y}_{Bing}$
Ordenar médias	21,31579	23,15789	23,921886	24	30,94737
Diferenças		1,842105	0,763991	0,078114	6,947368

$\sigma^2$	8,427687
$\sigma^2_{\tau}$	13,04421
$\sigma^2_{TOTAL}$	21,4719

Variab. Tratamento 60,75%

Variab. Erro Aleat. 39,25%

100%

**APÊNDICE G - Resultado da ANOVA analisando a média entre a coleta  
feita antes e depois, trajeto centro - vale**

### Anova: centro - vale

Análise da média entre as coletas feitas antes e depois

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Real	19	454,515833	23,921886	10,384051
Google	19	443,5	23,3421053	1,08479532
Here	19	441,5	23,2368421	8,37134503
Bing	19	585	30,7894737	4,36988304
Waze	19	425,5	22,3947368	1,5994152

### ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	892,605756	4	223,151439	43,2305021	3,42269E-20	2,47292704
Dentro dos grupos	464,570813	90	5,16189792			
Total	1357,17657	94				

nc	19
Sx	0,521228
Ld	1,563685

	$\bar{Y}_{Waze}$	$\bar{Y}_{Here}$	$\bar{Y}_{Google}$	$\bar{Y}_{Real}$	$\bar{Y}_{Bing}$
Ordenar médias	22,39474	23,23684	23,3421053	23,92189	30,78947
Diferenças	0,842105	0,105263	0,579781	6,867588	

$\sigma^2$	5,161898
$\sigma^2_{\tau}$	11,47313
$\sigma^2_{TOTAL}$	16,63503

Variab. Tratamento 68,97%

Variab. Erro Aleat. 31,03%

100%

**APÊNDICE H - Resultado da ANOVA analisando os dados coletados antes  
da viagem, trajeto vale - centro**

## Anova: vale - centro

Análise da coleta feita antes da viagem

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Real	19	546,30267	28,752772	7,024799
Google	19	549	28,894737	10,321637
Here	19	521	27,421053	17,146199
Bing	19	736	38,736842	29,538012
Waze	19	538	28,315789	12,005848

### ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	1666,2475	4	416,56188	27,392233	7,027E-15	2,472927
Dentro dos grupos	1368,6569	90	15,207299			
Total	3034,9044	94				

nc	19
Sx	0,894642
Ld	2,683926

	$\bar{Y}_{\text{Here}}$	$\bar{Y}_{\text{Waze}}$	$\bar{Y}_{\text{Real}}$	$\bar{Y}_{\text{Google}}$	$\bar{Y}_{\text{Bing}}$
Ordenar médias	27,42105	28,31579	28,75277	28,89474	38,73684
Diferenças		0,894737	0,436982	0,141965	9,842105

$\sigma^2$	15,2073
$\sigma^2_{\tau}$	21,12393
$\sigma^2_{\text{TOTAL}}$	36,33122

Variab. Tratamento 58,14%

Variab. Erro Aleat. 41,86%

100%

**APÊNDICE I - Resultado da ANOVA analisando os dados coletados depois  
da viagem, trajeto vale - centro**

### Anova: vale - centro

Análise da coleta feita depois da viagem

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Real	19	546,302667	28,7527719	7,02479899
Google	19	515	27,1052632	2,65497076
Here	19	589	31	6
Bing	19	684	36	5,33333333
Waze	19	505	26,5789474	5,8128655

### ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	1112,93037	4	278,232592	51,8588158	1,40792E-22	2,47292704
Dentro dos grupos	482,867434	90	5,36519372			
Total	1595,7978	94				

nc	19
Sx	0,531393
Ld	1,594179

	$\bar{Y}_{Waze}$	$\bar{Y}_{Google}$	$\bar{Y}_{Real}$	$\bar{Y}_{Here}$	$\bar{Y}_{Bing}$
Ordenar médias	26,57895	27,10526	28,7527719	31	36
Diferenças	0,526316	1,647509	2,247228	5	

$\sigma^2$	5,365194
$\sigma^2_{\tau}$	14,36144
$\sigma^2_{TOTAL}$	19,72664

Variab. Tratamento 72,80%

Variab. Erro Aleat. 27,20%

100%

**APÊNDICE J - Resultado da ANOVA analisando a média entre a coleta  
feita antes e depois, trajeto vale - centro**



### Anova: vale - centro

Análise da média entre as coletas feitas antes e depois

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Real	19	546,302667	28,7527719	7,02479899
Google	19	532	28	3,27777778
Here	19	555	29,2105263	7,11988304
Bing	19	710	37,3684211	12,3845029
Waze	19	521,5	27,4473684	3,46929825

### ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	1270,47315	4	317,618287	47,7244555	1,80167E-21	2,47292704
Dentro dos grupos	598,972698	90	6,65525219			
Total	1869,44585	94				

nc	19
Sx	0,591842
Ld	1,775525

	$\bar{Y}_{Waze}$	$\bar{Y}_{Google}$	$\bar{Y}_{Real}$	$\bar{Y}_{Here}$	$\bar{Y}_{Bing}$
Ordenar médias	27,44737	28	28,7527719	29,21053	37,36842
Diferenças		0,552632	0,752772	0,457754	8,157895

$\sigma^2$	6,655252
$\sigma^2_{\tau}$	16,36648
$\sigma^2_{TOTAL}$	23,02173

Variab. Tratamento 71,09%

Variab. Erro Aleat. 28,91%

100%