

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

*ESTUDO DE DEMANDA DOS USUÁRIOS DO*  
*TRANSPORTE PÚBLICO DA UNB COM VISTA À*  
*AMPLIAÇÃO DA LINHA DO METRÔ NA ASA NORTE*

**GUSTAVO GUALDA GONÇALVES**  
**LEONARDO SANTOS LOPES**

**ORIENTADORA: FABIANA SERRA DE ARRUDA**

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM**  
**TRANSPORTES**

**BRASÍLIA / DF, AGOSTO DE 2018**

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

***ESTUDO DE DEMANDA DOS USUÁRIOS DO  
TRANSPORTE PÚBLICO DA UNB COM VISTA À  
AMPLIAÇÃO DA LINHA DO METRÔ NA ASA NORTE***

**GUSTAVO GUALDA GONÇALVES  
LEONARDO SANTOS LOPES**

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

**APROVADA POR:**

---

**FABIANA SERRA DE ARRUDA, Dra. (UnB)  
(ORIENTADORA)**

---

**PROF. DR. FÁBIO ZANCHETTA  
(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**PROF. DR. PASTOR WILLY G. TACO  
(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: BRASÍLIA/DF, 06 de agosto de 2018.**

## FICHA CATALOGRÁFICA

GONÇALVES, GUSTAVO GUALDA  
LOPES, LEONARDO SANTOS

Estudo de demanda dos usuários do transporte público da UnB com vista à ampliação da linha do metrô na Asa Norte, 2018. viii, 69p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Civil, 2017).

Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Planejamento urbano	2. Estudo de Demanda
3. Metrô	
I. ENC/FT/UnB	II. Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

GONÇALVES, G. G; LOPES, L. S. (2018). Estudo de demanda dos usuários do transporte público da UnB com vista à ampliação da linha do metrô na Asa Norte. Monografia de Projeto Final. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 69p.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DOS AUTORES: Gustavo Gualda Gonçalves e Leonardo Santos Lopes  
TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Estudo de demanda dos usuários do transporte público da UnB com vista à ampliação da linha do metrô na Asa Norte.  
GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Civil / 2018

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

---

Gustavo Gualda Gonçalves  
QI 29 SQA Bloco E Apartamento 302  
71065-290 - Guará II/DF – Brasil

---

Leonardo Santos Lopes  
QSC 05 Casa 11  
72016-050 - Taguatinga/DF – Brasil

# ***ESTUDO DE DEMANDA DOS USUÁRIOS DO TRANSPORTE PÚBLICO DA UNB COM VISTA À AMPLIAÇÃO DA LINHA DO METRÔ NA ASA NORTE***

## **RESUMO**

Este trabalho visa verificar a variação na demanda do metrô decorrente de uma expansão da linha para regiões mais próximas à Universidade de Brasília. O objetivo geral do presente trabalho foi o de realizar um estudo de demanda dos usuários do campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília, para análise da expansão da linha do metrô até a Asa Norte, levando em consideração o levantamento de dados de origem e destino e de percepção dos usuários através de uma pesquisa realizada no campus. Utilizou-se o modelo sequencial de demanda para gerar as matrizes Origem-Destino da zona de estudo e entender a escolha modal para as viagens em questão. São apresentadas também comparações com os sistemas metroviários de outras metrópoles, bem como expansões realizadas nos últimos anos. A aplicação do modelo e sua análise levaram ao levantamento da demanda provável e da percepção dos usuários com relação ao transporte público para o campus. Esses resultados levaram à conclusão da necessidade, em termos de demanda e percepções, da expansão da linha do metrô até a altura da Universidade de Brasília.

**Palavras-chave:** Planejamento Urbano. Metrô. Expansão. Estudo de Demanda. Demanda. Transporte público. Manual do BRT. Modelo sequencial de demanda. Modelo 4 etapas.

# SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	vi
LISTA DE FIGURAS .....	vii
LISTA DE GRÁFICOS .....	viii
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1 OBJETIVOS .....	3
1.2 JUSTIFICATIVA.....	3
1.3 ESTRUTURA DO PROJETO .....	4
2. REFERENCIAL TEÓRICO .....	5
2.1 ESTUDOS DE DEMANDA .....	5
2.1.1 MODELOS DE DEMANDA POR TRANSPORTE .....	5
2.1.2 MODELO SEQUENCIAL DE DEMANDA .....	9
2.1.2.1 GERAÇÃO DE VIAGENS.....	9
2.1.2.2 DISTRIBUIÇÃO DE VIAGENS.....	11
2.1.2.3 DIVISÃO MODAL.....	12
2.1.2.4 ALOCAÇÃO DE VIAGENS.....	18
2.1.3 MÉTODOS SINTÉTICOS.....	20
2.2 SISTEMAS DE TRANSPORTE PÚBLICO .....	21
2.3 SISTEMAS METROVIÁRIOS .....	23
3. DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO E APLICAÇÃO .....	32
3.1 DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	33
3.2 COLETA DE DADOS .....	33
3.3 ANÁLISE DESCRITIVA DAS INFORMAÇÕES .....	34
3.4 DEFINIÇÃO E APLICAÇÃO DO MODELO .....	49
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	57
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	62
REFERÊNCIAS.....	66
ANEXO 1 - PESQUISA .....	70

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de modelo de previsão de demanda.....	7
Tabela 2 - Matriz Origem-Destino para segunda feira – fluxo 1.....	35
Tabela 3 - Matriz Origem-Destino para segunda feira – fluxo 2.....	35
Tabela 4 - Matriz Origem-Destino para terça feira – fluxo 1.....	36
Tabela 5 - Matriz Origem-Destino para terça feira – fluxo 2.....	36
Tabela 6 - Matriz Origem-Destino para quarta feira – fluxo 1 .....	36
Tabela 7 - Matriz Origem-Destino para quarta feira – fluxo 2 .....	37
Tabela 8 - Matriz Origem-Destino para quinta feira – fluxo 1 .....	37
Tabela 9 - Matriz Origem-Destino para quinta feira – fluxo 2 .....	37
Tabela 10 - Matriz Origem-Destino para sexta feira – fluxo 1 .....	38
Tabela 11 - Matriz Origem-Destino para sexta feira – fluxo 2 .....	38
Tabela 12 - Distâncias entre os modos nas viagens de metrô.....	50
Tabela 13 - Características das viagens.....	52
Tabela 14 - Valores para a regressão múltipla.....	53
Tabela 15 - Estatística da regressão.....	54
Tabela 16 - Anova da regressão.....	54
Tabela 17 - Coeficientes oriundos da regressão.....	54

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa do metrô de Xangai (2017).....	24
Figura 2 - Mapa do metrô de Londres (2017).....	25
Figura 3 - Planejamento da expansão da <i>Bakerloo line</i> .....	26
Figura 4 - Mapa do metrô de Nova Iorque (2017).....	27
Figura 5 - Mapa do metrô de Tóquio (2017).....	28
Figura 6 - Mapa do metrô de São Paulo (2017).....	29
Figura 7 - Mapa do metrô do Rio de Janeiro (2018).....	30
Figura 8 - Mapa do metrô de Brasília (2017).....	31
Figura 9 - Escolha Modal.....	49
Figura 10 – Traçado Proposto.....	60

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Evolução e previsão da população universitária.....	41
Gráfico2 - Idade dos participantes.....	42
Gráfico 3 - Porcentagem dos participantes correspondente a cada gênero.....	43
Gráfico 4 - Função do participante dentro do campus.....	43
Gráfico 5 - Quantidade de usuários por modo utilizado.....	44
Gráfico 6 - Percepção dos usuários que utilizam apenas um modo.....	45
Gráfico 7 - Percepção dos usuários que utilizam dois ou mais modos.....	45
Gráfico 8 - Tempo de viagem dos participantes que utilizam apenas um modo de transporte.....	46
Gráfico 9 - Tempo de viagem dos participantes que utilizam dois ou mais modos de transporte....	46
Gráfico 10 - Preferência declarada pelo metrô pelos que utilizam um modo de transporte.....	48
Gráfico 11- Preferência declarada pelo metrô pelos que utilizam 2 ou mais modos de transporte.	48

# 1. INTRODUÇÃO

A demanda por transportes não é originária, ou seja, deriva da demanda por outras atividades. Por ser uma demanda subsidiária, são raras as vezes que alguém se locomove apenas pelo transporte em si, sem um objetivo distinto. Com o crescimento e espalhamento das cidades, o que se traduz em maior distância entre locais de residência e realização de outras atividades, houve um incremento na necessidade humana por transporte (KAWAMOTO, 1999).

O conhecimento da demanda por transportes de uma região ou de uma cidade é indispensável ao planejamento de transportes, e pode ser utilizado como instrumento para a elaboração de políticas de transporte. Por exemplo, dificultar o estacionamento na zona central de uma cidade, por meio de políticas de taxas e rotatividade, faz com que a presença de veículos particulares sofra uma diminuição, visto que muitos motoristas vão ter seus desejos reprimidos, mesmo que a demanda por estacionamento continue a mesma (KAWAMOTO, 1999).

Atualmente, verifica-se que as cidades apresentam um cenário em que o uso do automóvel é intenso. Isso ocorre pelo fato de veículos automotores estarem cada vez mais acessíveis (WILTGEN, 2010) e o transporte público nem sempre atender às necessidades de deslocamento. O excesso de veículos gera diversos problemas relacionados ao transporte em todo o mundo, como aumento do tempo de deslocamento devido ao trânsito, aumento no número de acidentes, estresse, etc. Em face a essa nova realidade, diversas cidades começaram a implementar políticas para incentivar o transporte público e o transporte não motorizado em detrimento ao transporte individual motorizado. Oslo, capital da Noruega, planeja livrar-se dos carros até 2019 (RUIC, 2015).

No Brasil, a situação não é diferente. O transporte individual motorizado obteve um elevado crescimento nos últimos anos, visto que o número de carros vendidos aumenta ano após ano, agravando o cenário. No ano de 2017, segundo estatísticas disponibilizadas pela Agência Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores, o emplacamento de veículos automotores no Brasil teve um aumento de 7,4% em relação à 2016. Além de ser uma alternativa para aliviar o trânsito, o transporte público é mais sustentável ambiental e economicamente, reduz a probabilidade de

acidentes e promove uma menor ocupação do espaço urbano. Neste contexto, foi sancionada a Lei da Mobilidade Urbana, Lei nº 12.587/2012, indicando que o uso do transporte público deve ser priorizado em detrimento do transporte individual.

Dentre as modalidades de transporte público, o metrô se destaca por ser um transporte de massa, ou seja, com capacidade para realizar a locomoção de milhares de pessoas diariamente, através de um sistema rápido e eficaz, normalmente integrado aos outros modais de transporte público coletivo. Dentro do modal de transporte público existem duas grandes possibilidades: utilização de ônibus e/ou transporte metroviário. As vantagens da implantação de linhas de metrô, segundo a Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP), podem se traduzir como: economia do espaço viário, haja vista que transportes coletivos podem acomodar um volume muito maior de passageiros; redução do consumo de energia; redução de emissões; redução de acidentes e redução de congestionamentos, justamente por consumir menos espaço viário.

Atualmente, Brasília possui duas linhas de metrô e atende diariamente a uma demanda de 160 mil passageiros. A via do Metrô-DF possui o formato de Y. Dessa forma, 19,19 km constituem o eixo principal e interliga a Estação Central (localizada na rodoviária do Plano Piloto) à Estação Águas Claras. Outros 14,31 km compreendem o ramal que parte da estação Águas Claras até Ceilândia Norte. O outro ramal, com 8,8 km, abrange o trecho que liga a estação Águas Claras a Samambaia.

Encontra-se em andamento, segundo a plataforma online de acesso à informação do Metrô DF, a expansão de 6,6 km de via e construção de cinco novas estações – duas em Ceilândia, com 2,3 Km de via; duas em Samambaia, com 3,7 km de via; e 800 metros na Asa Norte (Área Central até as proximidades da Galeria do Trabalhador). As futuras obras de expansão serão um passo a mais na conclusão da linha 1 do Metrô-DF, que liga a Zona Central de Brasília às cidades de Ceilândia e Samambaia, passando pelo Guarará, Águas Claras e Taguatinga e Asa Norte.

Este trabalho visa quantificar a demanda de passageiros para fins de análise da ampliação da linha do metrô até a Universidade de Brasília e suas proximidades. Atualmente as linhas do metrô finalizam na Rodoviária do Plano Piloto e, para os usuários que desejam alcançar o final da Asa Norte, estes devem optar pelo transporte por ônibus ou individual.

## **1.1 OBJETIVOS**

O objetivo geral do presente trabalho é realizar um estudo de demanda dos usuários do campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília, para análise da expansão da linha do metrô até a Asa Norte.

Além disso, tem-se como objetivo específico realizar uma análise da percepção dos usuários de transporte a respeito dos deslocamentos realizados entre seu local de residência e o campus Darcy Ribeiro.

## **1.2 JUSTIFICATIVA**

O planejamento de transporte é um dos fatores que contribui para a qualidade do espaço urbano. Uma das grandes questões desse planejamento é promover o equilíbrio entre o crescimento notório do uso de automóveis e a necessidade de tornar o transporte público atrativo. Porém, o que se percebe num âmbito político e até mesmo da população em geral é que tem sido dado mais privilégio para o transporte individual do que para o transporte público, sendo que o transporte de massa se mostra mais produtivo e mais eficiente na tentativa de solucionar os variados problemas urbanos, como já foi abordado neste trabalho (KAWAMOTO, 1999).

Em várias metrópoles e centros urbanos é comum a existência do chamado movimento pendular, que é o deslocamento realizado por motivo de trabalho entre a cidade próxima e o centro. Em Brasília não é diferente, pela manhã os trabalhadores deslocam-se de suas residências nas cidades do entorno para o Plano Piloto, retornando ao final da tarde, o que gera esses períodos de pico, onde a demanda por transporte é bastante alta. O metrô possui duas linhas, verde e laranja, que, juntas, formam uma malha com extensão aproximada de 60km, fazendo a ligação principal das regiões de Ceilândia e Samambaia com o Plano Piloto, passando por Águas Claras e Taguatinga. A região norte do Distrito Federal, onde se encontram as regiões administrativas de Planaltina e Sobradinho, além da Universidade de Brasília, não são atendidas pelo metrô, que fica concentrado na região sul.

Segundo o Boletim de Frota, disponibilizado pelo Departamento de Trânsito do

Distrito Federal, o número total de veículos entre os anos de 2006 e 2016 subiu de 883.676 para 1.665.165 unidades. Ou seja, em apenas dez anos o número total da frota veicular quase que dobrou no Distrito Federal. O grande problema é que os desenvolvimentos da capacidade viária e da infraestrutura não conseguem acompanhar esse crescimento. Em contrapartida, o Boletim também fornece o total de frota por tipo de veículo analisado no mês de Setembro, de 2017. Segundo esse levantamento a quantidade de automóveis corresponde a 71,2% do total da frota, enquanto o quantitativo referente a ônibus corresponde apenas a 0,7%. Esses dados demonstram a necessidade de se investir em transporte público de massa no intuito de amenizar os problemas relacionados a congestionamentos e superlotação das vias.

### **1.3 ESTRUTURA DO PROJETO**

Este trabalho está dividido em cinco capítulos. No primeiro capítulo, referente à Introdução, foram apresentados os principais fatores de motivação para realização do presente trabalho. Essa apresentação foi elaborada por meio da explanação do tema, exposição dos objetivos e da justificativa. No segundo capítulo, que trata do referencial teórico, será feita a exposição de conceitos sobre o estudo e planejamento de linhas de metrô, estudo de demanda e oferta ligado ao transporte público, o modelo tradicional quatro etapas de previsão de demanda e operação desses mecanismos. O terceiro capítulo consiste na apresentação e aplicação do método de pesquisa escolhido, abordando as variáveis que precisam ser analisadas e as etapas que devem ser cumpridas para chegar a uma boa estimativa de demanda. No capítulo seguinte está disposta a análise de todos os resultados levantados a partir dos métodos e coleta de dados. Por fim, no capítulo cinco são abordadas as conclusões acerca do método utilizado e a viabilidade da expansão da linha de metrô até a Universidade de Brasília.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 ESTUDOS DE DEMANDA**

A previsão de demanda é o elemento chave na tomada de decisões gerenciais. Todo empreendimento ou iniciativa envolve incertezas e riscos, os quais devem ser identificados e analisados. No intuito de minimizar perdas e conhecer as tendências do produto em questão é que existem os diversos modelos de previsão de demanda.

O estudo de demanda por transportes de uma determinada região se faz elemento primordial na busca de um bom planejamento urbano de transportes. Esse estudo fornece ferramentas que possibilitam o conhecimento de deslocamentos potenciais de pessoas e mercadorias sobre uma dada localidade. Com esse conhecimento é que são estabelecidas as tomadas de decisões, as prioridades de atendimento e a dimensão de oferta ótima para o sistema. (KAWAMOTO, 1999)

Além disso, sem o conhecimento da demanda não é possível dimensionar o tamanho das linhas, os tipos de veículos a serem utilizados e a quantidade dos mesmos a serem implementados no sistema de transportes urbanos.

Ao realizar um estudo de demanda, normalmente utiliza-se um dos diversos modelos existentes para essa finalidade, considerando as particularidades do sistema a ser estudado e os dados disponíveis.

#### **2.1.1 MODELOS DE DEMANDA POR TRANSPORTE**

Um modelo pode ser definido como uma representação simplificada de parte do mundo real, que se concentra em certos elementos considerados importantes para sua análise, de um ponto de vista particular (ORTÚZAR E WILLUMSEN, 1994).

A necessidade de se conhecer as demandas por transporte existe desde os primeiros processos urbanísticos da humanidade. Porém, sua relevância começou a ser acentuada no momento em que a indústria automobilística começou a ser fortemente presente nos países mais desenvolvidos. Com o passar dos anos ter um automóvel se

tornou a realidade de boa parte das pessoas, até chegar aos níveis atuais. Essa realidade trouxe a necessidade de promover expansões nas malhas viárias e nas ofertas de capacidades das cidades. Os primeiros modelos de estudo de demanda que foram surgindo tinham esse objetivo de quantificar as exigências de expansão advindas do aumento do número de automóveis. Como será apresentado mais à frente essas modelagens foram sofrendo mudanças no sentido de alterar seus objetivos. Atualmente, as preocupações são mais voltadas às condições ambientais e aos processos que desestimulem o crescimento do fluxo por transporte individual por automóveis (BATES, 2008)

Inseridos nesse contexto de desenvolvimento das cidades e das formas de transporte, na década de 1950 nos Estados Unidos foi dado início aos fundamentos da modelagem de transporte, se estendendo até o Reino Unido pela década de 1960. Uma década depois, em 1970, devido a todo o desenvolvimento dos trabalhos e da literatura foi possível chegar a um modelo unificado e compatível com o desenvolvimento econômico. Esses modelos são denominados modelos tradicionais ou convencionais de transporte. (ORTÚZAR & WILLUMSEN, 1994).

Os métodos tradicionais de estudo de demanda são modelos que partem de uma extensa coleta de dados na região de estudo, por meio de pesquisas de origem e destino elaboradas por domicílio ou até mesmo junto à via. Essas pesquisas também abordam dados socioeconômicos que são de suma importância para o estudo de demanda. Esses dados são então utilizados para elaborar e calibrar os modelos empregados na análise de sistemas de transportes.

Um método tradicional amplamente utilizado na modelagem de transporte é o modelo sequencial de demanda (modelo 4 etapas), que consiste em um modelo convencional empírico. Na primeira etapa deste modelo, os dados do ano-base, inclusive variáveis socioeconômicas da população, são utilizados para estimar o número total de atração e produção de viagens em cada zona da área de estudos. Em seguida, gera-se uma matriz futura a partir da distribuição das viagens para todos os destinos. A terceira etapa é a divisão modal, realizando a repartição das viagens em matrizes para os diferentes modos de transporte. A última etapa é a efetiva alocação das viagens em cada modal na rede viária, encontrando o volume de veículos e de passageiros no transporte coletivo. (CARDOSO, 2011)

É preciso considerar, no entanto, que os modelos tradicionais são excessivamente dispendiosos. Sua elaboração gera um elevado custo de projeto, devido ao fato de assimilar os gastos relacionados com a coleta e análise de grandes quantidades de informações obtidas por meio das entrevistas domiciliares. Sem contar o elevado tempo de execução necessário para a aplicação desses modelos (AKISHINO, 2002).

Essas críticas levaram ao desenvolvimento de outras formas de modelos de previsão de demanda. De acordo com a literatura as principais formas de metodologias são abordadas na Tabela 1 (CARNEIRO, 2005):

**Tabela 1 - Tipos de modelos de previsão de demanda**

Classificação	Tipos de modelos
	Geração de Viagens
Modelos Convencionais	Distribuição de Viagens
	Divisão Modal
	Alocação de Viagens
Modelos Desagregados	Modelos Comportamentais
	Modelos Atitudinais
Modelos baseados em novas tecnologias	Sistema de Informação Geográfica
	Sistemas Inteligentes

Fonte: CARNEIRO (2005)

Além dos modelos convencionais já abordados anteriormente e melhor explicados à frente foram desenvolvidos também os modelos conhecidos como desagregados, que são modelos que levam em consideração informações sobre o comportamento e atitude dos indivíduos se baseando em teorias comportamentais e essas informações são os dados de entrada do modelo (ORTÚZAR, 2000).

Esses modelos são divididos em dois grupos principais: os modelos comportamentais e os modelos atitudinais.

Os modelos comportamentais buscam ir além do convencional empírico,

procurando relacionar as motivações básicas dos usuários com os atributos dos sistemas de transporte, ou seja, busca estabelecer relações de causa e efeito entre atributos como custo, tempo de viagem e tempo de espera, com as possíveis decisões a serem adotadas pelo usuário. Essas relações causais são estabelecidas através da teoria econômica do consumidor, associada ao conceito da utilidade. Ponto importante dos modelos comportamentais é o de que as escolhas adotadas por um indivíduo envolvem fatores subjetivos e racionais. Essas escolhas e decisões acabam por ter um caráter subjetivo, porém mantêm um padrão comportamental ao longo do tempo, diminuindo as incertezas. (NOVAES, 1986)

Já os modelos atitudinais procuram ser mais detalhados e identificar reações dos usuários não captadas pelos outros dois modelos. Dessa forma, procura entender que as atitudes concretas dos usuários não necessariamente estarão ligadas de forma imediata com as características comportamentais mais profundas e os atributos principais dos sistemas de transporte. Caso um sistema de metrô integrado com linhas de ônibus seja implementado na cidade e ocasione uma economia de tempo, por exemplo, pode ser que o usuário não perceba essa economia ou demora para percebê-la, portanto não haverá um impacto imediato na demanda considerando esse problema de percepção, que deve ser contornado através de campanhas de esclarecimento específicas. (NOVAES, 1986)

Mesmo com a evolução de modelos e todo um rol entre modelos tradicionais e modelos desagregados ainda existia a necessidade de englobar informações mais específicas para o planejamento. Nesse sentido, foram desenvolvidos os métodos conhecidos como modelos baseados em novas tecnologias. Esses modelos envolvem técnicas mais específicas de coleta de dados, possibilitando um melhor entendimento das inter-relações entre as variáveis intervenientes na geração e distribuição de viagens. Esses modelos utilizam sistemas de informação geográfica e sistemas inteligentes diversos. (TACO, 1997; SILVA, 2003). Os modelos que utilizam novas tecnologias e que buscam resolver os processos onerosos dos modelos tradicionais são também conhecidos como métodos sintéticos de estudo de demanda.

Os modelos tradicionais são ainda utilizados e adequados para a realização de estudos de caráter exploratório de agregado. Assim o uso da etapa de escolha modal neste trabalho é adequada, uma vez que pretende-se analisar a probabilidade de uso do

metrô caso seja expandido até a Asa Norte.

## **2.1.2 MODELO SEQUENCIAL DE DEMANDA**

O procedimento clássico habitual para realizar um estudo de demanda consiste em, primeiramente, coletar dados da região em questão para, em seguida, aplicar o modelo sequencial de demanda (4 etapas) de forma a identificar a demanda futura do local em estudo.

Este modelo clássico é representado como uma sequência de quatro submodelos: Geração de Viagens; Distribuição de Viagens; Divisão Modal; e Alocação de Fluxo (CARDOSO, 2011).

### **2.1.2.1 GERAÇÃO DE VIAGENS**

A previsão de geração de viagens pode ser feita a partir de certas modelagens que levam em consideração alguns parâmetros como influenciadores da produção ou atração de viagens. Dentre os que influenciam na produção, pode-se citar: renda, propriedade de automóvel, estrutura do domicílio, tamanho da família, valor do solo, densidade residencial, entre outros. Dentre os que influenciam na atração, pode-se citar: número de empregos ofertados, nível de atividade comercial e número de matrículas escolares (ORTÚZAR E WILLUMSEN, 1994).

Para previsão da geração de viagens, pode-se citar os seguintes modelos: Fator de Crescimento, Classificação Cruzada ou Análise de Categorias; e Análise de Regressão (CARDOSO, 2011).

- Fator de Crescimento

A maioria dos métodos propostos para modelagem da geração de viagens utiliza uma função (geralmente linear) para tentar prever o número de viagens produzidas por zona. O Modelo de Fator de Crescimento também utiliza como base uma fórmula matemática que tem como fator principal um parâmetro que é função da

população, renda e posse de carro (ORTÚZAR E WILLUMSEN, 1994).

Porém, esse método é considerado bastante rudimentar, visto que em algumas aplicações reais ele gera uma estimativa de número total de viagens que difere da realidade em mais de 40 %. Considerando que esse é o primeiro passo das quatro etapas, um erro assim é inaceitável, pois será carregado para os estágios subsequentes (ORTÚZAR E WILLUMSEN, 1994).

- Classificação Cruzada ou Análise de Categoria

Para utilização desse modelo, deve-se primeiramente calcular a taxa de viagens, em função do total de viagens por categoria de residência e do total de elementos da categoria. As categorias de residência são relacionadas a aspectos de estrutura familiar (número de habitantes) e condições econômicas da família residente (número de carros na habitação). Em seguida, deve-se aplicar essa taxa por zona de tráfego, de modo a obter a estimativa de viagens futuras a partir da projeção do número de residências por categoria em cada zona de tráfego (CARDOSO, 2011).

As críticas existentes a esse modelo se dão em relação à perda de variância interna dentro de cada categoria e à dificuldade de estimar o crescimento das variáveis na zona de tráfego. A perda de variância interna se dá devido à consideração de que para um mesmo número de pessoas na residência e mesma quantidade de veículos, a taxa gerada por zona de tráfego será a mesma, o que não necessariamente condiz com a realidade (ORTÚZAR E WILLUMSEN, 1994).

- Análise de Regressão

Nesse caso é feita uma tentativa de encontrar uma relação linear entre o número de viagens produzidas ou atraídas pela zona e a característica socioeconômica média das habitações (ORTÚZAR E WILLUMSEN, 1994).

Os coeficientes e constantes desse modelo são encontrados a partir de uma calibração para o ano base, utilizando a regressão linear. Algumas variáveis expressam melhor a produção de viagens, outras a atração. Normalmente, a utilização de quatro variáveis independentes é suficiente (CARDOSO, 2011).

É importante ressaltar que a regressão é condicionada pela natureza e tamanho das zonas. Claramente, a variabilidade das variáveis dentro de uma zona diminui conforme o tamanho da zona também diminui (ORTÚZAR E WILLUMSEN, 1994).

### **2.1.2.2 DISTRIBUIÇÃO DE VIAGENS**

Utilizando os modelos para estimativa na etapa de Geração de Viagens, é possível definir o número total de viagens produzidas ou atraídas nas Zonas de Tráfego da área em estudo. O próximo passo é entender o padrão de movimento, ou seja, de onde partem as pessoas e para onde estão indo (Distribuição de Viagens), o tipo de transporte utilizado (Divisão Modal) e as rotas utilizadas (Alocação de Tráfego).

Os modelos utilizados para estimar a distribuição de viagens entre uma zona “i” e uma zona “j” são basicamente uma função das viagens produzidas em “i” e atraídas por “j”, das variáveis socioeconômicas entre as zonas, da separação espacial e do custo entre as zonas (CARDOSO, 2011).

Pode-se citar dois modelos principais para estimar a distribuição de viagens: Fator de Crescimento; e o Gravitacional (CARDOSO, 2011).

- Fator de Crescimento

Ele se baseia em uma função que possui como variáveis o número de viagens atuais entre as zonas e o número total de viagens futuras, levando em consideração um fator de expansão. A aplicação desse método se baseia na existência de uma matriz de origem e destino no ano base. A grande vantagem desse modelo é sua simplicidade e fácil aplicação. (CARDOSO, 2011).

A desvantagem desse modelo é que qualquer erro no ano base pode ser amplificado na aplicação de sucessivos fatores de correção. Outra crítica feita é que ele não pode ser utilizado para matrizes de viagens parcialmente analisadas, visto que as partes não observadas da matriz do ano base continuarão assim no decorrer do processo. Além disso, não leva em consideração mudanças nos custos devidos a melhorias na rede, portanto é limitado (ORTÚZAR E WILLUMSEN, 1994).

- Gravitacional

Alguns modelos de distribuição foram criados para serem aplicados quando há importantes mudanças na rede. O melhor desses modelos é o gravitacional, que foi gerado como uma analogia à Lei da Gravitação Universal, desenvolvida por Isaac Newton. Esse modelo estima viagens para cada célula na matriz sem utilizar diretamente o padrão de viagem observado, por isso é chamado de sintético, diferentemente dos modelos que utilizam fatores de crescimento (ORTÚZAR E WILLUMSEN, 1994).

Sua aplicação consiste em considerar que o número de viagens produzidas pela zona “i” e atraídas pela zona “j” é proporcional, considerando uma função de impedância que relacione a separação espacial ou custo de viagem entre as zonas de tráfego (CARDOSO, 2011).

A grande vantagem desse modelo é considerar o efeito da separação espacial e custos de viagem entre as zonas. Ortúzar e Willumsen (1994) consideram como desvantagens desse modelo a necessidade de um considerável número de ajustes e manipulações para obtenção de um resultado mais acurado e satisfatório, além de não garantir que os fatores socioeconômicos e relacionados ao tempo de viagem observados serão válidos numa projeção futura.

### **2.1.2.3 DIVISÃO MODAL**

O objetivo dos modelos de divisão modal é destinar aos diferentes meios de transporte possíveis, com origem na zona “i” e destino na zona “j”, sem se preocupar com as rotas existentes, o que só será feito na etapa de Alocação (CARDOSO, 2011)

A escolha do modo de transporte é provavelmente uma das mais importantes nos modelos clássicos de planejamento de transporte. Isso porque quase sempre o transporte público ocupa o espaço das vias de uma maneira mais eficiente do que os privados (ORTÚZAR E WILLUMSEN, 1994).

Ortúzar e Willumsen (1994) dividem em três grupos os fatores que influenciam a escolha do modal, a saber:

1. Características do usuário:
  - a. Posse de veículo;
  - b. Posse de carteira de motorista;

- c. Estrutura da residência (casal jovem, casal com criança, aposentado, solteiro, etc.);
  - d. Densidade residencial.
2. Características do deslocamento:
- a. Motivo da viagem. Exemplo: o deslocamento para o trabalho é, normalmente, mais fácil de ser substituído pelo transporte público por causa da sua regularidade;
  - b. Hora do dia que a viagem é feita. Exemplo: deslocamentos à noite são mais difíceis de acomodar pelo transporte público.
3. Características do sistema de transporte:
- a. Fatores quantitativos:
    - i. Tempo relativo de viagem (no veículo, esperando ou andando);
    - ii. Custo relativo (tarifas e combustível);
    - iii. Disponibilidade e custo de estacionamento.
  - b. Fatores qualitativos:
    - i. Conforto e conveniência;
    - ii. Confiança e regularidade;
    - iii. Proteção e segurança.

Para realizar a divisão modal, existem basicamente dois tipos de modelos, os determinísticos e os probabilísticos. Enquanto os determinísticos buscam determinar a proporção de viagens feitas por cada modo de transporte disponível utilizando métodos quantitativos simples (Regressão linear, Classificação Cruzada ou Curvas de Desvio), os probabilísticos utilizam a probabilidade de escolha para determinar a porcentagem de viagem feitas por cada modo, utilizando os modelos: Logit Binomial, Logit Multinomial e Logit Hierárquico ou Aninhado (CARDOSO, 2011).

Os modelos determinísticos, por utilizarem de métodos quantitativos simples, tendem a ter um enfoque discreto de representação. No intuito de se aproximar da realidade do comportamento individual são feitas formulações contínuas que levam a elaboração de modelos comportamentais probabilísticos. Esses modelos surgem através de premissas como:

- As decisões individuais são sempre seguidas de uma parcela de racionalidade de cada pessoa. Essa racionalidade é evidenciada quando se refere a avaliações comparativas das variáveis quantificáveis. Como, por exemplo, o custo e o tempo envolvidos nas viagens.
- Existe, no entanto, uma parcela de subjetividade nas decisões tomadas pelos indivíduos. Essa subjetividade é representada através de uma função utilidade que pondera as variáveis quantificáveis pensando em cada indivíduo e nas suas reações perante as variáveis.
- As reações advindas dos atributos de cada alternativa são diferentes de indivíduo para indivíduo. E, nesse sentido, que surge uma distribuição probabilística para a demanda e não uma distribuição determinística.

Nesse sentido, supondo que cada pessoa é apresentada a  $n$  alternativas de ação com  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ . Existe uma utilidade  $U_i$  que é associada pelo indivíduo para cada alternativa  $i$ . Com base no conceito de utilidade, o indivíduo tende a dar prioridade para a alternativa com o maior valor de utilidade para si próprio. Ou seja, a alternativa escolhida  $K$ , segundo (NOVAES, 1986) será aquela tal que:

$$U_K > U_j \quad \text{para } \{j = 1, 2, 3, \dots, n\} \quad (2.1.2.1)$$

A função utilidade relaciona as variáveis de serviço ponderadas com os coeficientes advindos da subjetividade das escolhas de cada indivíduo e é representada da seguinte forma:

$$U = \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \dots + \alpha_n x_n \quad (2.1.2.2)$$

onde:

$x_1, x_2, \dots, x_n$  são as variáveis independentes de serviço a serem escolhidas.

Esses coeficientes de ponderação ( $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ ) podem ser melhor ajustados e encontrados a partir de métodos como regressão linear múltipla e calibrações no modelo.

Quando se pensa de uma forma globalizada, cada indivíduo atribui uma utilidade diferente para cada alternativa possível. Isso se deve ao fato de que diversos

fatores contribuem para a heterogeneidade de reações de cada pessoa a respeito dos efeitos para si das diversas variáveis de serviço. Desta forma a utilidade geral, quando se considera vários indivíduos de um espaço amostral estudado, passa a ser uma variável aleatória dada por:

$$W_i = U_i + \varepsilon_i \quad (2.1.2.3)$$

onde:

$W_i$  = função utilidade geral.

$U_i$  = parcela determinística da função utilidade.

$\varepsilon_i$  = parcela aleatória.

A escolha pela alternativa K passa a ser regida então por um processo probabilístico. A probabilidade de escolha da alternativa K é dada por:

$$P_K = \text{prob} [W_K \geq W_j] \quad (2.1.2.4)$$

para  $j = 1, 2, 3, \dots, n$

Substituindo  $W_K$  e  $W_j$  pela expressão (2.1.2.3):

$$P_K = \text{prob} [U_K + \varepsilon_K \geq U_j + \varepsilon_j]$$

ou

$$P_K = \text{prob} [\varepsilon_j - \varepsilon_K \leq U_K - U_j] \quad (2.1.2.5)$$

com  $j = 1, 2, 3, \dots, n$

A variável aleatória  $\varepsilon_K$  pode ser regida por uma distribuição de Weibull, que tem a seguinte representação:

$$\text{prob} [\varepsilon_K \leq \varepsilon] = \exp[-\exp(-\lambda\varepsilon)] \quad (2.1.2.6)$$

com  $\varepsilon$  variando no intervalo  $-\infty, +\infty$ , sendo  $\lambda$  um parâmetro que deve ser ajustado por calibração.

Utilizando a formulação da distribuição de Weibull e combinando-a com a

expressão (2.1.2.5) é possível deduzir o modelo logit multinomial, que é dado por:

$$P_K = \frac{\exp[U_K]}{\sum_{j=1}^n \exp[U_j]} \quad (2.1.2.7)$$

Quando existem apenas dois modos se tem o modelo logit binomial:

$$P_K = \frac{\exp[U_K]}{\exp[U_1] + \exp[U_2]}, \text{ com } K = 1, 2 \quad (2.1.2.8)$$

Para o modelo binomial e a representação mostrada na expressão (2.1.2.8) pode-se dividir o numerador e o denominador por  $\exp[U_K]$ , obtendo-se a:

$$P_1 = \frac{1}{1 + \exp[U_2 - U_1]} = \frac{1}{1 + \exp[\Delta U]} \quad (2.1.2.9)$$

e

$$P_2 = \frac{1}{1 + \exp[-(U_2 - U_1)]} = \frac{1}{1 + \exp[-\Delta U]} \quad (2.1.2.10)$$

A calibração de um modelo logit binomial é parte primordial no desenvolvimento do método. O modelo pode ser linearizado de forma a se obter os coeficientes ligados às variáveis de serviço ajustados por meio de uma regressão múltipla. Considerando-se, para isso, a expressão (2.1.2.9):

$$P_a = \frac{1}{1 + \exp[\Delta U]} \quad (2.1.2.11)$$

Invertendo ambos os lados da expressão acima obtém-se:

$$\frac{1}{P_a} = 1 + \exp(\Delta U) \quad (2.1.2.12)$$

Explicitando  $\Delta U$  através de logaritmos:

$$\ln\left(\frac{1}{P_a} - 1\right) = \Delta U \quad (2.1.2.13)$$

A forma expandida de  $\Delta U$  é dada pela forma:

$$\Delta U = \alpha_1 [X_1^{(B)} - X_1^{(A)}] + \alpha_2 [X_2^{(B)} - X_2^{(A)}] + \dots + \alpha_n [X_n^{(B)} - X_n^{(A)}] \quad (2.1.2.14)$$

Mesclando as equações (2.1.2.13) e (2.1.2.14) obtém-se:

$$\ln\left(\frac{1}{P_a} - 1\right) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i [X_i^{(B)} - X_i^{(A)}] \quad (2.1.2.15)$$

Nota-se que na equação acima foi adicionado um coeficiente  $\alpha_0$ . Esse coeficiente representa os fatores subjetivos não captados pelo modelo e, possivelmente, alguma variável de serviço não considerada na análise.

Seja:

$$\lambda_i = X_i^{(B)} - X_i^{(A)} \quad (2.1.2.16)$$

Substituindo em (2.1.2.15) tem-se:

$$y = \ln\left(\frac{1}{P_a} - 1\right) = \alpha_0 + \alpha_1 \lambda_1 + \alpha_2 \lambda_2 + \dots + \alpha_n \lambda_n \quad (2.1.2.17)$$

Com essa expressão (2.1.2.17) é possível aplicar uma regressão múltipla e ajustar os valores dos coeficientes  $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ .

Esses dois modelos (logit multinomial e logit binomial) são as principais ferramentas utilizadas num enfoque probabilístico no intuito de conceber um melhor entendimento das porcentagens de preferências dos indivíduos para com os modos de transporte (NOVAES, 1986).

A aplicação de um modelo de regressão logística binomial se pauta no princípio de calibração da função utilidade, como já foi mostrado anteriormente. Ou seja, o objetivo é entender, através de combinações de fatores, o valor que o indivíduo atribui a um produto ou serviço. O modelo possibilita abordar a significância das variáveis independentes e

explicativas com a variável dependente e explicada. A base do procedimento é elencar os principais fatores do serviço ou do produto e por calibração do modelo encontrar os dois fatores mais preponderantes para a função utilidade (BEN-AKIVA e LERMAN, 1985).

Desta forma, a probabilidade de escolha de uma alternativa com relação à outra é dada por uma função que relaciona características socioeconômicas e da atratividade da alternativa em questão com relação a outras (BEN-AKIVA e LERMAN, 1985).

Uma etapa primordial para aplicação do modelo logit binomial é abordar as variáveis independentes que serão testadas para a melhor calibração da função utilidade. Segundo (SILVA, 2010) em seu trabalho sobre Análise de Escolha Modal Binomial com Base no Modelo Logit as variáveis podem ser, a priori, selecionadas do banco de dados da pesquisa envolvida a critério do autor. Dentre as quais podem ser selecionadas: tempo de viagem, motivo de viagem, número de viagens feitas por indivíduo, tempo de residência, tipo de domicílio, distância das viagens e outras variáveis socioeconômicas ou relacionadas a percepções dos usuários e suas viagens (SILVA, 2010).

A escolha das variáveis independentes deve levar em consideração os aspectos mais relevantes do objeto de estudo. Posteriormente a calibração do modelo levará a escolha criteriosa dessas variáveis e definição da função utilidade, possibilitando a valoração da probabilidade de escolha de certo modo de transporte.

#### **2.1.2.4 ALOCAÇÃO DE VIAGENS**

Este é o último passo do modelo sequencial de estimativa de demanda (4 etapas), onde se procede a atribuição das matrizes de viagens obtidas nos diversos modos às redes correspondentes. Os modelos de alocação são utilizados para estimar os fluxos de tráfegos nas vias estratégicas do planejamento, com o principal objetivo de disponibilizar uma base de comparação de sistemas de transportes a médio e longo prazo (CARDOSO, 2011).

A metodologia de cálculo para o preço de um produto no pensamento econômico convencional é feita através da oferta e da demanda. Traça-se uma curva para cada um desses fatores e o ponto de equilíbrio define o preço em que a mercadoria deve ser comercializada no mercado. A teoria econômica admite que esse equilíbrio pode nunca

acontecer na prática porém é um conceito muito válido para entender o movimento da economia e realizar uma perspectiva futura. Ortúzar e Willumsen (1994) compreendem que esse conceito pode ser bastante útil para os sistemas de transportes, visto que os custos também são, em partes, relacionados com a oferta e demanda do sistema, bem como com as vantagens e desvantagens da alocação feita.

Os objetivos principais definidos por Ortúzar e Willumsen (1994) dos métodos de alocação de viagens são:

1. Obter bons resultados agregados das medidas da rede. Exemplo: fluxo total de motos, disponibilidade total de serviço de ônibus;
2. Estimar tempos e custos dos deslocamentos entre as zonas de tráfego para um dado nível de demanda;
3. Obter fluxos razoáveis e identificar locais de congestionamento pesado;
4. Estimar as rotas utilizadas para cada par de origem-destino;
5. Analisar quais pares origem-destino utilizam uma rota em particular;
6. Obter as mudanças de movimento para realizar o design das futuras junções.

A escolha da rota é baseada na premissa básica de que o viajante racional é influenciado por um número de fatores enquanto se desloca, como tempo, distância, custo monetário, congestionamentos e filas, tipo de habilidades requeridas, tipo de via, segurança e hábito. A produção de uma equação que incorpore todas essas variáveis é uma tarefa difícil, portanto aproximações são inevitáveis (ORTÚZAR E WILLUMSEN, 1994).

Cardoso (2011) divide os métodos de alocação de viagens da seguinte forma:

1. Transporte Individual:
  - a. Modelos tudo-ou-nada;
  - b. Modelos Estocáticos;
  - c. Modelos de Equilíbrio.
2. Transporte Coletivo:
  - a. Modelos de Rota Mínima;
  - b. Modelos de Estratégia Ótima;
  - c. Modelos de Escolha Discreta.

### 2.1.3 MÉTODOS SINTÉTICOS

Os métodos sintéticos de estudo de demanda são ferramentas baseadas nos métodos tradicionais, mas que visam tornar a operação menos onerosa, com menores custos e menores tempos de execução. Nesse sentido, os métodos sintéticos eliminam as etapas de pesquisa domiciliar, dando lugar a levantamentos de dados fornecidos para as cidades que permitem determinar a produção e atração de viagens na área a ser estudada.

Os modelos que visam eliminar os processos dispendiosos dos métodos tradicionais precisam apresentar ferramentas alternativas de fontes de informações obtidas. Nesse sentido, autores como Elangovan e Crouch (1992) que elaboraram métodos sintéticos utilizaram de artifícios como métodos baseados em contagens volumétricas, métodos de transferências de modelos por meio de dados socioeconômicos previamente levantados por órgãos censitários, ou métodos baseados na análise dos pólos geradores com dados socioeconômicos, área construída e uso do solo (AKISHINO,2002).

A utilização de métodos sintéticos na análise de demandas de transportes se faz possível, segundo Akishino (2002), devido ao fato de que ao se analisar as relações existentes entre as demandas de viagens e parâmetros sociais, econômicos e físicos do uso do solo das regiões estudadas é possível constatar que tais relações são relativamente constantes ao longo do tempo e no espaço. Desta forma, é possível a transferência de parâmetros entre modelos similares aplicados em áreas com características semelhantes.

Depois de analisar diversos modelos sintéticos Akishino (2002) agrupa as técnicas mais promissoras e consegue chegar a um modelo satisfatório de estudo de demanda. O modelo se baseia no levantamento de dados relacionados ao uso do solo de cada região, por meio de consulta a cadastros tributários municipais. Utilizando taxas de geração de viagens de órgãos como o *Institute of Transportation Engineers* (ITE) e as relacionando com os dados levantados é possível determinar a produção de viagens. Este modelo será o utilizado no presente trabalho.

Os estudos de Akishino (2002) servem como base teórica para pesquisadores que visam estudar demandas ligadas a métodos sintéticos de análise. A exemplo disso,

Marcel (2015) a partir da utilização de modelos e artifícios apontados e bem avaliados por Akishino (2002) realizou o estudo de demanda para implantação de corredor de BRT no Eixo Norte de Brasília. Os resultados obtidos foram satisfatórios haja visto que os valores encontrados foram aproximados àqueles encontrados pela pesquisa do Plano Diretor de Transporte Urbano e Mobilidade do Distrito Federal de 2011. Além disso, foi atestada a maior facilidade e menor gasto de recursos quando comparados aos métodos tradicionais de pesquisas domiciliares.

Os métodos sintéticos fazem parte de um processo ainda em evolução. Os estudos nessa área englobam e analisam diversos artifícios para modelagem de demanda de uma forma menos onerosa.

## **2.2 SISTEMAS DE TRANSPORTE PÚBLICO**

O transporte é uma atividade necessária à sociedade e produz uma grande variedade de benefícios, possibilitando a circulação das pessoas e das mercadorias utilizadas por elas e, por consequência, a realização das atividades sociais e econômicas desejadas (VASCONCELLOS, 2006). Atualmente, o transporte público é fundamental para o funcionamento das cidades.

O transporte público possui extrema importância nos deslocamentos urbanos. As pessoas se locomovem constantemente motivadas por trabalho, saúde, estudos, compras ou lazer (Bittencourt e Brizon, 2006), e, portanto, devem ter acesso a um sistema de transporte público que se adeque a essas necessidades. O ônibus é o modo de transporte predominantemente utilizado pela população brasileira. No universo de todos os deslocamentos considerados, 45,2% são realizados por ônibus. Em seguida aparecem os carros, com 22,2% dos deslocamentos, e os realizados a pé, que representam 21,5% na avaliação geral. Portanto, 88,9% dos deslocamentos urbanos são realizados por ônibus, carro próprio ou a pé (NTU).

O transporte público pode ser realizado por diferentes modais, cada um com suas peculiaridades características.. Porém, existem outros tipos de transporte público coletivo à disposição, como o Bus Rapid Transit (BRT), trem, Veículo Leve Sobre Trilhos (VLT), balsa e catamarã (aquaviários), teleférico (aéreo) e o metrô.

A principal característica do ônibus é o de ser um transporte público coletivo bastante flexível, realizando deslocamentos que abrangem variados locais, com diversos pontos de parada. A principal característica do trem é o de realizar transporte de cargas e pessoas em larga escala por uma rota previamente planejada. Os trens possuem o obstáculo do baixíssimo investimento alocado na malha ferroviária brasileira, apesar de ser consenso entre especialistas que tal investimento seria crucial para o crescimento da economia de um país com tamanha extensão territorial (BERNUCCI, 2015).

O BRT é um sistema de transporte de ônibus de elevada qualidade que opera em faixas segregadas, permitindo uma mobilidade urbana rápida, flexível e eficiente. O VLT é uma composição ferroviária com um pequeno trem urbano movido a eletricidade, apesar de possuir custosa implementação, é uma alternativa sustentável de mobilidade urbana.

Por sua vez, o metrô é um sistema de transporte de passageiros, predominantemente subterrâneo, que possui alta capacidade e frequência. O metrô possui o diferencial de ocupar pouco espaço urbano, visto que opera no subterrâneo, porém, em virtude da pouca exploração de suas potencialidades espaço-temporais, não tem sido utilizado da maneira ideal nas cidades brasileiras (BNDES, 2005).

Nos atuais centros urbanos e no âmbito maior relacionado a transportes os principais meios de transportes públicos são o ônibus e o metrô. Sendo que, na maioria das cidades do Brasil, o transporte coletivo por ônibus predomina no atendimento de grandes massas devido ao aspecto de flexibilidade de abrangência. (BARAT & BATISTA, 1973). A utilização e preferência por cada modo de transporte estão relacionadas a diversos fatores como características do serviço prestado e percepção dos usuários. A escolha de certo modo de transporte como, por exemplo, metrô ou ônibus se faz a partir de uma ponderação consciente ou subconsciente dos atributos relacionados a cada modo de transporte, feita pelos usuários de transporte coletivo.

Os principais critérios utilizados para avaliação da qualidade do transporte público na perspectiva do usuário são: responsabilidade (atendimento ao usuário, procedimentos em caso de quebra do veículo), confiabilidade (tempo de viagem, distância da viagem, intervalo entre veículos, cumprimento dos horários preestabelecidos), empatia (disposição dos funcionários em dar informações, atenção com pessoas idosas e deficientes físicos), segurança (assaltos, acidentes, preparo e

condução dos motoristas), tangibilidade (limpeza, lotação, conservação), ambiente (trânsito, condições de clima), acessibilidade (localização dos pontos de parada), conforto (iluminação, sistemas de ventilação, tipos de acentos), preço (tarifa), comunicação (sistemas de informação ao usuário e sistemas de interação aos usuários), momentos de interação (contatos com os funcionários do transporte) e imagem relacionada à identificação das linhas e informes gerais (LIMA, 1995).

### **2.3 SISTEMAS METROVIÁRIOS**

A implantação de uma linha metroviária necessita de um rebuscado projeto estrutural. Neste projeto, devem existir estudos e soluções para construção das estações, dos elementos da via permanente (lastro, dormentes e trilhos) e das possíveis escavações com movimentação de terras. Além disso, um sistema metroviário é totalmente dependente de requisitos operacionais. Segundo a NBR 16639, que trata da operação de sistemas metroferroviário e monotrilho, existe a necessidade de adequação pelos seguintes sistemas: sistemas de ventilação nas áreas públicas, nas salas técnicas e nos veículos; sistema de alimentação de energia elétrica com subestações retificadoras; sistemas de circuito fechado de TV, com ou sem detecção automática de incidente; sistema de detecção e alarme de incêndio e sistema de combate de incêndio.

Um dos principais componentes de sistemas metroviários são os centros de controle. Todas as linhas espalhadas pelo Brasil devem conter um Sistema de supervisão e controle operacional (SSC), o qual atua conforme as normas e procedimentos operacionais da operadora do sistema; de um Centro de controle operacional (CCO), que é a parte responsável pelo controle e monitoramento de todas as operações do sistema, inclusive nas situações de emergências e adversidades e de uma sala de gerenciamento de crise, que é um ambiente devidamente equipado para reunir as diversas autoridades envolvidas na gestão de uma emergência.

No período compreendido entre 2012 e 2015, a rede de metrô e trens urbanos no Brasil teve um crescimento de apenas 7%. Com esse resultado, a extensão total da malha ferroviária brasileira é inferior à extensão de alguma metrópole mundiais, como Xangai, na China, Londres, capital da Inglaterra, Nova Iorque, nos EUA e Tóquio,

capital japonesa (CNT e ANPTrilhos).

A capacidade de transporte do metrô é essencial para atender à demanda crescente por deslocamento nas grandes metrópoles mundiais. Por isso, as cidades acima citadas realizaram expansões em suas linhas de metrô nas últimas décadas que as grandes metrópoles brasileiras não conseguiram acompanhar. Foi feito um panorama simplificado da situação do metrô em cada uma dessas cidades, como pode ser observado a seguir, e em seguida uma comparação com o metrô da maior metrópole brasileira (São Paulo), com o metrô do Rio de Janeiro e o do Distrito Federal.

### Xangai (China)

Foi aberto em 1993, com apenas 4 km de extensão. Sofreu uma série de expansões ao longo dos anos e, atualmente, possui mais de 600 km de extensão e atende cerca de 9,3 milhões de pessoas diariamente. Já estão em curso novas expansões nas linhas. O planejamento é para que, até 2030, a extensão total do sistema ultrapasse 1000 km (Shentong Metro Group). A Figura 1 mostra um esquema da configuração das linhas do metrô de Xangai, que atende grande parte do território da cidade e possui uma integração interna entre as variadas linhas bastante desenvolvida.



Figura 1 - Mapa do metrô de Xangai (2017)  
FONTE: SHANGHAI METRO, 2017.

## Londres (Inglaterra)

Inaugurado em 1863, o sistema metroviário de Londres é o mais antigo do mundo. Possui cerca de 400 km de extensão e atende aproximadamente 2,95 milhões de pessoas por dia. Assim como o metrô de Xangai, sofreu diversas expansões em suas linhas ao longo dos anos, sendo que algumas ainda estão em curso (Transport For London).

Pode-se observar na Figura 2 o mapa atualizado da configuração das linhas do metrô de Londres. O governo inglês percebeu a necessidade de continuar a expansão e modernização de seu sistema metroviário, e já deu início a um planejamento de expansão de uma de suas linhas, como pode ser observado na Figura 3.



Figura 2 - Mapa do metrô de Londres  
(2017) FONTE: TRANSPORT FOR  
LONDON, 2017.



Figura 3 - Planejamento da expansão da *Bakerloo line*

FONTE: TRANSPORT FOR LONDON, 2017.

### Nova Iorque (EUA)

Inaugurado em 1904, o metrô de Nova Iorque é bastante conhecido por operar 24 horas por dia e 365 dias por ano, em todas as suas estações. Possui cerca de 400 km de extensão e um tráfego diário estimado em aproximadamente 5,6 milhões de usuários. Assim como nas outras grandes metrópoles, o sistema metroviário sofreu diversas expansões ao longo dos anos. A expansão tem se intensificado ultimamente, desde 2009 foram abertas mais 5 estações. Há um planejamento concreto para construção de mais 15 estações no sistema metroviário da cidade (Metropolitan Transportation Authority - MTA).

A Figura 4 a seguir mostra a configuração atual do metrô de Nova Iorque, evidenciando como ele atende os diversos locais da cidade.





Figura 5 - Mapa do metrô de Tóquio (2017)

FONTE: TOKYO METRO, 2017.

### São Paulo (Brasil)

O metrô paulista está em operação desde 1974. No ano de 2010, foi considerado o melhor sistema de transporte sobre trilhos da América Latina (The Metro Awards). Entretanto, sua extensão é considerada insuficiente para atender a demanda, visto que é o metrô mais lotado do mundo em termos de passageiros transportados por quilômetro de linha. Apesar de ter sido realizado um estudo em 2010 que mostrou a necessidade de pelo menos 200 km de linhas para atender a demanda, quando havia na época apenas 70,6 km, o metrô paulista teve uma expansão de apenas 8 km até 2015, bem menor do que o necessário (Secretaria dos Transportes Metropolitanos). Dentre as metrópoles mais populosas, São Paulo se destaca por possuir o menor índice de crescimento do metrô por ano, apesar de realizar o transporte de cerca de 5 milhões de passageiros por dia. O mapa atual do metrô de São Paulo encontra-se esquematizado na Figura 6.



Figura 6 - Mapa do metrô de São Paulo (2017)

FONTE: SECRETARIA DOS TRANSPORTES METROPOLITANOS, 2017.

### Rio de Janeiro (Brasil)

Um dos exemplos de ampliação da malha metroviária no Brasil é o metrô do Rio de Janeiro. A inauguração do metrô na capital fluminense aconteceu no ano de 1979. A essa data existiam apenas cinco estações distribuídas ao longo da zona central da cidade. Com o passar dos anos a demanda por transporte foi aumentando e trazendo a necessidade de implantação de novas estações. Desta forma, ao longo da década de 1980 algumas estações foram sendo incorporadas ao sistema. Essas estações foram distribuídas pela Zona Sul e Zona Norte da capital, dando formato ao que é conhecido atualmente como as Linhas 1 e 2 do metrô. Na década de 1990 foi promovida uma ampliação na Linha 2 até a estação de Pavuna. Nos anos 2000 apenas algumas estações foram criadas onde a principal chega a Ipanema conhecida como General Osório. Em 2010 o Governo do Estado do Rio de Janeiro deu início às obras de um projeto que visava a criação da linha 4 do metrô. O projeto consistia em ligar a Zona Sul da cidade

até a Barra da Tijuca. Até o momento de elaboração deste projeto a linha 4 se tornou a extensão da linha 1 e ampliou o sistema com as estações: Nossa Sra. da Paz, Jardim de Alah, Antero de Quental, São Conrado e Jardim Oceânico. A figura abaixo demonstra o mapa das atuais estações e de todo o sistema metroviário da cidade do Rio de Janeiro.



Figura 7 - Mapa do metrô do Rio de Janeiro (2018)

FONTE: METRÔ RIO, INVEPAR MOBILIDADE URBANA, 2018.

O histórico de ampliação do metrô do Rio de Janeiro é exemplo de como nas grandes cidades a demanda crescente de transportes ao longo do tempo acaba por levar a ampliação dos sistemas de transporte. Não sendo diferente com as linhas de metrô, que devem prever em seus projetos ampliações para atender os fluxos de forma

eficiente.

### Brasília (Brasil)

Por meio dos panoramas realizados nas cidades anteriores, pode-se perceber que São Paulo já é um destaque negativo em relação ao sistema metroviário, visto que é o mais lotado do mundo em termos de passageiros por quilômetro de linha. O metrô de Brasília ainda está em um estágio muito mais primitivo, pois foi inaugurado em 2001. Com uma extensão de 42 km, transporta aproximadamente 160 mil pessoas por dia (Metrô - DF).

No ano de 2007, houve uma ampliação no sistema metroviário da capital, além de um aumento no horário de funcionamento, que antes era de 6h às 20h e passou a ser de 6h às 23:30. Com essa ampliação, o número de usuários atendidos por dia passou de 45 mil para 100 mil, ou seja, mais do que dobrou, o que mostra que a demanda pode ser bastante afetada com expansões no sistema (Metrô - DF).

No final de 2008 as expansões terminaram e a extensão total da linha passou a ser de 42 km, atendendo cerca de 140 mil pessoas por dia (Metrô - DF). A figura 7 a seguir mostra o mapa atual do metrô de Brasília, que está claramente muito aquém das grandes metrópoles mundiais e até mesmo de São Paulo.



Figura 8 - Mapa do metrô de Brasília (2017)

FONTE: METRÔ - DF, 2017.

### **3. DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO E APLICAÇÃO**

O método utilizado para estimar a demanda foi o modelo sequencial de demanda (modelo 4 etapas). Foi feita uma pesquisa com os usuários do campus da Universidade de Brasília (UnB), de modo a obter algumas informações essenciais a respeito dos modos de transporte utilizados pelos pesquisados para deslocarem-se de sua origem para a UnB.

Utilizando os dados coletados na pesquisa, foi feita uma análise descritiva das respostas e uma análise de percepção do usuário. A primeira serviu para traçar as matrizes Origem-Destino e para realizar a escolha modal, concluindo assim as três primeiras etapas do modelo sequencial de demanda. A quarta e última etapa consistiria na alocação de viagens, porém não será realizada, visto que não configura um dos objetivos do presente estudo. A análise de percepção do usuário foi feita baseada nas respostas para os parâmetros qualitativos do transporte.

Partindo dos dados coletados, foi feita uma expansão para abranger todo o universo da UnB, além de uma projeção da demanda para o ano de 2040. Essa projeção leva em consideração as características de uma ampliação metroviária enterrada no Brasil. O tempo de conclusão de uma obra desse porte soma os tempos demandados com aberturas de licitações públicas, realização de projetos, autorizações necessárias e a execução da obra em si, que no caso aborda escavações e diversas etapas de obras ditas pesadas.

Além de todas essas questões do tempo de realização da obra também deve ser considerado o fator político presente nessa situação, haja vista que a ampliação do metrô (transporte público) depende das propostas de gestão do governo vigente. Levando todos esses fatores em consideração o ano de 2040 é uma data provável para que a ampliação esteja concluída e operante.

Foi aplicado o modelo logit binomial para obtenção das probabilidades relativas à escolha modal entre metrô e ônibus. Após obtenção dessa demanda específica para o metrô, será feita a análise final de viabilidade, levando em consideração essa demanda, principalmente nos horários de pico, e a capacidade ótima do metrô.

### **3.1 DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

Esta etapa compreende a definição da área de estudo, para posterior levantamento das informações necessárias à aplicação do modelo utilizado. A delimitação da área de estudo deve ser feita a partir de elementos como as necessidades de determinado grupo de indivíduos e o raio de influência em que estão inseridos esses usuários de transportes. Sabendo as delimitações físicas da área de estudo é de suma importância adquirir também o conhecimento dos tipos de uso do solo presentes nessa área e sua relação como o todo externo.

A área de estudo do presente projeto é o maior e mais tradicional campus da Universidade de Brasília, o campus Darcy Ribeiro. Encontra-se na Asa Norte do Plano Piloto, mais especificamente entre a avenida L2 Norte e as margens do Lago Paranoá. O campus possui cerca de 400 hectares e mais de 500 mil metros quadrados de área construída, além de uma circulação diária de mais de 50 mil pessoas.

O intuito é promover o levantamento da demanda, a análise da escolha modal proposta e o perfil dos usuários de transporte presentes no campus Darcy Ribeiro da UnB. Desta forma, a área de estudo corresponde a toda região construída, habitada e utilizada que envolve o campus supracitado.

### **3.2 COLETA DE DADOS**

Nesta etapa foram coletados os dados necessários para a calibração do modelo e para conhecer o perfil dos indivíduos que frequentam a Universidade de Brasília. É importante ressaltar que há duas formas principais de se realizar coleta de dados, a primária e a secundária. No primeiro caso, podem ser aplicados questionários para obtenção de informações sobre o entrevistado como características socioeconômicas, características das viagens (modo de transporte usado, duração das viagens, satisfação com o modo de transporte, origem do deslocamento) e características gerais como vínculo com a Universidade de Brasília e motivos dos deslocamentos. Dentre os dados secundários podem ser coletadas informações sobre o censo demográfico que permitem projetar a amostra estudada para horizontes futuros.

No presente projeto a coleta de dados se deu de forma primária, ou seja, por meio de um questionário aplicado à população da Universidade de Brasília. Utilizando-

se da plataforma online Google forms os entrevistados foram apresentados às seguintes perguntas principais: idade, gênero, vínculo com a UnB, origem da viagem, quantidade de modos utilizados, quais modos utilizados, duração da viagem da origem ao destino, horários de saída da origem e horários de saída do destino. Além de perguntas de nível de satisfação como fatores de pontualidade, segurança, tempo de viagem, conforto, flexibilidade dos horários e uma pergunta de opinião declarada sobre a possível utilização do metrô com a expansão proposta.

A pesquisa foi veiculada, primeiramente, para um grupo de 10 pessoas aleatórias, com o intuito de identificar possíveis falhas, obtendo destas pessoas sua opinião a respeito da pesquisa em si e sugestões sobre como melhorá-la para facilitar o entendimento. Essas respostas obtidas foram descartadas, pois o único objetivo era o de aprimorar a pesquisa, e algumas mudanças foram feitas considerando as sugestões dos respondentes.

Em seguida, a pesquisa foi disponibilizada para o público geral, ficando disponível pelo período compreendido entre o dia 02 de maio de 2018 e o dia 15 de maio de 2018. A divulgação da pesquisa foi feita com o auxílio das redes sociais, em principal o *facebook* e o *whatsapp*, através de grupos representativos da UnB, como Centros Acadêmicos, Diretórios e grupos de funcionários. Tomou-se o cuidado de realizar a divulgação de maneira homogênea, de forma a abranger ao máximo a população contida na área de estudo, sem viciar os resultados. As perguntas realizadas na pesquisa encontram-se no Anexo 1 do presente trabalho.

### **3.3 ANÁLISE DESCRITIVA DAS INFORMAÇÕES**

Nesta etapa os dados coletados foram tabulados e filtrados de forma a eliminar dados inconsistentes. Foram feitas as análises descritivas da amostra, o que permite uma análise do perfil do entrevistado e das suas características de viagem.

A tabulação dos dados coletados foi feita de forma a criar matrizes Origem-Destino para cada horário e em cada dia da semana, obtendo o número absoluto de geração e atração de viagens. Posteriormente, foi feita a filtragem desses dados,

selecionando apenas as regiões que poderiam ser beneficiadas com a expansão do metrô, enfoque do presente estudo.

É importante ressaltar que os usuários que responderam à pesquisa deveriam marcar o horário de início da viagem tanto nos deslocamentos com destino UnB (fluxo 1) como nos deslocamentos onde a Universidade figurava como origem (fluxo 2). Essa diferenciação foi feita com o intuito de mapear os horários de pico em ambos os fluxos. A seguir, seguem as Matrizes Origem-Destino para cada dia da semana, contendo os horários de início de viagem em cada um dos fluxos estudados:

**Tabela 2: Matriz Origem-Destino para segunda-feira - fluxo 1**

Destino Origem	UNB						
	Antes das 5:59	Das 6:00 às 8:59	Das 9:00 às 11:59	Das 12:00 às 13:59	Das 14:00 às 16:59	Das 17:00 às 18:59	Após às 19:00
Águas Claras	7	61	12	9	6	6	0
Asa Sul	0	22	9	8	6	4	0
Ceilândia	21	29	3	3	5	1	1
Guará	1	36	10	4	4	5	0
Samambaia	8	22	5	2	1	0	0
Taguatinga	8	38	10	6	2	4	0

**Tabela 3: Matriz Origem-Destino para segunda-feira - fluxo 2**

Destino Origem		Águas Claras	Asa Sul	Ceilândia	Guará	Samambaia	Taguatinga
U N B	Antes das 5:59	3	0	0	1	0	0
	Das 6:00 às 8:59	2	0	3	3	1	2
	Das 9:00 às 11:59	5	3	6	3	2	3
	Das 12:00 às 13:59	7	3	7	5	6	18
	Das 14:00 às 16:59	9	6	5	4	7	2
	Das 17:00 às 18:59	47	24	25	26	17	21
	Após às 19:00	27	13	16	19	5	22

**Tabela 4: Matriz Origem-Destino para terça-feira - fluxo 1**

Destino \ Origem	UNB						
	Antes das 5:59	Das 6:00 às 8:59	Das 9:00 às 11:59	Das 12:00 às 13:59	Das 14:00 às 16:59	Das 17:00 às 18:59	Após às 19:00
Águas Claras	7	61	12	9	6	6	0
Asa Sul	0	22	9	8	6	4	0
Ceilândia	21	29	3	3	5	1	1
Guará	1	36	10	4	4	5	0
Samambaia	8	22	5	2	1	0	0
Taguatinga	8	38	10	6	2	4	0

**Tabela 5: Matriz Origem-Destino para terça-feira - fluxo 2**

Destino \ Origem	Águas Claras	Asa Sul	Ceilândia	Guará	Samambaia	Taguatinga
	UNB					
Antes das 5:59	2	0	0	2	0	0
Das 6:00 às 8:59	2	0	3	1	1	3
Das 9:00 às 11:59	7	5	7	3	1	2
Das 12:00 às 13:59	6	8	5	8	7	10
Das 14:00 às 16:59	13	8	1	7	7	12
Das 17:00 às 18:59	36	11	26	22	17	23
Após às 19:00	32	17	18	19	5	18

**Tabela 6: Matriz Origem-Destino para quarta-feira - fluxo 1**

Destino \ Origem	UNB						
	Antes das 5:59	Das 6:00 às 8:59	Das 9:00 às 11:59	Das 12:00 às 13:59	Das 14:00 às 16:59	Das 17:00 às 18:59	Após às 19:00
Águas Claras	8	58	15	8	5	6	0
Asa Sul	0	22	15	4	5	3	0
Ceilândia	23	24	6	2	5	1	1
Guará	1	38	10	4	4	4	0
Samambaia	8	25	4	1	0	0	0
Taguatinga	8	37	12	5	1	4	0

**Tabela 7: Matriz Origem-Destino para quarta-feira - fluxo 2**

Destino \ Origem		Águas Claras	Asa Sul	Ceilândia	Guará	Samambaia	Taguatinga
U N B	Antes das 5:59	3	0	0	1	0	0
	Das 6:00 às 8:59	2	0	3	3	1	2
	Das 9:00 às 11:59	3	6	5	3	1	5
	Das 12:00 às 13:59	7	3	8	4	6	12
	Das 14:00 às 16:59	9	5	7	9	5	7
	Das 17:00 às 18:59	47	19	22	22	18	21
	Após às 19:00	28	16	17	20	6	20

**Tabela 8: Matriz Origem-Destino para quinta-feira - fluxo 1**

Destino \ Origem	UNB						
	Antes das 5:59	Das 6:00 às 8:59	Das 9:00 às 11:59	Das 12:00 às 13:59	Das 14:00 às 16:59	Das 17:00 às 18:59	Após às 19:00
Águas Claras	7	70	9	4	4	6	0
Asa Sul	1	30	8	2	2	6	0
Ceilândia	22	24	4	6	5	0	0
Guará	2	38	7	4	4	7	2
Samambaia	8	22	7	0	1	0	0
Taguatinga	10	39	7	3	4	3	0

**Tabela 9: Matriz Origem-Destino para quinta-feira - fluxo 2**

Destino \ Origem		Águas Claras	Asa Sul	Ceilândia	Guará	Samambaia	Taguatinga
U N B	Antes das 5:59	2	0	0	1	0	0
	Das 6:00 às 8:59	3	0	3	2	1	3
	Das 9:00 às 11:59	6	5	7	3	1	2
	Das 12:00 às 13:59	6	8	7	7	6	9
	Das 14:00 às 16:59	15	8	3	6	9	11
	Das 17:00 às 18:59	36	11	24	23	16	23
	Após às 19:00	31	17	17	21	5	18

**Tabela 10: Matriz Origem-Destino para sexta-feira - fluxo 1**

Destino \ Origem	UNB						
	Antes das 5:59	Das 6:00 às 8:59	Das 9:00 às 11:59	Das 12:00 às 13:59	Das 14:00 às 16:59	Das 17:00 às 18:59	Após às 19:00
Águas Claras	8	58	9	4	7	6	0
Asa Sul	1	21	12	5	3	4	0
Ceilândia	13	23	7	3	3	1	1
Guará	1	33	8	3	2	3	1
Samambaia	9	23	1	0	0	1	0
Taguatinga	8	33	7	2	2	6	0

**Tabela 11: Matriz Origem-Destino para sexta-feira - fluxo 2**

Destino \ Origem	Águas Claras	Asa Sul	Ceilândia	Guará	Samambaia	Taguatinga	
	UNB	Antes das 5:59	3	0	0	1	0
Das 6:00 às 8:59		0	0	4	2	1	3
Das 9:00 às 11:59		4	8	4	6	3	2
Das 12:00 às 13:59		10	6	6	5	9	15
Das 14:00 às 16:59		14	6	5	6	5	2
Das 17:00 às 18:59		35	14	19	18	11	16
Após às 19:00		25	13	13	13	5	18

A pesquisa realizada conta com 710 respondentes. Essa quantidade de pessoas corresponde a um espaço amostral que faz referência a uma parcela da população total da Universidade de Brasília. Para estimar o número de viagens geradas pela Universidade é preciso aplicar um fator de expansão da amostra. Ou seja, para cada quantitativo retirado da pesquisa se aplicará o fator de expansão para chegar a valores próximos do real produzido. Essa metodologia faz referência a uma extrapolação de dados advindos da pesquisa aplicada. Toda extrapolação de dados pode ser acompanhada de incertezas que alteram o valor real esperado, porém a pesquisa realizada neste trabalho teve uma ampla distribuição pelo campus Darcy Ribeiro gerando um espaço amostral homogêneo e representativo de modo que essa extrapolação se faz razoável para o objetivo de análise proposto.

O fator de expansão a ser utilizado nada mais é do que a divisão do número total

da população universitária pelo número de indivíduos entrevistados, dado pela equação a seguir:

$$FE = \frac{N^{\circ}da\ população\ da\ UnB}{N^{\circ}de\ indivíduos\ entrevistados} \quad (3.3.1)$$

onde,

FE = Fator de Expansão

A população da Universidade de Brasília, segundo o Anuário Estatístico da UnB 2017, é de 50.703 pessoas no ano de 2016 e foram entrevistadas 710 pessoas da Universidade. Sendo assim, o fator de expansão fica:

$$FE = \frac{50.703}{710} = 71,4127$$

Para se chegar ao valor total de viagens bastará proceder com o quantitativo retirado da pesquisa multiplicado pelo fator de expansão. Lembrando que cada indivíduo da pesquisa corresponde a duas viagens realizadas no dia.

Os números de viagens a serem quantificados a seguir correspondem às viagens realizadas por moradores das cidades de Águas Claras, Asa Sul, Ceilândia, Guará, Samambaia e Taguatinga, como explicado anteriormente. O número de viagens parte do simples somatório das viagens apresentadas nas matrizes origem-destino mostradas acima.

Primeiramente serão avaliados os número de viagens diários gerados e em seguida o número de viagens nos horários de pico do dia com maior número de viagens. Essas avaliações serão utilizadas mais a frente no intuito de percepção da viabilidade da expansão do metrô até a UnB.

Na segunda-feira, segundo a pesquisa, existe um total de 758 viagens entre as seis cidades em questão e a UnB na pesquisa. Aplicando o fator de expansão chegamos ao número de 54.131 viagens realizadas na segunda-feira. Na terça-feira a pesquisa apresenta um total também de 758 viagens. Aplicando o fator de expansão chegamos ao

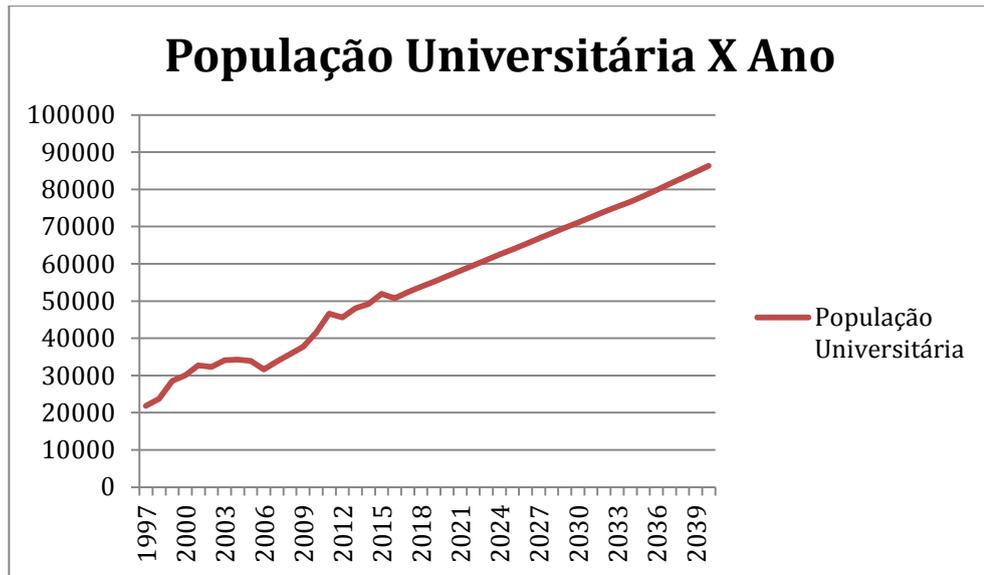
número de 54.131 viagens realizadas ao todo na terça-feira. Na quarta-feira a pesquisa apresenta um total de 754 viagens. Aplicando o fator de expansão chegamos a um valor de 53.845 viagens totais na quarta-feira. Na quinta-feira a pesquisa apresenta um total de 756 viagens. Aplicando o fator de expansão corresponde a 53988 viagens no total feitas na quinta-feira. Na sexta-feira a pesquisa apresenta um total de 664. Aplicando o fator de expansão chegamos a 47418 viagens realizadas na sexta-feira entre as seis cidades em questão e a Universidade de Brasília. Pode-se assim notar que as maiores demandas acontecem nas segundas e terças e correspondem a um valor que se aproxima de 54.131 viagens diárias.

Tendo a segunda-feira como o dia em que é apresentado o maior número de viagens, será avaliado então o número de viagens nos horários de pico desse dia. Segundo as matrizes de origem-destino anteriormente apresentadas os horários de pico, em sua maioria, acontecem pela manhã das 6:00 às 8:59 e pela tarde das 17:00 às 18:59.

Segundo a pesquisa elaborada, na segunda-feira das 6:00 às 8:59 são constatadas 208 viagens vindas das seis cidades em questão até a UnB. Aplicando o fator de expansão a essas viagens chegamos a um valor de 14.854 viagens feitas no total nesse horário de pico. A pesquisa aponta também que das 17:00 às 18:59 da segunda-feira são geradas 160 viagens. Aplicando o fator de expansão a essas viagens chegamos ao valor de 11.427 viagens feitas no total nesse horário de pico.

A estimativa de viagens em um contexto futuro será feita com base em dados anteriores presentes nos Anuários Estatísticos da Universidade de Brasília. Com esses anuários foi possível ter acesso ao número de população geral da UnB desde 1997, quando a quantidade de alunos da Universidade era de 21.848 pessoas, até o ano de 2016 em que a Universidade correspondia a uma população de 50.703 indivíduos.

Com os dados anuais de população universitária foi montada uma tabela cronológica com os anos e a quantidade de pessoas que frequentavam a Universidade. A partir desses dados foi usada a ferramenta de tendência do programa Excel para estimar a população universitária até o ano de 2040. Os dados de anos anteriores e as previsões até 2040 são mostradas no gráfico a seguir:



**Gráfico 1: Evolução e previsão da população universitária.**

Segundo essa estimativa de tendência a população da Universidade de Brasília no ano de 2040 será de aproximadamente 86.300 pessoas. Para estimar as demandas por transporte com o número de viagens oriundas das seis cidades em questão nessa data futura de 2040 será calculado um novo fator de expansão levando agora em consideração o possível número total de indivíduos nessa data. Desta forma, da equação (3.3.1) teremos:

$$FE = \frac{N^{\circ}da\ população\ futura\ da\ UnB}{N^{\circ}de\ indivíduos\ entrevistados} \quad (3.3.2)$$

Logo, o novo valor do fator de expansão será:

$$FE' = \frac{86.300}{710} = 121,55$$

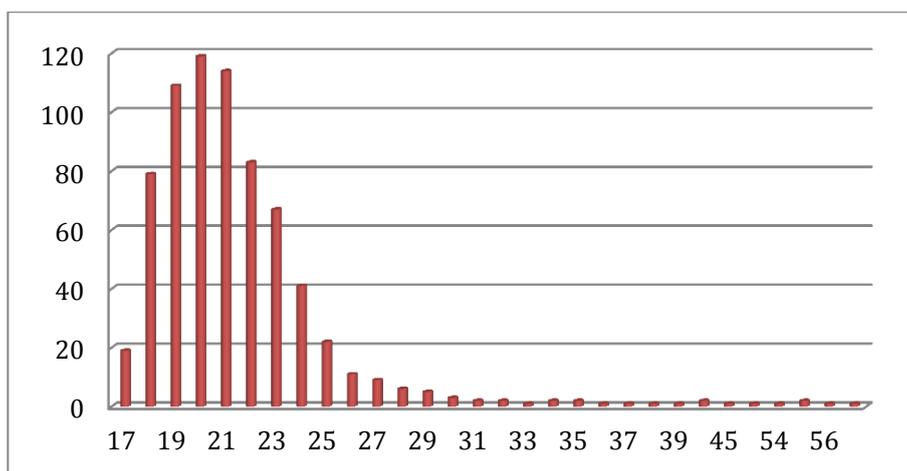
Os dias com maior número de viagens estimadas para o presente são segunda e terça com 758 viagens pela pesquisa. No intuito de prever uma demanda crítica para o ano de 2040 essa será a demanda utilizada para aplicar o novo fator de expansão. Aplicando esse fator de expansão chegamos ao valor de 92.135 viagens na situação mais crítica do ano de 2040.

Fazendo essa projeção para os horários de pico do dia com maior número de

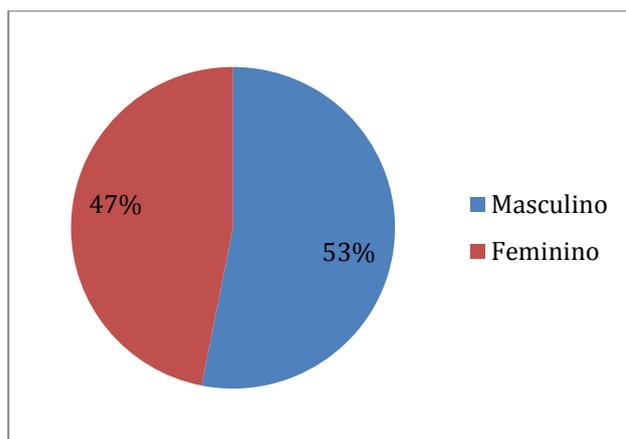
viagens é possível chegar ao número de viagens de um horário de pico futuro em 2040. Atualmente, segundo a pesquisa, na parte da manhã de 6:00 às 8:59 são constatadas 208 viagens. Aplicando o novo fator de expansão isso corresponde a 25.282 viagens nesse mesmo horário de pico no ano de 2040. Pela parte da tarde das 17:00 às 18:59 são observadas 160 viagens. Aplicando o novo fator de expansão isso corresponde a 19.448 viagens nesse mesmo horário de pico do ano de 2040.

Essa estimativa de demanda se faz apenas com a tendência de crescimento da população universitária ao longo dos anos desde o ano de 1997. Para a intenção comparativa deste trabalho essa estimativa se faz razoável por abranger uma visão geral. Porém, para uma análise mais específica é preciso aplicar um modelo que leve em conta as variáveis de crescimento do campus universitário, através de informações sobre o andamento de obras de expansão e planejamentos do meio acadêmico; variáveis de crescimento das Regiões Administrativas de onde se originam as viagens e variáveis do mundo globalizado que levam, por exemplo, a uma tendência de cursos à distância e diminuição de geração das viagens. De modo que o número mais refinado da população universitária em 2040 seja menor do que o aqui estimado.

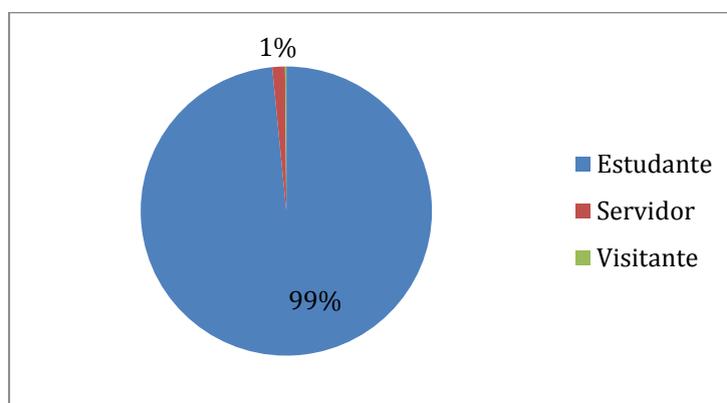
Durante a divulgação da pesquisa, tomou-se o cuidado de abranger diversos públicos dentro da universidade, de forma a não obter resultados enviesados. Os gráficos 1, 2 e 3, a seguir, demonstram os resultados sociodemográficos obtidos:



**Gráfico 2 - Idade dos participantes.**



**Gráfico 3 - Porcentagem dos participantes correspondente a cada gênero.**



**Gráfico 4 - Função do participante dentro do campus.**

A partir dos dados sociodemográficos coletados, percebe-se que a amostra foi bastante condizente com o universo real de pessoas que frequentam o campus, ou seja, grande maioria de estudantes, com idades variando, predominantemente, entre 17 e 27 anos, sendo aproximadamente metade do sexo masculino e metade do sexo feminino.

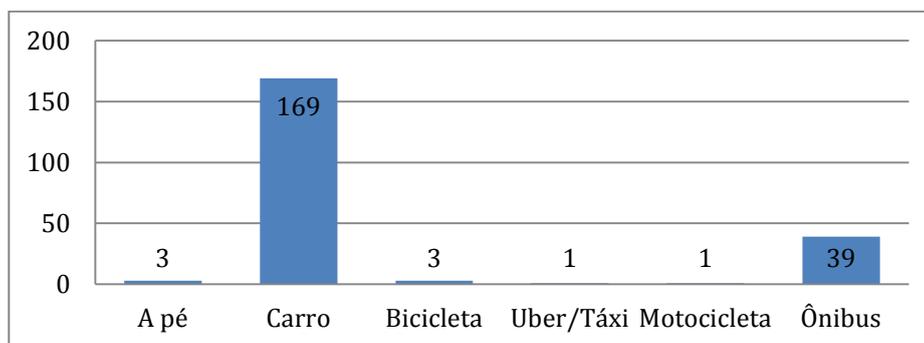
Vale ressaltar que “servidor” refere-se tanto aos funcionários terceirizados da universidade quanto aos concursados, incluindo os professores neste grupo.

A análise de percepção do usuário a respeito da viagem como um todo que tem por origem ou destino o campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília foi feita através de cinco perguntas relacionadas a parâmetros qualitativos, as quais o pesquisado deveria responder com uma nota variando de 1 a 5, para cada um dos seguintes parâmetros:

1. Pontualidade
2. Segurança
3. Tempo de viagem
4. Conforto
5. Flexibilidade

Dentre as respostas obtidas, 31% dos usuários utilizam apenas um modo de transporte em sua viagem com origem ou destino UnB, enquanto os outros 69% utilizam dois ou mais modos de transporte nessa viagem.

O modo escolhido pelos usuários que utilizam apenas um é, em sua maioria, ônibus ou carro, sendo que o carro consiste na grande maioria desse público, como pode ser observado no gráfico 4, a seguir:

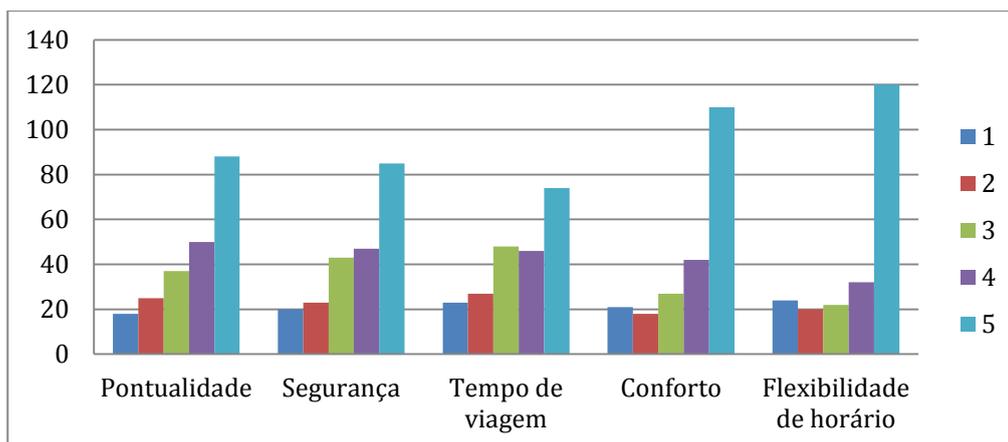


**Gráfico 5 - Quantidade de usuários por modo utilizado.**

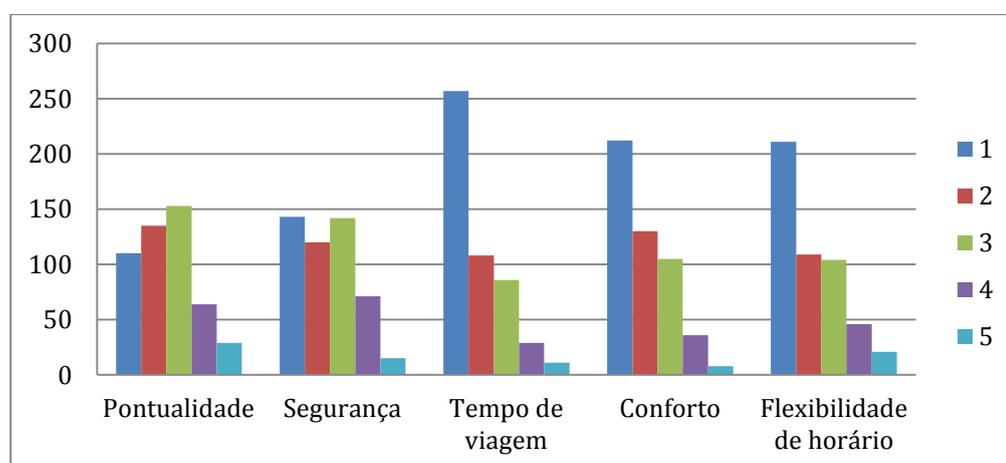
Já dentre os usuários que utilizam dois ou mais modos de transporte em uma única viagem com origem ou destino UnB, as combinações de modo mais utilizadas foram duas, a saber:

- Metrô e ônibus
- Ônibus e ônibus

De posse dos resultados, foi nítida a diferença de percepção dos usuários que utilizam em sua viagem apenas um modo de transporte e os usuários que precisam realizar a troca de modo em algum momento da viagem. Os gráficos 5 e 6, a seguir, demonstram essa diferença:



**Gráfico 6 - Percepção dos usuários que utilizam apenas um modo.**



**Gráfico 7 - Percepção dos usuários que utilizam dois ou mais modos.**

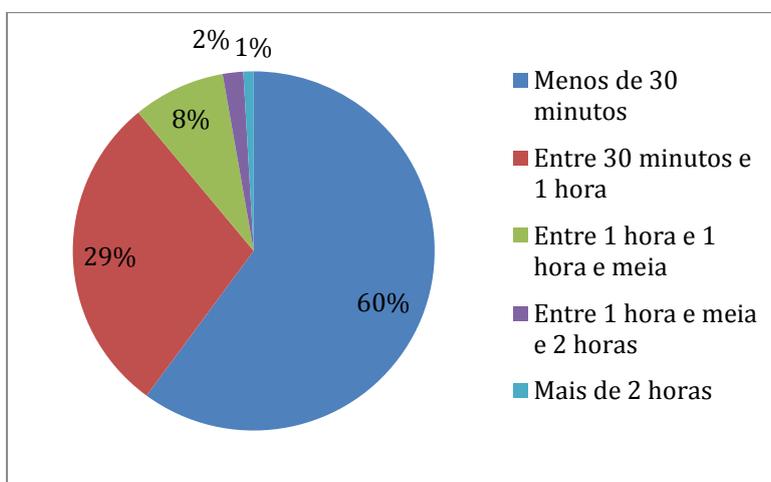
As notas dadas pelos usuários que utilizam apenas um modo de transporte foram maiores para todos os cinco aspectos estudados. Pode-se inferir que isso decorre do fato de que muitos desse espaço amostral de apenas um modo de transporte utiliza carro, que normalmente traz menos transtornos. Vale ressaltar que as notas foram bem parecidas para todos os aspectos analisados.

Os usuários que utilizam dois ou mais modos de transporte deram, em geral, notas piores para os aspectos estudados. Além disso, percebe-se que para os dois primeiros itens, pontualidade e segurança, as notas foram um pouco melhores que para os três últimos, tempo de viagem, conforto e flexibilidade de horário. Pode-se inferir que as notas muito baixas se devem ao fato de que a integração entre modos de transporte no Distrito Federal não é feita de maneira apropriada, por isso a troca entre os modos gera

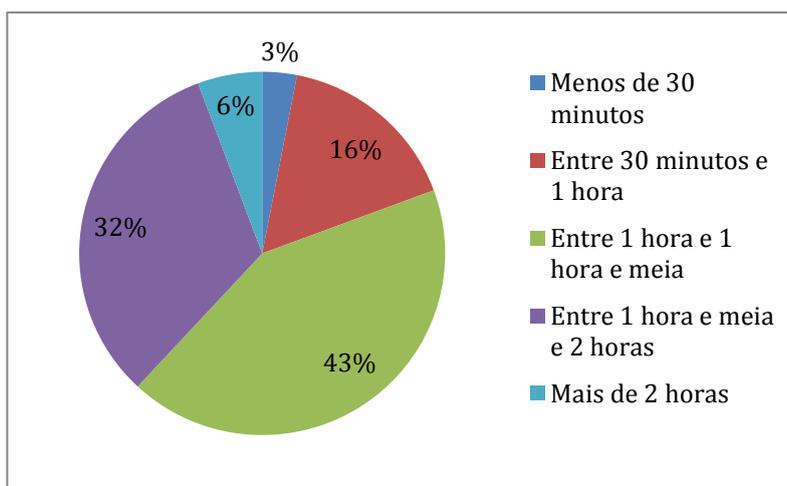
uma grande sensação de desconforto e aumenta o tempo de viagem consideravelmente.

Um exemplo bastante claro disso para o público universitário é a integração entre o metrô e a linha de ônibus 110 ou 110.2, que faz a viagem entre a rodoviária e o campus. Como o metrô se estende apenas até a rodoviária, essa é uma troca forçada que muitos estudantes são obrigados a fazer, e normalmente nos mesmos horários, gerando filas gigantescas nesses picos, que cruzam a rodoviária.

Outro fator que teve um impacto considerável nas notas ruins de percepção dos usuários que utilizam dois ou mais modos é o tempo que se leva para completar o trajeto. Os gráficos 7 e 8, a seguir, mostram essa diferença:



**Gráfico 8 - Tempo de viagem dos participantes que utilizam apenas um modo de transporte.**



**Gráfico 9 - Tempo de viagem dos participantes que utilizam dois ou mais modos de transporte.**

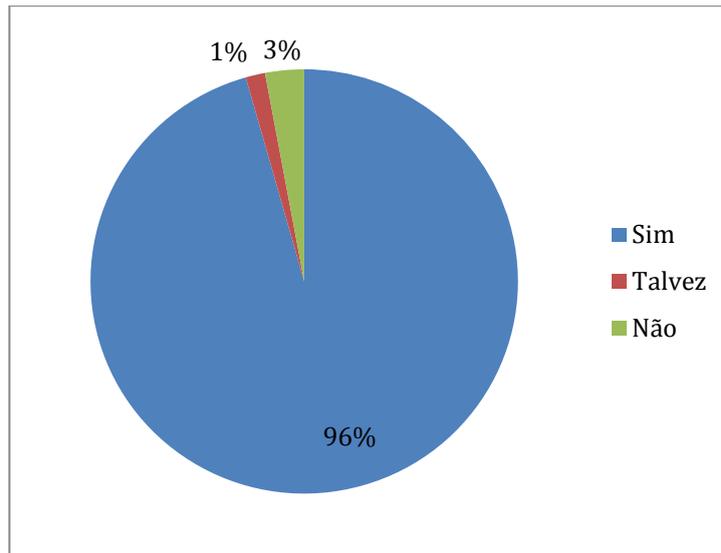
Denota-se da análise do gráfico que, dentre os usuários que utilizam apenas um modo de transporte, cerca de 90% levam menos de uma hora no trajeto, sendo que 60% leva menos de meia hora. Já entre os usuários que utilizam dois ou mais modos de transporte, a situação se inverte. Cerca de 75% destes levam mais de uma hora para completar o trajeto.

A porcentagem de usuários que leva mais de duas horas no trajeto e utiliza apenas um modo de transporte é de 1%. Esse número multiplica-se por seis para os usuários que utilizam dois ou mais modos de transporte em seu trajeto. Essas diferenças contribuem significativamente para as percepções observadas.

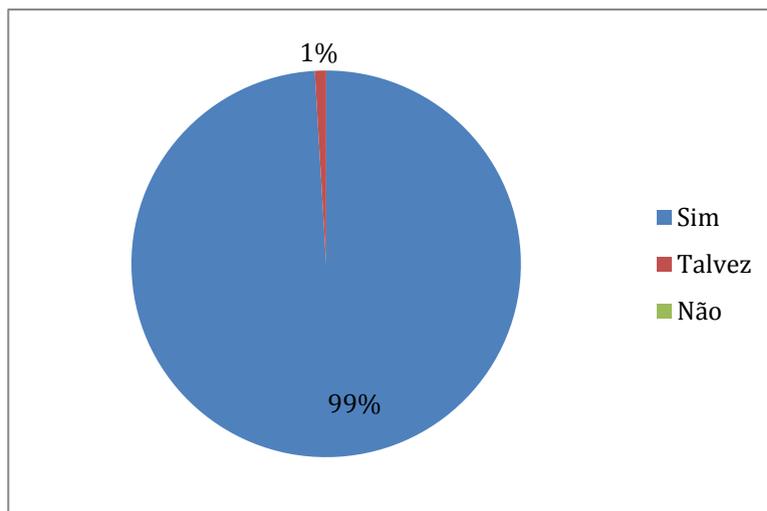
Também foi realizada a análise de preferência declarada em relação à utilização do metrô caso a expansão fosse concretizada. Antes de entrar nesses resultados, vale ressaltar que os participantes foram possuíam diversas origens distintas no trajeto para a UnB. Dessa forma, foram desconsideradas as respostas de pessoas que possuíam um trajeto que impossibilitaria a utilização do metrô, mesmo com a expansão. Tendo isso em vista, as respostas utilizadas foram dos usuários que possuem como origem as seguintes regiões:

- Águas Claras
- Asa Sul
- Ceilândia
- Guará
- Samambaia
- Taguatinga

Esses locais são os com possibilidade dos usuários utilizarem o metrô diretamente, portanto os dados coletados são mais fidedignos. Ao todo 389 pessoas, dentre os participantes, colocaram como origem uma dessas regiões, o que corresponde a aproximadamente 55% do espaço amostral. Dessas 389 pessoas entrevistadas 51 se utilizam de automóvel para fazerem seus deslocamentos até a UnB, o que corresponde a 13% das viagens relacionadas a essas seis cidades. Os gráficos 9 e 10, a seguir, mostram os resultados coletados:



**Gráfico 10 - Preferência declarada pelo metrô pelos que utilizam um modo de transporte.**



**Gráfico 11 - Preferência declarada pelo metrô pelos que utilizam 2 ou mais modos de transporte.**

Denota-se da análise dos gráficos 9 e 10 que a preferência declarada, entre os usuários que possuem essa possibilidade, de utilização do metrô caso haja a expansão até o campus é muito alta, quase 100%, principalmente entre os que utilizam dois ou mais modos. Isso significa que quase todos esses usuários declararam que utilizariam o metrô caso houvesse a expansão.

Infelizmente, é sabido que existe uma diferença entre as pessoas que declaram que fariam algo e as que realmente realizam. Essa diferença é difícil de ser quantificada pois varia muito dependendo do objeto de estudo. Quando a pesquisa se relaciona a algo que é socialmente tido como bem comum, como coleta seletiva, diminuição da poluição ou até mesmo uso de transporte público, as pessoas tendem a responder positivamente às preferências declaradas.

### 3.4 DEFINIÇÃO E APLICAÇÃO DO MODELO

Neste estudo será aplicada a etapa de escolha modal do modelo quatro etapas. Será usado o modelo logit binomial para escolha entre o ônibus e o metrô. Não serão avaliadas as escolhas entre o modo de transporte público e o privado por se entender que o uso do metrô impactará, em sua maior parte, os usuários do ônibus.

O modelo logit binomial escolhido a ser desenvolvido faz referência à preferência modal com relação ao transporte coletivo entre as opções ônibus e metrô. Todo o desenvolvimento do modelo será feito com base nos dados coletados na pesquisa aplicada, que serão usados na calibração do modelo e na estimativa dos coeficientes de ponderação das variáveis de serviço. O esquema explicativo das opções de escolha modal na forma binomial é mostrado na figura seguir:

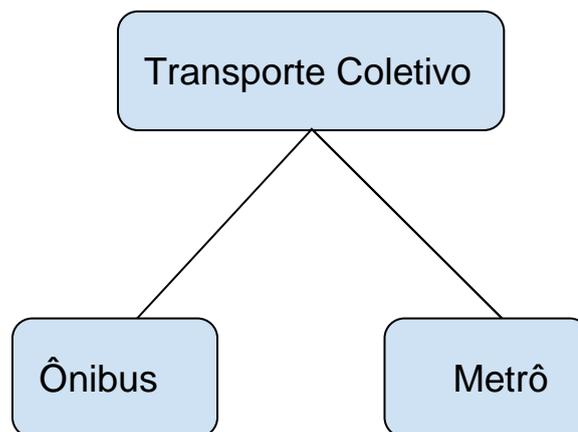


Figura 9: Escolha Modal.

O modelo logit a ser utilizado é do tipo binomial devido ao fato de a escolha modal girar em torno de duas opções de transporte (ônibus e metrô). Porém, para o

desenvolvimento do modelo uma consideração se faz necessária: as viagens que abordam o uso do metrô na maior extensão do percurso e o uso de outros meios na parte minoritária desse percurso são aqui consideradas viagens de metrô. No caso em questão boa parte das pessoas que se deslocam até a UnB e utilizam do metrô fazem uma baldeação na Rodoviária do Plano Piloto e prosseguem utilizando as linhas que envolvem a UnB, que são as linhas 110 e 110.2. Na tabela a seguir são apresentados os comparativos entre os comprimentos médios dos percursos de quem utiliza o metrô e algum outro meio pra chegar até a UnB. As distâncias apresentadas foram estimadas a partir das ferramentas do Google Maps.

**Tabela 12: Distâncias entre os modos nas viagens de metrô.**

<b>Origem do Percurso</b>	<b>Distância do percurso percorrido de metrô (Km)</b>	<b>Distância do percurso percorrida por outro modo (Km)</b>	<b>Distância Total (Km)</b>	<b>Porcentagem do percurso de metrô</b>
<b>Águas Claras</b>	19,1	4,9	24	79,60%
<b>Ceilândia</b>	29,3	4,9	34,2	85,70%
<b>Guará</b>	13,7	4,9	18,6	73,60%
<b>Samambaia</b>	24,8	4,9	29,7	83,50%
<b>Taguatinga</b>	22,6	4,9	27,5	82,20%
<b>Asa Sul</b>	3,7	4,9	8,6	43,00%

Com os dados demonstrados na tabela é possível inferir que no caso das cidades de Águas Claras, Ceilândia, Guará, Taguatinga e Samambaia a maior parte do percurso é feita utilizando o metrô. Desta forma, para essas cidades é possível considerar as viagens que se somam metrô e outro modo como apenas viagens de metrô. No caso das viagens que partem da Asa Sul o percurso feito pelo metrô e por outro modo se equiparam e dessa forma não poderão ser usadas no modelo logit binomial a ser desenvolvido.

A primeira etapa para aplicação do modelo logit é a determinação das variáveis de serviço que serão utilizadas como variáveis independentes para chegar a variável

dependente que é a função utilidade já mostrada anteriormente na expressão (2.1.2.2):

$$U = \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \dots + \alpha_n x_n. (3.4.1)$$

Como abordado anteriormente pela literatura levantada, a escolha das variáveis independentes deve proceder de modo a abordar os aspectos mais relevantes dos modos de transporte a serem comparados. A partir da base de dados gerada pela pesquisa realizada no presente trabalho, os aspectos mais relevantes possíveis de serem elencados e utilizados na modulação do logit são os relacionados aos tempos de viagens e as distâncias dos deslocamentos gerados por cada modo de transporte (metrô ou ônibus) em seus percursos. Segundo Lima Jr. (1995), como já foi apresentado anteriormente, esses são dois dos principais parâmetros relacionados à avaliação da qualidade do transporte público, sendo fatores preponderantes na tomada de decisão entre um modo de transporte ou outro. São parâmetros relacionados ao fator de confiabilidade segundo o autor.

Desta forma, as variáveis escolhidas para representar o modelo são: o tempo de duração da viagem e a distância média do percurso feito pelo entrevistado. O custo de viagem não foi usado como variável de serviço devido ao fato de os alunos da Universidade de Brasília, que são maioria na população geral da área de estudo, terem direito ao passe livre estudantil, que garante gratuidade nas viagens.

O modelo de escolha modal foi feito levando em consideração as regiões administrativas principais por onde passa o metrô, sendo essas, as únicas localidades por onde é possível optar por ônibus ou metrô. Essas regiões foram divididas em cinco zonas de origem, sendo elas: Águas Claras, Ceilândia, Taguatinga, Guará e Samambaia. Com base nos dados levantados pela pesquisa foram estimados, por meio de média aritmética, os tempos de viagem de ônibus e de metrô entre as regiões escolhidas e seu destino, que em todos os casos é a Universidade de Brasília. Também através da pesquisa foi levantado o número de viagens (origem-destino) feitas em cada modo. Utilizando-se das ferramentas do Google Maps foram medidas as distâncias médias das cidades até a Universidade de Brasília, tanto pelas rotas de ônibus como pela rota do metrô. Todos esses dados estão apresentados na tabela a seguir:

**Tabela 13: Características das viagens.**

Nº	Zona de Origem	Ônibus			Metrô		
		Tempo de Viagem (min)	Distância (Km)	Nº de Viagens	Tempo de Viagem (min)	Distância (Km)	Nº de Viagens
1	Águas Claras	75	24,9	1	74	24	87
2	Ceilândia	86	31,2	2	94	34,2	62
3	Taguatinga	60	25,2	2	85,6	27,5	66
4	Guará	70	22,4	13	74	18,6	39
5	Samambaia	100	35,5	7	90	29,7	31

A função utilidade que representa o modelo proposto pela tabela acima tem a seguinte forma:

$$y = \ln\left(\frac{1}{P_a} - 1\right) = \alpha_0 + \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 \quad (3.4.2)$$

Onde,  $X_1$  é a variável independente de serviço referente a tempo de viagem,  $X_2$  a variável independente de serviço referente à distância da viagem e  $y$  é variável dependente.

Na sua forma expandida a equação fica do tipo:

$$y = \ln\left(\frac{1}{P_a} - 1\right) = \alpha_0 + \alpha_1 [X_1^{(B)} - X_1^{(A)}] + \alpha_2 [X_2^{(B)} - X_2^{(A)}] \quad (3.4.3)$$

Onde,

$y$  = função utilidade.

$P_a$  = probabilidade de escolha ao modo a.

$X_1$  e  $X_2$  = variáveis independentes do transporte.

$\alpha_0, \alpha_1$  e  $\alpha_2$  = coeficientes de ponderação da função utilidade.

Desta forma, os valores que as variáveis dependentes podem assumir são dados pela equação:

$$y = \ln\left(\frac{1}{P_a} - 1\right) \quad (3.4.4)$$

Onde,

$$P_a = \frac{\text{Número de viagens com o modo A}}{\text{Número de viagens com os modos A e B}} \quad (3.4.5)$$

Utilizando-se a equação (3.4.4) associada com os valores presentes na tabela (8) é possível encontrar os valores presentes na tabela a seguir:

**Tabela 14: Valores para a regressão múltipla.**

Zonas	y	$X_1^{(B)} - X_1^{(A)}$	$X_2^{(B)} - X_2^{(A)}$
<b>Águas Claras</b>	4,46	-1	-0,9
<b>Ceilândia</b>	3,43	8	3
<b>Taguatinga</b>	3,49	25,6	2,3
<b>Guará</b>	1,09	4	-3,8
<b>Samambaia</b>	1,49	-10	-5,8

No intuito de calibrar o modelo e chegar a valores razoáveis dos coeficientes de ponderação das variáveis independentes ( $\alpha_0, \alpha_1$  e  $\alpha_2$ ) foi aplicado, com o auxílio da ferramenta de regressão do Excel, a regressão múltipla aplicada aos valores da tabela 9 representada acima.

Feita a regressão múltipla o Programa Excel gerou as seguintes tabelas de resultados:

**Tabela 15: Estatística da regressão.***Estatística de regressão*

<b>R múltiplo</b>	0,79904
<b>R-Quadrado</b>	0,638465
<b>R-quadrado ajustado</b>	0,27693
<b>Erro padrão</b>	1,222568
<b>Observações</b>	5

Como os valores de R-quadrado (parâmetro estatístico) variam de 0 a 1 sendo 0 não razoável e 1 totalmente razoável o R-quadrado encontrado se faz razoável para a análise em questão.

**Tabela 16: Anova da Regressão.**

ANOVA	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
<b>Regressão</b>	2	5,279134	2,639567	1,765983	0,361535
<b>Resíduo</b>	2	2,989346	1,494673	-	-
<b>Total</b>	4	8,26848	-	-	-

**Tabela 17: Coeficientes oriundos da regressão.**

Ponto	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
<b>Interseção</b>	3,518412	0,820433	4,288482	0,050306	-0,01163	7,048449	-0,01163	7,048449444
<b>X1</b>	-0,05406	0,07267	-0,74392	0,53445	-0,36673	0,258611	-0,36673	0,258611296
<b>X2</b>	0,421933	0,252022	1,67419	0,236072	-0,66243	1,506296	-0,66243	1,506296215

Das tabelas são inferidos os valores de  $\alpha_0$ ,  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$ , que são:

$$\alpha_0 = 3,51841, \alpha_1 = -0,05406 \text{ e } \alpha_2 = 0,42193$$

E a equação da utilidade (3.4.2) assume a forma:

$$y = 3,51841 - 0,05406X_1 + 0,42193X_2 \quad (3.4.6)$$

Com a equação de utilidade conhecida em todos seus coeficientes é possível estimar a probabilidade de escolha de uma opção modal através das equações a seguir:

$$P_a = \frac{1}{1 + \exp(\Delta U)} \quad (3.4.7)$$

e

$$P_b = 1 - P_a$$

Deve-se notar, entretanto, que não é possível estimar uma função utilidade absoluta. Sempre se trabalha com a função utilidade diferencial  $\Delta U$  e assim qualquer inferência é apenas válida para comparação entre os dois modos analisados no contexto em que os dados foram coletados.

Aplicando as equações (3.4.6) e (3.4.7) aos valores demonstrados na tabela 8 de características das viagens é possível encontrar as probabilidades de uso do metrô para cada cidade estudada.

No caso da cidade de Águas Claras tem-se:

$$\Delta y = 3,51841 - 0,05406(74 - 75) + 0,42193(24 - 24,9) = 3,19$$

$$P_a = \frac{1}{1 + \exp(3,19)} = 0,04 \quad \text{e} \quad P_b = 0,96$$

A probabilidade, nesse caso, de as pessoas escolherem o metrô é de 96%.  
No caso da cidade de Ceilândia tem-se:

$$\Delta y = 3,51841 - 0,05406(94 - 86) + 0,42193(34,2 - 31,2) = 4,35$$

$$P_a = \frac{1}{1 + \exp(4,35)} = 0,01 \quad e \quad P_b = 0,99$$

A probabilidade, nesse caso, de as pessoas escolherem o metrô é de 99%.

No caso da cidade de Taguatinga tem-se:

$$\Delta y = 3,51841 - 0,05406(85,6 - 60) + 0,42193(27,5 - 25,2) = 3,10$$

$$P_a = \frac{1}{1 + \exp(3,10)} = 0,04 \quad e \quad P_b = 0,96$$

A probabilidade, nesse caso, de as pessoas escolherem o metrô é de 96%.

No caso da cidade do Guar\u00e1 tem-se:

$$\Delta y = 3,51841 - 0,05406(74 - 70) + 0,42193(18,6 - 22,4) = 1,69$$

$$P_a = \frac{1}{1 + \exp(1,69)} = 0,15 \quad e \quad P_b = 0,85$$

A probabilidade, nesse caso, de as pessoas escolherem o metrô \u00e9 de 85%.

No caso da cidade de Samambaia tem-se:

$$\Delta y = 3,51841 - 0,05406(90 - 100) + 0,42193(29,7 - 35,5) = 1,61$$

$$P_a = \frac{1}{1 + \exp(1,61)} = 0,16 \quad e \quad P_b = 0,84$$

Portanto, a probabilidade, nesse caso, de as pessoas escolherem o metrô, é de 84%.

## 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

O manual de BRT de Dezembro de 2008 apresenta uma matriz de decisão de transporte público, na qual são apresentados os quantitativos de passageiros por hora e sentido necessários para a implantação de cada modo de transporte. Além disso, a matriz de decisão também apresenta elementos comparativos de vantagens e desvantagens dos modos de transporte apresentados.

Essa matriz aponta que, para implantação de metrôs enterrados e elevados, é necessário uma demanda alta a muito alta de passageiros (de 30.000 a 80.000 passageiros/(hora-sentido)).

Nos quantitativos levantados anteriormente foram mostrados que dentre as seis cidades que passam o metrô e a UnB são geradas de 47.418 a 54.131 viagens diárias durante a semana. No horário de pico de maior demanda são observadas 14.854 viagens no horário de 6:00 às 8:59, o que corresponde a uma taxa média de 5.000 viagens por hora e sentido. Porém, de todas essas viagens, como já foi visto anteriormente, 13% correspondem a viagens feitas de carro. Segundo a pesquisa de opinião declarada cerca de 96% das pessoas que usam carro no seu trajeto trocariam o modo para o metrô caso a ampliação fosse realizada.

No caso das pessoas que utilizam de ônibus ou metrô nesse mesmo trajeto foi mostrado pela aplicação do modelo logit binomial que de 84% a 99% das pessoas tenderiam a escolher pelo metrô. Ou seja, tirando as pessoas que utilizam automóvel nas suas viagens quase todas as outras pessoas usariam o metrô para fazerem esses trajetos entre as cidades cortadas pelas linhas do metrô e a Universidade de Brasília do Plano Piloto.

Os resultados encontrados a partir da aplicação do modelo logit binomial são condizentes com a realidade demonstrada na percepção dos respondentes da pesquisa

realizada. Como debatido anteriormente a etapa da pesquisa referente à preferência declarada mostra que 99% das pessoas que utilizam dois ou mais modos de transporte para se deslocarem até a Universidade, em sua maioria usuárias de transporte público, dariam preferência para o metrô em suas viagens diárias. Esse número se aproxima dos resultados encontrados com o modelo logit, que aponta um intervalo de preferência de 84% a 99%. Frequentemente o metrô é melhor avaliado quando comparado ao ônibus em aspectos qualitativos da percepção dos usuários como: pontualidade, segurança, tempo de viagem, conforto e flexibilidade de horários. Esse fator torna quase que intuitiva a percepção de preferência dos indivíduos ao transporte metroviário. Porém, o objetivo da etapa de escolha modal e da aplicação do modelo logit foi quantificar de maneira mais exata essa percepção, o que foi realizado de forma razoável.

Levando em consideração uma visão menos otimista, em que as pessoas que utilizam o carro não trocariam esse modo pelo metrô, seria possível observar cerca de 41.253 a 47.094 viagens diárias durante a semana. E levando em consideração o horário de pico máximo semanal seria observada uma taxa média de 4.350 viagens por hora e sentido.

Comparando de forma absoluta esses valores com os demonstrados na matriz de decisão do Manual de BRT fica claro que uma implantação do metrô não seria viável em termos de demanda absoluta. Porém, é preciso fazer algumas considerações, tais como:

- A demanda necessária para utilização do metrô é estimada para a implantação em uma cidade levando em consideração o que será gasto com obras de infraestrutura, custos operacionais, compra de trens e outros custos. No caso aqui proposto a estrutura geral já existe e a proposta é apenas uma ampliação da linha. Desta forma, os custos são reduzidos quando comparados ao custo de uma implantação total do sistema.
- A demanda levantada neste projeto corresponde apenas a uma parcela que usaria a estação de metrô advinda da ampliação. É considerada apenas a geração de viagens da Universidade de Brasília. Porém, o raio de abrangência da estação englobaria outras regiões da Asa Norte e do Plano Piloto. Isso contribuiria com outra parcela de geração de viagens.

Além dessas considerações é preciso ter ciência do tempo necessário para execução de uma obra de ampliação do metrô. Por se tratar de obras pesadas, contando até mesmo com escavações, demandaria um tempo relativo até a concepção e entrega da ampliação da linha. Nesse sentido foram feitas projeções para o ano de 2040 como visto anteriormente. Tendo essa data como uma possível data de consolidação e utilização da ampliação. A essa data, segundo os estudos de projeção de demanda realizados, a demanda máxima diária das seis cidades tratadas estaria próxima a 92.135 viagens e uma taxa média de 8.427 viagens por hora e sentido no horário de pico máximo semanal. Imaginando que as pessoas que se utilizam de carro em suas viagens continuem correspondendo a 13% dos viajantes totais esses números seriam de 80.157 viagens médias diárias e uma taxa de 7.331 viagens por hora e sentido no horário de pico máximo semanal de pessoas que propriamente se utilizarão do metrô para fazer suas viagens até a Universidade de Brasília do Plano Piloto.

A partir dos dados coletados na etapa anterior, foi possível perceber que, dentro do espaço amostral pesquisado, cerca de 47% das pessoas se locomove para o campus utilizando o metrô. Como esse modo de transporte não alcança o campus diretamente, todas essas pessoas precisam recorrer ao uso de uma linha de ônibus complementar, que normalmente é a 110 ou 110.2. Pelos dados de percepção obtidos, essa troca de modo de transporte gera bastantes transtornos, ocasionando uma opinião muito pior, por parte dos pesquisados, sobre suas viagens.

Esse problema observado demonstra uma deficiência na integração entre os modos de transporte. A preferência declarada pelo metrô leva em consideração uma expansão da linha que leve ao campus Darcy Ribeiro, de modo que a pessoa não necessite utilizar outro transporte.

Como essa troca de modo de transporte é a causadora principal das más percepções dos usuários, a preferência declarada pelo metrô foi muito alta, aproximando-se de 100%. Tendo isso em vista, é necessário pontuar que a expansão, para ser bem sucedida, deve ser acompanhada de uma integração muito bem estruturada com algum tipo de ônibus circular, caso essa expansão se dê ao longo da linha do eixo monumental, visto que não é confortável para o estudante realizar esse trajeto inteiro a pé, devido à imensidão territorial do campus.

A demanda levantada e apresentada neste trabalho demonstra quantidades

relevantes de viagens geradas a partir da ampliação proposta. Acompanhada das considerações necessárias e da melhora de percepção dos usuários com relação ao transporte público em suas rotinas, essa demanda justifica a ampliação da linha do Metrô de Brasília até a altura da Universidade de Brasília.

Uma eventual análise de viabilidade da expansão do metrô de Brasília até a altura da UnB deve também levar em consideração os gastos necessários para a construção da linha do metrô e da estação proposta. O intuito deste presente trabalho foi o de abordar um estudo da demanda existente da Universidade de Brasília advinda dessa possível expansão. Porém, para fins acadêmicos, será exposto a seguir um levantamento da composição de custos para a expansão metroviária proposta.

O traçado mais provável para a expansão é uma linha que rebata a linha do metrô presente na Asa Sul de Brasília e que, desta forma, acompanhe o traçado do Eixão da Asa Norte como demonstrado na figura a seguir:



**Figura 10 - Traçado Proposto.**

FONTE: GOOGLE MAPS

Utilizando-se da ferramenta de medir distâncias do Google Maps é possível afirmar que o traçado proposto corresponde a um comprimento de aproximadamente 2,8 quilômetros, já que a linha deve se estender até a altura da quadra 206 Norte como apresentado na figura 10.

O custo de implantação de uma linha desse tipo principalmente depende de fatores como gastos com a obra e o sistema no geral. Além de gastos com possíveis desapropriações e indenizações. No caso do traçado proposto, esse último fator de custo não se faz necessário, haja vista que a região delimitada pertence ao Governo do

Distrito Federal. O custo relacionado à construção de redes metroviárias enterradas depende dos gastos de escavações e esse se relaciona diretamente ao tipo de solo da região e todos os aspectos geotécnicos envolvidos. Para conhecer o gasto aproximado da obra do metrô é preciso a realização de estudos geotécnicos na área delimitada para definir os aspectos da escavação. Porém, a nível de comparação e aproximação de custo da obra de ampliação proposta será abordado o gasto médio da construção por quilômetro da Linha 4 do metrô do Rio de Janeiro. Essa ampliação foi inaugurada em 2016, de modo a corresponder a valores atuais de construção. Segundo a concessionária Rio Barra o custo das obras foi de 530 milhões de reais por quilômetro construído, ficando no gasto médio de construção das linhas de metrôs construídas pelo mundo. Desta forma, esse valor será usado aqui como base para levantamento de custo.

Como já visto anteriormente a linha proposta por esse presente trabalho corresponde a uma extensão média de 2,8 quilômetros, aplicando a taxa de 530 milhões de reais por quilômetro construído da atual linha 4 do Rio de Janeiro é possível chegar ao valor de aproximadamente 1,5 bilhão de reais da obra de ampliação aqui proposta.

Vale lembrar que boa parte dos usuários do metrô de Brasília que se deslocam até a UnB são estudantes e esses usufruem do passe livre estudantil, ou seja, não pagam a tarifa do metrô. Desta forma, a obra não se justifica financeiramente a partir de arrecadação dessas tarifas e o gasto com a realização da obra seria, em sua maioria, um investimento do Governo em infraestrutura para a população.

Outro fator relevante na análise dos impactos advindos da expansão metroviária proposta é a capacidade dos trens, principalmente nos horários de pico. Recentemente uma mudança operacional foi necessária no Metrô do Distrito Federal. Nos horários de pico os trens que saem da estação central passaram a funcionar na proporção de dois trens sentido Ceilândia para um trem sentido Samambaia. Isso se fez necessário devido ao fato de a quantidade de passageiros que têm como objetivo os trens com sentido Ceilândia ser aproximadamente três vezes mais numerosa que a quantidade de passageiros que utilizam da linha com sentido Samambaia e devido também ao fato de ser necessário reduzir o tempo de espera dos passageiros com sentido Ceilândia. Isso se deve ao notório inchaço e superlotação nos horários de pico. Desde sua criação o Metrô de Brasília passou por reestruturações no sentido de se adequar à demanda. Essa reestruturação se deu principalmente como a mudança

operacional citada acima e a aquisição de novos trens ao longo dos anos.

O tem-unidade do metrô de Brasília tem capacidade para até 1.356 usuários. Todas as mudanças necessárias na operação do metrô citadas anteriormente demonstram a nítida superlotação nos horários de pico no sentido Central pela manhã e no sentido Ceilândia ou Samambaia pela tarde e noite. A ampliação proposta pelo presente trabalho se justifica em termos de demanda até a Universidade de Brasília, mas também acarreta em uma atração maior de viagens além das que já existem no Metrô de Brasília. Desta forma, a ampliação da linha deve ser acompanhada de mudanças operacionais, principalmente nos horários de pico. Essas mudanças devem priorizar o uso de mais veículos nos horários de pico, já que em cada trem não pode ser aumentado o número de vagões.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O objetivo do presente estudo era o de analisar a demanda resultante da expansão da linha do metrô até a Universidade de Brasília. Para alcançá-lo, foram coletados dados de usuários do campus para aplicar o modelo 4 etapas. Pode-se concluir que objetivo foi alcançado e que a expansão do metrô é sim viável em termos de demanda, visto que tanto a análise pelo modelo quatro etapas quanto a pesquisa de preferência declarada pelo metrô forneceram dados capazes de conduzir à conclusão de que há sim uma demanda suficiente para expansão da linha.

Durante a condução do estudo foram utilizados modelos bastante consagrados na área de transportes, como o modelo sequencial de demanda, realizando as matrizes Origem-Destino através dos dados coletados e aplicando logit binomial para verificar as porcentagens relativas à escolha modal tendo como opções o ônibus e o metrô. Portanto, em termos de método, o estudo seguiu caminhos tradicionais incontestáveis.

Vale ressaltar, porém, que os dados foram expandidos a partir do espaço amostral da pesquisa realizada, de forma a abranger todo o campus e obter números absolutos para compararmos com os valores de demanda contidos na tabela 13. A expansão dos dados foi feita utilizando o método simples de proporcionalidade, visto

que, pelos dados obtidos, foi possível perceber uma grande congruência com a realidade do campus. Tentou-se obter, junto à reitoria, dados de gênero, idade e origem dos usuários registrados do campus, porém sem lograr êxito. A posse desses dados poderia proporcionar uma expansão mais direcionada.

Todos os resultados obtidos a partir dos métodos e dos parâmetros escolhidos juntamente com as interpretações e previsões para o sistema foram satisfatórios e coerentes com o contexto de transporte em questão.

Algumas considerações são feitas a seguir em relação a aspectos relevantes do estudo.

- **Em relação ao traçado:**

É necessário que seja garantido aos estudantes universitários boas condições de estudo durante sua graduação ou pós, visto que a universidade é o berço do conhecimento e da formação de profissionais capacitados. É de suma importância, portanto, que a capital do país possua um sistema integrado de transporte público capaz de atender às necessidades gerais da população e, em especial, de sua universidade.

Foi identificado no presente trabalho a preferência declarada dos estudantes pelo metrô em detrimento do ônibus quando se trata de transporte público. A terceira etapa do modelo aplicado corroborou com a preferência declarada no sentido de que resultou em altíssimas porcentagens de escolha do metrô como o modo de realização das viagens.

Tendo essas informações em mente, parece razoável que tenha de haver uma expansão da linha do metrô de forma a atender às necessidades da UnB. Entretanto, o traçado proposto no projeto governamental se estende apenas pelo eixo central da cidade, ficando ainda longe de algumas áreas de importante atratividade do campus, como os Blocos de Salas Sul e Norte e a Biblioteca Central dos Estudantes, por exemplo.

Caso o projeto venha a ser realizado dessa forma, é de fulcral importância que haja uma integração da estação proposta na quadra 206 norte com os diversos pólos atrativos no campus. Essa integração poderia ser feita utilizando os ônibus da linha 110 que ficariam ociosos, visto que o objetivo dessa linha é apenas o de ligar a rodoviária

(estação final atual do metrô) com o campus Darcy Ribeiro. Como a distância percorrida por esses ônibus seria bem menor, seria possível atender às altas demandas existentes em alguns períodos sem a formação de grandes filas. Já nos períodos de baixa demanda, sugere-se que os ônibus possam ser utilizados para a mobilidade interna no campus, onde seriam bastante úteis para a comunidade universitária em seus deslocamentos.

- **Em relação à capacidade do metrô:**

Parte da demanda encontrada no presente trabalho seria um acréscimo ao sistema metroviário. Isso significa que são usuários de outros modos de transporte, atualmente, que viriam a utilizar o metrô caso houvesse a expansão nos moldes propostos. Porém, nos horários de alta demanda o metrô opera em capacidade máxima ou muito próxima da máxima. Para atender ao acréscimo de demanda seria necessário incluir novos vagões na rede.

Entretanto, deve-se levar em consideração o fato de que o metrô possui limitações logísticas de operação. No formato atual, não seria possível aumentar o número de vagões, por exemplo. A ressalva que se faz é que o presente trabalho visou apenas quantificar a demanda advinda da expansão com foco na Universidade de Brasília, sem adentrar profundamente em aspectos operacionais e logísticos do sistema metroviário do Distrito Federal.

- **Em relação à demanda:**

Para realizar uma expansão metroviária são necessários estudos geotécnicos aprofundados da área em questão. Além disso, é preciso realizar uma licitação e respeitar todos os prazos legais estipulados. A obra de expansão em si é bastante delicada e leva um tempo considerável de projeto e execução. Por essas razões a população de usuários do campus Darcy Ribeiro foi projetada para 2040, horizonte onde é possível enxergar o término das obras e entrega da nova estação.

Para projeção dessa quantidade de usuários do campus foram utilizados dados disponíveis na plataforma online da Universidade, contendo informações desde o ano

de 1997. Utilizando a ferramenta de gráficos do software Excel, foi feita a plotagem desses dados e consequente obtenção da população futura do campus para o ano de 2040. Porém, entre 1997 e 2018 a Universidade teve um crescimento que se deve em grande parte às ações governamentais de incentivo à educação superior.

Com a atual recessão econômica vivida e a implementação de medidas de austeridade e contenção de gastos, é de se esperar que não haja um crescimento da população universitária como outrora. Considerando esse cenário, a projeção feita com base em dados passados pode não se concretizar. No entanto, sempre que se trabalha com hipóteses e projeções futuras há um risco inerente de mudanças drásticas nos parâmetros utilizados.

Apesar disso, o horizonte de previsão do presente projeto não é tão elevado e, portanto, as considerações e calibrações feitas não necessitam de ajuste no tempo. Esse ajuste somente será necessário caso haja algum evento de grande magnitude que altere drasticamente o cenário do estudo, como a privatização da Universidade por exemplo.

Este projeto teve como alicerce o estudo de demanda e percepção dos usuários de transporte da Universidade de Brasília para entender a viabilidade da expansão do metrô até as proximidades do campus. Porém, para efetivação da expansão outros estudos devem ser elaborados. Estudos tais como levantamentos geotécnicos e estruturais, estudos de oferta a partir da demanda aqui levantada e estudos de integração entre os modos e os destinos dos usuários.

## REFERÊNCIAS

- AKISHINO, Pedro (2002). Um Processo Sintetizado para Planejamento de Transportes Urbanos, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002.
- ALMEIDA, Ângelo Ferreira; PIMENTEL, Amanda Pereira de Lima; SILVA, Caroline.(2015). A Expansão do Metrô da Cidade do Rio de Janeiro: Representações e conflitos, Artigo Acadêmico, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015.
- ANUÁRIOS ESTATÍSTICOS-DPO-UNB. Disponível em:  
<[http://www.dpo.unb.br/index.php?option=com\\_phocadownload&view=category&id=56:anuario-estatistico&Itemid=687](http://www.dpo.unb.br/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=56:anuario-estatistico&Itemid=687)> , acessado em: 10 Jun.2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16639: Operação de sistemas metroferroviários e monotrilho. Rio de Janeiro. 2017
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTE URBANO. Disponível em: <<https://www.ntu.org.br/novo/Default.aspx?v=1232>> , acessado em: 15 Abr. 2018
- BARAT, J. & BATISTA, M. S.N. (1973). Transporte público e programas habitacionais. Pesquisa e Planejamento Econômico, 3, 375-388.
- BATES, J. (2008) History of demand modelling. In: Hensher DA& Button KJ, eds. Handbook of transport modelling. Reino Unido: Emerald Group Publishing Limited.
- BEN-AKIVA, M. E e LERMAN, S. R. Discret Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand. Cambridge, 1985. 385 p. Disponível em:  
<<http://www.books.google.com.br>> , acessado em: 8 de Agosto. 2018
- BITTENCOURT, F. de S.; BRIZON, L. C. Transporte Metroferroviário e Desenvolvimento Urbano. 2°. 2006
- BRASÍLIA CAPITAL(2015). Metrô-DF amplia número de trens para Ceilândia no horário de pico da tarde. Disponível em: <<https://www.bsbcapital.com.br/metro-df-amplia-numero-de-trens-para-ceilandia-no-horario-de-pico-da-tarde/>> , acessado em: 10 de Agosto de 2018.
- CARDOSO, Carlos Eduardo de Paiva. Modelos Tradicionais Transporte e Tráfego (2011).
- CARNEIRO, L. G. P. L. Desenvolvimento de uma Metodologia para Previsão de Demanda de Passageiros para o Transporte Rodoviário Interestadual por Ônibus-2005. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado Publicação T. DM-002A /2005 Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília.
- CENTRO-OESTE BRASIL (2014). Metrô DF- Brasília Trens-Unidades Elétricos (TUEs). Disponível em: <<http://doc.brazilia.jor.br/TrMetro/Metro-DF-os-Trens.shtml>> , acessado em: 7 de Agosto.2018
- DEPARTAMENTO DE TRÂNSITO DO DISTRITO FEDERAL (2017). Frota de

- veículos registrados do Distrito Federal. Disponível em: <[http://www.detran.df.gov.br/images/estatisticas\\_transito\\_mensais/09\\_setembro\\_2017\\_frota.pdf](http://www.detran.df.gov.br/images/estatisticas_transito_mensais/09_setembro_2017_frota.pdf)>, acessado em: 08 Nov. 2017.
- DIRECTRAIL (2017). London Underground. Disponível em: <[http://www.directrail.com/london\\_underground.html](http://www.directrail.com/london_underground.html)>, acessado em: 19 Nov. 2017.
- ELANGO VAN, T. & CROUCH, FO; Towards Simplified Transport Planning Techniques for Cities in Developing Countries; Publicado em “ Simplified Transport Demand Modelling, 1992 por Juan de Dios Ortúzar, London.
- EXAME (2010). Carros usados estão cada vez mais baratos. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/seu-dinheiro/carros-usados-estao-cada-vez-mais-baratos/>>, acessado em: 25 Out. 2017.
- EXAME (2015). Oslo, capital da Noruega, quer se livrar dos carros até 2019. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/mundo/oslo-capital-da-noruega-quer-se-livrar-dos-carros-ate-2019/>>, acessado em: 20 Out. 2017.
- O GLOBO (2016). Custo da Linha 4 está dentro da média mundial. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/rio/custo-da-linha-4-esta-dentro-da-media-mundial-19845540>>, acessado em: 9 agosto. 2018.
- GONZALES TACO, P.W. Modelo de Geração de Viagens com Aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica e Sensoriamento Remoto. Brasília: UnB/DF, Publicação TU.DM-02A/97, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 1997.
- INFOESCOLA (2013). Metrô. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/transporte/metro/>>, acessado em: 10 Set. 2017.
- KAWAMOTO, Eiji. Análise de Sistemas de Transporte. EESC/STT, 1999.
- LIMA Jr., O. F. (1995). Qualidade em serviços de transporte: conceituação e procedimentos para diagnóstico. São Paulo, Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 215 p.
- MANUAL DE BRT BUS RAPIDTRANSIT. Guia de Planejamento.2008 Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSEMOB/Biblioteca/ManualBRT.pdf>>, acessado em: 20 Jun.2018
- MELLO, Luiz Marcel Silva de. Estudo de demanda para implantação de corredor de BRT no Eixo Norte de Brasília a partir de métodos sintéticos. 2015. Viii 59 f., il. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade de Brasília, 2015.

- METRÔ BRASÍLIA. Estrutura. Disponível em: <[http://www.metro.df.gov.br/?page\\_id=4850](http://www.metro.df.gov.br/?page_id=4850)> , acessado em: 7 Nov.2017.
- METRÔ-DF COMPANHIA METROPOLITANA DO DISTRITO FEDERAL. Plano Estratégico Institucional – PEI.2017. Disponível em: <<http://www.metro.df.gov.br/wp-content/uploads/2017/05/PEI-2017-2021-APM-v.-2016.12.15-vers%C3%A3o-final-p.-Consad.pdf>> , acessado em: 17 Out. 2017.
- METRÔ RIO (2018). Mapas. Disponível em: <<https://www.metrorio.com.br/VadeMetro/Mapas>> , acessado em: 26 Mar. 2018.
- NOVAES, Antonio Galvão (1986). Sistemas de Transporte, Volume 1: Análise da Demanda. Professor Titular, Departamento de Engenharia de Transportes Escola Politécnica da USP. 1996.
- OBSERVATÓRIO DAS METRÓPOLES (2015). Mobilidade urbana em Brasília: descontinuidade e vazios urbanos. Disponível em: <[http://www.observatoriodasmetropoles.net/index.php?option=com\\_k2&view=item&id=1208%3Amobilidade-urbana-em-bras%C3%ADlia-descontinuidade-e- vazios-urbanos&Itemid=167](http://www.observatoriodasmetropoles.net/index.php?option=com_k2&view=item&id=1208%3Amobilidade-urbana-em-bras%C3%ADlia-descontinuidade-e- vazios-urbanos&Itemid=167)> , acessado em: 20 Out.2017.
- ORTÚZAR, J., WILLUMSEN L. G. (1994) Modelling transport. New Jersey: ed. John Wiley & Sons.
- ORTÚZAR, J. de D. Modelos de Demanda de Transporte. Pontifícia Universidad Catolica do Chile, México: Alfaomega Grupo Editor, 2000.
- PORTAL DO GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO (2017). Metrô de São Paulo: 45 anos de história. Disponível em: <<http://www.metro.sp.gov.br/metro/45-anos.aspx>> , acessado em: 18 Nov. 2017
- RELATÓRIO ANUAL BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (2005). Disponível em: <[https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/917/4/RA2005\\_final\\_BD.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/917/4/RA2005_final_BD.pdf)> , acessado em: 5 Abr. 2018
- SGAVIOLI, F., BERNUCCI, L., MOTTA, R, MOURA, E., & COSTA, R. (2015). Análise do custo do ciclo de vida do lastro ferroviário na estrada de ferro Vitória Minas.
- SHANGHAI METRO (2017). Metro map. Disponível em: <<http://service.shmetro.com/en/>> , acessado em: 18 Nov. 2017.
- SILVA, E. J. Sistema de Informação para Empresas Operadoras do Transporte

Rodoviário de Passageiros com Utilização de Tecnologia de *Data Warehouse* e Ferramenta *OLAP*. Brasília: UnB/DF, Publicação TU.DM-008A/03, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 2003.

SILVA, Thaís (2010). Análise da Escolha Modal Binomial com Base no Modelo Logit. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2010.

TIMEOUT LONDON (2017). London Underground's History. Disponível em: <<https://www.timeout.com/london/things-to-do/london-undergrounds-history-2>>, acessado em: 15 Nov. 2017.

TOKYO METRO (2015). Lines in Operation and Route Length. Disponível em: <<http://www.tokyometro.jp/en/corporate/enterprise/transportation/conditions/index.html>> , acessado em: 18 Nov. 2017.

TOEI TRANSPORTATION (2017). Toei Operation Status. Disponível em: <<https://www.kotsu.metro.tokyo.jp/eng/>> , acessado em: 18 Nov. 2017.

TRANSPORT FOR LONDON (2017). Bakerloo line extension. Disponível em: <<https://tfl.gov.uk/corporate/about-tfl/how-we-work/planning-for-the-future/bakerloo-line-extension>> , acessado em: 19 Nov. 2017.

VASCONCELLOS, Beatriz Cunha; REZENDE, Vera F.; MOTTA, Ana Lúcia Torres Seroa. 33/39- Sustentabilidade em espaços públicos urbanos: uma avaliação a partir da mobilidade e da acessibilidade de pedestres. Rio de Janeiro: Editora da UFF, 2006.

## **ANEXO 1 - PESQUISA**

# EXPANSÃO DA LINHA DO METRÔ PARA A UnB - ESTUDO DE DEMANDA.

Prezado(a), tudo bem?

Contamos com sua ajuda para responder a este questionário, que tem como objetivo realizar um estudo de demanda dos usuários do campus, de forma a verificar a viabilidade de expansão da linha do metrô até a UnB.

O público alvo deste questionário são todas as pessoas que fazem deslocamentos para a Universidade, por qualquer modo de transporte.

A estimativa de tempo de resposta é de 3 minutos. Obrigado!

**\*Obrigatório**

## 1. Idade \*

\_\_\_\_\_

## 2. Gênero \*

*Marcar apenas uma oval.*

Feminino

Masculino

Outro: \_\_\_\_\_

## 3. Eu sou \*

*Marcar apenas uma oval.*

Estudante

Servidor

Terceirizado

Outro: \_\_\_\_\_

**4. Normalmente, ao ir para UnB, de onde você parte? (sua origem) \****Marcar apenas uma oval.*

- Águas Claras
- Asa Norte
- Asa Sul
- Brazlândia
- Candangolândia
- Ceilândia
- Cruzeiro
- Fercal
- Gama
- Guará
- Itapoã
- Jardim Botânico
- Lago Norte
- Lago Sul
- Núcleo Bandeirante
- Paranoá
- Park Way
- Planaltina
- Recanto das Emas
- Riacho Fundo
- Riacho Fundo II
- Samambaia
- Santa Maria
- São Sebastião
- SCIA
- SIA
- Sobradinho
- Sobradinho II
- Sudoeste/Octogonal
- Taguatinga
- Varjão
- Vicente Pires
- Outro: \_\_\_\_\_

**5. Normalmente, ao ir ou voltar da UnB, você utiliza mais de um modo de transporte? (Por exemplo, ônibus e metrô, dois ônibus, a pé e ônibus etc.) \****Marcar apenas uma oval.*

- Não *Ir para a pergunta 6.*
- Sim *Ir para a pergunta 14.*

**Apenas 1 modo**

Utiliza apenas um modo para se deslocar para a UnB.

**6. Qual modo de transporte você utiliza normalmente para ir ou voltar da UnB? \****Marcar apenas uma oval.*

- Carro
- Motocicleta
- Ônibus
- Uber/Táxi
- Bicicleta
- A pé
- Outro: \_\_\_\_\_

**7. Você utiliza a linha de ônibus 110 ou 110.2? \****Marcar apenas uma oval.*

- Sim
- Não

**8. Caso você tenha respondido não à pergunta anterior e use ônibus, qual linha você usa?**

\_\_\_\_\_

**9. Quanto tempo demora a viagem para ir ou voltar da UnB, em média? \****Marcar apenas uma oval.*

- Menos de 30 minutos
- Entre 30 minutos e 1 hora
- Entre 1 hora e 1 hora e meia
- Entre 1 hora e meia e 2 horas
- Mais de 2 horas

**10. Qual horário você sai de sua origem e vai para a UnB? \****Marcar apenas uma oval por linha.*

	Antes das 5:59	Das 6:00 às 8:59	Das 9:00 às 11:59	Das 12:00 às 13:59	Das 14:00 às 16:59	Das 17:00 às 18:59	Após às 19:00	Não se aplica
Segunda-feira	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Terça-feira	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Quarta-feira	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Quinta-feira	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sexta-feira	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**11. Qual horário você sai da UnB e volta para a sua origem? \****Marcar apenas uma oval por linha.*

	Antes das 5:59	Das 6:00 às 8:59	Das 9:00 às 11:59	Das 12:00 às 13:59	Das 14:00 às 16:59	Das 17:00 às 18:59	Após às 19:00	Não se aplica
Segunda-feira	<input type="radio"/>							
Terça-feira	<input type="radio"/>							
Quarta-feira	<input type="radio"/>							
Quinta-feira	<input type="radio"/>							
Sexta-feira	<input type="radio"/>							

**12. Em relação ao seu deslocamento total, considerando o modo usado, qual seu nível de satisfação com os seguintes aspectos?(1 - insatisfeito a 5 - muito satisfeito) \****Marcar apenas uma oval por linha.*

	1	2	3	4	5
Pontualidade	<input type="radio"/>				
Segurança	<input type="radio"/>				
Tempo de viagem	<input type="radio"/>				
Conforto	<input type="radio"/>				
Flexibilidade de horário	<input type="radio"/>				

**13. A expansão da linha do metrô da rodoviária do Plano Piloto até o campus da UnB seria uma opção viável para seus deslocamentos? \****Marcar apenas uma oval.*

- Sim
- Não
- Talvez

*Pare de preencher este formulário.***2 ou mais modos**

Utiliza 2 ou mais modos para ir ou voltar da UnB.

**14. Quais modos de transporte você utiliza para seu deslocamento desde sua origem até a UnB? \****Marque todas que se aplicam.*

- Metrô
- Ônibus
- Carro
- Bicicleta
- Motocicleta
- Uber/Táxi
- BRT
- A pé

**15. Você utiliza a linha de ônibus 110 ou 110.2? \****Marcar apenas uma oval.*

- Sim
- Não

**16. Caso você tenha respondido não à pergunta anterior e use ônibus, qual/quais linha/linhas você utiliza?**

---

**17. Qual horário você sai de sua origem e vai para a UnB? \****Marcar apenas uma oval por linha.*

	Antes das 5:59	Das 6:00 às 8:59	Das 9:00 às 11:59	Das 12:00 às 13:59	Das 14:00 às 16:59	Das 17:00 às 18:59	Após às 19:00	Não se aplica
Segunda-feira	<input type="radio"/>							
Terça-feira	<input type="radio"/>							
Quarta-feira	<input type="radio"/>							
Quinta-feira	<input type="radio"/>							
Sexta-feira	<input type="radio"/>							

**18. Qual horário você sai da UnB e volta para a sua origem? \****Marcar apenas uma oval por linha.*

	Antes das 5:59	Das 6:00 às 8:59	Das 9:00 às 11:59	Das 12:00 às 13:59	Das 14:00 às 16:59	Das 17:00 às 18:59	Após às 19:00	Não se aplica
Segunda-feira	<input type="radio"/>							
Terça-feira	<input type="radio"/>							
Quarta-feira	<input type="radio"/>							
Quinta-feira	<input type="radio"/>							
Sexta-feira	<input type="radio"/>							

**19. Quanto tempo demora a viagem para ir ou voltar da UnB, em média? \****Marcar apenas uma oval.*

- Menos de 30 minutos
- Entre 30 minutos e 1 hora
- Entre 1 hora e 1 hora e meia
- Entre 1 hora e meia e 2 horas
- Mais de 2 horas

20. **Em relação ao seu deslocamento total, considerando os modos usados, qual seu nível de satisfação com os seguintes aspectos?(1 - insatisfeito a 5 - muito satisfeito) \***

*Marcar apenas uma oval por linha.*

	1	2	3	4	5
Pontualidade	<input type="radio"/>				
Segurança	<input type="radio"/>				
Tempo de viagem	<input type="radio"/>				
Conforto	<input type="radio"/>				
Flexibilidade de horário	<input type="radio"/>				

21. **A expansão da linha do metrô da rodoviária do Plano Piloto até o campus da UnB seria uma opção viável para seus deslocamentos? \***

*Marcar apenas uma oval.*

- Sim
- Não
- Talvez