

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Júlio Celso Borello Vargas

# **FORMA URBANA E ROTAS DE PEDESTRES**

Porto Alegre

2015

Júlio Celso Borello Vargas

## **Forma Urbana e Rotas de Pedestres**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia, na área de concentração em Sistemas de Transportes.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Helena Beatriz Betella Cybis, *Ph.D*

Porto Alegre

2015

Júlio Celso Borello Vargas

**Forma Urbana e Rotas de Pedestres**

Esta tese foi julgada adequada para a obtenção do título de Doutor em Engenharia e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

---

**Prof. Orientador, Helena Beatriz Bettella Cybis,**

**Ph. D**

Orientador PPGEP/UFRGS

---

**Prof. José Luis Duarte Ribeiro**

Coordenador PPGEP/UFRGS

**Banca Examinadora:**

Prof. Orlando Strambi, Dr. (Dept. Engenharia de Transportes/Escola Politécnica USP)

Prof. Carlos Oliva Pretto, Dr. (CIM/UFPEL)

Prof. Cristine Tessele Nodari, Dr. (PPGEP/UFRGS)

Prof. Ana Margarita Larrañaga, Dr. (DEPROT/UFRGS)



## AGRADECIMENTOS

A mim;

À minha família;

À minha orientadora, Profa. Helena Cybis;

À colega e mentora Ana Margarita Larranãga;

Aos professores, colegas e funcionários do LASTRAN/UFRGS;

Aos membros da banca examinadora;

À Capes;

À Universidade de Washington, Anne Moudon, Phil Hurvitz, Mark Hallenbeck e colegas do UFL;

Aos voluntários participantes das pesquisas;

A todos que de alguma forma contribuíram.

## RESUMO

O estímulo aos modos ativos de viagem através de modificações na forma urbana - infraestrutura, edificações e atividades - é objeto do planejamento das cidades contemporâneas desde que os problemas do transporte motorizado se revelaram críticos e contrários à ideia de sustentabilidade urbana. Congestionamentos, poluição, custos monetários e sociais elevados estão associados ao modelo de urbanização e mobilidade da maioria das cidades, especialmente nos países em desenvolvimento, onde a explosão da frota motorizada é concomitante à aceleração dos processos de urbanização e espalhamento urbano. Mais recentemente, a revelação de relações de causalidade entre o excesso de utilização dos veículos particulares e problemas de saúde crônica das populações urbanas levou a um crescimento das pesquisas e iniciativas de estímulo às caminhadas como modo de transporte. Também o interesse pela qualidade da experiência da vida na cidade veio somar-se a este corpo de conhecimento, trazendo as ideias de vitalidade urbana e urbanidade para junto dos estudos de caminhabilidade. O interesse extrapolou a análise de demanda agregada que visa o incremento do modo a pé e passou a dar atenção aos caminhos pelos quais as pessoas se movimentam, conectando origens e destinos nos interior das cidades. Este trabalho procura avançar neste aspecto ao propor um método de avaliação dos atributos da forma urbana baseado no monitoramento de caminhantes com dispositivos de posicionamento global (GPS) e modelos de escolha discreta. Um estudo na cidade de Porto Alegre acompanhou indivíduos durante os anos de 2011 a 2014 e, através da representação de diversos atributos urbanos em ambiente SIG, associou as trajetórias realizadas com as características da forma da cidade, concluindo que elas influenciam a utilidade percebida das alternativas de caminho e, portanto, atuam sobre o processo decisório dos pedestres. Para além da simples distância ou declividade, outras características como o tamanho dos trechos, a hierarquia das vias, a presença de prédios marcantes e espaços abertos e a densidade de edificações ao longo dos eixos revelaram-se influentes neste processo. Poucas intersecções e cruzamentos, predomínio de vias amigáveis ao pedestre e edificações arrançadas de forma menos densa são alguns dos atributos que apresentaram maior relevância para a decisão de “por onde ir” no âmbito deste estudo. A amostra relativamente pequena e a concentração das viagens no entorno do Parque Farroupilha e do campus da UFRGS não permitem generalizar os resultados. Porém, o estudo pode ser considerado válido enquanto exploração, pois constrói uma metodologia que pode ser ampliada e aplicada em outros contextos. Além disso, os resultados revelam particularidades da realidade local que parecem indicar a existência de diferenças comportamentais significativas em relação às cidades do primeiro mundo, tornando-o promissor como instrumento de suporte a políticas e projetos de mobilidade urbana sustentável no Brasil.

Palavras-chave: pedestres, caminhabilidade, escolha de rota, forma urbana, modelos de escolha discreta.

## ABSTRACT

Since motorized transport problems have proved to be critical and contrary to the concept of urban sustainability, the idea of increasing the active travel modes through changes in urban form is a key subject of today's mobility agenda. Traffic congestion, air pollution and severe monetary and social costs are associated with the current patterns of urbanization and mobility, especially in developing countries, where an explosive motorized fleet growth occurs simultaneously to an acceleration of urbanization and sprawl processes. Most recently evidences of a causal relationship between massive use of private vehicles and chronic health disorders have led to an increase in research about walking as an effective and clean mode of transportation. Also, the interest about the quality of life experience in the city came to add up to this body of knowledge, bringing in ideas of livability to walkability studies. Beyond the aggregate demand studies that aim to increase the walking mode share, there is now a growing interest on more localized aspects of the walking phenomenon - the routes - trying to understand the ways in which people travel on foot when connecting origins and destinations. This work proposes a method based on assessing data from actually taken walking trips using GPS devices and on modeling pedestrian's choice behavior using discrete choice models. A study in the city of Porto Alegre, south of Brazil, followed 82 individuals for three consecutive days and, through the representation of several layers of urban data in a GIS environment, associated their trajectories with the main urban form attributes to allow the modeling experiment. The results show that the built environment features play an important role as a decision attribute, producing perceived utility/disutility on the decision-makers' minds. They indicated that, in addition to the basic travel effort attributes such as trip distance or street slope, other factors such as the straightness of the trip, the road hierarchy, the presence of busy intersections, landmark buildings, noticeable public spaces and the density of buildings along the walking stretches indeed influence the route choice. The relatively small sample size and the spatial clustering of trips around the city's central area doesn't allow to the generalization of results. However, the study can be taken as a valid exploratory analysis, since it builds up a methodology that can be expanded and applied in other urban contexts. Furthermore, the results reveal some particular local features that indicate the existence of significant behavioral differences from the developed cities where previous similar studies were performed. These qualities make the proposed framework a promising decision support tool for sustainable urban mobility projects in Brazil.

Key words: pedestrian, walkability, walking, route choice, urban form, discrete choice models

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - esquema do método do estudo aplicado.....	57
Figura 2 - representação da rede/grafos sobre sistema viário de Porto Alegre - <i>Open Street Maps</i> .....	61
Figura 3 - pontos do GPS, trilha bruta e rota <i>map matched</i> sobre a rede OSM.....	62
Figura 4 - vias e forma urbana de Porto Alegre representadas em SIG .....	66
Figura 5 - fluxograma do processo de geração dos <i>choice sets</i> . Adaptado de Fiorenzo-Catalano (2007) .....	75
Figura 6 - elementos da rotina de geração dos <i>choice sets</i> .....	76
Figura 7 - <i>Google Maps</i> .....	79
Figura 8 - <i>Open Street Maps</i> .....	79
Figura 9 - exemplo de <i>choice set</i> gerado no estudo-piloto.....	80
Figura 10 - fluxograma das etapas de sub amostragem das viagens rastreadas por GPS .....	85
Figura 11 - etapas de viagens em Porto Alegre .....	86
Figura 12 - detalhe das rotas sobre o mapa com a rede viária e edificações .....	87
Figura 13 - localização das viagens a pé.....	88
Figura 14 - fluxograma para a geração dos caminhos mínimos e checagem das rotas realizadas.....	94
Figura 15 - distribuições das diversas medidas da variável “áreas verdes” .....	100
Figura 16 - gráfico de coeficientes e intervalos de confiança, modelos (b) .....	105
Figura 17 - curvas de probabilidades previstas para escolha da rota divergente .....	108

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- métodos de geração de <i>choice sets</i> . Adaptado de Fiorenzo-Catalano (2007) .....	47
Tabela 2 - hierarquia viária dos trechos da base OSM de Porto Alegre .....	64
Tabela 3 - atributos espaciais utilizados no estudo .....	69
Tabela 4 - revisão de critérios para escolha de rota por pedestres .....	72
Tabela 5 - ranking de critérios para escolha de rota por pedestres .....	73
Tabela 6 - critérios da rotina de geração dos <i>choice sets</i> . .....	77
Tabela 7 - características do <i>choice set</i> piloto .....	80
Tabela 8 - sub amostras das viagens rastreadas por GPS.....	86
Tabela 9 - características das trilhas .....	91
Tabela 10 - correlações entre as principais variáveis ( $n=406$ ) .....	91
Tabela 11 - características dos indivíduos e testes .....	92
Tabela 12 - características das viagens e testes .....	93
Tabela 13 - rotas escolhidas .....	95
Tabela 14 - estatísticas descritivas das trilhas (rotas realizadas) e testes .....	98
Tabela 15 - estatísticas das diferenças entre os atributos das 43 <i>DP</i> e seus respectivos <i>SP</i> .....	99
Tabela 16 - variáveis categóricas 1 .....	100
Tabela 17 - variáveis categóricas 2.....	101
Tabela 18 - resultados da análise discriminante .....	102
Tabela 19 - resultados dos modelos binários (a) .....	104
Tabela 20 - resultados dos modelos binários (b) .....	105
Tabela 21 - testes de ajuste para os modelos binários (b) .....	106

Tabela 22 - resultados do modelo binário adicional (Modelo 0).....	107
Tabela 23 - probabilidades previstas de escolha da rota divergente.....	107
Tabela 24 - estatísticas descritivas das 406 rotas utilizadas na modelagem multinomial. ....	109
Tabela 25 - resultados dos modelos logit multinomiais MNL1 e MNL 2.....	110
Tabela 26 - resultados dos modelos mistos ML1 e ML2.....	111
Tabela 27 - resultados dos modelos mistos ML3 e MNL 4.....	112

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
1.1.	Tema / importância / justificativa	17
1.2.	Objetivos	18
1.3.	Delineamento / limitações	19
1.4.	Método de trabalho	21
1.5.	Estrutura do documento	21
2.	REVISÃO CONCEITUAL/BIBLIOGRÁFICA	23
2.1.	Caminhabilidade	23
2.2.	Comportamento de Viagens e Ambiente Construído	25
2.2.1.	Forma Urbana	29
2.3.	Decisões relacionadas ao transporte - Escolhas	31
2.4.	Modelagem de escolha	33
2.4.1.	Abordagem comportamental desagregada	33
2.4.2.	Modelos de escolha discreta	35
2.4.3.	Modelagem de escolha de rota - <i>Route choice modeling</i>	38
2.4.4.	Modelagem de Escolha de rotas - Pedestres	40
2.4.4.1.	O problema das alternativas não observadas	45
2.4.4.2.	O problema da correlação entre alternativas	52
3.	MÉTODO DO ESTUDO	55
3.1.	Hipóteses / pressupostos	55
3.2.	Método	55

3.2.1.	Registro de viagens a pé	58
3.2.1.1.	GPS	58
3.2.1.2.	Modelagem da rede e <i>Map matching</i>	60
3.2.1.3.	Cômputo de atributos espaciais	62
3.2.2.	Simulação de rotas alternativas	70
3.2.3.	Modelagem de escolha	81
4.	ESTUDO EMPÍRICO / ESTUDO DE CASO	83
4.1.	Coleta de dados	83
4.1.1.	Dados coletados diretamente	83
4.1.1.1.	GPS - trilhas	83
4.1.1.2.	Entrevistas/travel log - viagens e indivíduos	88
4.1.2.	Dados Secundários - Características das rotas percorridas	90
4.2.	Conjuntos de Escolha / <i>Choice sets</i>	93
4.3.	Banco de dados	95
5.	MODELAGEM DE ESCOLHA	97
5.1.	<i>Por que não o caminho mais curto?</i> O que pode influenciar a escolha de rotas alternativas em viagens a pé.	97
5.1.1.	Estatísticas Descritivas / análises preliminares	97
5.1.2.	Modelos Logit Binomiais	103
5.2.	<i>Por onde vão os pedestres?</i> Impacto do ambiente construído sobre a escolha de rota em viagens a pé.	108
5.2.1.	Estatísticas Descritivas	108
5.2.2.	Modelos Logit Multinomiais	109

6. CONCLUSÕES	115
REFERÊNCIAS / BIBLIOGRAFIA	120

## 1. INTRODUÇÃO

Desde o advento do automóvel, os problemas da mobilidade urbana foram objeto de preocupação do planejamento urbano e de transportes. Atualmente eles estão no centro dos debates sobre o chamado desenvolvimento sustentável, deslocando o foco da necessidade imperiosa de mover pessoas e mercadorias de forma cada vez mais rápida e desimpedida para uma visão mais consciente dos impactos que os padrões de urbanização, movimentação e consumo de energia causam sobre o ambiente, a economia e a sociedade. O final do século XX trouxe uma ideia de esforço multidisciplinar entre usos do solo e transporte; entre o ambiente construído e os sistemas de mobilidade, superando as visões estanques que dominaram o século (WEGENER, 2004). Estudos integrados voltaram sua atenção prioritariamente para o tema do uso do automóvel nas cidades, buscando entender, entre outras coisas, como a forma urbana interage com o comportamento de viagens e, assim, tentar diminuir a demanda por viagens motorizadas individuais através de modificações no ambiente construído.

Este objetivo relaciona-se fundamentalmente à preocupação global com o clima do planeta (diminuição das emissões de GHG), à maior racionalidade no uso dos recursos naturais, humanos e econômicos e também aos esforços de reversão de tendências nocivas à saúde dos habitantes das cidades, cada vez mais sedentários e dependentes do veículo particular. A recente atenção de estudiosos e planejadores para o transporte ativo e, mais especificamente, com as viagens a pé está profundamente vinculada a estes aspectos, dado que os efeitos negativos do transporte motorizado já se encontram bem dimensionados (BOARNET; CRANE, 2001; HANDY et al., 2005).

Estudos revelam que o uso indiscriminado de veículos automotores no interior das cidades não gera apenas desconforto, mas traz também graves danos à saúde das populações, bem como prejuízos concretos à economia. A queima excessiva de combustíveis fósseis pela área dos transportes que é responsável por alterações climáticas também traz malefícios diretos à saúde humana, pois produz cerca de um quarto das chamadas partículas finas inaláveis responsáveis por câncer de pulmão e doenças cardiovasculares. Estudos recentes afirmam que a concentração deste tipo de poluente no ar está fortemente associada ao risco de morte por essas doenças, independentemente de fumo ou obesidade. Cada aumento de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  na concentração dessas partículas no ar das cidades pesquisadas elevou a mortalidade entre 4% e 8% por essas causas (STRAIF, KURT et al., 2013)

Também a epidemia de obesidade nos EUA, por exemplo, pode ser diretamente creditada à falta de atividades físicas e à má alimentação dos indivíduos, ambas relacionadas aos padrões de viagem predominantemente motorizados daquele país. Naquele país existem de 160 a 180 automóveis para cada grupo de 100 habitantes nas áreas suburbanas mais ricas (excluindo Nova Iorque) e cerca de 65% da superfície das cidades são dedicados aos automóveis (estradas, ruas, garagens, estacionamentos). Lá as taxas de obesidade, diabetes e hipertensão são três vezes maiores do que as da Holanda, Dinamarca e Suécia e duas vezes as da Alemanha (MCCANN; EWING, 2003).

Do ponto de vista econômico, o tempo perdido nos congestionamentos tem custos mensuráveis, como comprovam estudos que calculam os prejuízos considerando, entre outros fatores, as horas produtivas perdidas e o gasto extra com combustíveis, inclusive no Brasil. Na Região Metropolitana do RJ, por exemplo, as perdas atingiram R\$ 29 bilhões em 2013, um valor que equivale a 8,2% do PIB metropolitano, superior ao PIB de Acre, Amapá, Piauí, Roraima e Tocantins (Firjan 2014).

Todos esses efeitos dos padrões de deslocamento das populações podem ser relacionados aos padrões de urbanização das cidades, indicando claramente que existe um vínculo entre a forma urbana e o comportamento de viagens. Nos Estados Unidos, apenas 9,4% dos americanos fazem suas viagens a pé ou de bicicleta, enquanto na Europa o nível de transporte ativo diário é cerca de cinco vezes maior, chegando a 33% (FRANK et al., 2006). Lá a densidade de habitação e empregos encontrada em uma amostra de cidades é, em média, três vezes maior do que em uma amostra de cidades americanas, e sua forma urbana é basicamente definida por um desenho urbano “tradicional”, em contraponto ao modelo esparso e rarefeito das cidades norte-americanas.

Estudos diversos mostram que vizinhanças com mais densidade construída, usos do solo mistos, rede viária mais regular e presença de calçadas e intersecções seguras apresentam maiores índices de viagens não motorizadas do que as áreas de baixa densidade onde as residências estão separadas dos destinos por vias arteriais ou rodovias hostis a qualquer outro modo que não o automóvel. (EWING; CERVERO, 2001; HANDY et al., 2005; HESS et al., 1999; LEE et al., 2006).

O impacto positivo dessa mudança de paradigma já é sensível. Dados de pesquisa recentes mostram que nos EUA, as regiões metropolitanas mais caminháveis abrigam mais habitantes com educação superior, e têm PIB substancialmente maior do que as demais. O preço dos aluguéis de espaços comerciais e de escritórios nas regiões centrais dessas cidades chega a ser 74% maior do que nas vizinhanças orientadas ao automóvel. (LEINBERGER; LYNCH, 2014)

A busca pela superação da crise da mobilidade das cidades, especialmente no continente americano, passa, portanto não apenas por novas tecnologias e políticas inovadoras, mas também e, fundamentalmente, pela reorganização do espaço das cidades e pela mudança de seus paradigmas de urbanização em favor dos modos ativos de transporte. Este favorecimento significa não apenas ampliar a possibilidade de realizar deslocamentos a pé através da adoção do modelo urbanístico de cidade compacta, densa, bem conectada e miscigenada, mas também prover conforto, segurança e aprazibilidade às caminhadas, aprimorando a qualidade da experiência do pedestre.

Poucos estudos ainda se ocupam desse aspecto do comportamento de viagens - a qualidade da caminhada. A maioria deles busca identificar os atributos do ambiente construído que atraem ou repelem os pedestres, sem maior atenção ao problema da escolha de rota. Este pequeno interesse pelas viagens a pé entendidas como sequencias relativamente longas de trechos através do sistema viário explica-se pela sua

relativa baixa frequência, dado que a possibilidade de caminhar longas distâncias para o trabalho, estudo ou atividades cotidianas é pequena em função das condições físicas dos indivíduos e da influência de outros fatores como o clima. Em geral, essas viagens são realizadas por camadas mais pobres da população ou por parcelas específicas de *commuters* que incorporam as viagens diárias à sua rotina de exercícios físicos. A ideia predominante ainda é que esse tipo de comportamento de viagem é raro e muito difícil de ser generalizado.

Recentemente os paradigmas de promoção da saúde através das caminhadas, de humanização do tráfego e descongestionamento das cidades começaram a reverter este quadro, e mais atenção vêm sendo dada à escolha de rotas em caminhadas urbanas. Novos conceitos e metodologias foram introduzidos, procurando modelar os processos de avaliação do ambiente de forma mais globais e complexos do que a simples detecção de atributos mais ou menos atraentes. Uma viagem com muitos trechos, muitos cruzamentos, muita variação de atributos e configuração das ruas, tende a levar o pedestre a ponderar as características do ambiente considerando mais atentamente os aspectos globais da forma urbana, entendida como as edificações e os usos do solo que se localizam ao longo das vias. É este ambiente urbano total, mais do que as particularidades da infraestrutura de circulação, que vai impor custos à sua caminhada e trabalhos como este vêm em busca do aperfeiçoamento do entendimento dessa relação entre a forma urbana e a escolha de rotas.

### **1.1. Tema / importância / justificativa**

O tema desta tese são as viagens a pé, analisando como a forma urbana influencia a distribuição das caminhadas no interior das cidades. Ela está na interface entre o planejamento urbano e o de transportes, pois assume que é possível interferir nos padrões de viagem através de alterações na forma urbana, propondo que uma cidade mais bem planejada, projetada e gerenciada pode estimular e qualificar este modo de transporte.

Para compreender mais precisamente a relação entre os elementos da forma urbana e o comportamento dos pedestres é necessária uma visão mais detalhada da estrutura da cidade, afastando-se das medidas agregadas de áreas ou bairros e aproximando-se dos trechos de vias e cruzamentos que compõem as rotas entre múltiplas origens e destinos.

Em alguns trechos dessas rotas pode ser necessário, por exemplo, o alargamento de calçadas para acomodar maiores volumes de pedestres, o que pode ser obtido tanto por meio do aumento dos recuos dos edifícios quanto através da retirada de espaço das faixas de rolamento. Afastar os edifícios da calçada pode gerar perda de contato das fachadas com o fluxo de pedestres e uma consequente diminuição do potencial econômico das atividades, bem como aumentar a sensação de insegurança no espaço. Diminuir o espaço dos veículos pode gerar congestionamentos e aumento da poluição, criando *stress* e levando ao efeito contrário ao desejado, desestimulando a passagem de pedestres. (DE CERREÑO et al., 2006).

Analisar o comportamento dos pedestres na escala das rotas é particularmente útil para o planejamento de áreas de atendimento de terminais e estações de transporte público, pois a acessibilidade destes equipamentos depende, entre outros fatores, da qualidade do ambiente construído do entorno. As áreas de atendimento - *catchment areas* - são geralmente definidas como aquelas dentro de um determinado intervalo de distância ou tempo de caminhada até a estação de transporte, representadas muitas vezes como um raio ou *buffer* de 800 metros ou 10 a 15 minutos (TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, 2000).

Enquanto grande parte dos países desenvolvidos aplica políticas rigorosas de qualificação dessas áreas, buscando a maximização da captação de pedestres para otimizar os serviços de transporte público (TRANSIT COOPERATIVE RESEARCH PROGRAM et al., 2012), no Brasil os recentes investimentos federais em sistemas de transporte de massa são realizados com pouca atenção aos ambientes urbanos. A implantação de linhas e estações segue uma lógica simples de atender à demanda existente, sem tirar proveito do potencial dos sistemas de massa de induzir a urbanização. Estratégias do tipo *TOD – Transit Oriented Development* - podem direcionar a ocupação do solo para áreas previamente planejadas, atraindo usos mistos e densidades mais altas para o entorno das novas estações, ajudando a controlar o espalhamento urbano e controlando a densificação. Nestes casos, a acessibilidade pedestre pode ser mais facilmente aprimorada, o que não ocorre em áreas muito consolidadas nas quais as intervenções são bastante custosas e impactantes.

A atenção preferencial às áreas de acesso pode ser generalizada para o entorno de outros tipos de equipamentos atratores de caminhadas tais como mercados, teatros, arenas e etc., sem, no entanto ficar restrita à criação das chamadas “rotas seguras” - uma estratégia empregada em muitos países que se assemelha ao tratamento tradicional dado ao tráfego motorizado: prover acesso direto, rápido e desimpedido aos destinos (MOUDON et al., 2010). Há também o enfoque das rotas lúdicas, no qual a atenção às caminhadas recreativas estimula a criação de sistemas de bulevares e vias verdes que deem acesso a parques ou proporcionem a realização de atividade física.

Os resultados deste estudo podem também contribuir para o mercado imobiliário e os empreendedores da cidade. A possibilidade de compreender os impactos da forma urbana sobre a distribuição de fluxos pedestres é, sem dúvida, um importante recurso de suporte à decisão de investimentos tais como a implantação de atividades comerciais e a renovação do estoque construído. O entendimento da relação entre o ambiente construído e as escolhas dos pedestres permite a previsão de cenários e uma melhor alocação de recursos.

## 1.2. Objetivos

Como **objetivo principal**, este trabalho se propõe a analisar as relações existentes entre a forma urbana e viagens a pé, construindo uma metodologia para entender sua distribuição espacial e dimensionar a influência das características da forma urbana sobre a escolha de rotas de pedestres.

A tese pretende responder a essas questões a partir do entendimento do processo de escolha de rotas por indivíduos que desejam realizar viagens a pé urbanas com origem e destino definidos. Em resumo, a pergunta de pesquisa é: “por onde vão os pedestres”? Um estudo desenvolvido na cidade de Porto Alegre pode ampliar o entendimento do tema para a realidade das cidades em desenvolvimento (Brasil, América Latina) e, assim, contribuir para a qualificação do seu planejamento.

Estendendo este objetivo principal, a tese tem ainda os seguintes **objetivos específicos**:

- Explorar métodos de geração de rotas alternativas àquela efetivamente realizada para possibilitar a posterior modelagem com modelos de escolha discreta;
- Avaliar a modelagem de escolha de rota como abordagem eficiente para quantificar a utilidade percebida dos atributos do ambiente urbano, como revelado pelo comportamento real dos pedestres;
- Quantificar o impacto de diferentes atributos desagregados da forma urbana - edificações, espaços e atividades - para a escolha de rotas por pedestres;
- Oferecer subsídios sobre o potencial de atuar sobre a distribuição de caminhadas em áreas urbanas através de mudanças no seu padrão morfológico.

### **1.3. Delineamento / limitações**

Este trabalho propõe uma modelagem comportamental de transportes que introduz algumas inovações, impondo uma série de limitações devido ao seu relativo ineditismo, poucas referências na literatura e restrições de localização e dados. Em primeiro lugar, sua realização em uma cidade como Porto Alegre pode levar a dificuldades de generalização dos resultados, dada a condição de capital regional de país em desenvolvimento, em um momento de forte transformação de usos e ocupação do solo urbano, explosão do transporte motorizado e incorporação de novas tecnologias e tendências em mobilidade.

O estudo é fortemente baseado em uma representação computacional da rede de circulação da cidade, a qual não é totalmente confiável e sofre de deficiências. Mesmo utilizando uma base de dados robusta e atualizada, falta precisão na representação do sistema de circulação pedestre, pois a escala macroscópica da rede utilizada impõe simplificação da descrição dos arcos e nós. O sistema viário do modelo de rede utilizado é composto por arcos únicos que representam os trechos de rua como um todo, não havendo distinção entre as faixas de rolamento e as calçadas, bem como entre os dois lados da rua. Outros elementos importantes para a correta descrição do movimento de pedestres como as faixas de segurança não são incorporados ao grafo na forma de arco, o que limita a simulação de rotas e dificulta a correta reprodução das trajetórias irregulares registradas pelo GPS. A largura das calçadas, bem como sua pavimentação e conservação, portanto, também não estão contempladas na descrição do ambiente urbano.

A representação da cidade baseada em dados geospaciais disponíveis também limita a utilização de todas as características da forma urbana definidas conceitualmente. A incapacidade de coletar e espacializar

algumas informações mais localizadas como os estabelecimentos comerciais de pequeno porte, impossibilitou a sua incorporação como atributo nos modelos de escolha de rota. Ainda, a dificuldade de calcular e processar medidas compostas como a continuidade das fachadas, os recuos das edificações e os fechamentos dos lotes - detectados em estudos qualitativos como importantes para a percepção do espaço pelos viajantes a pé - também leva à simplificação das variáveis utilizadas nos modelos.

No mesmo sentido, o estudo não utiliza atributos subjetivos que não possam ser concretamente medidos no ambiente. As percepções e sensações dos caminhantes - segurança e apazibilidade, entre outras - necessitariam ser decodificadas, explicitando os elementos concretos da forma urbana que as produzem, a fim de permitir sua atribuição ao modelo de rede e habilitá-las como custo das funções de busca de caminhos no SIG. Modelos de variável latente, análise fatorial e/ou componentes principais são métodos que podem ser explorados para isso.

Devido ao formato das entrevistas aplicadas aos indivíduos monitorados com GPS, não pôde haver consideração de características atitudinais como sua predisposição para caminhar, sua familiaridade com o ambiente, hábitos e opiniões. Este também não é um estudo longitudinal, os indivíduos não foram acompanhados por longos períodos a fim de analisar seu comportamento ao longo do tempo e, portanto, a dimensão temporal do conhecimento espacial - a continuidade da realização de escolhas de rota que gera acúmulo de informação e habilita heurísticas individuais e processos de aprendizado espacial - não foi aprofundada neste trabalho.

A amostra relativamente pequena de viagens a pé de certa maneira prejudicou uma modelagem mais robusta e a possibilidade de generalização dos resultados. A coleta com GPS ressentiu-se de limitações em termos de quantidade, agravada pela restrição da amostra final utilizada nos modelos devido à série de filtros que foram aplicados para selecionar os registros adequados aos propósitos do estudo. Do ponto de vista qualitativo há certo enviesamento na amostra de indivíduos, com predomínio de estudantes e/ou pessoas com nível de instrução alto, acima do padrão geral da população. A seleção se deu de forma aleatória, porém, em nome da viabilidade da coleta com GPS, os sujeitos foram buscados em cadastros restritos dos autores e da Universidade.

Do ponto de vista da modelagem comportamental, uma possível fragilidade pode ser apontada quando o estudo define a rota em sua totalidade como unidade de análise espacial e, portanto, o objeto da escolha dos pedestres. Isso pode ser contestado, dado que os pedestres podem construir sua escolha de forma fragmentada, avaliando e selecionando trechos e/ou cruzamentos ao invés de capturar mentalmente a rota como um todo no momento da consideração de alternativas. Eles também podem alterar sua rota em meio à caminhada, modificando parcialmente o trajeto original ao utilizar trechos diferentes espacialmente daqueles originalmente selecionados, porém com custos de caminhada semelhantes capazes de compensar a utilidade geral da viagem.

Por fim, os modelos de escolha discreta utilizados não puderam explorar completamente o problema da correlação entre as alternativas, resolvendo-o através de modelos mistos com parâmetros aleatórios.

Esse conjunto de limitações, no entanto, não invalida o método proposto, bem como as conclusões do estudo.

#### **1.4. Método de trabalho**

Definidos os objetivos da tese, o processo desenvolvido para atingi-los foi estruturado em quatro etapas: a primeira compreende a revisão conceitual e de literatura relativa ao transporte a pé e às abordagens utilizadas para compreender e modelar o comportamento de pedestres, especificamente suas escolhas de rota.

A segunda etapa envolve o desenvolvimento do método para a realização de um estudo aplicado com rotas de pedestres em Porto Alegre, tirando proveito das referências e estudos preliminares e definindo técnicas para a simulação de rotas alternativas em ambiente GIS.

A terceira etapa é constituída pelo estudo de caso com dados de viagens a pé registradas por GPS e diários de viagem.

A etapa final estima modelos de escolha discreta com os dados coletados no estudo de caso.

#### **1.5. Estrutura do documento**

Esta tese expõe o problema e lança hipóteses, justifica sua relevância e a necessidade da pesquisa, revisa a literatura, apresenta e detalha o método, compara-o com outros e realiza um experimento-piloto, do qual discute os resultados à luz das hipóteses lançadas.

Ela está organizada em cinco capítulos. A introdução contextualiza o trabalho, apresentando o tema, sua importância e a necessidade de estudá-lo no âmbito da engenharia de transportes, os objetivos a serem alcançados, seu escopo e limitações e o método utilizado.

O Capítulo 2 apresenta o referencial empregado na tese. É feita uma revisão da literatura em busca dos conceitos teóricos e operacionais que fundamentam o tratamento da relação entre o ambiente construído e as rotas de pedestre, especificamente dos modelos de escolha de rota que contemplam a influência da forma urbana.

O Capítulo 3 fundamenta e propõe um método para a realização de um estudo com informações da realidade; estudo que basicamente coleta dados de viagens a pé e espacializa rotas no ambiente urbano, gera alternativas plausíveis para a rota escolhida e estima a importância relativa dos atributos da forma urbana para a escolha de rota.

O Capítulo 4 desenvolve a primeira parte do estudo, aplicando o método proposto para a coleta de dados, construção dos bancos de dados e a geração dos conjuntos de escolha, apresentando ao final um resumo descritivo das variáveis definidas para a modelagem.

O Capítulo 5 traz a segunda parte do estudo, especificando e estimando dois tipos de modelos de escolha discreta e discutindo os resultados obtidos.

No Capítulo 6 estão as conclusões do estudo, trazendo as recomendações, necessidades de ajuste, continuidade e aprofundamento da pesquisa.

## 2. REVISÃO CONCEITUAL/BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Caminhabilidade

O modo de transporte a pé, o mais simples de todos, durante muito tempo foi relegado a uma condição secundária em relação aos outros modais, pois caminhar para transportar-se seria apenas uma necessidade de quem não tinha outra opção. O século XX levou a uma sobrevalorização do transporte motorizado, encorajado pelo aumento do poder aquisitivo das populações urbanas das nações desenvolvidas, os progressos científicos e técnicos que facilitaram a fabricação e a venda de veículos, a relativa facilidade de dispor de petróleo e o estímulo do poder público de muitos países à massiva implantação de redes rodoviárias (NATIONAL RESEARCH COUNCIL (U.S.), 2009).

No final do século, porém, o modo a pé passou a receber atenção da academia, dos governos e do mercado em função dos benefícios associados às caminhadas, especialmente a melhora da saúde da população urbana e do seu potencial de “limpeza” dos ambientes urbanos. Contrastadas com os crescentes impactos negativos do transporte motorizado, essas qualidades têm levado a uma busca por um melhor entendimento do fenômeno “caminhar na cidade” e, a partir daí, pelo incremento do modo a pé em todo o mundo. (CAMPOLI; LINCOLN INSTITUTE OF LAND POLICY, 2012).

Surge então o conceito de “caminhabilidade” - *walkability* - provavelmente introduzido pela primeira vez por Chris Bradshaw em 1993 em Ottawa (Canadá) como um índice para auxiliar o cálculo dos impostos a serem cobrados em cada bairro da cidade para financiar obras para o tráfego motorizado. Dependendo da intensidade com que seus moradores utilizavam o modo a pé e, portanto, necessitavam de mais ou menos infraestrutura veicular, os impostos poderiam variar (DE CAMBRA, 2012).

Esse índice foi depois generalizado, pois se mostrou capaz de prover uma abrangente leitura das condições para caminhar nos bairros, incluindo a avaliação das condições de segurança e de cobertura do transporte público. Ele foi definido conceitualmente como uma qualidade dos lugares e inicialmente composto de quatro aspectos:

- i. Um ambiente físico criado pelo homem “amigável” à caminhada: calçadas largas e niveladas, ruas estreitas, intersecções pequenas, lixeiras disponíveis, boa iluminação e ausência de obstruções;
- ii. Um amplo espectro de destinos próximos e acessíveis a pé: lojas, serviços, empregos, escritórios, recreação, cultura, etc.
- iii. Um ambiente natural modificado capaz de moderar os extremos do clima - vento, chuva, sol - ao mesmo tempo em que provê um desafogo do excesso de atividades humanas. Sem ruído excessivo, poluição, sujeira e resíduos do tráfego motorizado;
- iv. Uma cultura local diversa que incremente o contato entre as pessoas e crie condições para atividades sociais e econômicas (BRADSHAW, 1993).

A partir deste esforço seminal, os termos “caminhabilidade” e “caminhável” se tornaram comuns nas áreas do planejamento urbano, engenharia de transportes e saúde pública, e uma enorme comunidade de pesquisadores e práticos passaram a buscar formas de definir, avaliar e medir a caminhabilidade (KRAMBECK, 2006; MOUDON et al., 2006). A definição atualmente mais aceita diz que caminhabilidade é algo como o grau em que as características do ambiente construído de uma área são favoráveis a que seus residentes e usuários caminhem, a lazer, exercício ou trabalho.

Essa qualidade dos ambientes passou a ser utilizada globalmente como um dos principais indicadores de sustentabilidade urbana e se tornou diretriz central do pensamento e da ação de estudiosos e planejadores da cidade contemporânea, especialmente nos países desenvolvidos (TIMMS et al., 2010).

No entanto, ainda resta alguma ambiguidade em relação aos fatores e medidas a serem utilizadas para medir caminhabilidade. O que hoje é entendido como “cidade caminhável” ou um “bairro caminhável” engloba todas as dimensões de Bradshaw, geralmente referindo-se a ambientes urbanos densos, com edificações compactas próximas umas às outras, ocupadas por atividades comerciais em seus térreos, com calçadas movimentadas, boa iluminação e tratamento do espaço público e pequeno volume de tráfego motorizado.

Essa descrição contempla simultaneamente diferentes escalas, misturando fatores que poderiam ser mais corretamente organizados em diferentes dimensões da chamada “estrutura urbana”.

A primeira delas parece ser a mais geral, aquela que se refere à distribuição dos usos do solo, avaliando os lugares com ênfase nas atividades ali existentes e privilegiando zonas com diversidade/mistura em detrimento daquelas monofuncionais para efeitos de caminhabilidade. A quantidade e a qualidade desses empregos, comércio, serviços e demais amenidades urbanas, em articulação com a acessibilidade e a densidade, é o principal interesse deste tipo de abordagem: muitos e variados destinos localizados a curta distância e alcançáveis a pé.

Essa visão já é amplamente aceita, não apenas nos estudos técnico-científicos, mas também pelo mercado, dado seu caráter prático e apelo comercial. Em um mundo urbano congestionado e com tendência ao espalhamento, uma vizinhança com mercado na esquina e “ônibus na porta de casa” passou a ser altamente valorizada pelos habitantes das cidades. Morar perto do trabalho, acessando de forma rápida e eficiente diferentes oportunidades, bens e serviços localizados nas proximidades sem necessitar de veículo motorizado é uma ideia que vem conquistando a sociedade moderna e dando origem a ferramentas digitais como “Walkscore” ([www.walkscore.com](http://www.walkscore.com)).

Este serviço já está consagrado como referência para a compra, venda e locação de imóveis em diversos países. Ele afere a caminhabilidade de bairros utilizando basicamente dados de disponibilidade de amenidades urbanas (destinos) e de disponibilidade e qualidade dos modais de transporte. O bairro Cidade Baixa em Porto Alegre, por exemplo, recebe 93 pontos de um máximo de 100 e é avaliado como “a

*Walkers' Paradise*” devido à sua ampla oferta de restaurantes, cafés, mercados, parques, escolas e entretenimento noturno. Em contraste, o bairro Bela Vista, recebe apenas 77 pontos pelo *walkscore.com*, o que o coloca na categoria dos locais onde a utilização do automóvel é praticamente obrigatória.

Numa escala mais microscópica, aparecem abordagens que enfocam a qualidade do ambiente de circulação do pedestre, privilegiando os fatores locais que proporcionam viagens a pé seguras, confortáveis e agradáveis. A forma dos edifícios, seu arranjo, o mobiliário urbano, a vegetação, a sinalização e, fundamentalmente, a qualidade das calçadas e o tratamento dos espaços públicos são aspectos que podem indicar a satisfação do pedestre com o ambiente e a viabilidade de realizar as viagens a pé que a acessibilidade viária, as atividades e a densidade potencialmente induzem.

Krambeck (2006) em seu “*Global Walkability Index*” enfatiza, entre outras, as dimensões segurança (*safety and security*), conveniência e atratividade (*convenience and attractiveness*). A autora afirma que a segurança viária e a defesa em relação ao crime, a proteção climática e a livre circulação pelos passeios podem e devem ser aprimorados com ações de curto e médio prazo (investimentos e políticas efetivas), em detrimento daqueles que só podem ser afetados no longo prazo (os usos do solo, por exemplo) (KRAMBECK, 2006).

Essa abordagem dá muita importância à segurança viária, tratando a relação do pedestre com os veículos motorizados como central para a caminhabilidade. O trabalho pioneiro de Reid Ewing chamado “*Pedestrian and Transit Friendly Design: A Primer for Smart Growth*”, traz entre os seus dez fatores essenciais muitos aspectos relativos à segurança viária tais como travessias seguras, distância segura do tráfego e lugares seguros e confortáveis para a espera. (EWING, 1999). Já o relatório do TRB *Guidelines for Providing Access to Public Transportation Stations* faz uma extensiva revisão de literatura e de casos práticos nos Estados Unidos, concluindo que “o acesso de pedestres a estações de transporte é determinado por diversos fatores, incluindo a distância, as características individuais dos caminhantes, o desenho urbano e os dispositivos de segurança viária” (TRANSIT COOPERATIVE RESEARCH PROGRAM et al., 2012).

Já a atratividade (ou “aprazibilidade” - *pleasantness*) é uma qualidade subjetiva que se refere à qualidade dos espaços do pedestre não apenas para prover conforto e segurança para as caminhadas, mas também em termos da possibilidade de fruição da cidade. Ambientes aprazíveis permitem o uso das calçadas não apenas para passagem, mas também para encontros e relações sociais e econômicas, produzindo áreas urbanas animadas e vivas, nas quais o comércio e demais atrações estão inseridas em edifícios atraentes, com calçadas largas, árvores e paisagismo. (DE CAMBRA, 2012; EWING et al., 2006; SCHLOSSBERG et al., 2008).

## **2.2. Comportamento de Viagens e Ambiente Construído**

O corpo de pesquisa já acumulado mostra evidências de que existe influência do ambiente construído sobre o comportamento de viagens, e que alterações no modo de construir cidades podem modificar os

padrões de deslocamento das pessoas, mesmo que alguns autores sejam pessimistas quanto à possibilidade de as características da forma urbana poder afetar a demanda por transportes (BANISTER, 2008).

Para entender essa relação de influência, a maioria dos estudos utiliza-se de modelos que relacionam quantitativamente variáveis de uma e outra dimensão: o ambiente construído e o comportamento de viagem. A relação entre as diversas métricas da forma física e dos usos do solo que representam a cidade e o padrão de viagens é descrita em termos matemáticos da seguinte forma genérica:

$$TB = f (BE, X) + \varepsilon \quad (1)$$

Onde TB é o comportamento de viagens (*travel behavior*), BE, X representam as variáveis observadas do ambiente construído (*built environment*) e socioeconômicas e  $\varepsilon$  todas as variáveis explicativas não observadas.

A hipótese dos modelos é que as características do ambiente podem influenciar o comportamento de três maneiras principais: diminuindo a quantidade de viagens motorizadas, aumentando a participação (*share*) das viagens não motorizadas e diminuindo as distâncias das viagens motorizadas (AMÂNCIO; SANCHES, 2008). Esses são os chamados estudos de demanda, tratados geralmente sob a ótica da escolha modal.

Um dos primeiros e mais importantes estudos dessa linha é o trabalho de Cervero e Kockelman de 1997 chamado “*Travel Behavior and the 3Ds*” (CERVERO; KOCKELMAN, 1997), no qual os “3D” foram definidos como as três principais dimensões do ambiente construído com impacto sobre as viagens: densidade (*density*), diversidade (*diversity*) e desenho (*design*).

Outras medidas/expressões iniciadas pela letra “D” foram também estudadas e apresentaram resultados significativos, tais como acessibilidade do destino (*destination accessibility*), distância ao transporte público (*distance to transit*), o gerenciamento da demanda (*demand management*) e os dados demográficos (*demographics*) (EWING; CERVERO, 2001, 2010).

A Densidade é uma medida simples que expressa o número total da população de uma área urbana específica, expressa em habitantes por unidade de terra ou solo urbano, ou o total de unidades construídas sobre uma determinada área urbana, normalmente utilizando-se o hectare como unidade de medida de área. Áreas com alta densidade normalmente estão associadas à maior concentração de pessoas e atividades, sejam elas residenciais ou comerciais (LARRAÑAGA et al., 2009). Do ponto de vista do impacto sobre o comportamento de viagens, a densidade funciona como potencial geradora de movimento, produzindo ou atraindo mais ou menos viagens.

Ela atua associada com a Diversidade, que é o grau de mistura de usos do solo em uma determinada área, definindo seu caráter e, no caso de uma alta miscigenação de atividades, aproximando origens e

destinos e aumentando a probabilidade de realizar viagens com modos não motorizados (FRANK et al., 2006). Geralmente é medida através de um índice de diversidade simples baseado no índice de Gibbs e Martin, que mede o balanço entre os usos de uma determinada área, variando entre 0 (homogeneidade ou monofuncionalidade - existe apenas um tipo de uso do solo na área) e 1 (heterogeneidade ou multifuncionalidade - a área é ocupada por parcelas iguais de todos os usos do solo considerados).

Esta medida não especifica qual o uso dominante, mede apenas homogeneidade. Medidas para acessar a predominância de um tipo de atividade podem ser calculadas através da diferença entre as densidades residenciais e comerciais, por exemplo, normalizando os resultados.

O Desenho se refere basicamente às propriedades da malha viária, a configuração das vias. Utiliza medidas objetivas como o percentual de esquinas em cruz ou “T” (cruzamentos de quatro ou três vias), densidade de intersecções (por unidade de área ou por comprimento de via), proporção de quarteirões quadrangulares, tamanho médio dos quarteirões, conectividade das vias, densidade do sistema viário (metros de via por hectare) e também classificações qualitativas como tipo de malha “tradicional” ou “subúrbio”.

As medidas simples de conectividade podem ser ampliadas explorando as chamadas propriedades configuracionais (topológicas) das redes viárias, como é feito pela Sintaxe Espacial. Ela propõe uma medida sistêmica de “integração” das vias, calculada a partir da profundidade média de cada elemento em relação a todos os outros, sendo profundidade nada mais do que o número de “passos” topológicos existentes entre dois espaços ou, ainda, o número de mudanças de direção necessárias para ir de um a outro. Com isso, estabelece a noção de que um espaço é “raso” e, conseqüentemente, integrado quando é facilmente acessado a partir de qualquer outro e é “profundo” ou segregado na situação oposta (HILLIER; HANSON, 1984).

Hess e outros (1999) acrescentam às medidas básicas do tipo “tamanho do quarteirão” um indicador de “completude do sistema de calçadas” para representar o chamado “*neighborhood site design*” e modelar volumes de pedestres em diferentes bairros de Seattle, EUA. (HESS et al., 1999). Essas características mais locais tais como a presença, qualidade e dimensões de calçadas, ciclovias e estacionamentos, existência de faixas de segurança, paradas de ônibus seguras e até fatores mais subjetivos do tipo “fator peatonal do ambiente” (*pedestrian environment factor*) também são utilizadas como componentes da dimensão “desenho urbano”. (BOARNET; CRANE, 2001).

As variáveis dependentes costumam utilizar medidas específicas para cada um dos três modos básicos estudados: automóvel, transporte coletivo e a pé/bicicleta. Em geral, as viagens pelo modo automóvel são expressas através da medida de *VMT - vehicle miles traveled* (milhas viajadas de carro), traduzida por *quilômetros viajados de carro - VKT* - quando fora dos EUA. Essa medida pode ser calculada por família/lar (*household*) ou por pessoa e, eventualmente, pode ser controlada por motivo da viagem, fixando especificamente aquelas não destinadas ao trabalho (BOARNET; CRANE, 2001).

Para os modos ativos as expressões mais comuns são as distâncias percorridas por pessoa ou por família/lar (*miles/quilometers walked*), mas principalmente o número ou a proporção de viagens (caminhadas) por pessoa ou lar - *walk/bike trips* (LECK, 2006). Esse número é muitas vezes tratado como uma frequência, e sua probabilidade de ocorrência, bem como o potencial de mudança do automóvel para o modo a pé são estudados. Também existem estudos com especificação de motivo, novamente com foco naqueles não destinados ao trabalho, que são, em tese, os que permitem maior liberdade de escolha modal.

Os estudos paradigmáticos de Ewing e Cervero conseguiram generalizar alguns resultados dessa relação, apontando que ela existe, mas é relativamente fraca. Um aumento de 10% na densidade e na acessibilidade viária, por exemplo, foi associado a uma redução de 0,5% em viagens de carro, e um aumento de 10% na diversidade de usos foi associado a uma diminuição de 0,3% no número de viagens de carro e a uma redução de 0,5% em *VMT* (EWING; CERVERO, 2001).

Com essas métricas, a maioria dos estudos realizados nos EUA afirma que uma maior atividade pedestre está associada com maiores densidades, maior número de destinos (não residenciais) localizados a uma curta distância e um sistema viário bem conectado. Também pesquisas realizadas em países subdesenvolvidos concluíram que, dentre as características urbanas, as viagens a pé estão mais fortemente relacionadas com medidas de diversidade de uso do solo, densidade de intersecção de vias (padrão viário em forma de grelha) e o número de destinos localizados a uma curta distância. (LARRAÑAGA et al., 2009; ZEGRAS, 2004).

Por outro lado, algumas variáveis socioeconômicas mostraram-se fortes preditoras das viagens motorizadas por motivo estudo ou trabalho: alta renda, associada a maior número de automóveis no domicílio (LARRAÑAGA; CYBIS, 2010). As condições econômicas, atitudes e hábitos dos indivíduos e famílias introduzem um empecilho para os argumentos a favor da ligação causal entre a constituição física da cidade e as escolhas modais, pois distorcem as possíveis associações diretas de causa e efeito entre elas.

Também nos EUA as conclusões indicam que a criação de espaços urbanos “caminháveis” pode levar apenas a um aumento moderado das viagens não motorizadas, mas seus efeitos serão limitados se ignorarem o fator de “auto-seleção” - *self-selection*. Este aumento da oferta de espaços “orientados à caminhada” somente aumentará as viagens não motorizadas se proporcionar sua ocupação por indivíduos pré-dispostos a elas, ou seja, se permitirem a auto-escolha (HANDY et al., 2005; MOKHTARIAN et al., 2008)

Auto-escolha significa originalmente a distorção de amostras estatísticas através da inclusão deliberada de um indivíduo em uma amostra (grupo). Pois auto-escolha neste caso é a pré-disposição de indivíduos com propensão a caminhar de escolher vizinhanças caminháveis como local de moradia. Ou, dito de outra maneira: as pessoas com orientação à caminhada preferem morar em lugares adequados para tal.

Um exemplo de auto-escolha relacionada a traços socioeconômicos pode ser o de uma família de baixa renda sem automóvel que decide morar em algum bairro com boa oferta de transporte público e, assim, todos os seus membros passam a usá-lo com frequência. Nesse caso não é a qualidade do transporte que faz com que a família pretensamente abra mão do automóvel, mas sim suas restrições econômicas que têm influência real e direta na opção de usar o ônibus (metrô, trem, etc.). Por outro lado, um exemplo de auto-escolha atitudinal seria o caso de alguém com um estilo de vida “motorizado” que termina por residir em um bairro caminhável (talvez por falta de oferta residencial em locais de sua preferência). Seu comportamento de viagem provavelmente não vai ser coerente com o dos demais moradores que deliberadamente escolheram viver ali. (MOKHTARIAN et al., 2008).

A aplicação deste fator nos modelos se dá através da incorporação das variáveis socioeconômicas e atitudinais, articulando-o com as variáveis do ambiente urbano.

### **2.2.1. Forma Urbana**

A abordagem agregada, ao nível dos bairros, que utiliza os atributos “3D” para modelar a relação entre ambiente e comportamento de viagens é dominante na área, tendo em vista que os estudos de demanda são a base para atingir os objetivos de redução das viagens motorizadas e incremento do modo a pé.

No entanto, ela não dá conta de todo o problema da influência do ambiente construído sobre os padrões de viagens a pé, pois o sucesso de uma área não pode ser simplesmente medido pela quantidade ou duração das caminhadas, mas também e principalmente pela qualidade dessas viagens em termos da experiência do pedestre (ADKINS et al., 2012).

Para dar conta dessa experiência da caminhada, que está profundamente relacionada com a escolha das rotas pelos pedestres, é necessária uma abordagem ao nível local da rede de circulação, levando a um melhor entendimento das características da microescala do ambiente construído e de sua influência sobre as decisões dos indivíduos. Nesta escala o ambiente construído não pode mais ser entendido de forma agregada por medidas brutas de densidade ou diversidade de usos, pois ele se revela em detalhe ao caminhante através da forma dos objetos arquitetônicos e da localização precisa de usos e atividades.

Enquanto as medidas agregadas expressam as diferenças gerais existentes entre as áreas - densidade, mistura de usos e configuração viária - a diferenciação encontrada no seu interior é dada pela presença de elementos excepcionais em meio à regularidade dos tecidos. Formas arquitetônicas e usos do solo especiais - muitas vezes abrigados no mesmo objeto construído - se destacam dos demais, criando diferenciação espacial e hierarquia. Mesmo considerando os vínculos auto evidentes entre alta acessibilidade, alta densidade e usos do solo mistos que caracterizam as áreas caminháveis, (NETTO et al., 2012) alguma diferenciação espacial é sempre esperável no seu interior.

Os elementos especiais que configuram o que a ciência do Urbanismo chama de “estrutura primária”, destacam-se na paisagem e oferecem ancoragem para a cognição espacial dos pedestres (LYNCH; CAMARGO, 1997). Ao construir o mapa cognitivo de uma área para orientar sua navegação espacial, os pedestres retêm uma memória muito clara dos principais usos do solo e das imagens de intersecções-chave do sistema viário, bem como dos chamados *landmarks* (marcos urbanos), cujo destaque arquitetônico ajuda a lembrar de sua localização no espaço e posição ao longo de um trajeto (KITCHIN; FREUNDSCHUH, 2000). Esses objetos especiais são os “anátemas”, contrapontos ao padrão temático de um bairro ou área urbana (DE FARIA; KRAFTA, 2003) e é justamente esse contraste que vai permitir aos indivíduos basear suas escolhas de rotas em outros critérios que não os relacionados ao esforço básico de viagem: distância, tempo, declividade.

Dependendo do porte, forma e uso, os marcos são percebidos e avaliados pelos pedestres de forma positiva ou negativa para a escolha de rota: enquanto os prédios históricos, a arquitetura excepcional e os usos comerciais tendem a ser entendidos como positivos, os vazios urbanos, os terrenos baldios e os usos “hostis” - estacionamentos, indústrias, depósitos - têm mais probabilidade de serem tratados como negativos (JACOBS, 1961).

Além dessa diferenciação de primeira ordem que faz emergir a estrutura primária das áreas, existe outro tipo de hierarquia de menor escala, na qual a homogeneidade do arranjo dos edifícios em um trecho de rua é rompida pela presença de tipos edificadas incoerentes com essa regularidade. Ruas com prédios alinhados de forma contínua são geralmente o padrão encontrado em zonas centrais e outras áreas “maduras” das cidades, pois a densificação com continuidade é o processo natural de evolução dos tecidos urbanos. A tendência ao acoplamento das edificações, produzindo quarteirões homogêneos e com fachadas alinhadas é originada em forças econômicas, onde a maximização do uso dos terrenos e da sua exposição aos pedestres é bastante favorável às atividades ali abrigadas (MOUDON, 1986; PANERAI et al., 1997).

Nas áreas caminháveis, os trechos de rua com edificações contínuas e alinhadas são por excelência a normalidade e, devido justamente à sua homogeneidade, produzem indiferença para a escolha de rota dos pedestres, desde que não haja excessiva variação em atributos como as calçadas, a iluminação e o tratamento paisagístico. A perturbação destes sistemas e a consequente diferenciação ocorrem quando surgem objetos arquitetônicos incoerentes, inseridos de forma estranha à regra geral: torres recuadas no terreno, prédios cercados ou grandes edificações comerciais isolados e circundados por estacionamentos (as chamadas “*bigboxes*”).

Assim, trechos com maiores graus de “desalinhamento” no arranjo das formas edificadas tendem a se destacar na percepção dos pedestres, constituindo excepcionalidades que, mesmo não sendo parte da estrutura primária global da área, se impõem no processo cognitivo de avaliação e seleção de lugares para transitar a pé (MOUDON, 1989). No limite, podem existir partes do bairro – trechos de rua - onde as

estruturas sejam tão diferentes das demais ou onde o grau de heterogeneidade seja tão grande que eles passem a atrair - ou repelir - demasiadamente os caminhantes.

### 2.3. Decisões relacionadas ao transporte - Escolhas

O problema das escolhas é central no planejamento de transportes. As decisões de famílias, indivíduos, firmas e entidades relativas a processos de longo ou curto prazo em seus ciclos de vida afetam profundamente o sistema urbano e os padrões de deslocamento. Dentre os processos de tomada de decisão - escolha - com impacto nos transportes, é possível destacar os mais importantes e classificá-los de acordo com duas dimensões: **o espaço e o tempo**.

Como escolhas de caráter não espacial, têm-se:

- i. Propriedade de automóvel – *vehicle ownership*.
- ii. Realização da viagem – *trip/no trip choice*.
- iii. Horário da viagem – *time-of-day choice*.
- iv. Modo – que modo utilizar – *mode choice*.

Já aquelas de caráter espacial seriam:

- v. Localização – onde morar, onde trabalhar – *work and residential location*.
- vi. Destino – para onde ir – *destination choice*.
- vii. Rota – por onde ir – *route choice*.

Dessas últimas, a localização é considerada de longo prazo e as escolhas de destino e rota de curto prazo. As decisões espaciais de curto prazo são as mais importantes para o estudo da distribuição dos padrões de viagem - as rotas (BOVY, 2009).

Escolha de rota tem como grande vantagem a pequena probabilidade de estar correlacionada com escolhas locais, praticamente eliminando o problema de *self-selection* nos estudos e modelos. Já as decisões de viagem não espaciais como a escolha modal, frequência de viagem e propriedade de automóvel são escolhas de longo prazo relacionadas ao estilo de vida e, portanto, bastante associadas à escolha da localização residencial.

O comportamento das escolhas espaciais vem sendo tratado há muito tempo pela engenharia de transportes e outras ciências geográficas. Após a época de domínio dos modelos agregados de interação espacial (WILSON, 1971), modelos desagregados de escolha discreta com complexidade crescente se tornaram o estado da arte e da prática. (DOMENCICH; MCFADDEN, 1975; TRAIN, 2009).

O fundamento teórico desses modelos - chamados comportamentais - é o princípio de utilidade da microeconomia clássica e sua extensão, a maximização de utilidade. Esses modelos assumem o

comportamento racional dos indivíduos no sentido de que, quando tomam decisões, eles têm conhecimento da situação e conseguem levar em consideração todo o conjunto de fatores influentes, chegando a uma decisão através da combinação de utilidades associadas a cada fator de acordo com alguma regra (geralmente aditiva ponderada) que maximize sua utilidade.

Na área da economia existem diversos modelos de preferência que tentam emular o comportamento de escolha dos consumidores. Os modelos baseados na teoria da utilidade adotam o conceito de escolha compensatória, onde os consumidores conferem uma importância relativa a cada um dos atributos presentes nas alternativas e, após, atribuem um peso para o grau de intensidade que os mesmos aparecem em cada alternativa. A alternativa escolhida é a que possui maior “escore”, obtido através do somatório das multiplicações entre as importâncias relativas pelos pesos atribuídos. Admite-se que o consumidor considera todos os atributos ao avaliar uma dada alternativa e, assim, a presença ou ausência de um atributo pode ser compensada por outro. Estes modelos são complexos uma vez que o indivíduo deve ter em mente todos os atributos para poder realizar a compensação (KRARUP; RUSSELL, 2005).

Já nos modelos não compensatórios, admite-se que os consumidores não realizam o *trade-off* de um atributo por outro, assim as alternativas são avaliadas de forma categórica, pela presença ou ausência dos atributos considerados mais importantes. Os quatro modelos de decisão não compensatórios mais comuns são:

- **Conjuntivo (C)**, onde os consumidores iniciam a escolha atribuindo um nível mínimo (ponto de corte) para os seus atributos preferidos. Qualquer alternativa que apresente estes atributos em um nível acima do nível mínimo pode ser escolhida. Caso nenhuma alternativa tenha sido escolhida, ou mais de uma alternativa tenha sido escolhida ao final deste processo inicial, o consumidor pode revisar os pontos de corte inicialmente estabelecidos, ou até mesmo recorrer a outro modelo de decisão.
- **Disjuntivo (D)**, onde os consumidores compensam a ausência de um atributo pela presença de outro, porém com duas importantes diferenças: a presença ou ausência do atributo é considerada antes da avaliação do grau de intensidade que o atributo está presente; nos modelos compensatórios o *trade-off* ocorre entre atributos que podem não servir aos mesmos propósitos, enquanto que nos modelos Disjuntivos os atributos compensados tendem a servir aos mesmos propósitos.
- **Lexicográfico (L)**, onde os atributos das diversas alternativas são ordenados em termos de importância. Os consumidores avaliam todas as alternativas e escolhem aquela que possui o mais alto nível do atributo mais importante. Caso mais de uma alternativa tenha sido escolhida, o processo reinicia com o segundo mais importante.
- **Eliminação por Aspectos (EA)**, onde os consumidores avaliam todas as alternativas utilizando o atributo mais importante, mas estabelecem para cada um dos atributos um ponto de corte mínimo; caso mais de uma alternativa tenha sido escolhida, estas alternativas são novamente avaliadas através do segundo atributo mais importante e de seu ponto de corte mínimo. Este modelo normalmente é

utilizado em aplicações não comerciais, como por exemplo, nas escolhas para parceiros em relacionamentos pessoais (LEE; GEISTFELD, 1998).

Escolha de rota é uma decisão que envolve certa complexidade e, portanto, não parece ser possível de tratar com apenas uma ou outra dessas abordagens. Do ponto de vista comportamental, uma prévia limitação da rede de caminhos possíveis a um conjunto relativamente pequeno de alternativas aceitáveis parece ser um processo mental distinto da escolha propriamente dita da rota a percorrer. Enquanto o primeiro caso pode ser regido por regras não compensatórias, onde a decisão de aceitar alternativas é baseada em uma avaliação simplificada de seus custos, a escolha final da rota é uma decisão mais precisa, de natureza eminentemente compensatória, baseada em *trade-offs* entre o valor dos atributos e alternativas.

## 2.4. Modelagem de escolha

### 2.4.1. Abordagem comportamental desagregada

Diferentemente das abordagens mais convencionais de modelagem em transportes que se baseiam em analogias físicas, utilizam geralmente dados agregados e observam relações médias entre grupos de indivíduos e padrões de viagem, a abordagem comportamental procura representar a realidade de maneira mais precisa, baseando-se na observação das escolhas feitas individualmente pelas pessoas.

A modelagem comportamental trabalha com fatores motivacionais dos indivíduos em relação aos atributos dos sistemas, produtos ou serviços oferecidos, tentando identificar o processo de decisão do usuário e captar as reações individuais que não são percebidas pelos modelos convencionais agregados. Essa análise se faz com base na Teoria da Utilidade Aleatória, desenvolvida nos anos 1970 por Daniel McFadden, Premio Nobel de Economia no ano 2000.

Essa teoria microeconômica baseada na ideia de comportamento racional de escolha diz que um tomador de decisão é capaz de ranquear as alternativas disponíveis em ordem de preferência, e vai sempre escolher a opção que ele considera mais desejável, considerando seus gostos e as restrições colocadas (DOMENCICH; MCFADDEN, 1975). Essa teoria vem sendo usada com sucesso na análise e previsão do comportamento de consumidores nas mais variadas áreas de aplicação, especialmente a demanda por transportes (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 1990)

Resumidamente, a teoria propugna que:

- Indivíduos  $q$  pertencem a um segmento de mercado homogêneo  $Q$ ;
- Indivíduos possuem informação completa;
- São racionais e atuam de forma determinística;
- Dispõem de um conjunto de alternativas discretas - *choice set* - conhecido:

$$A_q = \{A_1, A_2, A_3, \dots, A_n\} \quad (2)$$

- Estão sujeitos a várias restrições sociais, políticas, ambientais que limitam esse conjunto de alternativas: é o chamado “*Homus Economicus*”.

Os modelos comportamentais desagregados são baseados no conceito de Utilidade, que é a expressão da satisfação ou proveito que os indivíduos têm ao alocar seus recursos, tornando uma mercadoria ou serviço mais ou menos desejados. Assim, o conceito de utilidade pode ser tautologicamente definido como aquilo que o indivíduo racional procura maximizar ao fazer suas escolhas.

A maximização de utilidade diz que um indivíduo  $q$  escolherá uma alternativa  $A_i$  se e somente se:

$$U_{iq} \geq U_{jq} \quad \forall A_j \in A(q) \quad (3)$$

A utilidade da alternativa  $A_i$  for maior ou igual à de  $A_j$  para todo elemento do conjunto de alternativas do indivíduo  $q$ .

Para o modelador não há certeza de qual será a escolha, ele só pode calcular uma probabilidade de escolha:

$$Pr_q(i) = Pr \{U_{iq} \geq U_{jq} \quad \forall A_j \in A(q): j \neq i\} \quad (4)$$

*A probabilidade de escolha da alternativa  $i$  pelo indivíduo  $q$  é igual à probabilidade de que a utilidade de  $i$  seja maior do que a de qualquer outra alternativa  $j$  diferente pertencente ao conjunto de escolha do indivíduo.*

A Função de Utilidade é normalmente representada na forma de modelos aditivos compensatórios, já que se pode melhorar um atributo piorando outro e, assim, manter o mesmo nível de utilidade da alternativa:

$$U_{iq} = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n \quad (5)$$

Onde:

$U_{iq}$  = Utilidade da opção  $i$  para o indivíduo  $q$ ;

$X_1, X_2, \dots, X_n$  = são atributos que influenciam a função de Utilidade;

$a_1, a_2, \dots, a_n$  = são os parâmetros estimados que determinam quanto os atributos influenciam a Utilidade;

$a_0$  = constante que pode ser interpretada como uma inclinação a favor ou contra o produto ou serviço que está sendo avaliado.

Este seria o caso, em um exemplo de escolha de rota, de um trecho de rua mais longo, porém mais seguro ou agradável, talvez em função da sua forma urbana - com lojas, vitrines, etc. Assim, o trecho menos útil relativamente ao atributo “distância” pode ser o escolhido em função do seu melhor “pacote” de atributos de forma urbana.

#### 2.4.2. Modelos de escolha discreta

Os modelos de escolha discreta utilizados em transportes, especialmente na modelagem de demanda, são construídos de acordo com a teoria da utilidade e baseados no princípio da maximização de utilidade. Seu objetivo básico é estimar as utilidades parciais  $a_1, a_2, \dots, a_n$  ( 5 ) que representam a importância de cada um dos atributos na função. Os coeficientes do modelo podem ser utilizados para:

- Determinar a importância relativa dos atributos considerados;
- Determinar um valor monetário para os demais atributos, quando custo estiver incluído na função;
- Especificar funções de utilidade para uso em modelos de previsão;

Porém, o nível de utilidade ou satisfação que o tomador de decisão recebe de cada alternativa é conhecido apenas pelo indivíduo, mas não pelo pesquisador. Então, como confiar nos resultados do modelo? O modelador só observa alguns atributos das alternativas ( $X_n$ ) e alguns atributos individuais do tomador de decisão ( $S_n$ ). A partir disso ele pode montar uma função que relaciona esses fatores observados com a utilidade:

$$V_{iq} = V (X_{iq}, S_n) \quad ( 6 )$$

Onde  $V$  é a parcela representável da utilidade.

Assim, é razoável assumir que  $U_{iq} \neq V_{iq}$ , levando a tratar as utilidades como variáveis aleatórias com número finito de valores (Ben-Akiva & Bierlaire, 1999). Neste caso, a utilidade aleatória de uma alternativa pode ser expressa pela soma dos componentes observáveis, representáveis ou sistemáticos -  $V_{iq}$  - e os componentes não observáveis -  $\varepsilon_{iq}$  - de acordo com a equação abaixo:

$$U_{iq} = V_{iq} + \varepsilon_{iq} \quad ( 7 )$$

Os componentes aleatórios são necessários como uma tentativa de capturar deficiências na especificação de atributos não observados, erros de medida, diferenças entre os indivíduos, percepção

incorreta do valor dos atributos e outros tipos de aleatoriedades inerentes ao ser humano (MANSKI, 1977). Essa consideração da inconstância do comportamento humano e da aparente “irracionalidade” de muitas escolhas observadas (dois indivíduos com mesmas características escolhem alternativas diferentes ou um indivíduo que escolhe uma alternativa com menor utilidade aparente do que outra disponível, por exemplo), deram origem aos modelos de utilidade aleatória.

Nestes casos a estimativa de probabilidades de escolha pode ser escrita da seguinte forma:

$$Pr_{iq} = Pr(\varepsilon_{jq} - \varepsilon_{iq} < V_{iq} - V_{jq} \forall j \neq i) \quad (8)$$

A especificação desses modelos, portanto, requer não apenas a especificação de  $V_{iq}$  mas também pressupostos sobre a distribuição conjunta dos componentes aleatórios  $\varepsilon$ , também chamado de erros. Diferentes especificações adotadas para a distribuição de probabilidade do componente aleatório determinam diferentes modelos de escolha discreta. (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 1990).

O modelo *Logit* é um dos mais simples modelos de escolha discreta e também ainda o mais usado na pesquisa em transportes, especialmente porque a fórmula das probabilidades assume uma forma fechada e de fácil interpretação. Ele é baseado na pressuposição de que o termo aleatório  $\varepsilon$  da função de utilidade é um vetor de variáveis aleatórias que, de acordo com a população amostrada, possui uma distribuição. Essa distribuição desconhecida do conjunto de alternativas deve ser idêntica para todas, e a cada um dos termos de erro é aditivo, ou seja, eles são independentes. Essas condições fazem com que o termo aleatório possua a propriedade *IID - Independentemente e Identicamente Distribuído*.

A escolha é modelada dentro de um número discreto de alternativas. Quando a escolha se dá entre duas e apenas duas alternativas mutuamente exclusivas e exaustivas, a variável dependente é dita binária - pode assumir os valores 0 ou 1. Quando a escolha se dá entre múltiplas opções mutuamente exclusivas, a variável dependente é dita nominal e quando a resposta é uma variável dependente ordinal, a escolha reflete uma intensidade de preferência, ou seja, é possível estabelecer uma ordem entre as alternativas.

No modelo *Logit Multinomial* assume-se que a distribuição dos termos aleatórios aproxime-se da Distribuição de Gumbel - Extremo Valor Tipo I, levando à seguinte fórmula fechada:

$$Pr_{iq} = \frac{e^{V_{iq}}}{\sum_j e^{V_{jq}}} \quad (9)$$

Onde

$Pr_{iq}$  = a probabilidade de o indivíduo  $q$  escolher a alternativa  $i$ ;

$e$  = a base do logaritmo neperiano;

$V_{iq}$  = a utilidade da alternativa  $i$  para o indivíduo  $q$ ;

$V_{jq}$  = a utilidade das alternativas  $j$

Que possui as seguintes propriedades:

- $Pr_{iq}$  é necessariamente entre 0 e 1;
- Se  $V_{iq}$  aumenta e  $V_{jq}$  se mantém constante,  $Pr_{iq}$  se aproxima de 1;
- $Pr_{iq}$  nunca é exatamente zero. Se não há chance de a alternativa ser escolhida, ela deve ser retirada do conjunto de escolha;
- $Pr_{iq}$  só é exatamente 1 quando só há uma alternativa;
- O denominador da equação mostra que a soma das probabilidades de todas as alternativas é 1;
- A relação entre a probabilidade *Logit* e a utilidade representativa é uma curva em forma de S (CIARLINI, 2010).

Essa função logística que origina o modelo pode ser linearizada para o caso de modelos binários. A chamada transformação *Logit* da probabilidade  $Pr$  é escrita como:

$$L_i = L_n \left( \frac{Pr_i}{1 - Pr_i} \right) = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_nX_n \quad (10)$$

Onde o logaritmo da razão de probabilidade  $Pr/(1-Pr)$  - o chamado *odds* ou chance - é linear com as variáveis  $X$ .

A estimativa dos coeficientes não pode ser feita por mínimos quadrados e, assim, o método da máxima verossimilhança é adotado (CIARLINI, 2010). As equações deste método podem ser encontradas em, por exemplo, (AGRESTI, 2003).

O pressuposto de que os fatores não observáveis não são correlacionados, ou seja, o erro de cada alternativa é independente do das demais, porém com igual variância é bastante simplista, pois se baseia na hipótese de independência e homoscedasticidade dos resíduos, o que pode não ocorrer na realidade de um conjunto de alternativas. No caso de rotas, por exemplo, múltiplos caminhos podem se sobrepor espacialmente e, conseqüentemente, a presença de trechos em comum fazer com que suas utilidades sejam correlacionadas.

Com relação à variação de preferências entre os indivíduos, o Logit Multinomial é capaz de capturar algum tipo de heterogeneidade, porém com limitações. Assumindo que os viajantes computam seus

parâmetros pessoais para a escolha do caminho aumentando ou diminuindo o custo de cada rota de acordo com uma percepção coerente com sua faixa etária, gênero, padrão socioeconômico, características atitudinais e habilidades físicas, diz-se que há uma “variação sistemática de preferências”. Essa variação entre os indivíduos - ou grupos/perfis de indivíduos - pode ser corretamente incorporada ao modelo MNL através da introdução de interações entre os atributos observáveis das alternativas e as características dos tomadores de decisão (TRAIN, 2009). Um exemplo disso são as interações entre as variáveis custo ou tempo de viagem e uma variável específica dos indivíduos, tal como seu nível de renda. Neste caso, a renda recebe diferentes coeficientes nas funções de utilidade de cada alternativa.

Porém, existem preferências que são influenciadas por fatores desconhecidos, variando de acordo com variáveis não observáveis ou de difícil quantificação. Recentemente, o desenvolvimento dos modelos Logit Mistos (*Mixed Logit - ML*) - permitiu o aperfeiçoamento da captura da variação de preferências de um mesmo indivíduo ao longo do tempo, por exemplo. O chamado “efeito painel” pode ser tratado por um ML do tipo “Componentes de Erro” (*Error Components*) que incorpora um termo de erro - a parte aleatória da utilidade - dividido em duas partes, uma com distribuição idêntica e independente (Gumbel) e outra com qualquer distribuição, inclusive a normal. (FIORENZO-CATALANO, 2007).

Outros tipos de variações não sistemáticas podem ser estimados por modelos Logit Mistos que consideram os coeficientes como elas próprias variáveis aleatórias, os chamados “*Random parameters models*” que estimam as integrais multidimensionais que define as probabilidades de escolha utilizando simulação baseada na distribuição dos coeficientes na população (VITON, 2012). Recentemente, tem sido valorizada a abordagem de tratar a heterogeneidade considerando tanto as variações sistemáticas quanto as aleatórias, utilizando modelos mistos de coeficientes randômicos que incorporam as interações sistemáticas. (BHAT, 1998; RIBEIRO et al., 2014)

### **2.4.3. Modelagem de escolha de rota - *Route choice modeling***

O problema da escolha de rota em modelos de transporte está geralmente inserido na etapa de alocação de viagens da estrutura de modelagem convencional. A previsão de quais as rotas utilizadas pelos veículos é o objetivo da etapa de alocação, normalmente o último estágio das quatro etapas tradicionais, aquele que efetivamente explicita uma estrutura de oferta e demanda por transporte. Portanto, ela sempre considera a existência de volumes de viagem - na forma de matrizes O-D - que devem ser distribuídos pela rede viária de forma realista, resultando em fluxos alocados e possibilitando a obtenção de medidas de desempenho tais como tempos de viagem, relação volume/capacidade e filas.

A representação da oferta - rede viária - nos modelos de alocação é relativamente simples, formada por um conjunto de nós e arcos que representam, respectivamente, as intersecções e os segmentos viários entre intersecções adjacentes (ARIOTTI et al., 2004). Cada elemento destes (intersecção/ *node* ou arco/*link*) recebe atributos relativos às suas características físico-geométricas e ao sistema de tráfego como, por

exemplo, para o caso dos trechos viários, o comprimento, o número de faixas, a capacidade (geralmente em veículos por hora), a velocidade de fluxo livre e os sentidos de circulação. Já as intersecções são carregadas com atributos tais como as relações de prioridade (vias preferenciais) ou programação do semáforo e as restrições de conversão.

Estes atributos dos elementos da rede são tratados como custo de viagem, geralmente compostos em funções chamadas de custo generalizado, para o qual os viajantes procuram rotas que o minimizem. Essas funções podem apresentar grande complexidade, requerendo calibração com os dados de origens e destinos e com contagens de fluxo realizadas diretamente em pontos da malha. Porém, em geral, utilizam-se apenas dois fatores em uma soma ponderada: tempo e custo monetário proporcional à distância de viagem.

A alocação baseia-se no pressuposto de que os viajantes são racionais, escolhendo a rota que oferecer o menor custo. Porém, esse menor custo é aquele percebido pelo usuário e não um eventual “custo absoluto”, levando a que diferentes viajantes escolham rotas diferentes para realizar um mesmo deslocamento. Essa variação advém das diferenças na percepção individual de o que constitui a “melhor rota” - o chamado efeito estocástico - mas também dos efeitos de congestionamento, que são a expressão da restrição da capacidade das vias à medida que fluxos são alocados nas rotas de menor custo inicial (mais curtas), tornando seus custos generalizados comparáveis àqueles das rotas inicialmente consideradas menos atrativas.

Basicamente existem quatro tipos de modelos de alocação, classificados de acordo com sua consideração ou não dos efeitos estocásticos e dos efeitos de restrição de capacidade para a escolha das rotas pelos condutores:

- Alocação “Tudo ou nada” - não consideram efeitos de congestionamento e assumem que todos os viajantes consideram os mesmos atributos para a escolha da rota e ponderam o atrito da mesma maneira, ou seja, os custos de cada elemento da rede são fixos (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 1990). Este tipo de alocação bastante simples funciona bem em redes esparsas, com pouca densidade de rotas, mas também pode ser usado para representar preliminarmente as linhas de desejo ou os “caminhos mínimos ideais” entre pontos O-D.
- Alocação puramente estocástica - também não consideram a restrição de capacidade gerada pelos fluxos, mas assumem que o comportamento dos condutores é inconstante e heterogêneo, sujeitos à aleatoriedade e, portanto, não geram padrões constantes de escolha de rota como na abordagem determinística. A incorporação dessa aleatoriedade pode ser feita com modelos de probabilidade do tipo *Logit*, onde os custos generalizados determinam uma alocação de viagens proporcional à atratividade das rotas, como é o caso do algoritmo de Dial (DIAL, 1971). Também se utilizam simulações nas quais os custos dos arcos são tirados de distribuições de custos subjetivos/percebidos cuja média é o custo objetivo/real (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 1990).

- Alocação por Equilíbrio de Wardrop - considera efeitos de restrição de capacidade, propondo que os custos de deslocamento nos arcos são variáveis dependendo da procura. Todos os condutores têm a mesma percepção dos custos de viagem, mas sua escolha de rota individualista é, neste caso, condicionada pelas escolhas dos outros condutores. É um modelo que se presta muito bem para redes congestionadas, pois trabalha com a noção de equilíbrio tal como enunciados por Wardrop (1952): o tráfego deverá se distribuir de modo que os custos de viagem em todas as rotas utilizadas entre os mesmos pontos O-D sejam iguais (e maiores nas rotas não utilizadas) e nenhum motorista poderá reduzir seus custos ao trocar de rota.
- Alocação por Equilíbrio Estocástico - considera a diferença de percepção dos usuários e também leva em consideração restrição de capacidade da rede sendo, portanto, o mais adequado sob o ponto de vista comportamental. No entanto, são os mais difíceis de implementar em termos operacionais, apresentando também problemas para encontrar soluções consistentes. São recomendados pela literatura para a utilização em redes com níveis médios de congestionamento (CYBIS et al., 2002)

Em síntese, a escolha de rotas para modos motorizados é quase sempre dependente de uma etapa anterior de estimação de volumes a serem distribuídos na rede, ou seja, ela é parte integrante de um processo de alocação de viagens baseado fundamentalmente em custos de viagem da própria rede viária: distâncias, tempos, velocidades. Dependendo dos efeitos a serem considerados, utilizam-se modelos diferentes para escolher a rota e alocar o tráfego, entre os quais estão alguns baseados em proporções que utilizam modelos de escolha discreta do tipo *Logit* (PRASHKER; BEKHOR, 1998).

#### **2.4.4. Modelagem de Escolha de rotas - Pedestres**

No caso dos pedestres, a lógica muda substancialmente. A maioria dos estudos que trata do tema da escolha de rota no nível tático das sequências de trechos de rua utilizando redes discretas de movimentação não se ocupa de fluxos ou alocação de volumes. Esta área de pesquisa ainda se interessa fundamentalmente em entender os fatores que compõem os custos de viagem para as viagens a pé, buscando construir funções ou modelos de escolha para simular o comportamento dos pedestres, sem a pretensão de implementar uma estrutura de alocação de viagens. (CAMPOLI; LINCOLN INSTITUTE OF LAND POLICY, 2012; CZOGALLA; HERRMANN, 2011; METHORST et al., 2010; MILLWARD et al., 2013).

Por outro lado existe uma série de estudos com pedestres que se ocupam dos aspectos “clássicos” da engenharia de tráfego: velocidades, ocupação do espaço, interação com outros pedestres e veículos e outras características do movimento que podem ser simuladas microscopicamente, com o foco em regiões pontuais como áreas de acumulação, cruzamentos e travessias. Muitos modelos recentes de comportamento pedestre adotam sistemas baseados em agentes e regras de comportamento, interessados no planejamento da evacuação de edifícios, no manejo de multidões e na simulação de fluxos em movimentos conflitantes, especialmente em terminais de transporte, estádios, *shoppings* e outros grandes prédios e espaços públicos. (BORGERS; TIMMERMANS, 2005; PRETTO et al., 2011). Esses lugares oferecem liberdade praticamente

infinita de movimento, com inúmeras alternativas de rotas e, portanto, sugerem abordagens baseadas em forças e outras analogias com processos físicos dinâmicos tratáveis através de geometria analítica. (HOOGENDOORN; BOVY, 2004)

Existe, portanto, uma lacuna na modelagem de escolha de rota para caminhadas através da rede viária urbana, uma escala que requer abordagens diferentes tanto da simulação microscópica de pedestres quanto da alocação de tráfego.

De fato, ela está mais próxima dos métodos utilizados para os modos motorizados, pois inclui a construção de uma rede discreta, a atribuição de valores aos elementos da rede, a definição de funções de custo de viagem com os pesos dos atributos e a aplicação de um mecanismo de busca por caminhos “ótimos” que consideram esses custos.

No entanto, mesmo com a semelhança, são necessárias adaptações conceituais e operacionais tanto no aspecto dos custos como também na própria construção das redes para adaptar a lógica dos modelos de escolha de rota de veículos ao modo a pé. Para este, a malha urbana também pode ser descrita como um grafo ponderado contendo os arcos e nós, mas, apesar de esta inicialmente se parecer bastante com a malha viária, ela requer maior detalhamento, pois é constituída de mais elementos do que apenas as calçadas paralelas às pistas de rolamento: passagens, atalhos, caminhos cobertos, alamedas, escadarias e etc. (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 1990) Se, por um lado, não existem “mãos-únicas” para pedestres (o grafo não é direcionado), por outro, há também a necessidade de se construir uma tabela semelhante à de “restrições de conversão” da rede de veículos, pois existem muros, barreiras, travessias proibidas e outros impedimentos à circulação pedestre.

Com relação aos custos, pode-se admitir simplificadaamente que, na escala da cidade, os fluxos de pedestres são livres de congestionamento e, portanto, com custo fixo em cada arco, o que em tese simplifica a escolha de rota/alocação. Sem custos variáveis no tempo, restaria apenas conhecer os atributos do ambiente construído que “onera” as viagens a pé e aplicar algum método de escolha de rota do tipo tudo ou nada ou estocástico.

Porém, essa simplicidade é apenas aparente, pois se o pedestre é pouco sujeito aos impactos do processo dinâmico de ocupação da rede por outros pedestres, ele é muito mais sensível às características do ambiente para decidir por um ou outro caminho. A configuração da malha, elementos arquitetônicos, os usos e a ocupação do solo, o tratamento paisagístico, a iluminação, a conservação e a qualidade dos pavimentos são quase sempre preponderantes para a escolha de uma rota, muitas vezes destoante daquela de menor tempo/distância.

Recentemente a área de pesquisa sobre as relações entre o ambiente construído e o comportamento de viagens começou a dar maior atenção à escolha de rotas de pedestres. Novos estudos têm surgido para entender quais elementos constituintes do ambiente impactam sobre a escolha, buscando atribuir

corretamente a eles pesos e importâncias para mais precisamente modelar o custo generalizado de cada caminho, para além da simples menor distância ou tempo de viagem. (BROWN et al., 2007; LEE; MOUDON, 2006b; SCHLOSSBERG et al., 2008).

Os trabalhos investigam os critérios particulares que fazem o pedestre optar por um caminho ou outro e apresentam evidências da influência de diversos fatores para a escolha de rota. (GOLLEDGE et al., 1995; SAELENS; HANDY, 2008). Se for certo que pedestres parecem escolher frequentemente o caminho mais curto, outros fatores tidos como importantes no comportamento de escolha de rotas são número de travessias, declividade do terreno e também a “direiteza” (*directness*) do caminho, a qual se refere não apenas à distância, mas também à sua complexidade em termos de mudanças de direção (HOOGENDOORN; BOVY, 2004).

Na literatura, muitas vezes os elementos concretamente mensuráveis - fatores objetivos - que podem abranger também aspectos como poluição, ruído e proteção ao clima aparecem misturados com dimensões subjetivas tais como as sensações e percepções dos viajantes a pé. Neste contexto comportamental, a subjetividade parece ser muitas vezes mais importante do que as características objetivas da viagem ou os atributos concretos do ambiente de circulação. Fatores individuais de ordem psicológica, física, social e cultural determinam diferentes interpretações da qualidade do espaço, influenciando os processos cognitivos que levam às decisões de viagem, tanto no que diz respeito à realização da caminhada, quanto à escolha dos caminhos (EWING et al., 2006; LIN; MOUDON, 2010).

Segundo alguns estudos, algumas dimensões subjetivas se destacam entre as mais relevantes para a tomada de decisão em viagens a pé: o conforto, a apazibilidade e a segurança do ambiente (SCHLOSSBERG et al., 2008). No contexto brasileiro e dos países em desenvolvimento a sensação de segurança, ou por outro lado, de insegurança nos espaços urbanos parece ser a dimensão central. Diferentemente do que ocorre nos países desenvolvidos, onde a segurança viária é a preocupação principal, a realidade local mostra que a segurança nas ruas é fundamentalmente um problema de exposição ao crime. A sensação generalizada de insegurança urbana tem dificultado a defesa do modo a pé como opção consistente de transporte urbano no Brasil, especialmente para as classes médias (Vargas 2012, 2013).

Dada a complexidade destes aspectos, onde muitas áreas e campos do conhecimento estão envolvidos, desde a ciência dos transportes propriamente dita e o planejamento urbano, até a psicologia, estudos cognitivos, fisiológicos, antropológicos e sociais, é necessário demarcar com clareza o território da investigação. Pragmaticamente é possível circunscrever as dimensões subjetivas a duas instâncias: as percepções e sensações, sendo a primeira delas uma espécie de “filtro” que faz a mediação entre os atributos físicos do mundo real e o comportamento pessoal. Segundo Ewing e Handy (2005), as percepções estão no caminho de causalidade entre o que pode ser medido objetivamente no ambiente e as sensações subjetivas de cada indivíduo (HANDY et al., 2005). Portanto, no caso das viagens a pé, as percepções podem ser entendidas basicamente como a apreensão do espaço: como os atributos físicos do ambiente são captados

pelos caminhantes através do filtro visual. Já as sensações seriam o resultado do processamento dessa percepção visual (e também de outras informações prévias), caracterizando-se, portanto, como construtos mentais que pressupõem um julgamento do efeito dos atributos ambientais sobre o sujeito, dependendo fortemente das características do indivíduo.

Essas características individuais - cognitivas, físicas, socioeconômicas e culturais - atuam em conjunto com as próprias características das viagens para modular a percepção do ambiente e a avaliação dos custos de viagem, alterando a forma e a intensidade com que os atributos do ambiente influenciam a escolha de rota. Qualidade cênica, por exemplo, é muito importante para caminhadas a lazer, mas com papel limitado ou nulo em viagens a trabalho (ZHU; TIMMERMANS, 2011).

Um conceito que tem se consolidado nos estudos da área é a “distância percebida”, utilizada como atributo no cálculo de custo dos *links* da rede para posterior busca pelo caminho “mínimo”. A menor distância não é necessariamente o menor caminho em termos métricos absolutos, mas sim o “melhor caminho”, sendo influenciada pela beleza, segurança, conforto e demais sensações despertadas pela presença de determinados atributos do ambiente, em interação com as características da pessoa (CZOGALLA; HERRMANN, 2011; PARK; KANG, 2011).

A percepção do espaço e o subsequente julgamento de sua qualidade estão associados a outro aspecto comportamental da caminhada que não pode ser negligenciado: a cognição espacial. Ela engloba os processos mentais de apreensão e aprendizado sobre o ambiente, incluindo a capacidade de encontrar caminhos - *wayfinding*. As habilidades cognitivas, características pessoais e familiaridade com o ambiente determinam a maneira como os indivíduos aprendem novas rotas e lidam com o processamento de informação sobre o espaço. Um sujeito que caminha sempre por uma mesma área da cidade vai provavelmente utilizar critérios diferentes de navegação e ponderar as características do ambiente de forma diferente do que um usuário eventual que, por sua vez, vai se comportar diferentemente de um visitante de primeira viagem. Dalton (2012) exemplifica este fenômeno afirmando que pessoas com pouca familiaridade com um ambiente vão provavelmente priorizar um menor número de mudanças de direção em relação à menor distância, enquanto pessoas que caminham em ambientes familiares vão inverter esses critérios. (DALTON et al., 2012).

Para o aprendizado de rotas, é fundamental fixar pontos notáveis e intersecções-chave através de mapas mentais. Esse “aprendizado espacial” se faz com base na experiência pessoal de viajar através do ambiente urbano, em um processo de reforço de aprendizado empreendido pelos indivíduos à medida que exploram o espaço e evoluem a partir da experiência (ZACHARIAS, 2001). O “ambiente cognitivo”, portanto, só pode basear-se no ambiente conhecido, o que determina uma relação direta entre nível de conhecimento e contato com os lugares.

A utilização de mapas e dispositivos de localização é um recurso útil que, com o advento das tecnologias móveis, é cada vez mais utilizado. Consultar mapas faz com que as pessoas adquiram conhecimento do espaço basicamente através da codificação das relações entre objetos, as quais permanecem na memória na forma de imagens que podem ser acessadas posteriormente. Este aprendizado é bom para julgamentos iniciais sobre a posição relativa dos objetos e a avaliação de distâncias em linha reta, mas é superado pelo conhecimento adquirido através da repetição da navegação real através do espaço. Esta permite às pessoas construir conhecimento completo das rotas que conectam localizações diferentes, permitindo melhor orientação em relação a objetos não vistos e uma melhor estimativa das distâncias reais (THORNDYKE; HAYES-ROTH, 1982).

Os estudos da área da saúde (epidemiologia) que envolvem ambiente e comportamento, inclusive a predisposição para utilizar o modo a pé e a escolha de rotas, utilizam amplamente o conceito de *exposure* - “exposição”. Ele significa basicamente o quanto o indivíduo está (ou pode estar) exposto a elementos do ambiente construído durante suas atividades diárias, inclusive deslocamentos. Essa medida de exposição - ou contato - não se propõe a especificar se o indivíduo realmente acessou os edifícios ou participou de atividades que se encontram no seu caminho, nem mesmo se eles foram efetivamente percebidos.

Trata-se de uma abordagem bastante objetiva que procura medir a quantidade de tempo e com que intensidade ou frequência o indivíduo está em contato com os elementos, utilizando raios de alcance, campo visual e outras medidas de proximidade para representar a possível relação de apreensão e valoração dos objetos urbanos. Assim, as dimensões subjetivas podem, de alguma maneira, ser contabilizadas sem a necessidade de instrumentos de coleta de dados qualitativos aprofundados nem pressuposições complexas sobre processos cognitivos. No caso específico dos estudos da influência do ambiente sobre o comportamento de viagem, esta abordagem permite estimar simplificada o quanto a “exposição” pode interferir nas decisões espaciais dos viajantes a pé.

Em resumo, poucos estudos voltados à escolha de rota por pedestres em escala urbana adotam a modelagem de escolha discreta, à semelhança de uma escolha de rota para alocação puramente estocástica amplamente aplicada no planejamento de transportes motorizados. (LEE; MOUDON, 2006a). Para pedestres, em geral, adotam-se métodos de avaliação das características do ambiente que podem ser objetivamente medidas ou julgadas pelos indivíduos através de pesquisas de *rating* ou *ranking* (GUO; LOO, 2013). Estes métodos são utilizados para conhecer os atributos relevantes e atribuir pesos a eles, a fim de construir funções de custo e implementar sistemáticas de busca pelos “caminhos ótimos”, em uma abordagem determinística assemelhada à alocação tudo ou nada.

Com o conceito de exposição e os modelos de escolha, se comprovada sua aplicabilidade, pode-se estudar a importância dos atributos do ambiente para a tomada de decisão do pedestre, bem como estimar probabilidades de utilização de diferentes rotas de forma probabilística mais realista do ponto de vista comportamental.

#### 2.4.4.1. O problema das alternativas não observadas

Segundo Bekhor et al. (2006), o processo de modelagem de escolha de rota é tipicamente dividido em dois estágios: Primeiro, as possíveis rotas alternativas devem ser geradas para formar o “*choice set*” (conjunto de escolha) e, depois, a probabilidade de uma determinada rota deste conjunto ser escolhida é calculada. Esse procedimento em duas etapas tem a vantagem de, ao explicitamente enumerar o conjunto de rotas viáveis, permitir o exame dos critérios de seleção, otimizar o tempo e **evitar opções irreais**. Com um conjunto finito e conhecido de rotas, a correção de problemas de replicação e sobreposição pode ser feita mais facilmente, com base na teoria e nos pressupostos do estudo (BEKHOR et al., 2006).

Bovy (2009) define os conjuntos de escolha como coleções de “alternativas de viagem disponíveis” percebidas pelos indivíduos como capazes de satisfazer sua demanda e argumenta que eles desempenham papel central na análise do comportamento de viagem. O tamanho e a composição do conjunto é muito importante para a estimação dos modelos de escolha discreta e que conjuntos incorretos podem levar a má especificação dos modelos e sérios erros em previsões (BOVY, 2009).

Portanto, para emular o comportamento de escolha e estimar modelos discretos, rotas diferentes que conectem os pontos de origem e destino de cada caminhada efetivamente realizada precisam ser geradas a fim de providenciar o conjunto de alternativas de escolha potencialmente disponível, já que elas não são observáveis. A ideia é criar um número limitado de **rotas viáveis**, reduzindo a complexidade de um teórico “conjunto universal” e proporcionando um conjunto relativamente pequeno, do qual o pedestre escolheu uma, reproduzindo assim o padrão comportamental dos tomadores de decisão.

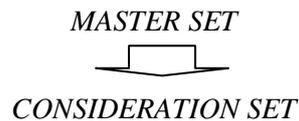
Para a definição desses caminhos alternativos, basicamente duas abordagens podem ser seguidas: uma exaustiva, onde todos os caminhos acíclicos (sem “*loops*” ou repetição de *links*) são aceitos e uma seletiva, na qual apenas um subconjunto dos caminhos topologicamente corretos é incluído.

A primeira abordagem pode gerar rotas irreais, enquanto a segunda pode evitar esse tipo de problema por meio da seleção de caminhos que satisfaçam regras e condições pré-estabelecidas. Nesta última, apenas os caminhos “viáveis” devem ser gerados com algum método específico tentando simular a percepção dos indivíduos. Isso determina uma enumeração explícita de alternativas (CASCETTA et al., 1996).

Broach et al. (2010) apresentam três níveis para esses conjuntos de alternativas: o “Conjunto Universal” - *universal set* - nem é enumerado, remanescendo implícito na estrutura da rede. Um chamado “Conjunto Master” - *master set* - assume então o lugar desse intratável conjunto universal e constitui - em parte ou no todo - o “Conjunto de Consideração” - *consideration set* - para cada observação (BROACH et al., 2010).

UNIVERSAL SET





O *consideration set* conteria idealmente todas as rotas possíveis com probabilidade não zero de ser escolhidas. Ele deve excluir todas as rotas que são desprezadas sem que todos seus atributos tenham sido totalmente ponderados. Como exemplo, uma rota potencial que é dispensada por que é muito longa não deveria ser incluída no *consideration set*, em uma lógica de escolha não compensatória conforme o modelo de “eliminação por aspectos” (*EBA*). Se essa rota fosse incluída, ela traria informação falsa sobre a contribuição dos demais atributos para o processo de escolha.

Uma vez que o conjunto de consideração com ao menos duas opções tenha sido especificado para cada observação, o modelo de escolha pode ser estimado, condicionado a esta especificação.

O processo de geração dessas rotas viáveis apoia-se na rede viária modelada e se utiliza de diferentes métodos que basicamente procuram rotas entre O e D - *path search* - adotando cálculos do caminho de menor custo. Em sucessivas iterações, os valores de custo das variáveis, as próprias variáveis ou parâmetros de funções de custo são alterados. As modificações aplicadas podem ser sistemáticas ou estocásticas. Quando mudanças sistemáticas são aplicadas, o conjunto gerado é dito determinístico, pois as alternativas geradas são fixas. Quando mudanças estocásticas são aplicadas, o conjunto produzido vai variar de uma rodada para a outra e será mais sensível ao número de iterações.

Fiorenzo-Catalano (2007) apresenta uma extensiva revisão dos métodos de geração de *choice sets* para pares O-D únicos. Uma tabela síntese está reproduzida abaixo:

<b>Métodos para RSG</b>	<b>Abordagem</b>	<b>Definição</b>
<i>k-shortest paths</i>	Exata	Conjunto consiste dos $k$ caminhos mínimos gerados de acordo com um dado critério.
<i>Constrained k-shortest paths</i>	Exata	Gera $k$ caminhos mínimos, cada um deles satisfazendo restrições pré-definidas de maneira exata (passar por determinado link, por exemplo)
<i>Constrained enumeration</i>	Exata	Utiliza técnica de "branch and bound", enumerando caminhos através da geração de uma árvore de rotas conectando O-D
<i>Link elimination</i>	Heurística	Gera variações de caminho mínimo através da eliminação de links dos caminhos já gerados
<i>Link penalty</i>	Heurística	Gera variações de caminho mínimo através da aplicação sucessiva de penalidade aos links dos caminhos já gerados
<i>k-dissimilar paths</i>	Heurística	Gera um subconjunto de caminhos mínimos de modo a maximizar a diferença entre os caminhos acima de um determinado valor mínimo
<i>Gateway method</i>	Heurística	Gera variações de caminho mínimo diferentes de um chamado "caminho-portão" que é criado pela obrigação de passar por um determinado nó ou link "portão".
<i>Essentially least-cost paths</i>	Heurística	Gera rotas que possuam desvios máximos do caminho mais curto, dado um limiar pré-definido.
<i>Labelling</i>	Heurística	Gera rotas que são ótimas para um dado "rótulo" ou critério de custo pré-definido.
<i>Monte Carlo(MC)</i>	Heurística	Gera rotas através da busca sucessiva de caminhos mínimos após a randomização dos valores dos atributos dos links.
<i>Accelerated MC</i>	Heurística	Gera rotas através da busca sucessiva de caminhos mínimos após a randomização dos valores dos atributos dos links e do sucessivo aumento da variância desses atributos randômicos.
<i>MC Labelling combination</i>	Heurística	Gera rotas através da busca sucessiva de caminhos mínimos variando o "rótulo" ou critério de custo e randomizando dos atributos dos links.
<i>AMC Labelling</i>	Heurística	Gera rotas através da busca sucessiva de caminhos mínimos variando o "rótulo" ou critério de custo, randomizando dos atributos dos links e aumentando a variância desses atributos randômicos.

Tabela 1- métodos de geração de *choice sets*. Adaptado de Fiorenzo-Catalano (2007)

Em geral, esse tipo de método de *path search* tem como vantagens o uso de *softwares* de rede comuns (ArcGIS, por exemplo), custo razoável de processamento e associações relativamente diretas com o comportamento dos indivíduos modelados.

Dentro das técnicas determinísticas de *path search*, *k-shortest paths* e *Labeling* são as relativamente mais simples e comumente aplicáveis a modos não motorizados (BROACH et al., 2012).

A abordagem dos *k shortest paths* procura os exatos  $k$  caminhos de menor custo de acordo com algum critério. Porém, o método exato proposto por De La Barra (1993) raramente é utilizado, pois tende a gerar variações muito pequenas de caminho mínimo. Geralmente o problema é resolvido com duas extensões

do método: a eliminação de *links* (*link elimination*) ou a penalização de *links* (*link penalty*), sendo esta última a usualmente preferida, pois mantém a continuidade da rede (DE LA BARRA et al., 1993).

Neste caso, um algoritmo realiza busca repetidas por caminhos entre o par O-D, usando geralmente a distância simples como custo e, depois de gerada cada rota, penaliza os *links* já utilizados de acordo com algum parâmetro de incremento de custo definido pelo analista. Cada *link* pertencente ao caminho gerado na iteração anterior tem seu custo multiplicado por um fator maior que um. Um problema do método é exatamente o fato de que essa penalidade incremental precisa ser baseada em algum fundamento ou parâmetro consistente.

Para encerrar as buscas, De la Barra propõe que o “ponto de parada” seja baseado no tamanho do *choice set* - número de rotas. Isso pode levar a outro risco de enviesamento do método, pois nenhum fundamento racional foi proposto para justificar porque o *K-ésimo* caminho deva ser atrativo e único o suficiente para o viajante o considerar como uma opção razoável (DE LA BARRA et al., 1993).

Uma opção metodológica pode ser encerrar as iterações não quando o número de caminhos mínimos gerados atingirem um determinado valor *k*, mas sim quando o caminho simulado atingir um custo total (geralmente a distancia real) igual a um **parâmetro limitador** definido pelo analista a partir de referências da realidade. Este é a abordagem do método *Essentially Least-cost paths*, que se mostra bem atraente para aplicações com pedestres. A literatura tem reportado que viajantes a pé não costumam se afastar mais do que 20% em média da distância mínima (PAPADIMITRIOU et al., 2009; SCHLOSSBERG et al., 2008; ZACHARIAS, 2001).

Um particularidade do método exato de De la Barra é que ele exige uma diferença de no mínimo 4% no custo total entre cada caminho gerado (CASCETTA et al., 1996). Ou seja, se a penalização com o fator multiplicador de custo não produzir um novo caminho mínimo com este percentual de diferença em relação ao anterior, ele não é levado em conta e uma nova iteração é realizada com o próximo “passo” do fator. Portanto, ao introduzir um critério de diferenciação/variação de atributos entre as rotas alternativas, o método deriva para outro, o *k-dissimilar paths*, enfatizando um importante aspecto que parece aplicar-se bem ao problema das rotas de pedestres: a distintividade entre rotas.

A outra principal abordagem são as chamadas “*Labeled Routes*” (“rotas rotuladas ou *Labeling*) que é uma técnica de *path search* determinística que tenta lidar com algumas das deficiências comportamentais dos *k Shortest Paths*. Ao invés de múltiplas iterações usando um único critério de custo, no *labeling* é o próprio critério que muda. O número de alternativas geradas é igual ao número de critérios ou *labels* (“rótulos”), onde cada caminho rotulado otimiza um critério. Os *labels* são baseados nos atributos da rede que se acredita importantes para os viajantes, incluindo a distância, tempo, hierarquia viária e o cenário (“atratividade visual”) (GUO; LOO, 2013).

O raciocínio comportamental é atraente, bem ancorado na ideia de que a formação preliminar do *choice set* é um processo de escolha não compensatório: ao serem confrontados com um grande número de rotas possíveis e um custoso processamento de informação, os viajantes inicialmente varrem as rotas ao longo de uma única dimensão, formando um conjunto com as melhores alternativas candidatas (a mais curta, a mais rápida, a mais direta, etc.). Só então eles fazem as comparações detalhadas entre componentes deste grupo mais manejável - o *consideration set*.

Alguns problemas existem aqui: primeiro, a rota ótima para um determinado critério (rótulo) pode envolver um desvio irreal. Um segundo problema é o número relativamente pequeno de alternativas geradas. A limitação de dados e do conhecimento dos gostos dos viajantes restringe o número de *labels*. Aplicações existentes especificaram de 4 a 16 funções-*labels* (RAMMING, 2001); entretanto, em muitos casos os *labels* geram rotas idênticas ou muito similares entre si. Para algumas rotas, nenhuma alternativa é gerada.

Rotas alternativas geradas por diferentes métodos podem e são combinadas em estudos para gerar um *choice set* de mais qualidade. Bekhor et al. (2006) combinaram *labeled routes* com caminhos mínimos simulados. Bekhor e Prato fundiram *labeled routes*, *link elimination*, *link penalty* e caminhos mínimos simulados (BEKHOR; PRATO, 2009). A melhor cobertura e variedade dos conjuntos combinados, no entanto, podem ser prejudicados pelos obscuros fundamentos teóricos utilizados nessas misturas.

Para aplicações com modos não motorizados, poucos estudos são encontrados explicitando seus métodos e/ou propondo combinações ou variações destes. Broach e Dill (2010, 2012) têm se notabilizado pela introdução de um método chamado de *Labeling* “calibrado” para escolha de rota por ciclistas. Neste modelo, o pressuposto é que os viajantes escolhem um caminho de distância ou tempo mínimo como âncora e saem procurando para além dele a fim de descobrir caminhos com alguma vantagem em relação a este, que tem sua óbvia atratividade. As vantagens podem ser capturadas por atributos específicos da rede tais como ciclovias, declividade, volume de tráfego, semáforos e assim por diante. Assume-se que a busca do viajante (utilizando conhecimento prévio, mapas, exploração ou qualquer outra forma) vai além do caminho mínimo, e as rotas candidatas vão requerer vantagem crescente em algum aspecto para serem consideradas relevantes. Em algum momento, o viajante alcança um limite no qual até mesmo uma diferença máxima de algum outro atributo não pode mais superar a distância ou tempo adicionado e ele para de procurar.

O ponto de parada provavelmente varia por pessoa e situação e, portanto, faz sentido pensar nele não como uma constante, mas como uma distribuição de valores. Um candidato óbvio para essa distribuição é a distribuição de desvios do caminho mínimo observados. Certamente, parece que um caminho com desvios observados normalmente distribuídos é mais provável de ser considerado do que outro com desvio tão grande que seja raro ou nunca observado. Esse pressuposto, que é provavelmente o mais forte desse método, diz que *a distribuição esperada dos desvios do caminho mínimo nos choice set está diretamente relacionada com a distribuição dos desvios do caminho mínimo nas rotas observadas* (BROACH et al., 2010). Na verdade,

parece mais certo que a variância nos desvios nos *choice set* seja algo maior do que a variância nas rotas escolhidas, mas a presunção de que elas são idênticas não parece estar muito errada.

O conjunto resultante deste processo inclui o caminho mínimo mais todos os outros caminhos que se “distinguem” em algum aspecto à medida que a busca prossegue. As rotas coletadas representam um conjunto de misturas ótimas entre tempo/distância e atributos singulares que caem dentro de alguma restrição de desvio (BROACH et al., 2010, 2012)

Uma segunda abordagem para modos não motorizados - especificamente para pedestres - é introduzida por Guo e Loo, propondo também uma combinação de *labels*, porém de forma mais simples e direta. Considerando cinco critérios básicos extraídos de análises preliminares - distância, fachadas comerciais, presença de parques, largura das calçadas e tráfego de veículos - os autores criaram um conjunto de 15 *labels*, cinco puros mais 10 combinações dois-a-dois construídas como funções de custo utilizando pesos. Segundo os autores, esses pesos foram buscados em estudos anteriores que produziram estimativas estatísticas da importância desses atributos. (GUO; LOO, 2013).

Independentemente do método, é preciso avaliar a qualidade do conjunto gerado (e, de forma acessória, a efetividade do processo). A replicação das rotas observadas é de longe a medida mais comum de medida de performance da geração do conjunto de alternativas. Ramming (2001) diz que a capacidade de gerar a rota observada/realizada deve ser o objetivo principal (“*Coverage as an Objective*”) de um processo de geração de *choice sets* para veículos. Ele afirma que o *overlap* - recobrimento - pode ser medido em termos do percentual da distância da rota observada que foi coberta/sobreposta pela rota gerada. Para isso basta dividir as duas distâncias e, se o *overlap* for 100%, o método de geração é totalmente consistente com o comportamento do viajante e se diz que a rota foi replicada.

Porém, essa medida categórica de replicação não precisa ser a única, dada sua rigidez e a provável semi-replicação de muitas alternativas em função do tamanho da rota e da complexidade da rede. Assim, a exigência de replicação pode ser relativizada utilizando-se limiares de recobrimento entre 70 a 100% e tratando os resultados em termos da percentagem das rotas observadas que foram cobertas pelas rotas geradas, em cada limiar. Derivando essas medidas, o autor apresenta outra, a de quantas rotas diferentes precisaram ser geradas até que a rota realizada fosse 100% recoberta (ou replicada) (RAMMING, 2001).

Reproduzir as rotas observadas é uma condição importante para avaliar o conjunto de alternativas consideráveis (*consideration set*), mas não é suficiente, nem talvez necessária, dado que a inclusão manual da rota realizada é aceita pelos diversos autores que tratam do tema. Mais importante talvez seja a composição do conjunto e o seu tamanho. Um conjunto parcimonioso é sempre desejável, tendo em vista o pressuposto comportamental de que os indivíduos procuram reduzir o conjunto universal a uma quantidade manejável e possível de ser tratada por um modelo mental de escolha compensatória. No entanto, menor não é necessariamente melhor, pois, um conjunto consistindo da rota observada mais uma alternativa, por

exemplo, vai maximizar o recobrimento e minimizar o tamanho do conjunto, mas ele talvez não inclua a variação de atributos requerida para estimar um bom modelo. Portanto, suficiente variação de atributos, preferencialmente sem viés, é outra qualidade importante.

Finalmente, as rotas geradas devem ser razoáveis. Uma definição tautológica de razoabilidade é a de que “rotas suficientemente improváveis” devem ser excluídas do conjunto. Por exemplo, rotas inferiores a todas as outras em todos os atributos ou rotas na ponta da cauda da distribuição de algum atributo específico podem ser consideradas não razoáveis (BROACH et al., 2012). Neste sentido, Bekhor e Prato generalizam a medida de recobrimento propondo um Índice de Eficiência. Este leva em consideração o número de rotas geradas para além do número de rotas “relevantes”, penalizando os algoritmos de busca ineficientes. Porém, os autores não deixam claro qual é o número de rotas relevantes nem mesmo o que seria uma rota “relevante” ou razoável (BEKHOR; PRATO, 2009).

Obviamente, a mais simples definição de rota razoável ou relevante é, como visto no método de Broach e Dill, aquela que não supera um limiar de desvio em relação à distância do caminho mais curto. Os autores utilizam o parâmetro de 2,0 para definir as rotas fora da razoabilidade, ou irrealis, em viagens de bicicleta, e encontraram que 80% das rotas não escolhidas estão a 30% para mais ou para menos da distância da rota escolhida. (BROACH et al., 2012).

Guo e Loo (2013) detalham em seu trabalho de modelagem de rotas de pedestres a etapa de análise da qualidade dos *choice sets* gerados utilizando duas medidas, adaptadas de trabalhos anteriores:

- **Eficiência:** ou a quantidade de rotas (totais) geradas para cada rota realizada gerada. Isso indica quantas rotas alternativas precisam ser geradas para capturar uma rota realizada/escolhida.
- **Efetividade:** a quantidade de rotas realizadas que são geradas. Isso indica o quão bem o método de geração replica as escolhas (GUO; WILSON, 2011).

Seus resultados atingiram 3,2 para eficiência e 60% para efetividade, o que foi considerado bastante bom pelos autores considerando pesquisas anteriores. Ainda, a média dos desvios do caminho mínimo foi de 1,21. (GUO; LOO, 2013)

Outros critérios possíveis de avaliação da qualidade do conjunto gerado incluem custo computacional, performance da estimação do modelo e precisão preditiva.

Custo computacional tem muita importância na prática, mas comparações são difíceis. Em geral, modeladores vão gastar muito mais tempo otimizando suas rotinas-fim do que criando procedimentos de comparação de desempenho. Também algoritmos diferentes vão escalar diferentemente em função da crescente densidade da rede e tamanho da amostra, e alguns vão exigir um significativo pós-processamento. De qualquer modo, é válido registrar e relatar os tempos de processamento dos programas para, ao menos, prover um valor de referência.

A performance na estimação dos modelos deveria ser, em tese, a meta primordial, mas deve-se ter cuidado com o uso das estatísticas de ajuste dos modelos para aferir a qualidade do conjunto gerado. É possível demonstrar que, se uma alternativa não escolhida tiver de ser adicionada, será melhor para o aprimoramento da estatística de ajuste que esta seja uma rota “inferior” do que uma mais razoável. Ainda mais, adicionar alternativas inferiores pode tornar variáveis sem sentido estatisticamente significativas, mas isso não deve ser confundido com um bom conjunto de escolha. Rotas espúrias que não foram plenamente consideradas apenas trazem ruído à estimação, e a meta é reproduzir o conjunto de escolha de forma mais precisa possível com a informação disponível. Isso significa que a razoabilidade da estimação dos parâmetros em termos de sinal e magnitude relativa pode funcionar como uma base de avaliação, trazendo informação valiosa sobre a qualidade do *choice set* (BROACH et al., 2010).

A precisão na previsão (predição) também tem sido usada como uma medida de qualidade do *choice set*. A habilidade de predição depende fortemente – e inversamente – do tamanho do *choice set*. Se predição é a meta, ela então deve ser considerada, mas se a sensibilidade dos atributos é mais importante, então a capacidade preditiva pode não ser um indicador apropriado (BEKHOR et al., 2006; RAMMING, 2001).

#### 2.4.4.2. O problema da correlação entre alternativas

O critério da distintividade das rotas tratado acima leva à constatação da existência de um problema bastante sério com relação ao tipo de modelo discreto a ser utilizado na estimação de escolha de rotas. *Choice sets* podem trazer alternativas muito semelhantes, com alto grau de sobreposição espacial (*overlap*). A presença de *links* comuns entre rotas faz com que as suas utilidades sejam correlacionadas, o que coloca em cheque o uso de modelos Logit Multinomiais simples (MNL), os mais utilizados e acessíveis dos modelos da família logit, que assumem que os erros das alternativas possuem distribuições idênticas e independentes.

Para lidar com esse problema, diversos modelos que representam generalizações da estrutura do MNL foram desenvolvidos, basicamente utilizando duas abordagens: i) correção determinística da utilidade dos caminhos, como o *C-Logit* (CASCETTA et al., 1996) que introduz um termo de ajuste chamado “*commonality factor*” às utilidades das rotas baseado na quantidade de sobreposição e o *Path-Size Logit* – *PSL* – (BENAKIVA; BIERLAIRE, 1999), que também introduz termo de correção que representa a relação de tamanho entre as rotas e ii) modelagem explícita da correlação através de suposições sobre os termos de erro, com as generalizações do Logit Hierárquico – *GNL* – *Generalized Nested Logit* - e os Logit Mistos (*ML*) do tipo *MLEC* - *Error Component model*. (BENAKIVA; BIERLAIRE, 1999).

A primeira abordagem é mais simples, fácil de manejar e geralmente utilizada na prática. O Fator de Comunalidade -  $CF_{in}$  - do modelo *C-Logit* indica o percentual de comprimento da rota  $i$  que é compartilhado com as outras rotas, através da comparação do comprimento total de  $i$  com o comprimento dos *links* compartilhados. No *PSL* o comprimento de cada rota é corrigido pelo chamado fator *Path Size* -  $PS_{in}$  - que

indica de forma mais elaborada o quanto cada rota compartilha *links* “relevantes”, ou seja arcos cujo comprimento responde por percentuais grandes das rotas. Apenas uma rota completamente distinta - sem nenhum *overlap* com as demais - pode receber o máximo valor de *PS*, igual a um, enquanto rotas que compartilham diversos links de comprimento proporcionalmente grande com muitas outras rotas recebem valores tendendo a zero. Este fator é acrescentado à função de utilidade da seguinte forma (BENAKIVA; BIERLAIRE, 1999):

$$U_{in} = V_{in} + \ln PS_{in} + \varepsilon_{in}, \quad i \in C_n \quad (11)$$

Onde  $\ln PS_{in}$  é o logaritmo natural do fator *PS*, para toda rota *i* pertencente ao *choice set* de *n*.

O logaritmo é aplicado para inverter e normalizar os valores, fazendo com que valores positivos grandes - que representam rotas mais distintas - sejam convertidos em penalizações menores.

*PS* é calculado com base no comprimento dos links da rota *i* e no comprimento das rotas que compartilham *links* com *i*, com a seguinte formulação original:

$$PS_{in} = \sum_{a \in \Gamma_i} \frac{l_a}{L_i} * \frac{1}{\sum_{j \in C_n} \delta_{aj}} \quad (12)$$

Onde:

$\Gamma_i$  é o conjunto de todos os *links* da rota *i*;

$l_a$  é o comprimento do *link* *a*;

$L_i$  é o comprimento da rota *i*

$\delta_{aj}$  é igual a 1 se o *link* *a* está na rota *j* e é zero do contrário e, portanto:

$\sum_{j \in C_n} \delta_{aj}$  é o número de rotas no *choice set*  $C_n$  compartilhando o *link* *a*.

Tanto o *C-Logit* como o *PSL* requerem, portanto, um cálculo bastante preciso da comunalidade a fim de adicionar o termo de correção à função de utilidade e dar conta da distância compartilhada pelas alternativas. Isso pode ser feito através de uma matriz que identifica e armazena o comprimento de cada *link*, e calcula quais deles e qual proporção da distância total da rota é compartilhada com todas e cada uma das outras rotas.

A correção determinística é viável e prática, mas não captura total e perfeitamente a estrutura de correlações. Já a modelagem explícita é mais consistente com os objetivos da modelagem, mas implica em grande dificuldade de especificação e requerendo simulação para a estimação por máxima verossimilhança. (FREJINGER; BIERLAIRE, 2007).

Uma abordagem bastante simples para evitar os problemas de correlação entre alternativas que também é encontrada em análises com rotas que se sobrepõem é utilizar apenas os atributos (ou diferenças de atributos) dos trechos “independentes” das rotas, ao menos em estudos de escolha binária - rota realizada vs caminho mínimo. Ou seja, são computados os atributos do ambiente apenas dos trechos em que a rota realizada não se sobrepõe ao caminho mínimo (HARRISON et al., 2014; LEE et al., 2010).

### 3. MÉTODO DO ESTUDO

#### 3.1. Hipóteses / pressupostos

A proposta geral é modelar escolha de rotas por pedestres assumindo que as características do ambiente construído têm um importante peso enquanto atributo de decisão. A possibilidade de ser exposto a diferentes tipos de edifícios, conjuntos edificados, espaços abertos e usos do solo parece ser capaz de impactar diferentemente a ponderação dos custos de viagem e, conseqüentemente, influenciar na decisão de “por onde ir”? Diferentes elementos da forma urbana podem produzir diferente avaliação de utilidade/desutilidade pelos tomadores de decisão e, portanto, podem ser pensados como variáveis significativas em um contexto de modelagem de escolha.

Esses elementos serão aqueles definidos na seção 2.2.1 - Forma Urbana.

É plausível assumir que a seleção de um caminho para realizar uma viagem a pé entre uma origem e um destino conhecidos é um problema relativamente simples de escolha da “melhor” opção entre as alternativas disponíveis. Portanto, é uma decisão que pode certamente ser modelada, mesmo que o pressuposto de que essa escolha é um processo decisório racional sujeito a regras de maximização de utilidade possa ser questionado.

Ainda, está pressuposto aqui que a escolha das rotas é predeterminada no início de cada viagem e não admitem a possibilidade de modificação ao longo da viagem. Isso certamente é uma limitação, conforme apontado na seção 1.3. Na literatura existem abordagens que dão conta disso modelando as rotas como conjuntos de “partes” definidas pelos nós onde se dá a alteração de caminho (FOLTETE; PIOMBINI, 2010; FREJINGER; BIERLAIRE, 2007) e/ou incorporando termos que indicam a probabilidade de “escapar” da rota predeterminada em cada nó. (SEVTSUK; MEKONNEN, 2012).

#### 3.2. Método

Para acessar o comportamento pedestre relativo à escolha de rota e suas relações com a forma urbana, estimando o valor desta para as decisões dos indivíduos, este trabalho propõe um estudo de caso baseado em um experimento natural de acompanhamento da trajetória de viagens a pé realizadas por indivíduos na cidade de Porto Alegre.

Esta proposta é uma alternativa aos métodos tradicionais dos estudos comportamentais baseados em Preferência Declarada ou outras técnicas de valoração do mesmo tipo (entrevistas, *choice experiments*, *ratings*, *rankings*, etc.). Optou-se por uma abordagem baseada no conceito de Preferência Revelada, ou seja, dependente da observação direta do comportamento real - as rotas efetivamente utilizadas pelos indivíduos para realizar as viagens a pé.

O exercício, entretanto, precisa expandir este método, pois, ao contrário de uma pesquisa de escolha modal, por exemplo, onde as alternativas disponíveis para o usuário de transporte são explícitas, a mera observação das caminhadas não permite inferir o conjunto de escolha para modelagem.

Portanto, o estudo vai compreender etapas analíticas e etapas simulatórias. As primeiras basicamente coletam, descrevem e interpretam dados das viagens, dos indivíduos e da cidade a fim de extrair informação relevante da realidade. As etapas de simulação tentam antecipar e construir informação não disponível, baseadas em padrões de comportamento e outros parâmetros derivados das rodadas analíticas, de estudos prévios e de referências da literatura.

Em resumo, o método baseia-se em:

- i. Registro das trajetórias de viagens a pé;
- ii. Construção de conjuntos de rotas alternativas à rota utilizada;
- iii. Cômputo dos atributos das rotas e do ambiente e, finalmente;
- iv. Estimação da importância desses atributos para a decisão dos pedestres, utilizando modelos de escolha discreta.

Um diagrama com a síntese deste método está na Figura 1

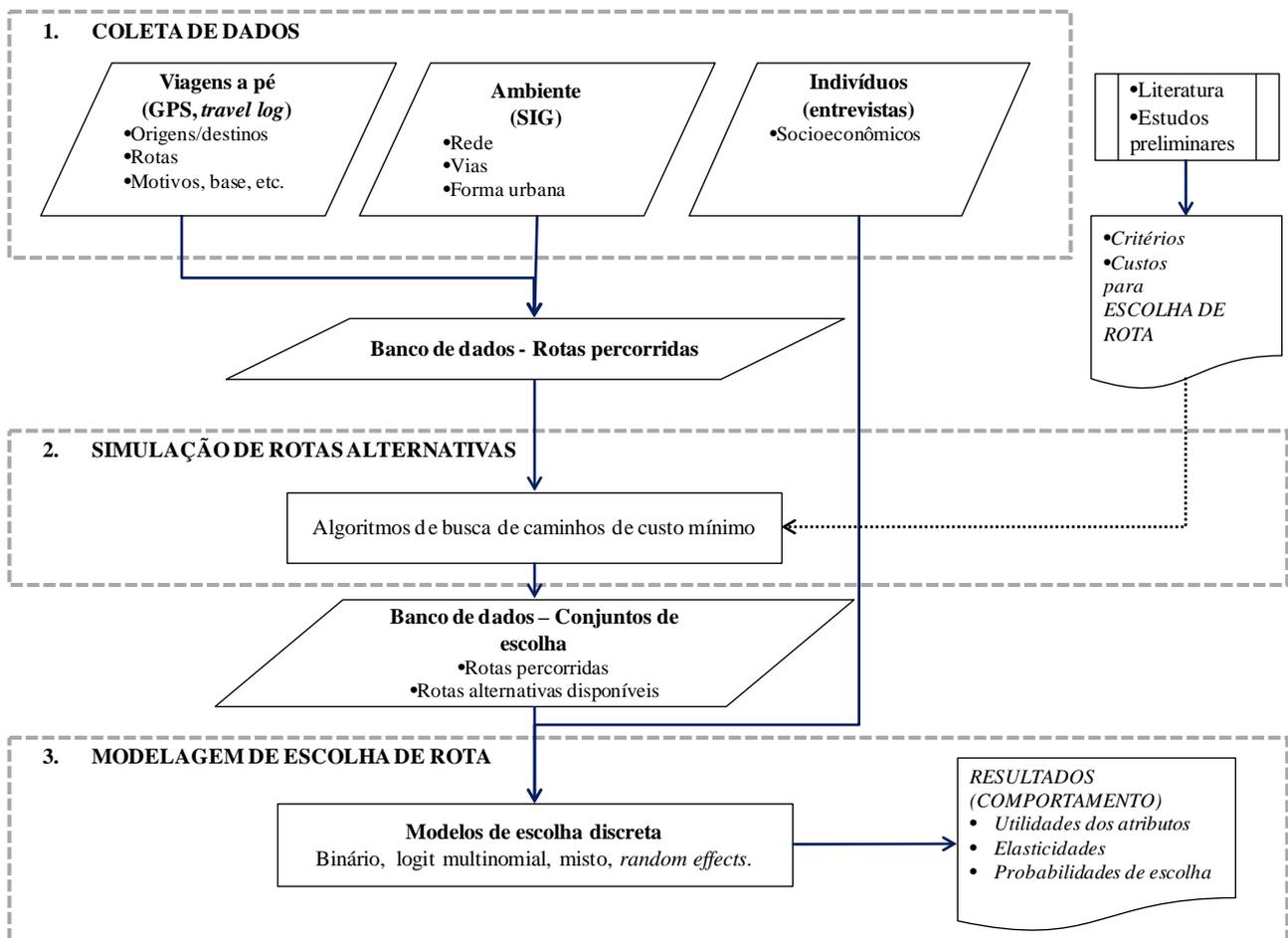


Figura 1 - esquema do método do estudo aplicado

Após a etapa de coleta e sistematização de dados, a proposta é dividir o estudo em duas fases: i) a construção do conjunto de alternativas ao caminho utilizado e ii) a modelagem de escolha dentro desse conjunto.

Para a primeira fase pressupõe-se que há uma seleção simples baseada em esforço - custos objetivos de viagem - e se emulam os modelos de decisão não compensatórios, especialmente o Lexicográfico e o de Eliminação por Aspectos para gerar as alternativas viáveis a partir de um conjunto universal de rotas potencialmente infinito. Com as regras lexicográficas, os “melhores” atributos são utilizados como critério principal - distância ou tempo de viagem, por exemplo - e o caminhante busca a alternativa com maior nível destes: distância mínima. Outros custos de viagem tais como a quantidade de travessias e a declividade também são utilizados como critério-base, e o viajante também inclui as alternativas com melhor nível destes atributos em seu conjunto preliminar de escolha.

A eliminação por aspectos aplica-se quando o viajante percebe um “*badspot*” em algum trecho ou trechos da rota: um elemento do sistema onde o ambiente impõe um custo excessivo, configurando uma barreira, um impedimento como, por exemplo, uma declividade superior a algum limiar tolerável para caminhar.

Para operacionalizar esta fase, propõe-se o uso de algoritmos de busca por caminho mínimo em grafos, atribuindo custos de viagem aos arcos e nós a partir das características da rede, do sistema viário e do tráfego.

Para a segunda fase, o pressuposto é de uma escolha mais detalhada que contempla os atributos da forma e custos menos objetivos na segunda. Portanto, é possível utilizar-se das teorias microeconômicas e dos conceitos de utilidade aleatória e maximização de utilidade do consumidor bem como modelos de escolha discreta. A ideia é estimar as probabilidades de escolha das rotas e as importâncias dos atributos do *BE*, em uma abordagem compensatória explícita de maximização de utilidade, tratada com modelos discretos.

Uma eventual limitação dessa proposta é que, ao contrário da quase totalidade dos estudos referenciados, as duas etapas distintas - geração do *choice set* e modelagem de escolha com alternativas explicitamente enumeradas - não vão utilizar exatamente os mesmos atributos. Em pesquisas com veículos os custos utilizados para gerar rotas alternativas são geralmente convencionados: distância, tempo, hierarquia viária, pedágios, semáforos, etc., e eles são os mesmos utilizados na posterior estimação dos modelos. (BOVY, 2009; PAPINSKI et al., 2009; PRATO, 2009; RAMMING, 2001). O *rationale* é atraente: primeiro o motorista seleciona um conjunto de rotas aceitáveis, eliminando umas e aceitando outras e depois escolhe mais detalhadamente qual delas vai usar, ponderando exatamente os mesmos critérios em ambas as “rodadas” decisórias.

Os poucos estudos para modos não motorizados existentes acrescentam características do ambiente construído aos tradicionais atributos de distância, etc. para a geração dos *choice sets*, e depois utilizam exatamente os mesmos atributos na estimação dos modelos. (BROACH et al., 2010, 2012; GUO, 2009; GUO; LOO, 2013).

No presente caso, os atributos da forma urbana a serem utilizadas na etapa de estimação assumem um caráter secundário por definição: se eles não participam da etapa de geração (na forma de *labels* e/ou barreiras) está-se pressupondo que sua presença, ausência, tipo ou quantidade não é critério prioritário.

### **3.2.1.Registro de viagens a pé**

Esta etapa do estudo divide-se basicamente em três procedimentos: i) monitoramento das viagens com GPS e geração dos dados brutos, ii) modelagem de uma rede de suporte e *mapmatching* e iii) cômputo dos atributos.

#### *3.2.1.1. GPS*

Para realizar o registro de deslocamentos para fins de modelagem, os tradicionais diários de viagem - *travel logs* - são geralmente utilizados como o instrumento principal de coleta de dados, especialmente em estudos de demanda. Porém, ao contrário destes e das pesquisas domiciliares, os registros de rota devem ser

bastante detalhados, exigindo o mapeamento preciso do trajeto realizado em cada viagem, ou seja, o *travel log* deveria registrar por onde o indivíduo passou. Isso torna a opção inadequada, devido à necessidade de reproduzir fielmente as rotas no espaço.

Sistemas de Posicionamento Global - GPS - é uma tecnologia moderna que vem sendo crescentemente utilizada para diversos tipos de estudos de comportamento, envolvendo o monitoramento de deslocamentos e de realização de atividades de quaisquer quantidades de veículos e indivíduos. Esses dispositivos recebem e triangulam sinais de satélite e podem determinar a posição do receptor em termos de coordenadas na superfície de terrestre. Também armazenam dados de tempo, podendo produzir informações sobre horários, duração e velocidade de deslocamentos. (CHAIX et al., 2013; HURVITZ; MOUDON, ANNE VERNEZ; et al., 2014; PAPINSKI et al., 2009)

De qualquer maneira, os dois métodos podem ser utilizados de forma complementar e o *travel log* pode servir não só para coletar as informações relativas à viagem (origem, destino, motivo, modo), bem como levantar os dados pessoais (demográficos, socioeconômicos, atitudinais, perceptuais) dos indivíduos e, ainda, fazer comparações e checar a precisão dos registros dos GPS. Estudo recente do LASTRAN analisou como a precisão de registro de ambos os métodos influencia na estimação de modelos de escolha modal (RIBEIRO et al., 2014).

Os dispositivos GPS estão cada vez mais acessíveis e a coleta de dados é relativamente simples. No entanto, o processamento dos dados exige significativos recursos computacionais e tempo, pois o que é registrado automaticamente pelo receptor não é diretamente aproveitável e, muitas vezes, completamente confiável. Eles sofrem de uma série de problemas técnicos - irregularidade do sinal, trechos sem sinal por bloqueio da “visualização” do satélite, distribuição irregular de satélites e erros mais específicos como o chamado *DOP - Dilution of Precision* - que é o efeito da geometria do satélite sobre a precisão da medida de localização. (HOWARD et al., 2014). Portanto, é sempre necessário o pós-processamento dos dados para um bom aproveitamento em representações e modelos.

Os arquivos brutos produzidos nos dispositivos são descarregados na forma de tabelas onde cada entrada é um ponto com coordenadas espaciais e horários - "*time stamps*". Esses pontos podem ser visualizados em *softwares* específicos e necessitam passar por um tratamento para que sejam encadeados e relacionados a diferentes *bouts* - eventos finitos no tempo e no espaço. Destes, apenas os que correspondem a viagens - deslocamentos entre diferentes localizações separadas pela rede de circulação da cidade - devem ser filtrados para um novo banco de dados, eliminando concentrações de pontos que corespondem a períodos onde o indivíduo permaneceu “parado” em uma determinada localização (HURVITZ; MOUDON, ANNE V.; et al., 2014).

Existem métodos automatizados para todas essas etapas: descarregar, armazenar e organizar os dados crus do GPS e, após checá-los com os *travel logs*, selecionar apenas aqueles pertencentes a viagens - "*trip*

*bouts*". (HOWARD et al., 2014). O presente estudo, pioneiro em nosso contexto, não dispôs ainda deste tipo de tecnologia e recursos operacionais, realizando as etapas de forma manual ou semi automática, com uma metodologia desenvolvida no LASTRAN durante os anos de 2011 a 2014. O analista inspeciona visualmente os pontos no espaço - interface *Google Earth* - e utilizando o *software GPS Track Maker* para filtrar os dados a partir de parâmetros de velocidade, distância e tempo, gera as trilhas que representam as viagens realizadas. Além disso, o analista confere os dados de origem, destino e horários de início e fim de cada viagem relatada nos *travel logs* para validar os registros e gerar as tabelas definitivas do banco de dados espacial.

### 3.2.1.2. Modelagem da rede e Map matching

A seguir, os conjuntos de pontos já encadeados em linhas representando trilhas - devem ser ajustados a alguma representação do sistema viário da cidade em estudo, geralmente em ambiente SIG. A sinuosidade das trilhas e a dispersão dos pontos em relação ao eixo das vias - maior ainda no caso das caminhadas do que nos modos motorizados - permitem apenas a visualização e a extração de medidas aproximadas de tempo e distância. Porém, para um estudo completo de comportamento que pretende representar a movimentação de pedestres através do sistema viário, a adesão dos pontos de origem e destino e das linhas que representam as trilhas a uma rede "de suporte" precisa ser feita. Este processo é conhecido como *mapmatching*, que, segundo Howard (2014) é o processo de selecionar os links da rede de transporte pelos quais a viagem mais provavelmente ocorreu. (HOWARD et al., 2014).

Como suporte, é preciso algum modelo vetorial da rede de movimentação da cidade, construída como um grafo composto por nós e arcos e caracterizada em sua conectividade topológica e geometria. No caso de redes representadas através de mapas, diz-se que são grafos planares, pois sua geometria está diretamente expressa na representação e as distâncias métricas são, portanto, componente fundamental. Um nó é um ponto da rede onde o caminhante pode tomar uma decisão sobre que direção tomar, geralmente uma intersecção ou esquina. Um arco (*link*) de uma rede/grafos é uma ligação entre nós, uma conexão de tráfego que pode ser percorrida, no caso de pedestres, geralmente em ambas as direções. (CHARTRAND, 1985)

Neste estudo, a rede de suporte utilizada é o mapa do sistema viário da cidade de Porto Alegre obtido da plataforma livre *OSM - Open Street Maps* - um projeto da Fundação *OpenStreetMap Foundation* (OSMF), cujo capital provém da associação de novos membros, de doações, e de patrocínios. O mapa é disponibilizado sob a licença *Open Database License* (ODbL), que permite o uso dos dados para fins acadêmicos e comerciais desde que haja referência ao projeto. ("Open Street Map")

Ele é um grafo planar simplificado onde cada trecho viário corresponde a um arco, sem a duplicidade que poderia se esperar para representar as calçadas de ambos os lados. Os nós podem ser intersecções, cruzamentos e pontos de inflexão dos arcos, desde que a angulação seja maior do que 36 graus, configurando uma mudança significativa de direção (FIGUEIREDO; AMORIM, 2004). Também existem nós entre arcos quando da alteração do tipo de via - mudança de nome e/ou hierarquia - mesmo que sem angulação. Nós



da cidade estão ali espacialmente definidos, possuindo rótulos (*tags*) associados que descrevem seus atributos tais como o nome, tipo, classe, etc. e, portanto, são perfeitamente compatíveis com os SIG - Sistemas de Informação Geográfica.

A etapa de *map matching* requer que a rota seja reproduzida como uma *polyline* (“polilinha” contínua que agrega em um único objeto os diversos arcos que a compõem) perfeitamente aderente às *polylines* que representam as vias da rede de suporte. Diversas técnicas podem ser adotadas para isso, desde a mais simples que “desenha” manualmente as polilinhas que representam as rotas até processos totalmente automáticos como o algoritmo de Quddus baseado na comparação entre a distância, ângulo e topologia dos pontos e dos *links* da rede de suporte. (QUDDUS et al., 2003)

Neste trabalho é adotada uma técnica semi automática, que gera um “objeto rota” utilizando-se de pontos de ancoragem extraídos do GPS e das ferramentas de *routing* existentes nos *softwares* SIG. Uma camada do tipo “rota” em um SIG é basicamente uma cópia dos *links* e nós da rede subjacente. Ela contém informação sobre a origem, o destino e tudo o que ocorre ao longo de sua trajetória, pois se baseia num algoritmo de busca de caminho que conecta pontos utilizando as características da rede modelada: sua topologia, geometria, atributos dos elementos, regras e restrições de tráfego (LAW, 2013).

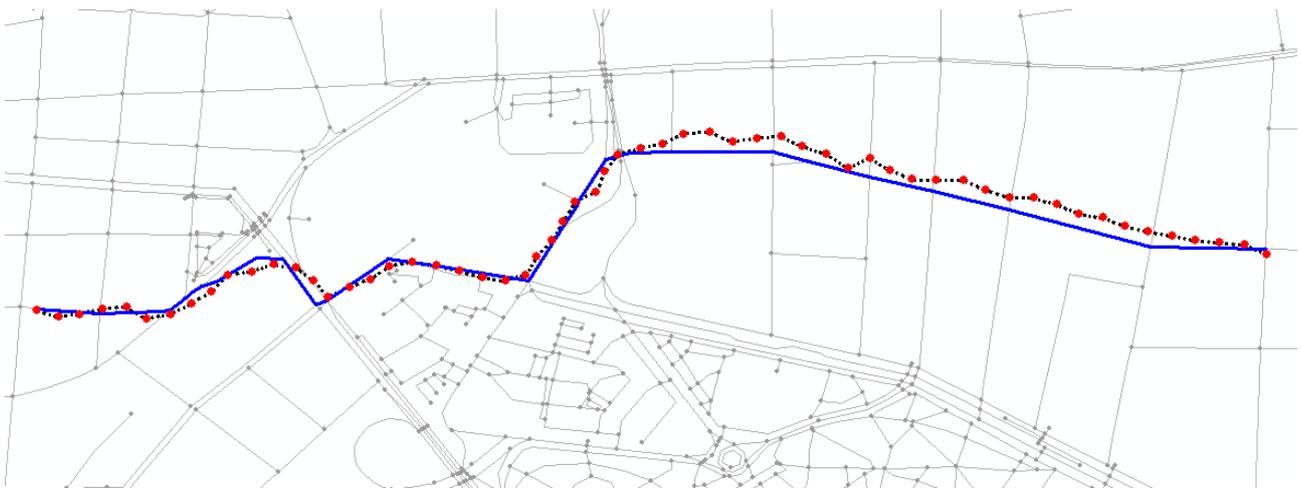


Figura 3 - pontos do GPS, trilha bruta e rota *map matched* sobre a rede OSM.

### 3.2.1.3. Cômputo de atributos espaciais

Gerada a trilha que representa a rota realizada, os atributos espaciais que compõe a cidade precisam ser capturados e quantificados, produzindo as variáveis a serem utilizadas nas duas etapas do método - simulação de rotas alternativas e modelagem de escolha. Para viabilizar a interpretação, explicitando a dimensão da estrutura urbana a que pertence cada variável, os atributos são organizados em três blocos:

- **Atributos geométricos e topológicos - Rede;**
- **Atributos do sistema viário e do tráfego - Vias;**

- **Atributos de uso, ocupação do solo e morfologia das edificações - Forma Urbana.**

A primeira dimensão compreende os atributos geométricos e topológicos da rede de circulação propriamente dita, automaticamente computados a partir da geração da trilha da rota realizada a partir dos pontos do GPS. Eles compõem o bloco de variáveis chamado “**rede**” e compreendem tanto as medidas relativas à rota como um todo, calculadas como somatórios das medidas dos *links* e nós utilizados - distância total, número de nós, número de *links*, número de mudanças de direção/conversões - como as medidas individuais dos elementos - comprimento dos *links* e conectividade dos nós. Uma medida de *straightness* - razão entre a distância real e a distância da linha de desejo (*airline*), um índice de “retidão” da rota que varia entre 0 e 1 - também é automaticamente calculada após a construção da linha reta que une os pontos O e D de cada viagem.

O segundo bloco de variáveis é chamado de “**vias**” e envolve as características do sistema viário e do tráfego. Ao utilizar nós e *links* da rede de suporte, o mecanismo de geração de rotas utilizado captura e computa os dados associados a eles. O arquivo *Open Street Maps* contém as seguintes características do sistema viário para cada trecho da base de Porto Alegre:

- Hierarquia viária;
- Velocidade máxima;
- Nome;
- Mão única?;
- Túnel?;
- Ponte?

Visando a criação de variáveis para a modelagem, esses dados necessitaram de algum processamento, especialmente a hierarquia, que foi comparada com a classificação constante do Anexo 9.3 do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Porto Alegre (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 1999). Esse ajuste produziu a seguinte tabela de atributos da hierarquia das vias:

<b>Tipo</b>	<b>Nível</b>	<b>n</b>	<b>Classe</b>
construction	0	83	-
cycleway	0	19	-
parking	0	2.698	-
proposed	0	54	-
unclassified	0	415	-
motorway	1	56	<i>arterial</i>
motorway_link	1	46	<i>arterial</i>
trunk	1	228	<i>arterial</i>
trunk_link	1	184	<i>arterial</i>
bus	2	162	<i>arterial</i>
primary	2	2.615	<i>arterial</i>
primary_link	2	478	<i>arterial</i>
secondary	3	3.973	<i>arterial</i>
secondary_link	3	246	<i>arterial</i>
tertiary	4	6.281	<i>local</i>
tertiary_link	4	44	<i>local</i>
residential	5	11.074	<i>local</i>
living_street	6	3.419	<i>local</i>
footway	7	2.122	<i>pedestre</i>
path	7	952	<i>pedestre</i>
pedestrian	7	93	<i>pedestre</i>
steps	7	157	<i>pedestre</i>
track	7	1.44	<i>pedestre</i>

Tabela 2 - hierarquia viária dos trechos da base OSM de Porto Alegre

A cada tipo corresponde um atributo numérico - nível - que aumenta à medida que a via se torna mais amigável ao pedestre. Agregando os tipos similares, foi criado um novo atributo chamado “Classe” o qual, para fins de modelagem, foi convertido em uma variável numérica discreta de três níveis:

- i. Classe “arterial” = 1;
- ii. Classe “local” = 2;
- iii. Classe “pedestre” = 3.

Cada rota teve calculado o número absoluto de trechos em cada classe, a proporção (%) que cada classe representa no total da rota e um valor de hierarquia média simples, não ponderada.

A base *Open Street Maps* disponibiliza mais algumas camadas com objetos pertinentes ao sistema de tráfego, especificamente a sinalização viária:

- Faixas de segurança;
- Semáforos;
- Placas de “Pare”.

Esses elementos foram computados de maneira semelhante: número absoluto ao longo da rota - contagem - e uma densidade normalizada que representa a quantidade a cada 100 metros lineares:  $(\text{contagem}/\text{distância}) * 100$ .

O terceiro bloco de atributos chamado “**forma urbana**” compreende as características de uso e ocupação do solo urbano e também da morfologia dos edifícios. Considerando os conceitos e pressupostos deste trabalho, os elementos extraídos da base *OSM* são os seguintes:

- Postos de abastecimento;
- Garagens, estacionamentos;
- Universidades;
- Hospitais;
- Praças, jardins, largos;
- *Playground* - praças com brinquedos;
- Parques;
- Shopping center,/centro comercial;
- Supermercado;
- Prédios Especiais - igrejas, escolas, prédios públicos, cívicos e etc.

Estes elementos foram validados por uma segunda fonte de dados: a restituição fotogramétrica do aerolevante da cidade feito pela Prefeitura Municipal de Porto Alegre, o chamado “mapa cadastral” digitalizado em formato vetorial CAD, georeferenciado e agregado à camada *Open Street Maps*.

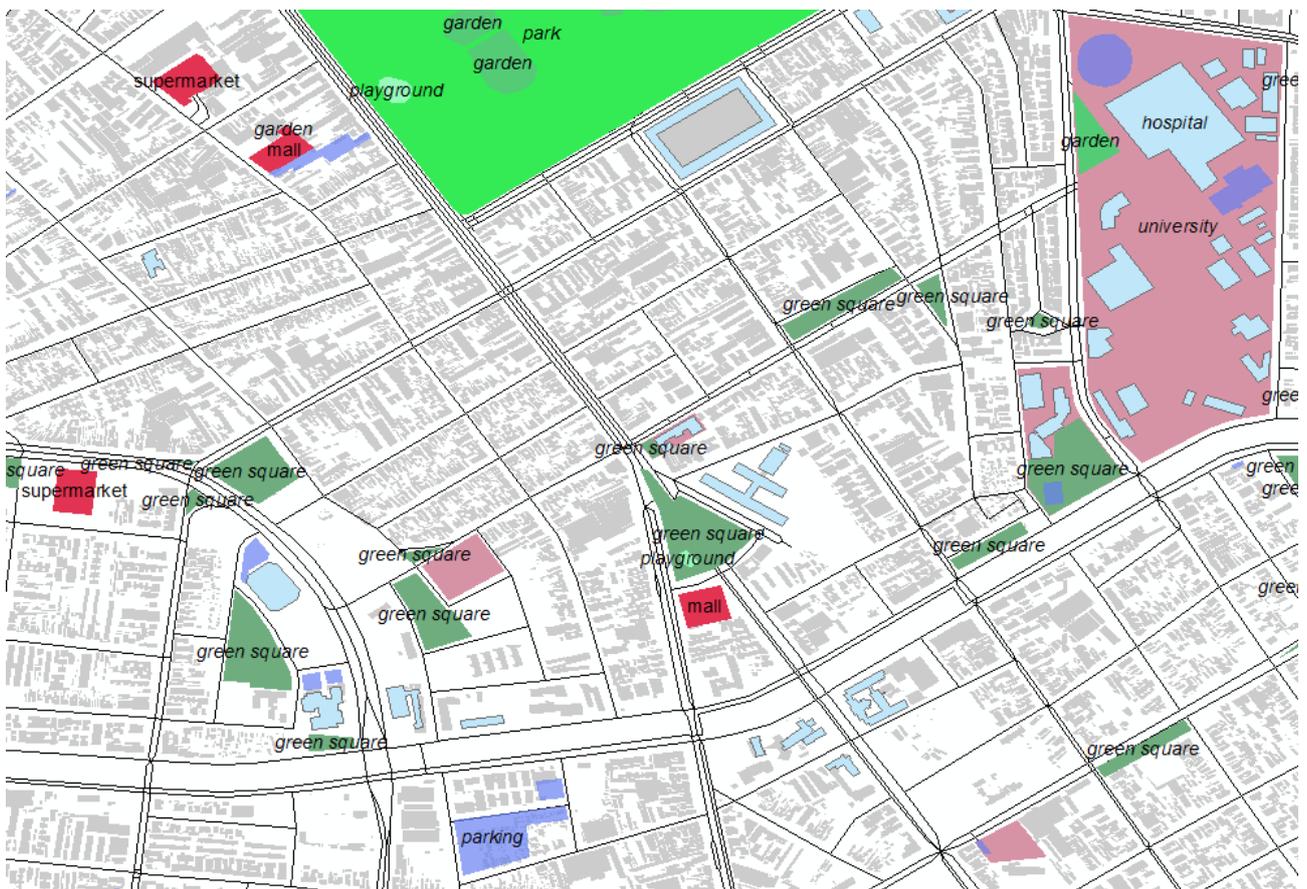


Figura 4 - vias e forma urbana de Porto Alegre representadas em SIG

Sua quantificação também produziu dois tipos de variáveis: o número absoluto ao longo da rota - contagem - e a densidade normalizada. Porém, dado seu caráter conforme conceituação da seção 2.4.4, uma variável *dummy* de “exposição” - existência ou não do atributo ao longo da rota - também foi incorporada ao banco de dados. Alguns elementos da forma urbana como praças, parques e o Campus da Universidade Federal são áreas que permitem a passagem de pedestres. Esta passagem foi caracterizada como “atalho”, na medida em que permite ao caminhante sair do sistema viário convencional e atravessá-las, normalmente para diminuir a distância a percorrer. Portanto, esses atalhos foram considerados através da incorporação de duas variáveis: uma numérica com a contagem simples (número absoluto) e outra binária para representar a utilização ou não de atalho(s) em cada rota.

Para quantificar a morfologia urbana de maneira a aferir a continuidade das edificações, conforme conceitualizada na seção 2.2.1, uma nova medida foi criada, além da quantidade total e da densidade de formas edificadas: a metragem de trecho por edifício. Ela é o recíproco da densidade, representando a distância média que cada edifício “controla” e expressando uma espécie de “cota” de comprimento da rota que cabe a cada forma construída.

O cadastro das edificações contido no mapa cadastral da Prefeitura de Porto Alegre é relativamente atualizado e tem uma boa de representação das edificações e dos quarteirões, permitindo acessar a

quantidade e a densidade de edificações com confiabilidade. No entanto, os vetores deste produto são de baixa qualidade para a estrutura fundiária (parcelamento e lotes), não conformando polígonos fechados nem associando as linhas de divisa topologicamente, o que inviabiliza a análise desta dimensão da forma urbana.

Um bloco extra de atributos foi criado para quantificar a **topografia do terreno** - declividades - utilizando a base de dados “Diagnóstico Ambiental do Município de Porto Alegre” da Secretaria Municipal do Meio Ambiente da cidade, que disponibiliza uma camada vetorial com as curvas de nível do município, cotadas de metro em metro (HASENACK et al., 2008).

Como visto, os elementos não diretamente associados ao sistema viário - características da forma urbana especialmente - estão representados em outros *layers*/camadas de informação e necessitam, portanto, ser atribuídos de alguma maneira aos elementos da rede para permitir o seu cômputo nas rotas. Diversos procedimentos em SIG podem ser utilizados para captura e contabilização de objetos encontrados ao longo das trilhas através de operações de geoprocessamento capazes de “transferir” os dados de camadas diferentes para a camada de suporte (rede viária).

Geoprocessamento é basicamente a realização de operações espaciais com dados, relacionando objetos por sua localização com funções de sobreposição, recobrimento, intersecção, união, diferença, etc (DRUCK et al., 2004). No caso da necessidade de combinar elementos de camadas diferentes, atribuindo aos eixos viários as quantidades e características de objetos pertencentes às camadas listadas acima, o método adotado será a “junção espacial” - *spatial join*. Este é um método para associar dados com base na sua localização e proximidade, e foi considerado o mais adequado para contabilizar quantos e quais elementos da forma urbana estão localizados “ao longo” das rotas (LAW, 2013). Isto inclui todos os elementos que estão exatamente sobrepostos às vias, os que compartilham pontos com elas e os que as interceptam ou estão próximos a elas.

Como as rotas são formadas por sequências de objetos do tipo linha - unidimensionais - representando os eixos das vias, as operações de relacionamento espacial com os elementos da estrutura urbana mais indicadas são a associação por proximidade ou por intersecção.

Na maioria dos casos, quando o pedestre transitar por uma via convencional que também admite tráfego de veículos, os elementos da forma urbana estarão localizados ao lado do eixo, caso de edifícios ou espaços implantados nos lotes de forma lateral às calçadas. Esta é a regra mais comum de estruturação dos tecidos da cidade e, nestes casos, não há sobreposição, mas apenas adjacência. Neste caso, portanto, a operação de geoprocessamento de junção espacial vai utilizar um parâmetro de distanciamento máximo para contabilizar os elementos “pertencentes” a cada trecho de rua. Análises com diferentes distâncias medidas na perpendicular à extensão do eixo foram realizadas, e as operações finais utilizaram valores variando de 20 a 50 metros.

No caso de áreas abertas públicas ou semi públicas, pelo interior das quais o pedestre pode transitar utilizando vias da classe “pedestre” (caminhos, trilhas e passagens) a operação de junção espacial utilizada será a intersecção.

Ambas as ideias são coerentes com o conceito de “exposição” do pedestre às características do ambiente apresentado na seção 2.4.4. No modelo urbano aqui adotado, essa exposição foi definida no primeiro caso como “passar ao lado” e no segundo como “passar por dentro”.

Para o caso da declividade do terreno, a adição de atributos de elevação e declividade aos eixos da rede segue uma lógica parecida de intersecção com as curvas de nível. Neste caso, porém, o *software* ArcGIS possui uma rotina automática que transfere valores de altitude mínima (*Z\_Min*) altitude máxima (*Z\_Max*), altitude média (*Z\_Mean*), comprimento superficial (*SLength*), declividade mínima (*Min\_Slope*), declividade máxima (*Max\_Slope*) e declividade media (*AVG\_Slope*) de um modelo topográfico do terreno (*DTM - digital terrain model*) para os eixos da camada das vias. Este modelo é obtido através de uma interpolação espacial que cria uma superfície *raster* contínua a partir das curvas de nível vetoriais (MITCHELL; ESRI, 2005).

Em síntese, a Tabela 3 apresenta todos os atributos computados da rede, das vias e da forma urbana e utilizados como variáveis no estudo aqui desenvolvido:

<b><i>Bloco</i></b>	<b><i>Variável</i></b>	
<i>Rede</i>	Distância	
	Distância em linha reta ( <i>Airline</i> )	
	<i>Straightness</i> (DLR/D)	
	# Nós (intersecções)	
	Densidade de Nós	
<i>Vias</i>	Comprimento médio do <i>Link</i> (trecho de rua)	
	# Vias de mão-única	
	# Pontes/viadutos	
	# Túneis	
	Hierarquia média	
	# Vias Arteriais	
	# Vias Locais	
	# Vias Pedestre	
	% da trilha em vias Arteriais	
	% da trilha em vias Locais	
	% da trilha em vias Pedestres	
	# Faixas de segurança	
	# Placas de Pare	
	# Sinaleiras	
	Densidade de faixas de segurança (/100m)	
	Densidade de placas de Pare (/100m)	
	Densidade de Sinaleiras (/100m)	
	<i>Forma Urbana</i>	# Postos de Gasolina
		# Estacionamentos/Garagens
		Total postos/estacionamentos
Densidade postos/estacionamentos (/100m)		
Exposição a postos/estacionamentos?		
# Supermercados		
# Shoppings/centros comerciais		
Total compras		
Densidade compras (/100m)		
Exposição compras?		
# Prédios Especiais - Saúde		
# Prédios Especiais - Religião		
# Prédios Especiais - Educação		
# Prédios Especiais - Públicos/cívicos		
# Prédios Especiais - sem classificação		
Total Prédios Especiais		
Densidade Prédios Especiais (/100m)		
Exposição a Prédios Especiais?		
# Espaços Verdes - Parques		
# Espaços Verdes - Playgrounds		
# Espaços Verdes - Praças/largos		
Total Espaços Verdes		
Densidade Espaços Verdes (/100m)		
Exposição a Espaços Verdes?		
# Atalhos por Espaços Verdes		
Atalho por Espaços Verdes?		
# Campi Universidade		
# Hospital		
Total Áreas Semi-públicas		
Densidade Áreas Semi-públicas (/100m)		
Exposição a Áreas Semi-públicas?		
# Atalhos por Áreas Semi-públicas		
Atalho por Áreas Semi-públicas?		
# Edificações		
Densidade de Edificações (/100m)		
Continuidade (m/edif)		
<i>Terreno</i>	Declividade média (%)	
	Declividade máxima (%)	

Tabela 3 - atributos espaciais utilizados no estudo

### 3.2.2. Simulação de rotas alternativas

O mais importante conhecimento adquirido no estudo dos métodos para geração de *choice sets* e suas aplicações (seção 2.4.4.1), especialmente para pedestres, é que três critérios de avaliação das rotas e dos conjuntos gerado se destacaram, tanto do ponto de vista da aderência a parâmetros comportamentais quanto visando objetivamente uma boa estimativa dos modelos de escolha: a limitação a um desvio máximo em relação ao caminho mais curto, a inexistência de barreiras e a distintividade das rotas alternativas. Os dois primeiros critérios se referem às características de cada rota consideradas individualmente, enquanto o último requer comparação entre as alternativas do conjunto de escolha.

Assumindo o conhecimento prévio do ambiente e do fragmento da rede viária dentro do qual estão as potenciais ligações entre O e D, os dois primeiros critérios podem ser entendidos como o primeiro passo mental do processo de escolha de rota por pedestres: a busca pelo caminho mais curto/mais rápido e a simultânea “eliminação por aspectos” de trechos indesejados. As rotas aceitas preliminarmente como mais curtas não podem conter *links* ou nós com valores excessivos de determinados atributos, acima de um patamar que equivalha a uma restrição comportamental e que, portanto, leva o tomador de decisão a eliminar estas opções. Um exemplo óbvio de restrição é o de uma rua proibida para pedestres, ou de vias de classes especiais que não permitem por definição que o caminhante opte por transitar ali como os corredores de ônibus. Um exemplo menos radical seria um trecho com declividade excessiva, o qual, a princípio, permite a passagem, mas produz um custo percebido muito alto e relega aquele trecho a uma condição de pequena probabilidade de escolha.

Assim, se o *choice set* não contiver barreiras nem rotas excessivamente longas, ele provavelmente estará reproduzindo com fidelidade o conjunto de consideração dos indivíduos, e também não estará introduzindo alternativas espúrias que podem prejudicar a estimativa dos modelos.

Assim, ficam definidos os seguintes conceitos:

- *Caminho mais curto*: rota de menor distância métrica (comprimento) entre origem e destino;
- *Desvio*: diferença absoluta entre o comprimento total da rota realizada e o do caminho mais curto;
- *Índice de desvio (DI)*: razão entre o comprimento total da rota realizada e o do caminho mais curto;
- *Barreira*: arco com valor de atributo acima de limiar aceitável pelos pedestres.

Porém, a distintividade das rotas pode e deve ser incluída como critério para avaliação do *choice set*. Tendo em vista que a unidade de análise é a rota, o pressuposto dos modelos de escolha discreta de que as alternativas devam ser mutuamente exclusivas e exaustivas pode ser atendido se elas forem razoavelmente diferentes entre si e, de alguma maneira, representarem bem a variedade de opções disponível naquele ambiente.

Portanto, considerando o exposto na seção 2.4.4.1 ficam definidos os seguintes conceitos:

- *Sobreposição (“overlap”)*: grau de sobreposição entre duas rotas ou, para fins de avaliação do *choice set* e estimação de modelos, entre cada rota e qualquer outra do conjunto. É uma razão simples entre o número de *links* compartilhados com pelo menos um outra rota do conjunto e o total de *links* da rota.
- *Redundância*: grau geral de sobreposição das rotas de um *choice set*.
- *Path Size - PS*: Grau de sobreposição ponderado de cada rota, calculado conforme a equação ( 12 ).

Que encerram as definições relativas à qualidade dos conjuntos de alternativas gerados.

Porém, antes de avaliar os resultados, é preciso estabelecer o processo para gerar as rotas e, para isso, dois métodos apresentados na seção 2.4.4.1 serão utilizados: *Labeling* e *k shortest paths* (com *link penalty*).

Quanto aos critérios, um apanhado de estudos preliminares (Vargas, 2012, 2013) e de referências da literatura está na Tabela 4, na qual os critérios para escolha de rota por pedestres estão listados conforme descritos no original e posteriormente “traduzidos” em fatores objetivos, que podem ser observados e medidos na realidade.

<b>Estudo</b>	<b>Critério</b>	<b>Fatores Objetivos</b>
Guo, 2009	<i>density of pedestrian-friendly parcels</i> <i>sidewalks</i> <i>density of intersection</i> <i>Open space</i> <i>Topography</i>	atividades comerciais largura das calçadas intersecções presença de parques presença de ladeiras
Guo, 2013	<i>length</i> <i>retail</i> <i>park</i> <i>sidewalks</i> <i>traffic</i>	distância atividades comerciais presença de parques largura das calçadas volume de veículos
Godledge, 1995	<i>shortest route to travel</i> <i>least amount of time</i> <i>fewest turns</i> <i>aesthetically pleasing</i> <i>longest leg first / shortest leg first</i>	distância tempo mudanças de direção aparência comprimento do primeiro trecho
Fiorenzo-Catalano, 2005	<i>Travel time</i> <i>Travel distance</i> <i>Safety</i> <i>Pollution</i> <i>Weather protection</i> <i>Number of turns</i> <i>First leg's travel distance</i> <i>Number of curves</i>	tempo distância  mudanças de direção comprimento do primeiro trecho
Hoogendoorn e Bovy, 2004	<i>Travel time</i> <i>Travel distance</i> <i>Proximity of obstacles or other physical obstructions;</i> <i>closeness to walls</i> <i>route directness</i> <i>interactions with other pedestrians (level-of-service)</i> <i>attractiveness (e.g. ambience conditions, shopping windows,</i> <i>Shelter in case of poor weather conditions.</i>	tempo distância  mudanças de direção volume de pedestres
TRB, 2012	<i>Directness</i>	mudanças de direção
	<i>minimum delays when crossing streets</i>	travessias demoradas
	<i>route is secure and visible to other road users</i>	campo visual volume de pedestres
	<i>Highway safety</i>	travessias semaforizadas
	<i>Pedestrian-friendly design</i>	iluminação largura das calçadas recoo dos prédios
MTI REPORT, 2006	<i>Information</i>	
	<i>Distance</i>	distância
	<i>Straightness</i>	mudanças de direção
	<i>Safety</i>	travessias semaforizadas baixa velocidade dos veículos
	<i>Sidewalks in good condition</i> <i>attractive landscaping or buildings</i> <i>Presence of people</i> <i>Absence of traffic lights with a long wait</i>	qualidade das calçadas aparência volume de pedestres travessias demoradas
Czogalla, 2010 (PQN)	<i>Safety</i>	travessias semaforizadas volume de veículos
	<i>Accessibility</i>	largura das calçadas declividade
	<i>Attractiveness</i>	manutenção dos espaços iluminação
	<i>Comfort</i>	nível de ruído arborização

Tabela 4 - revisão de critérios para escolha de rota por pedestres

Um somatório simples do número de citações na coluna da direita, leva ao seguinte *ranking*:

<b>fatores objetivos</b>	<b>citações</b>
1 distância	<b>6</b>
2 mudanças de direção	<b>5</b>
3 largura das calçadas	<b>4</b>
4 volume de pedestres	<b>4</b>
5 tempo	<b>3</b>
6 travessias semaforizadas	<b>3</b>
7 iluminação	<b>3</b>
16 declividade	<b>3</b>
8 atividades comerciais	2
9 presença de parques	2
10 volume de veículos	2
11 aparência	2
12 comprimento do primeiro trecho	2
13 travessias demoradas	2
14 campo visual	2
15 qualidade das calçadas	2
17 intersecções	1
19 recuo dos prédios	1
20 baixa velocidade dos veículos	1
21 manutenção dos espaços	1
22 nível de ruído	1
23 arborização	1

Tabela 5 - ranking de critérios para escolha de rota por pedestres

Neste estudo será aceito o pressuposto de que um viajante a pé que varre o ambiente a fim de coletar as possíveis alternativas de caminho faz uma escolha preliminar do tipo não compensatório privilegiando a minimização do seu **esforço** de viagem: menor distância, menor número de mudanças de direção, declividade mínima e mínima interação com tráfego pesado.

Considerando este pressuposto e lidando com a não disponibilidade de alguns dados - tráfego de pedestres, largura de calçadas e iluminação - bem como com a viabilidade de implementar os procedimentos de busca de caminho mínimo com os recursos existentes (*software* ArcGIS, extensão *Network Analyst*, utilizando algoritmo de Dijkstra e rede viária *Open Street Maps*) a lista de critérios acima fica restrita a:

- **Distância**
- **Mudanças de direção**
- **Travessias**
- **Declividade**

Que serão utilizados como rótulos para o procedimento de geração de rotas com o método *Labeling*.

O segundo método, *k shortest paths* com penalização de links - *link penalty* - vai empregar um parâmetro de incremento do custo distância de cada *link* já percorrido da ordem de 10%:

$$Ll_{i(t+1)} = Ll_{i(t)} * 1,1 \quad (13)$$

Onde  $Ll_{i(t)}$  é o comprimento do link  $i$  na iteração  $t$ .

A literatura é pobre em referências a este custo incremental para rotas de pedestres. Para automóveis e bicicletas existem aplicações que utilizam menos de 10%, porém para as rotas a pé essas pequenas penalizações não se mostram capazes de produzir variação de rotas. (BROACH et al., 2010, 2012; FREJINGER et al., 2009; RAMMING, 2001). As pequenas distâncias das caminhadas combinadas com a estrutura das redes - tamanho dos trechos, densidade de interseções - faz com que incrementos pequenos do parâmetro de custo resultem na não geração de alternativas.

Os passos básicos para a maioria dos algoritmos de geração de *choice sets* são os seguintes:

- i. Busca a melhor rota com base em determinadas restrições;
- ii. Avalia a rota com base em um conjunto de critérios;
- iii. Aceita ou rejeita a rota no conjunto;
- iv. Avalia o conjunto de acordo com determinados critérios (FIORENZO-CATALANO, 2007).

Que levam ao seguinte fluxo de procedimentos para gerar os *choice sets* neste estudo:

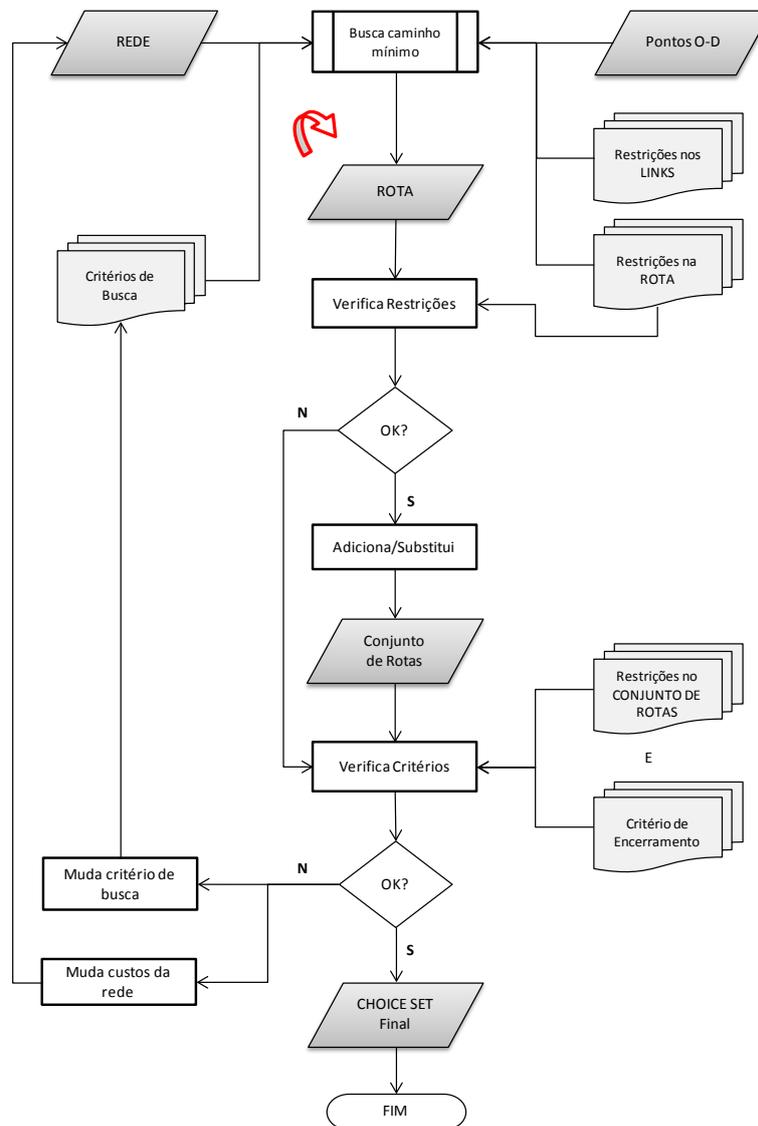


Figura 5 - fluxograma do processo de geração dos *choice sets*. Adaptado de Fiorenzo-Catalano (2007)

Esta rotina pode ser descrita como segue:

Na entrada, os pontos O-D de uma viagem são localizados na rede viária e, aplicando os critérios de busca (*labels*), busca-se a rota de custo mínimo, considerando as restrições nos *links* e na rota. Gerada a rota, iniciam-se as etapas de verificação/filtragem. Na primeira delas, a rota é avaliada de acordo com outra restrição que, se atendida, inclui a rota no conjunto inicial. A seguir verificam-se restrições ao conjunto de rotas e o critério de terminação. Caso ambos sejam atendidos, o conjunto é considerado como o *choice set* final e o processo se encerra. Caso contrário, muda-se o critério de busca (custo / *label*) e repete-se o processo. Se, ao final das buscas com os quatro *labels* o processo não estiver encerrado, muda-se o valor do atributo de custo distância através da aplicação do fator de penalização dos *links* já utilizados e volta-se à etapa inicial de busca.

## ESTRUTURA

- Topologia (conexões)
- Geometria (dimensões, ângulos)

## ELEMENTOS

- Arcos
- Nós

## ATRIBUTOS dos arcos

- Distância
- Declividade
- Hierarquia viária



## ATRIBUTOS

- Características da viagem e do indivíduo



## CUSTOS A MINIMIZAR

- Distância
- Declividade
- Nº de Conversões (1 conversão =  $\alpha \geq 36^\circ$ )
- Nº de Intersecções (1 nó = 1 intersecção).



## RESTRICÇÕES

- Hierarquia viária  $\neq$  *parâmetro*



## RESTRICÇÕES

- Acíclica
- Índice de Desvio  $\leq$  *parâmetro*



## RESTRICÇÕES

- Sobreposição  $\leq$  *parâmetro*



## ENCERRAMENTO

- Nº de rotas = *parâmetro*

Figura 6 - elementos da rotina de geração dos *choice sets*.

<b>Critério</b>	<b>Tipo</b>	<b>Etapa</b>	<b>Nível</b>
barreiras	restrição	busca da rota	link
acíclica	restrição	busca da rota	rota
desvio máximo	restrição	verificação/filtragem	rota
sobreposição	restrição	verificação/filtragem	conjunto
nº de rotas	terminação	verificação/filtragem	conjunto

Tabela 6 - critérios da rotina de geração dos *choice sets*.

Para amparar a escolha dos parâmetros um estudo-piloto foi rodado com uma amostra de 62 viagens, para as quais foram geradas rotas alternativas com base nos dois métodos descritos.

O desvio máximo encontrado foi de 1,9 vezes a menor distância, com média de 1,14 e o 85º percentil situando-se em 1,26. Desta forma, adotou-se como parâmetro de restrição o desvio máximo (DI= 1,9).

Já declividade teve máxima de 28% e 85º percentil em 15%. A distribuição é muito concentrada nas baixas declividades, com poucas viagens utilizando *links* acima de 15%, geralmente escadarias. Assim, não houve restrição para a declividade.

As rotas geradas apresentaram distância média de 952,6 metros, com mínimo de 182,1 e máximo de 4.301,6. Elas tiveram em média 13,2 *links* por rota, com mínimo de 2,14 e máximo de 38,6. As distribuições das distâncias e número de *links* das rotas percorridas são semelhantes com as das distâncias e número de *links* das rotas geradas, aproximando-se da *lognormal*.

O processo de geração, sem aplicar as restrições de sobreposição nem de número de rotas, produziu em média 8,43 rotas por viagem, com mínimo de 3 e máximo de 14. Este número está moderadamente correlacionado com a distância das rotas percorridas -  $R^2 = 0,5$  - e mais fortemente correlacionado -  $R^2 = 0,61$  - com o seu número de *links*. Ou seja, em geral, quanto mais longa e complexa a viagem, maior quantidade de rotas alternativas pode ser gerada.

Para estimar um parâmetro de sobreposição (que na avaliação de um pedestre representaria indiferença entre duas rotas), a melhor medida é o fator *PS*, pois, conforme descrito na seção 2.4.4.2 ele pondera número de arcos e distância compartilhada por cada rota com todas as demais do conjunto. Porém, a matriz que identifica cada arco, armazena seu comprimento e seus compartilhamentos não estava disponível no estudo-piloto e, portanto, não foi possível calcular o *PS* nem mesmo o acessar o grau de sobreposição de cada rota individualmente a fim de buscar um parâmetro para o critério de restrição.

Recorrendo à literatura, existem poucas referências para o grau de sobreposição. Ramming (2001) em sua avaliação de métodos de geração de *choice sets* para viagens de carro em Boston apresenta o valor mínimo de 80% - em termos de número de *links* - para que a rota realizada seja considerada “replicada” pela

rota gerada. (RAMMING, 2001). Fiorenzo-Catalano (2007) utiliza o parâmetro de 90% em seu estudo com redes rodoviárias na Holanda (FIORENZO-CATALANO, 2007). Harrison et al. propõem uma divisão em **tercis** do grau de sobreposição para avaliar as diferenças de exposição a elementos do ambiente construído entre rotas realizadas por pedestres com destino à escola e rotas alternativas geradas em SIG. (HARRISON et al., 2014).

Assim, recorreu-se a uma inspeção visual dos conjuntos de rotas, bem como ao cálculo simples de um fator agregado de sobreposição dos conjuntos: a razão entre o total de *links* compartilhados em cada *choice set* e o somatório de *links* utilizados (“passagens”). Este número representa o percentual de *links* que é compartilhado por pelo menos duas rotas e pode ser chamado de grau de *redundância* geral do conjunto. Os valores encontrados variaram de 0,42 a 0,87, com média de 0,67, mediana 0,66 e terceiro quartil em 0,778, com distribuição normal.

Considerando estas referências, foi escolhido o valor de 78% como grau máximo de sobreposição aceitável entre uma rota e qualquer outra.

Com este parâmetro, foi possível acessar o número de rotas distintas geradas para cada viagem do estudo-piloto e buscar suporte para estabelecer o critério de encerramento da formação dos *choice sets*. O valor médio ficou em 5,45, a mediana em 5, com um mínimo de 1 e máximo de 11, 85º percentil em 7,95 e distribuição normal.

Um número próximo a oito rotas por viagem parece, no entanto, exagerado do ponto de vista comportamental, pois é pouco razoável supor que um pedestre armazene tantas opções diferentes para percorrer um trajeto, independentemente do seu grau de familiaridade com o ambiente.

Em busca de referências, o exemplo do sistema *Google Maps* foi estudado: seu algoritmo de roteirização retorna invariavelmente mais de uma opção para solicitações de caminho entre dois pontos - de duas a quatro rotas - sempre razoavelmente distintas espacialmente e com pequena variação de distância/tempo (custo básico de viagem semelhante). Os critérios para sugestão das alternativas não estão explícitos, não há opção para “evitar pedágios”, por exemplo, como acontece com o modo automóvel. Em alguns casos pode haver maior sobreposição entre as rotas sugeridas, porém, em geral, o grau de repetição de trechos é pequeno e, portanto, este parece ser um critério importante para a plataforma, conforme mostra a Figura 7: oferecer alternativas claramente distintas.

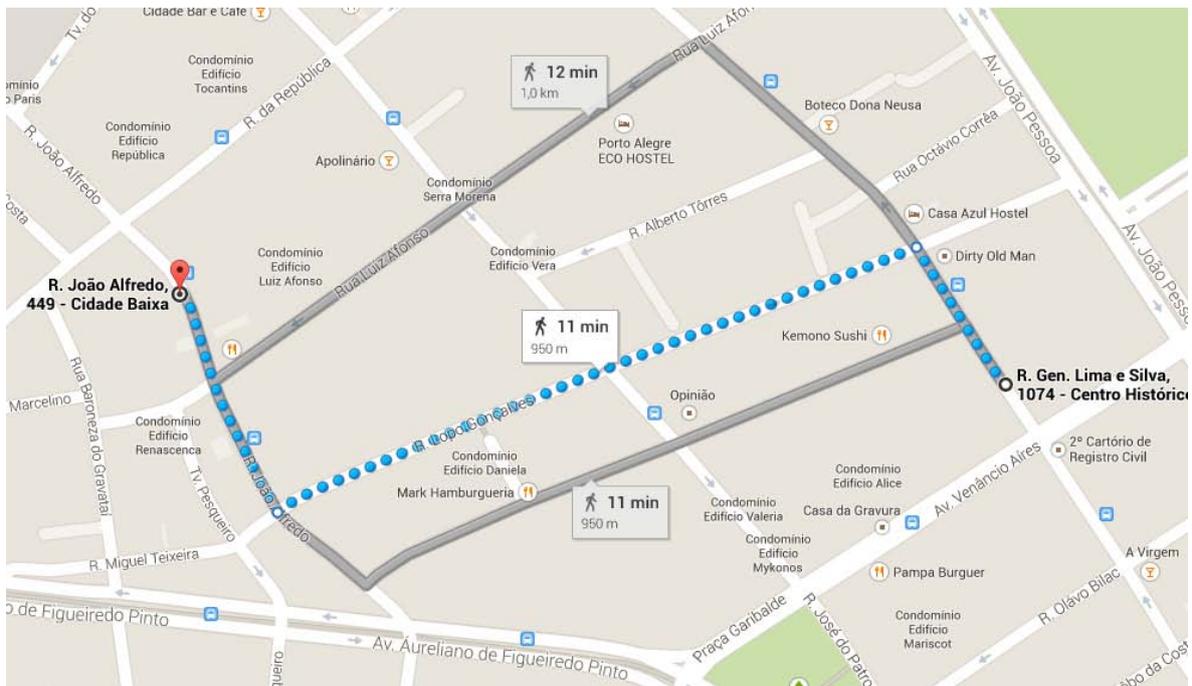


Figura 7 - Google Maps

Já o serviço de roteirização do *Open Street Maps* retorna apenas uma alternativa de trajeto para cada par O-D a ser percorrido pelo modo a pé, porém apresenta duas opções de custo: rota mais curta ou rota mais rápida. Essa variação produz alternativas diferentes na maioria dos casos, porém o critério para diferença de velocidade de caminhada em diferentes trechos não está explícito.

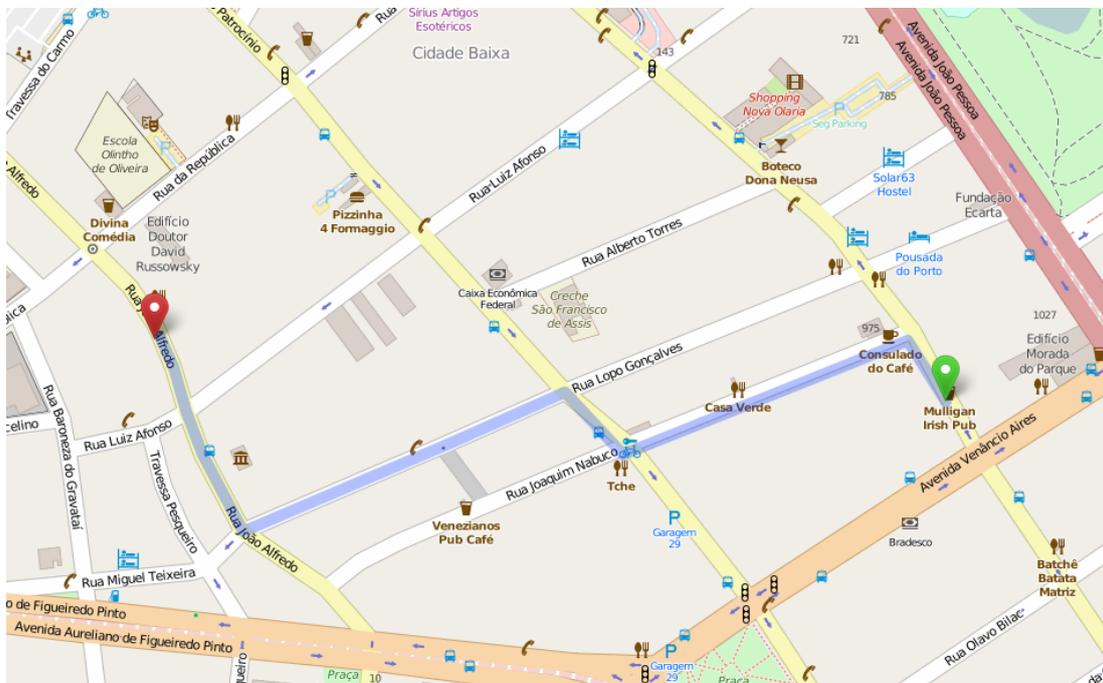


Figura 8 - Open Street Maps

Portanto, será arbitrado o número máximo de 4 rotas alternativas por viagem como critério de terminação para o processo de geração dos *choice sets*. A rotina sempre terá como objetivo atingir este total de alternativas, desde que atendendo simultaneamente a todos os critérios de restrição.

Encerrada a geração e filtragem dos conjuntos, será calculado para cada rota o fator *PS* - o termo de penalização para corrigir de forma determinística a correlação entre rotas de cada *choice set*, conforme a equação ( 12 ). Esse termo possibilita o uso dos modelos *PS Logit*.

No exemplo abaixo está um *choice set* criado no estudo-piloto, contendo 4 rotas, sendo uma trilha realizada e as demais três geradas pelos métodos descritos. Um resumo dos valores calculados está na Tabela 7, incluindo o fator *PS* e seu logaritmo natural.



Figura 9 - exemplo de *choice set* gerado no estudo-piloto

	links usados	links compart.	% links compart	distância	dist. Compart.	% dist. compart.	PS	lnPS
azul	9	4	44,4%	1.130,20	461,40	40,8%	0,3342	-1,0961
vermelha	7	5	71,4%	1.047,20	740,30	70,7%	0,2627	-1,3368
preta	7	5	71,4%	1.061,20	690,20	65,0%	0,2138	-1,5425
verde	7	6	85,7%	1.052,90	969,10	92,0%	0,2139	-1,5424
<i>total</i>	<i>30</i>	<i>20</i>	<i>66,7%</i>	<i>4.291,50</i>	<i>2.861,00</i>	<i>66,7%</i>		

Tabela 7 - características do *choice set* piloto

A rota realizada (azul) tem 4 de seus 9 *links* compartilhados com pelo menos uma das outras rotas do conjunto. Seu fator *PS* é de 0,3342, com o termo de penalização a ser incluído na função de utilidade igual a

-1,096 ( $\ln PS$ ). A rota vermelha tem 5 de 7 links compartilhados,  $PS = 0,2627$  e  $\ln PS = -1,3368$  e assim sucessivamente.

Nenhum *link* apresenta barreira de hierarquia viária e nenhuma rota contém *loops*. Todas atendem também à restrição de desvio máximo  $\leq 1,9$  vezes o comprimento do caminho mínimo (rota vermelha). Porém, como o critério de distintividade (*sobreposição*  $\geq 78\%$ ) deve ser considerado, o conjunto não se sustenta, pois, mesmo que o grau geral de redundância do conjunto seja inferior ao limiar e mesmo que seus fatores  $PS$  permitam corrigir essa correlação, existem três rotas acima dele. Elas não teriam sido aceitas pelas restrições da rotina e outras deveriam ser geradas.

Em resumo, os parâmetros para o processo de geração serão os seguintes:

- **Hierarquia viária:** *link type*  $\neq$  *rodovia, via de serviço, corredor de ônibus, ciclovia.*
- **Índice de Desvio:**  $DI \leq 1,9$
- **Sobreposição:** *overlap*  $\leq 78\%$
- **Nº de rotas:**  $2 \leq n \leq 4$

Finalizado todo o processo e criados os *choice sets*, resta computar os atributos do ambiente construído para cada rota alternativa, como foi feito para a trilha que representa a trilha efetivamente realizada. Os procedimentos estão descritos na seção 3.2.1.2.

### 3.2.3. Modelagem de escolha

Conforme proposto na metodologia do estudo, modelos de escolha discreta devem ser estimados para analisar a escolha de rota dos caminhantes, utilizando como variáveis explanatórias (i) as características das rotas realizadas e simuladas, (ii) características socioeconômicas dos indivíduos e (iii) características das viagens.

Dois conjuntos de modelos são propostos para estimação: o primeiro com o objetivo de responder à pergunta: *Por que não o caminho mais curto?* modelando a escolha entre duas alternativas exaustivas e mutuamente exclusivas: utilizar ou não uma rota divergente (diferente do caminho mínimo). Portanto, a variável dependente (resposta) é binária.

O segundo modelo tem o objetivo de responder à pergunta: *Por onde vão os pedestres?* modelando a escolha de rota entre todas as alternativas do *choice set*. Portanto, a variável dependente (resposta) é múltipla e não ordenada.

No primeiro caso o modelo *Logit Binomial* é o indicado e, no segundo, o *Logit Multinomial* e suas variações.

Os resultados dos modelos permitem, através da análise dos coeficientes, determinar o impacto das variáveis do ambiente construído sobre a decisão de utilizar uma rota diferente do caminho mínimo (caso 1), e o seu impacto sobre a escolha da rota (caso 2).

A especificação dos modelos *Logit* deve ser conduzida com formulação linear dos parâmetros na parte determinística da função de utilidade, aplicando interações entre atributos individuais e do ambiente para dar conta da variação sistemática de preferências. Alternativamente, modelos Logit Mistos do tipo *error components* são testados para dar conta do efeito-painel (mais de uma situação de escolha/viagem por indivíduo) e Logit Mistos com *random parameters* para capturar eventuais variações aleatórias de preferências (TRAIN, 2009).

O ajuste dos modelos é avaliado com base nas estatísticas de *Log-Likelihood*, Pseudo  $R^2$  (“*McFadden R<sup>2</sup>*”) e no teste de Razão de Verossimilhança (*Likelihood ratio*).

## 4. ESTUDO EMPÍRICO / ESTUDO DE CASO

### 4.1. Coleta de dados

#### 4.1.1. Dados coletados diretamente

##### 4.1.1.1. GPS - trilhas

Na primeira rodada de coleta, durante os anos de 2011 a 2013, 72 participantes foram aleatoriamente selecionados e solicitados a carregar o dispositivo GPS *Transystem i- Blue 747A+* durante dois dias, registrando todas as viagens realizadas. Os dados descarregados do dispositivo registraram 988 etapas de viagem, enquanto os diários de viagem relataram 1225 etapas. Deste total, muitas foram descartadas por erros no entendimento do protocolo da pesquisa por parte dos participantes: viagens não relatadas e esquecimento do dispositivo quando do deslocamento. Esta etapa do registro das viagens é crucial para a coleta de dados, requerendo um processo de validação entre os registros do GPS e os relatos dos diários - *matching* - que resultou em uma amostra de 807 etapas de viagem válidas.

Uma viagem entre duas atividades-fim pode envolver diversas etapas de viagem, com diferentes modos de transporte ou mudança de veículo de um mesmo modo. Uma viagem pelo modo ônibus com origem na residência e destino no local de trabalho que compreende uma caminhada até a parada, o deslocamento no veículo e a caminhada da parada até o destino final terá produzido três etapas. Para os estudos de demanda do LASTRAN, as etapas componentes de uma mesma viagem foram condensadas em um único registro (no exemplo, especificando como modo o “ônibus”), o que resultou em uma amostra de 505 viagens. Porém, para um estudo de rotas, especialmente este com foco nos deslocamentos a pé, todas as etapas foram consideradas como unidades de análise.

Assim, do total de 807 etapas válidas, 560 etapas a pé válidas foram extraídas, as quais, após passarem por uma análise de erros técnicos (problemas tecnológicos como descarga da bateria ou perda de sinal) geraram uma amostra de 313 etapas de viagem a pé corretas. Do grupo de 72 indivíduos inicial, 48 permaneceram nesta amostra.

Os dados brutos precisaram passar ainda por um processamento capaz de produzir informação relevante para a pesquisa, especialmente a espacialização das etapas de viagem. Uma sequência de tarefas envolvendo diferentes softwares foi realizada: os arquivos baixados dos dispositivos GPS foram tratados no programa *GPS Trackmaker* para visualizar a sequência de pontos e gerar as linhas que representam a trajetória do deslocamento, as quais foram importadas em programas GIS (*Quantum GIS e ArcGIS*) na forma de *shapefiles*.

A seguir, regras específicas de filtragem foram aplicadas à amostra: a distribuição das distâncias de caminhada foi analisada e o 15º percentil tomado como o limiar inferior - 143,3 metros. Essa distância pode

ser comparada à de um quarteirão e meio de caminhada, tomando a dimensão da face de um quarteirão urbano “ideal” - 100 metros - como referência. A base de arruamento de Porto Alegre que foi aqui utilizada como modelo de rede para os estudos em SIG apresentou tamanho médio do link de 105,62 metros e mediana de 74,03, com desvio-padrão de 160,88 e máximo de 7.349,15 metros.

Considerando a estrutura e a geometria de um sistema viário, é fácil inferir que só há alternativa a uma rota realizada - e, portanto, escolha - se houver no mínimo uma mudança de direção necessária entre os pontos de origem e destino. Assim, esse limiar mínimo de distância foi ampliado para 210 metros, equivalente a dois quarteirões.

Isto reduziu a amostra a 173 trilhas a pé realizadas por 34 indivíduos. Estas foram ajustadas à rede viária modelada em SIG, em um processo conhecido como *mapmatching*, conforme enunciado no método.

Uma rodada final de filtragem foi realizada com o objetivo de eliminar as trilhas que:

- Foram consideradas como “caminhos em linha reta”, no sentido de não apresentarem alternativas de rota pelo fato de possuir os pontos de origem e destino localizados no mesmo *link* e/ou apresentarem *straightness* superior a 0,926 (90º percentil da distribuição da medida).
- Representaram jornadas realizadas quase unicamente (número de links > 75%) no interior de áreas privadas, de estacionamentos e/ou de espaços públicos com sistema de circulação segregado do sistema viário da cidade, notadamente o Parque da Redenção e o Campus da UFRGS.

Isso levou à amostra final de 116 trilhas ajustadas à rede para as viagens de 2011/2013, com os mesmos 34 indivíduos.

Uma segunda rodada de coleta de dados foi realizada no ano de 2014, na qual a amostra foi controlada. Para a seleção dos participantes foram privilegiados indivíduos com perfil de caminhante contumaz - alta utilização do modo a pé em seus deslocamentos cotidianos. Foram acompanhados 10 indivíduos durante dois dias com o mesmo dispositivo GPS e realizados os mesmos procedimentos de checagem com os diários de viagem, filtragem e *map-matching*. Isso resultou em 44 trilhas ajustadas à rede.

Assim, a amostra total ficou com 160 trilhas ajustadas à rede, realizadas por 44 indivíduos. Um esquema destes procedimentos está na Figura 10, e as quantidades resultantes estão resumidas na Tabela 8.

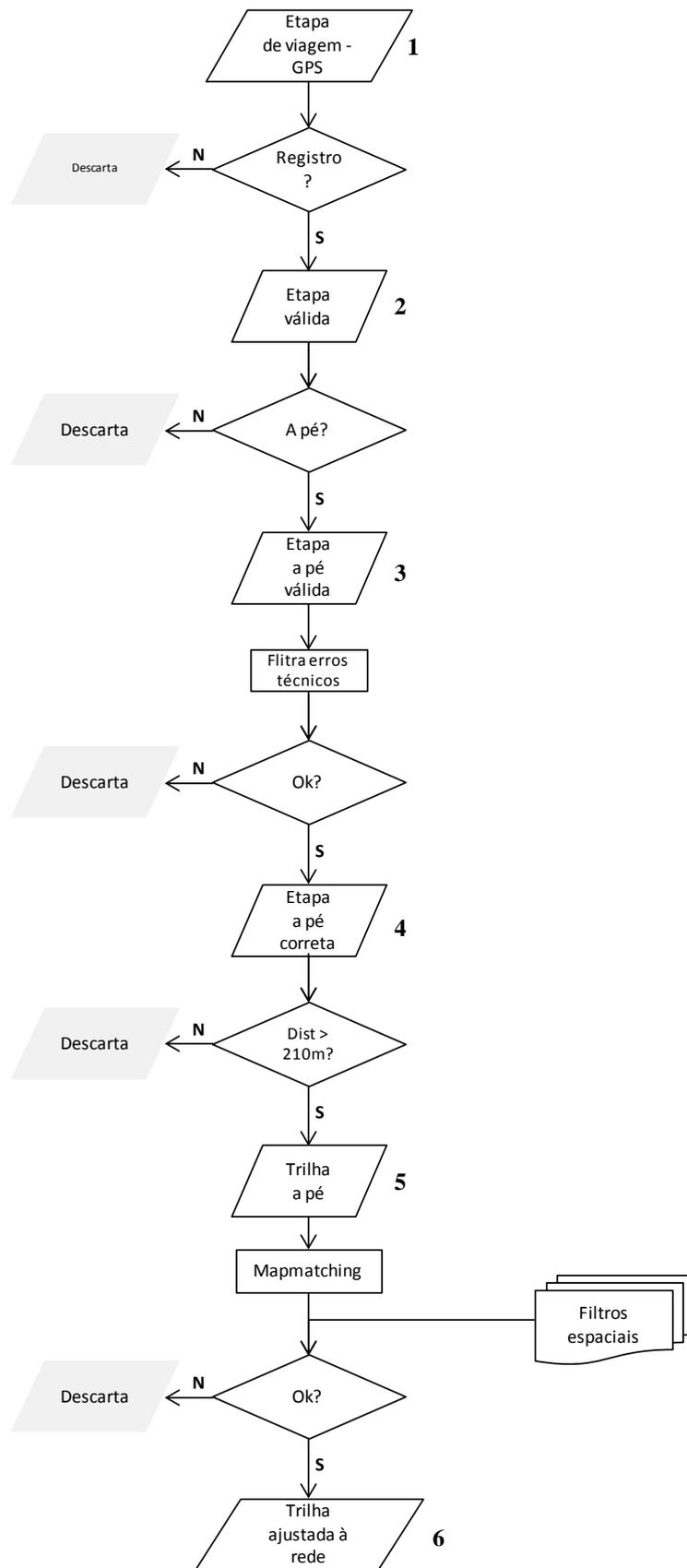


Figura 10 - fluxograma das etapas de sub amostragem das viagens rastreadas por GPS

<b>2014 amostra</b>	<b>#etapas de viagem</b>	<b>#indivíduos</b>	<b>etapas/indivíduo</b>
1 etapas de viagem	181	10	18,10
2 etapas válidas	102	10	10,20
3 etapas a pé válidas	64	10	6,40
4 etapas a pé corretas	57	10	5,70
5 trilhas a pé	46	10	4,60
6 trilhas ajustadas à rede	44	10	4,40

<b>2011/2013 amostra</b>	<b>#etapas de viagem</b>	<b>#indivíduos</b>	<b>etapas/indivíduo</b>
1 etapas de viagem	1225	72	17,01
2 etapas válidas	807	71	11,37
3 etapas a pé válidas	560	58	9,66
4 etapas a pé corretas	313	49	6,39
5 trilhas a pé	173	34	5,09
6 trilhas ajustadas à rede	116	34	3,41

<b>TOTAL amostra</b>	<b>#etapas de viagem</b>	<b>#indivíduos</b>	<b>etapas/indivíduo</b>
1 etapas de viagem	1406	82	17,1
2 etapas válidas	909	81	11,2
3 etapas a pé válidas	624	68	9,2
4 etapas a pé corretas	370	59	6,3
5 trilhas a pé	219	44	5,0
6 trilhas ajustadas à rede	160	44	3,6

Tabela 8 - sub amostras das viagens rastreadas por GPS

A Figura 11 demonstra a redução das amostras, desde a totalidade das etapas de viagem (imagem da esquerda), passando pelas trilhas a pé brutas do GPS e chegando às rotas/trilhas ajustadas à rede. Já a Figura 12 mostra em detalhe algumas trilhas com seus respectivos pontos O-D e *airlines*.



Figura 11 - etapas de viagens em Porto Alegre



Figura 12 - detalhe das rotas sobre o mapa com a rede viária e edificações

A distribuição das viagens na cidade apresentou aparentemente um viés espacial, com excessiva concentração de caminhadas no chamado “Distrito Central” de Porto Alegre, especialmente nos arredores do Parque Farroupilha. A Figura 13 apresenta uma análise de concentração baseada em estatística espacial, na qual a “distância -padrão” foi calculada como um círculo de raio igual a 4,1 quilômetros ao redor do “centro médio” geométrico dos centroides de todas as trilhas mapeadas, identificado pela estrela amarela no mapa. Já o círculo menor tem um raio de 1.200 metros a partir da Universidade Federal, assinalada com o ícone preto. Essa foi aproximadamente a distância encontrada no 85º percentil da distribuição das viagens a pé.



Figura 13 - localização das viagens a pé

No entanto, esse aparente viés corresponde bem à distribuição e viagens a pé na Cidade de Porto Alegre. Segundo a última pesquisa de entrevistas domiciliares (EDOM) realizada na cidade, 40,62% das viagens a pé estão na amostra de ZTs correspondentes a este “Distrito Central”, enquanto 38% foi o número encontrado no presente estudo (EPTC et al., 2004).

#### 4.1.1.2. Entrevistas/travel log - viagens e indivíduos

Além dos dados automaticamente coletados pelos dispositivos GPS (posições, data, horário, velocidades e distâncias percorridas), os participantes foram solicitados a preencher um diário de viagem, relatando todos os seus deslocamentos durante os dias da pesquisa. De fato, cada etapa de viagem deveria ser registrada, especificando todas as mudanças de modo de uma mesma viagem entre duas atividades-fim.

Assim, uma viagem com motivo “trabalho” realizada de ônibus e compreendendo caminhadas de acesso produziu três registros, dois com o modo a pé e motivo “ir/voltar de parada/estacionamento” e um com motivo “trabalho”. Desta forma, todas as caminhadas foram consideradas viagens a pé, apresentando motivo “acesso a transporte” sempre que não conectassem diretamente a origem e o destino final.

Cada viagem teve registrados o motivo, o modo, a data, os horários de saída e chegada e uma estimativa da distância percorrida. Posteriormente, medidas secundárias foram calculadas - velocidade - e

algumas variáveis categóricas construídas para posterior utilização na modelagem: classes de motivo de viagem (compulsória, recreacional, acesso a transporte), classes de horário (noite/dia, pico/não pico) e padrão de comprimento (longa/curta) baseado na distribuição dos dados observados e parâmetros da literatura.

Um atributo locacional foi criado para expressar o pertencimento da viagem ao Distrito Central. Esta variável categórica informa se o trajeto está inteiramente dentro da área (2), parcialmente dentro (1) ou completamente fora (0).

As características dos indivíduos foram coletadas através de um questionário contendo informações sobre a idade, o sexo, o grau de instrução, o emprego atual e a condição de estudante.

Grau de Instrução, Ocupação e Emprego Atual são previamente classificados de acordo com a metodologia da pesquisa EDOM de Porto Alegre, mas novas variáveis categóricas foram construídas para simplificar as classes. Assim, para instrução existe uma variável com 11 classes (de não alfabetizado a pós-graduação) e uma variável agregada com apenas três classes, de médio/superior incompleto a pós-graduação; uma variável de ocupação com 11 classes detalhada e outra com quatro classes simples.

Para a variável Idade, três classificações foram adotadas: uma com seis divisões por décadas etárias (de menos de 20 anos até mais de 60), uma com sete classes adotada pelo IBGE (também com divisões de 10 em 10 anos, mas iniciando com a faixa 15 a 24 e chegando à classe acima de 75) e uma com apenas três classes definidas pela distribuição dos dados da amostra.

Três variáveis foram criadas para caracterizar os indivíduos em relação a seus padrões de mobilidade:

- i. A primeira simplesmente computou o “índice de mobilidade” de cada indivíduo, calculado como o número total de viagens por dia (todos os modos). Complementado-a, uma variável “classe de mobilidade” reclassificou este índice absoluto em tercís.
- ii. A segunda variável atribuiu um status relativo à condição de “caminhante habitual”, através do cálculo do índice de utilização do modo a pé (etapas de viagem a pé / total de etapas de viagem). e Verificando a distribuição dos dados, todos os indivíduos com o índice acima de 61% (correspondente ao segundo tercil da distribuição) foram enquadrados nessa categoria.
- iii. A terceira variável classificou os indivíduos através do seu índice de utilização do modo automóvel particular, na qual todos os indivíduos com este valor acima de 50% (correspondente ao segundo tercil da distribuição) foram enquadrados na categoria “motorizados”.

#### 4.1.2.Dados Secundários - Características das rotas percorridas

Os atributos do ambiente construído de Porto Alegre foram resumidos visando a simplicidade da modelagem, sem perda de informação relevante. Os atributos foram organizados em 3 blocos, conforme enunciado na seção 3.2.1.3: *Rede, Vias e Forma Urbana*.

A Tabela 9 apresenta as estatísticas descritivas das trilhas realizadas, detalhando as variáveis organizadas pelos blocos *Rede, Vias e Forma Urbana*:

	<i>Características das trilhas</i>	<i>Trilhas</i>									
		<i>Contagem</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio</i>	<i>CoefVar</i>	<i>Minimo</i>	<i>Q1</i>	<i>Mediana</i>	<i>Q3</i>	<i>Maximo</i>	
<i>Rede</i>	Distância	135	877,39	611,75	69,72	184,23	425,42	657,65	1172,89	3385,37	
	Distância em linha reta (Airline)	135	647,45	461,86	71,34	142,50	315,01	507,11	843,38	2827,12	
	Straightness (DLR/D)	135	0,74	0,12	15,76	0,41	0,69	0,74	0,81	0,98	
	# Nós (intersecções)	135	12,58	9,95	79,13	2,00	5,00	9,00	18,00	48,00	
	Densidade de Nós	135	1,45	0,70	48,42	0,39	0,94	1,36	1,81	4,15	
	Comprimento médio do Link (trecho de rua)	135	59,17	29,31	49,54	14,71	38,13	53,65	73,59	196,50	
<i>Vias</i>	# Vias de mão-única	135	13,90	10,81	77,79	0,00	5,00	11,00	20,00	49,00	
	# Pontes/viadutos	135	0,38	0,85	223,74	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00	
	# Túneis	135	0,11	0,58	523,48	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00	
	<b>Hierarquia média</b>	135	4,23	0,93	21,92	1,60	3,07	4,18	4,71	6,56	
	# Vias Arteriais	135	8,00	9,14	114,25	0,00	2,00	4,00	12,00	43,00	
	# Vias Locais	135	6,94	5,37	77,38	0,00	3,00	6,00	10,00	29,00	
	# Vias Pedestre	135	3,19	5,24	164,58	0,00	0,00	1,00	4,00	27,00	
	% da trilha em vias Arteriais	135	0,38	0,27	70,92	0,00	0,14	0,33	0,60	1,00	
	% da trilha em vias Locais	135	0,47	0,29	62,23	0,00	0,18	0,50	0,71	1,00	
	% da trilha em vias Pedestres	135	0,14	0,20	145,34	0,00	0,00	0,03	0,24	0,83	
	# Faixas de segurança	135	2,98	3,54	118,80	0,00	0,00	1,00	4,00	13,00	
	# Placas de Pare	135	0,36	0,95	267,19	0,00	0,00	0,00	0,00	7,00	
	# Sinalizas	135	4,56	5,32	116,63	0,00	1,00	3,00	6,00	34,00	
	Densidade de faixas de segurança (/100m)	135	0,03	0,10	315,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	
	Densidade de placas de Pare (/100m)	135	0,46	0,34	74,77	0,00	0,18	0,47	0,70	1,49	
	Densidade de Sinalizas (/100m)	135	0,30	0,35	115,51	0,00	0,00	0,19	0,48	1,99	
	<i>Forma Urbana</i>	# Postos de Gasolina	135	0,06	0,24	399,92	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
		# Estacionamentos/Garagens	135	0,91	1,37	150,19	0,00	0,00	0,00	2,00	6,00
		Total postos/estacionamentos	135	0,97	1,40	144,62	0,00	0,00	0,00	2,00	6,00
Densidade postos/estacionamentos (/100m)		135	0,11	0,17	154,73	0,00	0,00	0,00	0,20	0,72	
Exposição a postos/estacionamentos?		135	0,44	0,50	113,92	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	
# Supermercados		135	0,26	0,46	176,08	0,00	0,00	0,00	1,00	2,00	
# Shoppings/centros comerciais		135	0,39	0,74	189,53	0,00	0,00	0,00	1,00	4,00	
Total compras		135	0,65	0,87	132,95	0,00	0,00	0,00	1,00	4,00	
Densidade compras (/100m)		135	0,07	0,11	145,12	0,00	0,00	0,00	0,14	0,63	
Exposição compras?		135	0,46	0,50	108,91	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	
# Prédios Especiais - Saúde		135	0,13	0,38	297,92	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	
# Prédios Especiais - Religião		135	0,13	0,33	264,44	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	
# Prédios Especiais - Educação		135	1,56	2,84	182,79	0,00	0,00	0,00	2,00	14,00	
# Prédios Especiais - Públicos/cívicos		135	0,09	0,36	399,92	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	
# Prédios Especiais - sem classificação		135	0,74	1,40	188,74	0,00	0,00	0,00	1,00	7,00	
Total Prédios Especiais		135	2,64	3,21	121,57	0,00	0,00	2,00	5,00	15,00	
Densidade Prédios Especiais (/100m)		135	0,33	0,46	140,86	0,00	0,00	0,17	0,48	2,50	
Exposição a Prédios Especiais?		135	0,60	0,49	81,95	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	
# Espaços Verdes - Parques		135	0,24	0,45	183,41	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	
# Espaços Verdes - Playgrounds		135	0,07	0,25	375,56	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	
# Espaços Verdes - Praças/largos		135	1,70	1,66	98,03	0,00	0,00	1,00	3,00	7,00	
Total Espaços Verdes		135	2,11	2,05	97,12	0,00	1,00	2,00	3,00	11,00	
Densidade Espaços Verdes (/100m)		135	0,25	0,22	90,45	0,00	0,10	0,21	0,35	1,19	
Exposição a Espaços Verdes?		135	0,77	0,42	54,80	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
# Atalhos por Espaços Verdes		135	0,13	0,36	271,81	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	
Atalho por Espaços Verdes?		135	0,13	0,33	264,44	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	
# Campi Universidade		135	0,46	0,85	185,76	0,00	0,00	0,00	1,00	3,00	
# Hospital		135	0,27	0,46	172,64	0,00	0,00	0,00	1,00	2,00	
Total Áreas Semi-públicas		135	0,73	1,17	160,92	0,00	0,00	0,00	1,00	4,00	
Densidade Áreas Semi-públicas (/100m)		135	0,09	0,17	189,81	0,00	0,00	0,00	0,13	0,85	
Exposição a Áreas Semi-públicas?		135	0,35	0,48	137,34	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	
# Atalhos por Áreas Semi-públicas		135	0,14	0,39	276,73	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	
Atalho por Áreas Semi-públicas?		135	0,13	0,33	264,44	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	
# Edificações	135	96,97	77,74	80,17	5,00	54,00	74,00	119,00	428,00		
Densidade de Edificações (/100m)	135	10,57	5,01	47,40	1,51	6,93	10,41	14,65	21,29		
Continuidade (m/edif)	135	13,60	11,44	84,14	4,70	6,82	9,61	14,42	66,41		
Declividade média (%)	135	1,92	1,31	0,68	0,00	1,12	1,76	2,53	5,03		
Declividade máxima (%)	135	8,49	6,48	0,76	0,69	3,91	7,86	9,59	28,34		

Tabela 9 - características das trilhas

A Tabela 10 traz as correlações entre as variáveis numéricas contínuas das trilhas, divididas pelos blocos *Rede*, *Vias* e *Forma Urbana* e sempre incluindo o atributo distância. Essa análise auxilia na adequada seleção de variáveis, com o objetivo evitar redundância e multicolinearidade nos modelos.

<i>Rede</i>	Distancia	Airline	Straightness	Nos	dens_Nos	Conversoes	Comp_link
<i>Distancia</i>	1,00						
<i>Airline</i>	0,97	1,00					
<i>Straightness</i>	-0,02	0,17	1,00				
<i>Nos</i>	0,84	0,80	-0,02	1,00			
<i>dens_Nos</i>	-0,03	-0,03	0,05	0,42	1,00		
<i>Conversoes</i>	0,69	0,59	-0,24	0,84	0,37	1,00	
<i>Comp_link</i>	0,16	0,19	-0,05	-0,22	-0,54	-0,22	1,00

<i>Vias</i>	Distancia	Hierarquia_media	prop_Arteriais	prop_Locais	prop_Pedestres	dens_Pare	dens_Sinaleiras	dens_Faixas
<i>Distancia</i>	1,00							
<i>Hierarquia_media</i>	-0,13	1,00						
<i>prop_Arteriais</i>	0,14	-0,79	1,00					
<i>prop_Locais</i>	-0,11	0,28	-0,75	1,00				
<i>prop_Pedestres</i>	-0,03	0,68	-0,27	-0,43	1,00			
<i>dens_Pare</i>	0,07	-0,06	-0,04	0,13	-0,14	1,00		
<i>dens_Sinaleiras</i>	0,16	-0,24	0,29	-0,22	-0,08	-0,16	1,00	
<i>dens_Faixas</i>	0,07	-0,23	0,26	-0,21	-0,04	-0,10	0,29	1,00

<i>Forma Urbana</i>	Distancia	dens_Predios_esp	dens_Compras	dens_Estac	dens_Parques	dens_Areas_pub	dens_Edf	Continuidade
<i>Distancia</i>	1,00							
<i>dens_Predios_esp</i>	-0,14	1,00						
<i>dens_Compras</i>	0,02	0,09	1,00					
<i>dens_Estac</i>	-0,03	0,43	0,04	1,00				
<i>dens_Parques</i>	-0,14	0,30	-0,04	0,21	1,00			
<i>dens_Areas_pub</i>	-0,06	0,63	0,07	0,55	0,44	1,00		
<i>dens_Edf</i>	-0,02	-0,53	-0,01	-0,27	-0,30	-0,45	1,00	
<i>Continuidade</i>	-0,13	0,50	0,08	0,39	0,27	0,54	-0,77	1,00

Tabela 10 - correlações entre as principais variáveis ( $n=406$ )

A Tabela 11 apresenta as principais estatísticas descritivas dos indivíduos, reclassificadas em variáveis categóricas. Ela também apresenta resultados de testes estatísticos para acessar as associações entre cada característica individual e quatro variáveis selecionadas: *quantidade de trilhas*, *distância*, *motivo de viagem (acesso ou outra)* e *tipo de rota (caminho mínimo ou divergente)*.

Os *valores-p* na última coluna de cada variável de interesse refletem a significância das possíveis associações entre elas e as características dos indivíduos acessadas através de teste de diferença de médias (*teste-t*), comparação múltipla de médias (*anova*) teste de associação através de tabulação cruzada (*chi-quadrado*), dependendo do tipo de variável.

Características dos indivíduos	Contagem		# Trilhas				Distância				Access Trips			Caminhos mínimos		
	Contagem	%	Contagem	Média	Desvio	p	Média	Desvio	p	Contagem	%	p	Contagem	%	p	
<b>TOTAL</b>	44	100%	160	4,69	2,0		1020,10	635,2		93	23%		161	40%		
<b>GÊNERO</b>																
Fem	27	61%	265	4,65	1,7	0,754 <sub>1</sub>	988,70	555,0	0,216 <sub>1</sub>	60	65%	0,862 <sub>3</sub>	113	70%	0,09 <sub>3</sub>	
Masc	17	39%	141	4,76	2,4		1079,00	762,3		33	35%		48	30%		
<b>HABITUAL?</b>																
Não	24	55%	219	4,42	1,8	0,078 <sub>1</sub>	968,1	534,8	0,082 <sub>1</sub>	45	48%	0,222 <sub>3</sub>	86	53%	0,863 <sub>3</sub>	
Sim	20	45%	187	4,97	2,2		1081	732,5		48	52%		75	47%		
<b>ESTUDA?</b>																
Não	22	50%	191	4,92	2,2	0,135 <sub>1</sub>	856,5	487,4	0,000 <sub>1</sub>	48	52%	0,315 <sub>3</sub>	86	53%	0,037 <sub>3</sub>	
Sim	22	50%	215	4,46	1,7		1165,4	712,5		45	48%		75	47%		
<b>OCUPAÇÃO AGREGADA</b>																
Empregado público/privado	30	68%	246	4,66	2,1	0,195 <sub>2</sub>	987,7	696,9	0,224 <sub>2</sub>	57	61%	0,735 <sub>3</sub>	101	63%	0,772 <sub>3</sub>	
Estudante/bolsista	11	25%	131	4,96	1,8		1095,8	541,8		31	33%		49	30%		
Aposentado/desempregado	3	7%	29	3,67	1,0		953,0	428,2		5	5%		11	7%		
<b>MOBILIDADE classe</b>																
< 6.5 viagens/dia	17	39%	145	4,86	2,5	0,000 <sub>2</sub>	1231,5	754,2	0,000 <sub>2</sub>	23	25%	0,025 <sub>3</sub>	46	29%	0,049 <sub>3</sub>	
6.5 - 10 viagens/dia	12	27%	75	3,44	1,4		899,9	446,2		23	25%		33	20%		
> 10 viagens/dia	15	34%	186	5,12	1,4		903,7	553,7		47	51%		82	51%		
<b>IDADE classe</b>																
< 27 anos	18	41%	180	4,53	1,7	0,429 <sub>2</sub>	1029,1	566,8	0,000 <sub>2</sub>	51	55%	0,066 <sub>3</sub>	60	37%	0,004 <sub>3</sub>	
27 - 44 anos	16	36%	123	4,96	2,5		1168,2	774,6		22	24%		46	29%		
> 45 anos	10	23%	103	4,56	1,5		827,3	506,6		20	22%		55	34%		
<b>EDUCAÇÃO AGREGADA</b>																
Médio	6	14%	55	4,11	1,9	0,422 <sub>2</sub>	1235,0	749	0,000 <sub>2</sub>	19	20%	0,000 <sub>3</sub>	21	13%	0,449 <sub>3</sub>	
Superior	25	57%	240	4,76	1,6		1052,8	665,3		63	68%		101	63%		
Pós-graduação	13	30%	111	4,76	2,7		842,8	437,6		11	12%		39	24%		

1 = teste-t (diferença entre médias)

2 = anova (comparação múltipla de médias)

3 = chi-quadrado (tabulação cruzada)

Tabela 11 - características dos indivíduos e testes

Os valores em destaque mostram que, a um nível de significância de 95%, as distâncias estão associadas com *Idade*, *Educação*, *Estudante* e *Mobilidade*.

A existência de associação entre distância e idade indica que jovens caminham maiores distâncias, as quais são significativamente diferentes (e menores) nas faixas etárias mais avançadas. A diferença significativa de distância média entre as faixas de educação demonstra que pessoas com menor instrução fazem caminhadas mais longas. Também no caso da categoria “estuda”, a diferença significativa de média de distancia indica que quem estuda faz viagens mais longas em relação a quem não estuda. Este achado é corroborado em alguma medida pelo que será visto na Tabela 12: viagens compulsórias (que agrupam os motivos trabalho e estudo) são mais significativamente longas que as recreacionais e de acesso ao transporte. Finalmente, a associação entre índice de mobilidade e as distâncias indica que as grandes caminhadas são feitas por indivíduos que realizam menor número de deslocamentos diários.

As associações entre a categoria *Access Trips* (caminhada de acesso a transporte motorizado) e as categorias de idade e nível de educação demonstram coerentemente que jovens utilizam mais transporte público e que pessoas com pós-graduação não o fazem.

Já a associação entre índice de mobilidade e as viagens de acesso é uma demonstração quase tautológica de que muitas viagens diárias envolvem possivelmente muitas caminhadas de acesso a transporte (correspondentes a 30% do total conforme a Tabela 12).

A Tabela 12 traz as características das viagens, também reclassificadas em variáveis categóricas. Os mesmos testes estatísticos foram realizados para acessar as associações entre essas características e três

variáveis selecionadas: *distância*, *tipo de rota* (caminho mínimo ou divergente) e *status do indivíduo* que realizou a viagem (caminhante habitual ou não).

<i>Características das viagens</i>	<i>Contagem</i>		<i>Distância</i>		<i>p</i>	<i>Caminhos mínimos</i>		<i>p</i>	<i>Habituais</i>		<i>p</i>
		<i>%</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio</i>		<i>Contagem</i>	<i>%</i>		<i>Contagem</i>	<i>%</i>	
<b>TOTAL</b>	160	100%	793,6	607,3		89	56%		77	48%	
<b>MOTIVO</b>											
Access to other mode	48	30%	536,5	372,5		39	44%		27	35%	
Family/Personal	18	11%	722,0	403,9		11	12%		5	6%	
Return Home	25	16%	1034,0	613,0		11	12%		14	18%	
Work	14	9%	818,0	870,0		7	8%		7	9%	
Shopping	20	13%	647,0	462,0		10	11%		8	10%	
Recreational	14	9%	980,0	800,0		4	4%		7	9%	
Study	10	6%	1196,0	527,0		2	2%		4	5%	
Health	3	2%	1232,0	553,0		1	1%		2	3%	
Other	8	5%	1078,0	965,0		4	4%		3	4%	
<b>MOTIVO AGREGADO</b>											
Compulsórias	24	15%	976,0	757,0	0,001 <sub>2</sub>	9	10%	0,000 <sub>3</sub>	11	14%	0,4 <sub>3</sub>
Não compulsórias	88	55%	884,2	627,5		41	46%		39	51%	
Access trip	48	30%	536,5	372,5		39	44%		27	35%	
<b>Dentro do CD?</b>											
Sim	60	38%	686,6	438,4	0,000 <sub>2</sub>	35	39%	0,000 <sub>3</sub>	40	52%	0,000 <sub>3</sub>
Parte	43	27%	1205,0	715,0		8	9%		23	30%	
Não	57	36%	596,0	524,0		46	52%		14	18%	
<b>LONGA?</b>											
Não	106	66%	450,7	167,0	0,000 <sub>1</sub>	79	89%	0,000 <sub>3</sub>	53	69%	0,506 <sub>3</sub>
Sim	54	34%	1466,7	595,5		10	11%		24	31%	
<b>NOITE?</b>											
Não	113	71%	804,1	607,4	0,737 <sub>1</sub>	58	65%	0,087 <sub>3</sub>	51	66%	0,24 <sub>3</sub>
Sim	47	29%	768,4	613,0		31	35%		26	34%	
<b>PICO?</b>											
Não	114	71%	746,2	563,1	0,158 <sub>1</sub>	62	70%	0,619 <sub>3</sub>	51	66%	0,177 <sub>3</sub>
Sim	46	29%	911,0	698,0		27	30%		26	34%	

1 = teste-t (diferença entre médias)

2 = anova (comparação múltipla de médias)

3 = chi-quadrado (tabulação cruzada)

Tabela 12 - características das viagens e testes

As associações mais notáveis são aquelas entre os motivos e a distância e entre os motivos e a condição “caminho mínimo”. As viagens de acesso a transporte têm médias de distância significativamente diferentes das demais (são mais curtas) e utilizam predominantemente rotas por caminhos mínimos.

A localização das viagens está associada com a distância: as viagens parcialmente dentro da área central (entram ou saem de seu perímetro) são significativamente mais longas. As viagens realizadas parcialmente dentro da área central estão associadas com os caminhos mínimos e com os caminhantes habituais. Isso é bastante intuitivo, dado que viagens mais longas também estão associadas com o uso de rotas alternativas. Já a associação entre as viagens realizadas integralmente dentro da área central e os caminhantes habituais indica reflete a caminhabilidade dessa região, que acolhe grande número de pessoas que realizam viagens a pé regularmente.

#### 4.2. Conjuntos de Escolha / Choice sets

Utilizando os procedimentos e critérios enunciados no Método, as 160 viagens a pé foram processadas espacialmente para gerar os conjuntos de escolha para cada uma delas. Uma primeira rodada simulatória foi realizada, conforme proposto na seção 3.2.2: para cada viagem, uma rota potencial ligando a

origem e o destino foi gerada, utilizando a estrutura da rede, os atributos dos nós e *links* e as restrições de navegação.

O primeiro critério de custo minimizado foi a distância, produzindo o “caminho mais curto” de cada viagem. Este foi chamado de “Caminho Mínimo” e então comparado com a rota efetivamente realizada, através da checagem da coincidência dos *links* e nós utilizados. Cada viagem recebeu então um atributo de “*Divergente?*” representada por uma variável *dummy* que funciona como resposta na modelagem binária. O fluxograma deste processo está na Figura 14:

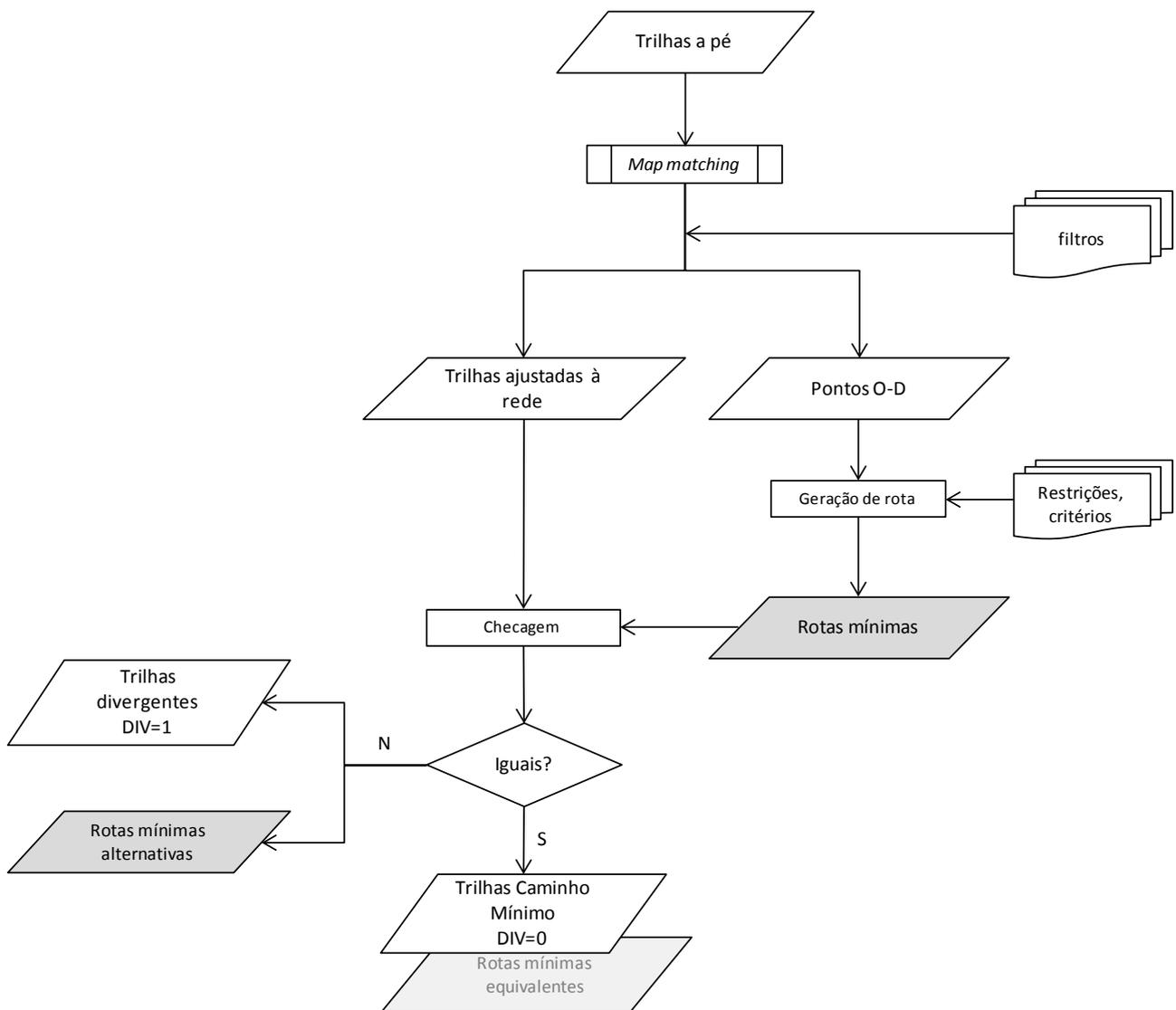


Figura 14 - fluxograma para a geração dos caminhos mínimos e checagem das rotas realizadas

A seguir, os procedimentos de geração e verificação de rotas foram realizados em sua totalidade. Das 160 trilhas, 25 (15,62%) não produziram alternativas. Assim, restaram 135 viagens na amostra, as quais produziram 406 rotas, com média de 3,25 alternativas para cada uma delas (considerando a realizada). Este número total de alternativas por trilha variou de duas a quatro e, portanto, os *choice sets* não têm o mesmo tamanho, significando que cada viagem/situação de escolha possui diferentes quantidades de alternativas.

Dada a metodologia de geração e filtragem dos *choice sets* completos - determinística no sentido de que se controlou a inclusão e exclusão de alternativas - optou-se por não “rotular” as rotas geradas, inserindo-as no banco de dados para a modelagem multinomial como alternativas não rotuladas. A modelagem de escolha com múltiplas alternativas não requer nem recomenda uma identificação qualitativa da “rota mais curta”, “rota mais direta”, “rota mais plana” e etc. Ortúzar e Willumsen afirmam que problemas de escolha de rota, ao contrário de escolha modal, não favorecem a rotulação das alternativas, pois isto levaria à necessidade de estimação de coeficientes específicos para as variáveis das rotas e de coeficientes específicos para as variáveis individuais. Sem a rotulação, apenas coeficientes genéricos para as variáveis das rotas e dos indivíduos são suficientes (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 1990).

De qualquer maneira, as rotas geradas precisam receber algum tipo de identificação de maneira a possibilitar a correta montagem do *dataset* para estimação dos modelos. Assim, as rotas foram identificadas com base em sua distância e no índice de desvio em relação ao caminho mínimo (DI):

- *Primeira*: rota mais curta - caminho mínimo;
- *Segunda*: rota com o menor desvio em relação ao caminho mínimo;
- *Terceira*: rota com o segundo menor desvio em relação ao caminho mínimo;
- *Quarta*: rota com o maior desvio em relação ao caminho mínimo (dentro da restrição de DI máximo);

A frequência das alternativas escolhidas foi a seguinte:

	<i>Primeira</i>	<i>Segunda</i>	<i>Terceira</i>	<i>Quarta</i>
<i>n</i>	73	39	9	14
<i>%</i>	54,03%	29,03%	6,45%	10,48%

Tabela 13 - rotas escolhidas

### 4.3. Banco de dados

A modelagem aqui adotada utiliza como unidade de análise a viagem - um deslocamento a pé realizado entre origem e destino (conforme definição metodológica da seção 3.2.1) - e não os indivíduos. Essa é a abordagem mais tradicional em transportes para a estimação com modelos *Logit* de situações de escolha: a decisão de adotar uma alternativa dentre um conjunto de alternativas. No caso presente, a decisão de escolher uma única rota dentre as alternativas que a rede oferece para realizar a viagem. Desta forma, a distinção entre situação de escolha (viagem) e indivíduo é relevante, pois existem repetidas viagens feitas pelos mesmos indivíduos - dados em painel (*panel data*) - e mais, o número de viagens não é igual para todos os indivíduos.

A variável resposta (“escolha”) foi codificada com o “nome” de cada rota, conforme acima: “primeira”, “segunda”, “terceira” ou “quarta”. Os fatores influentes sobre essa escolha são atributos codificados em variáveis explicativas/preditoras que podem ser específicas de cada alternativa - as características das rotas - ou puramente específicas dos indivíduos e das viagens (não variam entre as rotas alternativas de uma mesma viagem).

Existem basicamente duas maneiras de organizar os dados para modelagem de escolha: uma conhecida como “*wide*” (larga) e outra “*long*” (longa). No primeiro caso, cada linha da tabela é uma viagem (situação de escolha) e as variáveis explicativas estão organizadas em blocos de colunas identificadas por rota alternativa. Este formato é mais adequado para armazenar bancos de dados com muitas variáveis específicas dos indivíduos. Caso contrário, é complicado para as variáveis específicas das alternativas, porque haverá tantas colunas para tais variáveis quantas alternativas (quatro, neste caso). Este é o formato utilizado pelo *software* “*Biogeme*” (BIERLAIRE, 2003) e ele requer uma variável de disponibilidade para indicar se a alternativa existe naquele *choice set*.

No segundo, cada linha é uma rota, a qual é devidamente identificada como alternativa de uma viagem. Portanto, blocos de linhas formam um *choice set* e as colunas trazem cada variável explicativa uma única vez. A vantagem deste formato é que há muito menos colunas, porém os valores dos atributos dos indivíduos e das viagens serão repetidos de duas a quatro vezes. Este é o formato utilizado pelo *software* “*R*” (THE R FOUNDATION).

## 5. MODELAGEM DE ESCOLHA

### 5.1. *Por que não o caminho mais curto? O que pode influenciar a escolha de rotas alternativas em viagens a pé.*

Como visto até aqui, o caminho de menor distância é frequentemente o mais utilizado para viagens a pé entre origens e destinos pré-estabelecidos e em condições de razoável conhecimento do ambiente. Controladas características individuais (demográficas e socioeconômicas) e da viagem (motivo, horário, base) a utilização ou não do caminho de menor distância é uma escolha influenciada basicamente pelas restrições e vantagens do ambiente construído.

Assim, o interesse deste primeiro modelo de escolha é identificar e dimensionar a importância dos atributos do ambiente sobre a probabilidade de escolher uma rota divergente do caminho mais curto.

As rotas realizadas foram comparadas com a rota simulada que minimizou o custo distância (o caminho mais curto) em termos de sua similaridade espacial – grau de sobreposição - e uma variável resposta binária foi atribuída a cada viagem conforme a sua condição de “*divergente*” (1) ou “*caminho mínimo*” (0).

#### 5.1.1. Estatísticas Descritivas / análises preliminares

O Modelo 1 foi estimado apenas com as 116 viagens e os 34 indivíduos da coleta dos anos de 2011 a 2013.

A Tabela 14 apresenta estatísticas descritivas das rotas realizadas e também testes estatísticos de diferença de médias (*teste-t*) para acessar a significância das diferenças entre as médias dos atributos das rotas divergentes (DP) em relação às rotas caminho mínimo (SP).

Já a Tabela 15 traz as estatísticas das diferenças calculadas entre os atributos das 43 DP (apenas as viagens que utilizaram uma rota diferente daquela de menor distância) e seu respectivo SP. As diferenças entre os atributos da rota e do ambiente construído foram calculadas da seguinte forma:

$$DIFFx_i = x_{track\ i} - x_{sp\ i} \quad (14)$$

Onde:

$DIFFx_i$  = Diferença do atributo  $x$  na rota  $i$

$X_{track\ i}$  = valor do atributo  $x$  na rota  $i$

$X_{sp\ i}$  = valor do atributo  $x$  no caminho mínimo entre os pontos O-D da rota  $i$

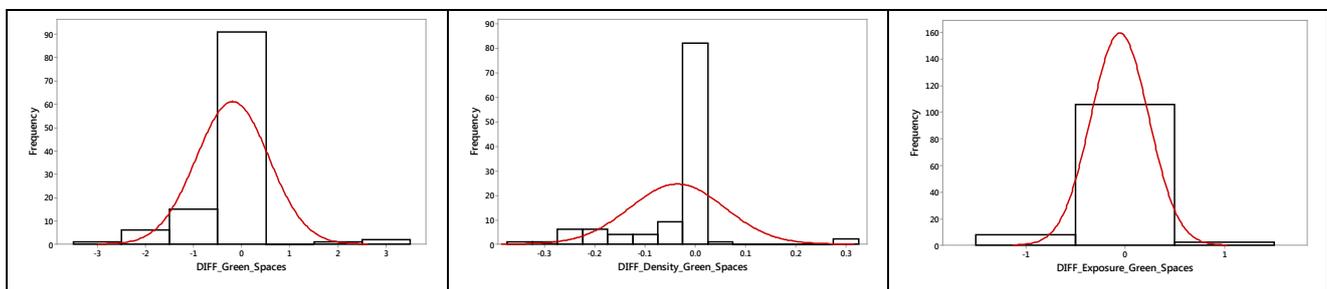
	Trilhas			Divergentes		Caminho mínimo		Diferença		Diff. como % de	p	
	Características das trilhas	Contagem	Média	Desvio	Contagem	Média	Contagem	Média	médiaDP - médiaSP			médiaDP
<i>Rede</i>	Airline	116	570,20	465,00	43	856,80	73	401,40	455,40	53%	<b>0,000</b>	
	Distância	116	774,50	589,60	43	1187,00	73	532,00	655,00	55%	<b>0,000</b>	
	Straightness (AL/L)	116	0,73	0,12	43	0,70	73	0,74	-0,04	-6%	<i>0,066</i>	
	# Nós (intersecções)	116	10,16	8,86	43	15,63	73	6,93	8,70	56%	<b>0,000</b>	
	# Links (arcos, segmentos)	116	11,90	9,67	43	18,00	73	8,30	9,70	54%	<b>0,000</b>	
	Coprimento médio do Link	116	77,16	34,97	43	75,20	73	78,30	-3,10	-4%	<i>0,663</i>	
	Densidade de links	116	1,56	0,72	43	1,61	73	1,54	0,07	4%	<i>0,625</i>	
	<i>Vias</i>	# Mãos-únicas	116	8,78	8,12	43	12,81	73	6,41	6,40	50%	<b>0,000</b>
# Pontes		116	0,31	1,28	43	0,37	73	0,27	0,10	27%	<i>0,686</i>	
# Túneis		116	0,09	0,55	43	*	73	*	*	*	*	
# Vias arteriais		116	5,63	6,92	43	8,49	73	3,95	4,54	53%	<b>0,004</b>	
# Vias locais		116	3,85	3,84	43	5,40	73	2,95	2,45	45%	<b>0,005</b>	
# Vias pedestres		116	2,31	3,99	43	4,05	73	1,29	2,76	68%	<b>0,001</b>	
% da trilha em Arteriais		116	43%	27%	43	0,38	73	0,46	-0,08	-20%	<i>0,153</i>	
% da trilha em Locais		116	42%	28%	43	0,39	73	0,44	-0,05	-11%	<i>0,411</i>	
% da trilha em Pedestres		116	14%	20%	43	0,22	73	0,09	0,13	59%	<b>0,002</b>	
# Faixas de segurança		116	2,03	2,72	43	3,02	73	1,37	1,65	55%	<b>0,003</b>	
# Placas de Pare		116	0,18	0,80	43	0,09	73	0,23	-0,14	-151%	<i>0,270</i>	
# Sinaléiras		116	4,08	5,17	43	6,21	73	2,82	3,39	55%	<b>0,006</b>	
Densidade de faixas de segurança (/100m)		116	0,25	0,32	43	0,25	73	0,25	0,00	0%	<i>0,998</i>	
Densidade de placas de Pare (/100m)		116	0,02	0,10	43	0,01	73	0,03	-0,02	-327%	<i>0,125</i>	
Densidade de Sinaléiras (/100m)		116	0,52	0,36	43	0,48	73	0,54	-0,07	-14%	<i>0,312</i>	
<i>Forma Urbana</i>		# Postos de gasolina	116	0,09	0,31	43	0,09	73	0,08	0,01	11%	<i>0,867</i>
		# Estacionamento	116	0,66	1,19	43	1,14	73	0,38	0,76	66%	<b>0,006</b>
		Total postos/estacionamentos	116	0,75	1,33	43	1,23	73	0,47	0,77	62%	<i>0,012</i>
		Densidade postos/estacionamentos (/100m)	116	0,09	0,16	43	0,09	73	0,09	-0,01	-8%	<i>0,787</i>
		Exposição a postos/estacionamentos? (1/0)	116			43		73				
	# Supermercados	116	0,20	0,42	43	0,33	73	0,19	0,13	41%	<i>0,151</i>	
	# Shoppings/centros comerciais	116	0,31	0,60	43	0,56	73	0,26	0,30	53%	<i>0,031</i>	
	Total compras	116	0,51	0,69	43	0,88	73	0,45	0,43	49%	<b>0,009</b>	
	Densidade compras (/100m)	116	0,09	0,14	43	0,08	73	0,10	-0,02	-19%	<i>0,494</i>	
	Exposição a compras? (1/0)	116			43		73					
	# Prédios Especiais - Saúde	116	0,13	0,39	43	0,16	73	0,11	0,05	33%	<i>0,522</i>	
	# Prédios Especiais - Religião	116	0,16	0,36	43	0,26	73	0,14	0,12	46%	<i>0,135</i>	
	# Prédios Especiais - Educação	116	1,40	2,44	43	2,00	73	1,11	0,89	45%	<i>0,094</i>	
	# Prédios Especiais - Públicos/cívicos	116	0,03	0,16	43	*	73	*	*	*	*	
	# Prédios Especiais - sem classificação	116	0,68	1,39	43	1,33	73	0,33	1,00	75%	<b>0,001</b>	
	Total Prédios Especiais	116	2,39	2,88	43	3,86	73	1,68	2,18	56%	<b>0,000</b>	
	Densidade Prédios Especiais (/100m)	116	0,35	0,46	43	0,37	73	0,32	0,06	16%	<i>0,464</i>	
	Exposição a Prédios Especiais? (1/0)	116			43		73					
	# Espaços Verdes - Parques	116	0,11	0,32	43	0,21	73	0,06	0,15	74%	<b>0,027</b>	
	# Espaços Verdes - Playgrounds	116	0,01	0,09	43	*	73	*	*	*	*	
	# Espaços Verdes - Praças/largos	116	1,33	1,54	43	*	73	*	*	*	*	
	Total Espaços Verdes	116	1,45	1,60	43	2,00	73	1,12	0,88	44%	<b>0,006</b>	
	Densidade Espaços Verdes (/100m)	116	0,21	0,27	43	0,19	73	0,22	-0,03	-18%	<i>0,441</i>	
	Exposição a Espaços Verdes? (1/0)	116			43		73					
	# Atalhos por Espaços Verdes	116	0,14	0,39	43	0,79	73	0,48	0,31	39%	<b>0,000</b>	
	Atalho por Espaços Verdes? (1/0)	116			43		73					
	# Campi Universidade	116	0,38	0,74	43	0,47	73	0,33	0,14	29%	<i>0,365</i>	
# Hospital area	116	0,25	0,43	43	0,30	73	0,22	0,08	27%	<i>0,337</i>		
Total Áreas Semi-públicas	116	0,63	1,05	43	0,77	73	0,55	0,22	29%	<i>0,295</i>		
Densidade Áreas Semi-públicas (/100m)	116	0,09	0,18	43	0,06	73	0,10	-0,04	-59%	<i>0,215</i>		
Exposição a Áreas Semi-públicas? (1/0)	116			43		73						
# Atalhos por Áreas Semi-públicas	116	0,14	0,41	43	0,40	73	0,27	0,12	31%	<i>0,191</i>		
Atalho por Áreas Semi-públicas? (1/0)	116			43		73						
<i>Localização</i>	% da rota dentro do Distrito Central	116	55%	46%								

Tabela 14 - estatísticas descritivas das trilhas (rotas realizadas) e testes

		Diferença (Trilha divergente - caminho mínimo disponível)									
Características das trilhas		Contagem	Média	Desvio	CoefVar	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	
Rede	Distância	43	135,70	163,00	120,14	0,20	17,50	89,10	178,10	587,20	
	DI (desvio = distância/caminho mínimo)	43	1,15	0,20	17,23	1,00	1,01	1,08	1,19	2,01	
	Straightness (AL/L)	43	-0,09	0,10	-107,64	-0,42	-0,13	-0,06	-0,01	0,00	
	# Nós (intersecções)	43	0,26	5,44	2125,91	-7,00	-3,00	-1,00	1,00	22,00	
	# Links (arcos, segmentos)	43	1,63	5,46	335,66	-7,00	-1,00	0,00	4,00	22,00	
	Comprimento médio do Link	43	4,37	15,68	358,42	-40,51	-5,43	2,72	14,61	34,18	
	Densidade de links	43	-0,11	0,39	-341,14	-0,99	-0,25	-0,06	0,09	0,69	
Vias	# Vias arteriais	43	1,40	5,13	367,48	-10,00	-1,00	0,00	2,00	17,00	
	# Vias locais	43	-0,07	4,08	-5846,50	-11,00	-1,00	0,00	1,00	16,00	
	# Vias pedestres	43	0,28	5,32	1904,69	-18,00	-1,00	0,00	2,00	23,00	
	% da trilha em Arteriais	43	0,01	0,25	3648,34	-0,87	-0,08	0,00	0,13	0,51	
	% da trilha em Locais	43	-0,04	0,20	-556,06	-0,51	-0,13	0,00	0,06	0,53	
	% da trilha em Pedestres	43	0,02	0,18	1041,43	-0,49	-0,07	0,00	0,08	0,53	
	# Faixas de segurança	43	0,16	1,85	1136,88	-4,00	-1,00	0,00	1,00	5,00	
	# Placas de Pare	43	-0,02	0,27	-1144,76	-1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	
	# Sinaléticas	43	1,28	2,44	190,99	-3,00	0,00	1,00	3,00	10,00	
	Densidade de faixas de segurança (/100m)	43	-0,02	0,19	-1130,98	-0,49	-0,12	0,00	0,05	0,61	
	Densidade de placas de Pare (/100m)	43	0,00	0,02	-687,61	-0,08	0,00	0,00	0,00	0,06	
	Densidade de Sinaléticas (/100m)	43	0,06	0,26	446,75	-0,54	-0,09	0,02	0,16	0,70	
	Forma Urbana	Total postos/estacionamentos	43	-0,09	0,87	-932,87	-3,00	0,00	0,00	0,00	2,00
		Densidade postos/estacionamentos (/100m)	43	-0,02	0,08	-384,89	-0,30	-0,01	0,00	0,00	0,10
Exposição a postos/estacionamentos? (1/0)		43	0,00	0,22	*	-1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	
Total compras		43	0,28	0,63	225,62	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	
Densidade compras (/100m)		43	0,01	0,06	400,90	-0,09	0,00	0,00	0,00	0,17	
Exposição compras? (1/0)		43	0,09	0,29	315,95	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	
Total Prédios especiais		43	0,40	1,99	503,28	-6,00	0,00	0,00	1,00	9,00	
Densidade Prédios Especiais (/100m)		43	-0,02	0,19	-888,89	-0,62	-0,03	0,00	0,02	0,56	
Exposição a Prédios Especiais? (1/0)		43	0,02	0,15	655,74	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	
Total Espaços Verdes		43	-0,26	1,14	-444,01	-3,00	-1,00	0,00	0,00	3,00	
Densidade Espaços Verdes (/100m)		43	-0,05	0,12	-254,65	-0,37	-0,09	-0,02	0,00	0,31	
Exposição a Espaços Verdes? (1/0)		43	0,00	0,31	*	-1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	
# Atalhos por Espaços Verdes		43	0,14	0,68	484,09	-2,00	0,00	0,00	0,00	2,00	
Atalho por Espaços Verdes? (1/0)		43	0,14	0,47	334,74	-1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	
Total Áreas Semi-públicas		43	0,02	0,56	2390,16	-2,00	0,00	0,00	0,00	2,00	
Densidade Áreas Semi-públicas (/100m)		43	0,00	0,04	-3067,71	-0,10	0,00	0,00	0,00	0,12	
Exposição a Áreas Semi-públicas? (1/0)	43	0,02	0,27	1144,76	-1,00	0,00	0,00	0,00	1,00		
# Atalhos por Áreas Semi-públicas	43	-0,02	0,15	-655,74	-1,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Atalho por Áreas Semi-públicas? (1/0)	43	0,00	0,00	*	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		

Tabela 15 - estatísticas das diferenças entre os atributos das 43 DP e seus respectivos SP

As diferenças são pequenas, com exceção da distância (e *straightness*). Existem muitos valores “zero” (nenhuma diferença) ou próximos a zero nas médias e medianas, com dispersão relativamente alta e distribuição que, apesar de não normal, se presta a codificação e criação de variáveis categóricas. Abaixo, um exemplo:



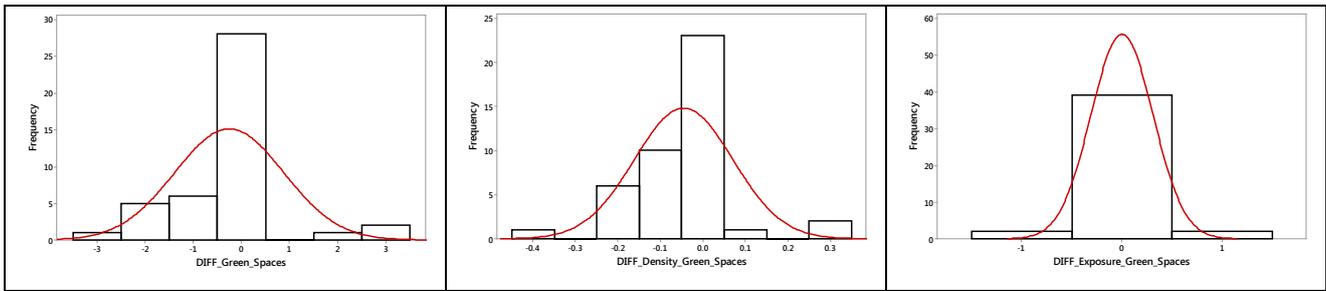


Figura 15 - distribuições das diversas medidas da variável “áreas verdes”

Na linha superior da figura, as distribuições para as diferenças entre o atributo “Áreas Verdes” (parques, praças e áreas verdes) de todas das rotas realizadas e dos seus respectivos caminhos mínimos. A primeira se refere ao total de áreas verdes (contagem), o segundo à densidade (#/100m) e o terceiro a Exposição (binária que expressa a existência ou não ao longo da trilha). Estas distribuições incluem muitos zeros, pois existem 73 rotas realizadas do tipo “caminho mínimo” e, portanto, não existe diferença entre elas e seu caminho mínimo simulado.

Na linha inferior as mesmas distribuições apenas para as 43 trilhas divergentes, mostrando um discreto aumento de frequência de diferenças “reais” - maiores ou menores do que zero. Isso indica que, mesmo entre as caminhadas que divergem do caminho mínimo, as diferenças entre os atributos são pequenas.

Para lidar com essa limitação dos dados, foram construídas as seguintes variáveis categóricas que podem ser posteriormente utilizadas na estimação dos modelos:

	<i>DIFF Contagem</i>			<i>DIFF Densidade</i>			<i>DIFF Proporção</i>			<i>DIFF Exposure</i>		
<i>Valor</i>	<1	ZERO	>1	<1	ZERO	>1	<1	ZERO	>1	-1	ZERO	1
<i>Significa</i>	Mais no SP	IGUAL	Mais na trilha	Mais no SP	IGUAL	Mais na trilha	Maior no SP	IGUAL	Maior na trilha	Só no SP	IGUAL	Só na trilha
<i>Classe</i>	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c

Tabela 16 - variáveis categóricas 1

Com três categorias que classificam as diferenças da seguinte maneira: se a contagem, densidade, proporção ou existência do atributo é maior na rota realizada ( $DIFF < 0$ ), classe “a”. Se as diferenças são iguais, classe “b”. Se as diferenças são maiores na rota realizada, classe “c”.

Já as métricas distância, *straightness* e DI (índice de desvio em relação ao caminho mínimo) sempre serão iguais ou maiores do que zero, pois o valor destes atributos na rota realizada nunca pode ser menor do que o do mesmo atributo no seu respectivo caminho mínimo. Portanto, a codificação é a seguinte:

	<i>DIFF Straightness</i>			<i>DIFF Comprimento</i>				<i>DI (índice de desvio)</i>			
<i>Valor</i>	ZERO	<MEDIANA	>MEDIANA	ZERO	1º TERCIL	2º TERCIL	3º TERCIL	ZERO	1º TERCIL	2º TERCIL	3º TERCIL
<i>Significa</i>	IGUAL	pouco tortuosa	mais tortuosa	IGUAL	pouco	moderado	muito	IGUAL	pequeno	moderado	grande
<i>Classe</i>	a	b	c	a	b	c	d	a	b	c	d

Tabela 17 - variáveis categóricas 2

Nestes casos, três ou quatro categorias foram criadas, classificando as diferenças de acordo com seu grau de afastamento do zero (igualdade entre a rota realizada e o caminho mínimo).

A seguir, uma modelagem com o método de análise discriminante foi conduzida para responder preliminarmente a pergunta desse estudo: é possível classificar as observações em dois grupos (caminhos mínimos e trilhas divergentes) a partir das suas características?

Análise discriminante é um método multivariado que objetiva alocar observações em grupos. Através de combinações lineares (ou quadráticas) das variáveis independentes, é possível classificar as unidades nos grupos mais apropriados, elucidando as diferenças entre eles. Ela permite a identificação das variáveis mais relevantes para a separação, selecionando o melhor plano em que os pontos podem ser projetados com vistas à separação das observações.

A análise discriminante é semelhante à regressão logística (binária, neste caso), pois ambas tratam de estimar a relação de uma variável dependente não métrica (categórica) e um conjunto de variáveis independentes com o objetivo de identificar o grupo - categoria - a que pertence cada observação. (HAIR JR et al., 2007).

No caso presente, uma única função discriminante é utilizada para separar as observações nos dois grupos, através da estimativa de escores para o vetor de variáveis independentes. Esses coeficientes são comparados com os valores-limite - centroides dos grupos - para alocar as observações em cada um deles.

<i>Função</i>	<i>Resposta</i>	<i>Preditoras</i>	<i>N alocações corretas no grupo DP (sobre 43)</i>	<i>Sensibilidade - proporção de alocações corretas no grupo DP</i>	<i>N alocações corretas totais (sobre 116)</i>	<i>Acurácia - proporção total de alocações corretas</i>
1	Trilha Divergente?	Airline	18	0,4186	86	0,741
2	Trilha Divergente?	Airline	23	0,5349	88	0,758
		Comprimento médio do Link Straightness				
3	Trilha Divergente?	Airline	24	0,5581	87	0,750
		Comprimento médio do Link % de vias Pedestres				
4	Trilha Divergente?	Airline	26	0,6047	91	0,784
		Straightness % de vias Pedestres				
5	Trilha Divergente?	Airline	23	0,5349	86	0,741
		% de vias Pedestres				
6	Trilha Divergente?	Airline	22	0,5116	86	0,742
		% de vias Pedestres Exposição compras?				
7	Trilha Divergente?	Airline	24	0,5581	86	0,741
		% de vias Pedestres Exposição a Prédios Especiais?				
8	Trilha Divergente?	Airline	25	0,5814	87	0,750
		% de vias Pedestres Exposição a Áreas Verdes?				
9	Trilha Divergente?	Airline	29	0,6744	92	0,793
		% de vias Pedestres Straightness Exposição a Áreas Verdes?				
10	Trilha Divergente?	Airline	25	0,5814	86	0,742
		% de vias Pedestres Exposição a Áreas Verdes? % dentro do Distrito Central				
11	Trilha Divergente?	Airline	26	0,6047	88	0,758
		% de vias Pedestres Exposição a Áreas Verdes? Intercepta Distrito Central?				

*Correlações (variáveis contínuas)*

	<i>Airline</i>	<i>Comprimento médio do Link</i>	<i>Straightness</i>	<i>% de vias Pedestres</i>	<i>% dentro do Distrito Central</i>
<i>Airline</i>	1,000	0,091	0,266	0,023	-0,042
<i>Comprimento médio do Link</i>	0,091	1,000	0,036	-0,518	-0,316
<i>Straightness</i>	0,266	0,036	1,000	-0,083	0,192
<i>% de vias Pedestres</i>	0,023	-0,518	-0,083	1,000	0,235
<i>% dentro do Distrito Central</i>	-0,042	-0,316	0,192	0,235	1,000

Tabela 18 - resultados da análise discriminante

É possível perceber que, como era esperado, a distância é fundamentalmente o fator de discriminação entre os dois tipos de trilha. Como visto na Tabela 14, as viagens que não utilizam o caminho mínimo (*DP*) se caracterizam por distâncias maiores do que as o utilizam. Esta associação, a princípio trivial, no entanto, não pode ser confundida com a comparação entre as distâncias reais das duas opções de rota para uma mesma viagem, caso no qual sempre, e obviamente, o caminho mínimo será mais curto do que a *rota divergente*. A análise utiliza o comprimento da viagem, calculado como a distância em linha reta entre os pontos O-D (*airline*) e verifica se essa característica esta associada com o tipo de rota utilizada.

A conclusão é que à medida que a separação entre os pontos O-D aumenta, aumentam as chances de o pedestre utilizar uma rota alternativa àquela de menor distância. Em maiores distâncias, mais alternativas de trajeto podem surgir e os atributos do ambiente podem começar a exercer mais impacto sobre a escolha.

Assim, o comprimento da trilha (distância real) e os demais atributos absolutos - contagens de elementos ao longo do caminho - foram descartados por sua trivial associação com os tipos de rota - quanto

maior a trilha, mais elementos. Buscou-se então privilegiar o estudo de medidas relativas: densidade, proporção e “*exposição*” (existência).

Também a medida de *straightness* é por definição (razão *airline*/comprimento real) sempre menor ou igual nas rotas divergentes do que nos caminhos mínimos e, portanto, mesmo que essa diferença não seja estatisticamente significativa em termos absolutos (Tabela 14), a medida de “retidão” da rota é um atributo com alto poder discriminante. Assim, ela também foi descartada a fim de estimar funções discriminantes compostas fundamentalmente por variáveis representativas das características do sistema viário e da forma urbana.

As variáveis mais relevantes para a classificação são a proporção de vias pedestres na rota, a exposição a edifícios especiais e espaços verdes e a localização da viagem interceptando os limites da área central da cidade. Essas variáveis juntamente com o tamanho da viagem (*Airline*) atingiram as melhores taxas de sensibilidade, classificando as rotas mais corretamente no grupo das divergentes. O que pode ser interpretado daí é que as caminhadas que não utilizam o caminho mais curto utilizam mais vias favoráveis ao pedestre, privilegiam trechos com presença de prédios especiais (*landmarks*), praças ou parques e desenvolvem-se de forma a entrar ou sair da área central da cidade.

### 5.1.2. Modelos Logit Binomiais

Modelos *logit binomiais* foram estimados para acessar o impacto das variáveis sobre a escolha da rota divergente. A variável resposta é, portanto DIV (1/0).

Diversos modelos com diferentes especificações foram testados:

- a) Utilizando diretamente os atributos das rotas divergentes (DP) e dos caminhos mínimos (SP) em sua medida original e controlando das características dos indivíduos e das viagens através da simples inclusão dessas variáveis (categóricas);
- b) Utilizando as diferenças entre os atributos das DP e dos SP em sua medida original e controlando das características dos indivíduos e das viagens através da simples inclusão dessas variáveis (categóricas);
- c) Utilizando as diferenças entre os atributos das DP e dos SP transformadas em variáveis categóricas e controlando das características dos indivíduos e das viagens através da simples inclusão dessas variáveis (categóricas);
- d) Utilizando as diferenças entre os atributos das DP e dos SP em sua medida original e estratificando os motivos de viagem em diferentes modelos separados;

Os melhores resultados foram alcançados para as especificações (a) e (b), conforme abaixo.

a)

Resposta: DIV (1/0)	Coeficientes								
	Modelo 1			Modelo 2			Full Model		
	Coef	SE Coef	P-Value	Coef	SE Coef	P-Value	Coef	SE Coef	P-Value
<i>Intercepto</i>	3,923	1,689	0,020	4,160	1,718	0,015	5,025	2,163	0,020
<i>Airline</i>	0,004	0,001	<b>0,000</b>	0,004	0,001	<b>0,000</b>	0,004	0,001	<b>0,000</b>
<i>Straightness</i>	-10,254	2,852	<b>0,000</b>	-10,320	2,900	<b>0,000</b>	-11,213	3,176	<b>0,000</b>
<i>Densidade de links</i>	-1,238	0,559	0,026	-1,194	0,570	0,036	-1,213	0,624	0,051
<i>% de vias Pedestres</i>	6,373	1,912	<b>0,000</b>	6,287	1,968	<b>0,001</b>	6,010	1,981	<b>0,002</b>
<i>Exposição a Áreas Verdes 1 (0=não)</i>	1,728	0,744	0,020	1,844	0,777	0,017	2,007	0,807	0,012
<i>Habitual 1 (0=não)</i>				-0,764	0,582	0,189	-0,622	0,607	0,304
<i>Motivo agregado2 - recreacionais (1=utilitárias)</i>							0,274	0,827	0,740
<i>Motivo agregado 3 - acess trip</i>							-1,518	1,029	0,140

Modelo	#Termos	ANOVA			GL	R2(adj)	AIC		BIC	
		Resid. DF	Resid. Dev	GL			GL	GL		
Modelo 1	6	110	84,884	NA	41,24%	96,884	6	113,406	6	
Modelo 2	7	109	83,110	1	38,01%	97,110	7	116,385	7	
Full Model	9	107	77,105	2	44,32%	95,105	9	119,887	9	

Tabela 19 - resultados dos modelos binários (a)

Neste caso (a) o Modelo 1 usa apenas atributos da rota e da forma urbana, o Modelo 2 acrescenta uma variável *dummy* que representa o status do indivíduo (caminhante habitual ou não) e o Modelo 3 adiciona uma variável categórica de três níveis para representar o motivo da viagem (*Motivo agregado*): utilitárias, recreacionais e de acesso a transporte motorizado.

A interpretação é bastante direta: a distância em linha reta (*Airline*), a proporção de vias amigáveis ao pedestre e a exposição a áreas verdes possuem sinais positivos, indicando que o aumento desses atributos aumenta a probabilidade de a rota ser divergente, ou seja, de a viagem não utilizar o caminho mais curto. Todas essas variáveis são significativas a um nível de 95% ( $\alpha = 0,05$ ).

Já a densidade de links e a “direiteza” da rota (*Straightness*) possuem sinais negativos e são significativas, indicando que quanto mais trechos, menor a probabilidade de a viagem utilizar uma rota divergente ao caminho mais curto. Como visto nas matrizes de correlação, há uma relação forte e positiva entre densidade de *links* e de nós e o tamanho médio do *link*, portanto, quanto mais a rota é formada por muitos e pequenos trechos (e, conseqüentemente, nós ou intersecções), em oposição a poucos e longos trechos, menor sua probabilidade de ser um caminho diferente do mais curto.

Os atributos dos indivíduos (habitual) e da viagem (motivo) não se revelaram significativos nem mesmo com  $\alpha = 0,1$ .

b)

Resposta: DIV (0/1)

Variável	Modelo 1			Modelo 2			Modelo 3			Full Model		
	Coef	SE Coef	P-Value	Coef	SE Coef	P-Value	Coef	SE Coef	P-Value	Coef	SE Coef	P-Value
Intercepto	-3,222	0,658	0,000	-3,169	0,651	0,000	-2,902	0,645	0,000	-2,386	0,668	0,000
Airline	0,003	0,001	0,000	0,002	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000	0,002	0,001	0,000
DIF Densidade de links	-4,010	1,210	0,000	-4,580	1,340	0,000	-4,760	1,420	0,000	-5,550	1,500	0,000
DIF % Vias Pedestres	6,550	2,860	0,011	6,100	2,920	0,021	6,070	2,980	0,026	6,320	2,780	0,014
DIF Densidade compras				14,700	9,960	0,079	15,900	10,300	0,063	20,500	10,300	0,018
Dentro do DC 2 - parcialmente (1=fora)	1,764	0,725	0,014	1,642	0,726	0,020	2,238	0,808	0,005	2,163	0,871	0,012
Dentro do DC 3 - totalmente	0,602	0,612	0,326	0,536	0,623	0,380	1,096	0,689	0,111	1,068	0,727	0,141
Habitual 1 (0=não)							-1,423	0,605	0,014	-1,095	0,655	0,087
Access Trip 1 (0=outros motivos)										-2,525	0,995	0,002

Modelo	ANOVA				R-Sq(adj)	AIC		BIC	
	#Terms	Resid. DF	Resid. Dev	GL		GL	GL	GL	
Modelo 1	6	110	99,91	NA	31,41%	111,911	6	128,433	6
Modelo 2	7	109	96,82	1	32,78%	110,818	7	130,093	7
Modelo 3	8	108	90,80	1	36,06%	106,801	8	128,830	8
Full Model	9	107	81,02	1	41,80%	99,018	9	123,800	9

Tabela 20 - resultados dos modelos binários (b)

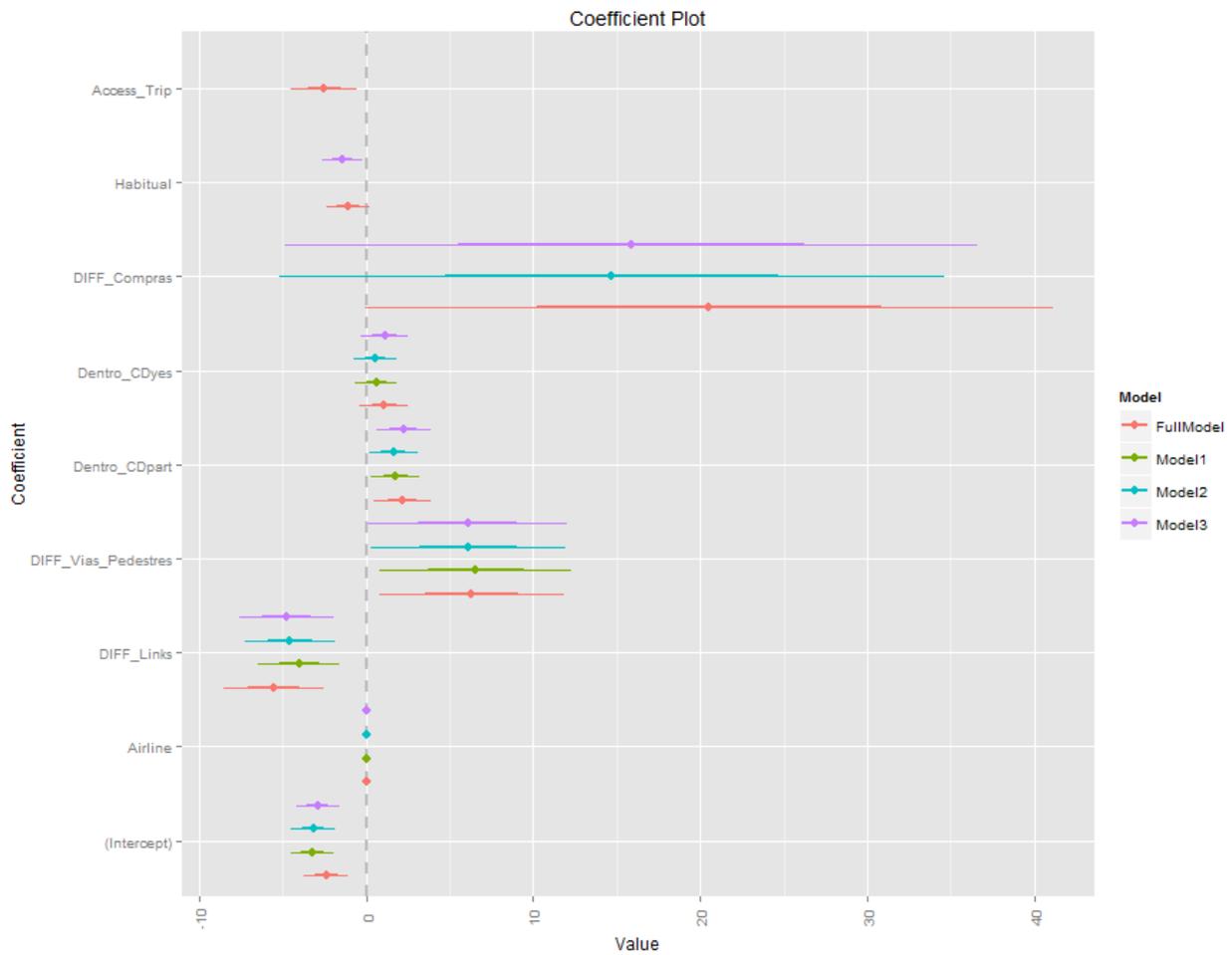


Figura 16 - gráfico de coeficientes e intervalos de confiança, modelos (b)

Nestes modelos, a variável *straightness* foi descartada, pelos motivos apresentados anteriormente. O Modelo1 usa apenas atributos da rota e da forma urbana, o Modelo 2 também, acrescentando a variável

“diferença de densidade compras” (*DIF Densidade compras*), o Modelo 3 uma variável binária que representa o status do indivíduo (caminhante habitual ou não) e o Modelo 4 (*full model*) adiciona uma nova *dummy* para expressar o motivo da viagem: de acesso ou outra.

Os resultados são semelhantes aos modelos (a): os coeficientes dos atributos do ambiente “diferença de tamanho da viagem” (*airline*), “diferença de proporção de vias pedestres” e “diferença de densidade de comércios” são positivos, enquanto a “diferença de densidade de arcos” tem parâmetro negativo.

Outros testes de ajuste deste modelo foram realizados, começando pela sua significância geral, uma medida que mostra o quanto o modelo com preditoras ajusta melhor do que o modelo apenas com intercepto. A estatística de teste é a diferença entre o resíduo da “desviância” (*deviance*) do modelo com preditoras e o apenas com intercepto, e ela tem distribuição qui-quadrado com número de graus de liberdade igual à diferença entre os graus de liberdade de ambos, ou seja, o número de preditoras no modelo:

<i>Modelo</i>	<i>Chi2 (DIF Deviance null - Model)</i>	<i>GL (DIF null - Model)</i>	<i>P-Value</i>	<i>Log-Likelihood</i>
<i>Modelo 1</i>	53,051	5	<b>0,000</b>	-49,956
<i>Modelo 2</i>	56,145	6	<b>0,000</b>	-48,409
<i>Modelo 3</i>	62,161	7	<b>0,000</b>	-45,400
<i>Full Model</i>	71,945	8	<b>0,000</b>	-40,508

Tabela 21 - testes de ajuste para os modelos binários (b)

Os valores de Chi-quadrado com seus respectivos graus de liberdade e valores-p associados menores do que 0,001 mostram que os modelos se ajustam melhor do que o modelo “vazio”. Esta estatística é muitas vezes chamada de teste de razão de verossimilhança (HOSMER, 2013), cujo valor de *log likelihood* está na última coluna da tabela.

O status do caminhante representado pela variável “caminhante habitual” se mostrou coerente na estimação: o habitual têm menos chances de utilizar a rota divergente em relação ao “motorizado”, indicando que pessoas que caminham frequentemente possivelmente são mais objetivas em suas viagens e procuram fundamentalmente minimizar seu esforço. Também o motivo “viagem de acesso” (*Access trip*) mostrou-se consistente com o esperado, pois existe menos probabilidade de uma viagem deste tipo utilizar uma rota alternativa do que os demais motivos.

A avaliação da influência dos motivos de viagem sobre a escolha de rotas, especialmente o motivo “acesso ao transporte” (público ou individual) merece um tratamento mais detalhado, tendo em vista a importância do planejamento das áreas de atendimento de terminais e estações de transporte público. Portanto, foi proposta uma análise de sensibilidade dos modelos de escolha binários para estudar as propriedades desse tipo de viagem e aprofundar o entendimento dos atributos do ambiente construído mais relevantes para a escolha de rotas divergentes.

Análise de sensibilidade de modelos é um tipo de estudo que permite avaliar o modelo e prever probabilidades de escolha conforme a variação de atributos. Neste caso foi avaliada a sensibilidade da escolha da rota divergente em cada um dos dois “níveis” da variável *access trip* quando mantidos constantes outros atributos: comprimento da viagem (*airline*), diferença de densidade *links* e diferença de proporção de vias pedestres.

Um modelo *Logit binário* adicional foi estimado com essas variáveis, conforme abaixo:

Variável	Coeficientes			ANOVA										
	Modelo 0	Coef	SE Coef	P-Value	Modelo	#Termos	Resid. GL	Resid. Dev	GL	R-Sq(adj)	AIC	GL	BIC	GL
Intercepto		-2,189	0,546	0,000	Modelo 0	5	111	95,47	-4	34,97%	105,470	5	119,238	5
Airline		0,003	0,001	0,000										
DIF Densidade de links		-4,221	1,220	0,000										
DIF % Vias Pedestres		5,650	2,444	0,020										
Access Trip1		-2,048	0,717	0,004										

Tabela 22 - resultados do modelo binário adicional (Modelo 0).

Fixada a distancia na média, mantida a diferença de densidade de *links* na média e mantida a diferença proporção de vias amigáveis ao pedestre na média, a probabilidade de escolher a rota divergente é de 0,105 quando a caminhada tiver como motivo o acesso a transporte motorizado, contra 0,477 quando não se tratar de uma etapa de viagem do tipo *access trip*.

Airline	DIF Densidade de links	DIF % Vias Pedestres	Access_Trip	Prob. Access_Trip
570,200	-0,036	0,006	0	0,478
570,200	-0,036	0,006	1	0,106

Tabela 23 - probabilidades previstas de escolha da rota divergente

A fixação da diferença de densidade de *links* (equivalente à densidade de intersecções e uma aproximação para tamanho do quarteirão) e da diferença de proporção de vias pedestres (um índice de “pedestrialidade” da rota) na média representa uma situação de quase igualdade entre a rota divergente e o caminho mínimo, dadas os valores muito próximos a zero. Neste caso, a escolha não deverá ser influenciada por esses atributos, pois nenhuma alternativa de rota teria clara superioridade sobre a outra.

A análise de sensibilidade foi então desenvolvida variando o atributo **distância** e observando o comportamento das probabilidades de escolha da rota divergente em cada uma das duas categorias de motivo de viagem estratificadas: caminhada de acesso a transporte motorizado (*access trip* = 1) vs todos os demais motivos (*access trip* = 0).

O gráfico da Figura 17 mostra as curvas dos valores de probabilidade previstos com intervalos de confiança e permite perceber que as probabilidades de as *access trips* usarem as rotas divergentes só se tornam altas a partir de grandes distâncias entre O-D. Como exemplo, uma caminhada com distância em linha reta de 833m (0,5 milha) tem probabilidade em torno de 0,25 de ocorrer pela rota alternativa ao caminho mínimo para as viagens de acesso, enquanto essa probabilidade é de cerca de 0,75 para os demais motivos.

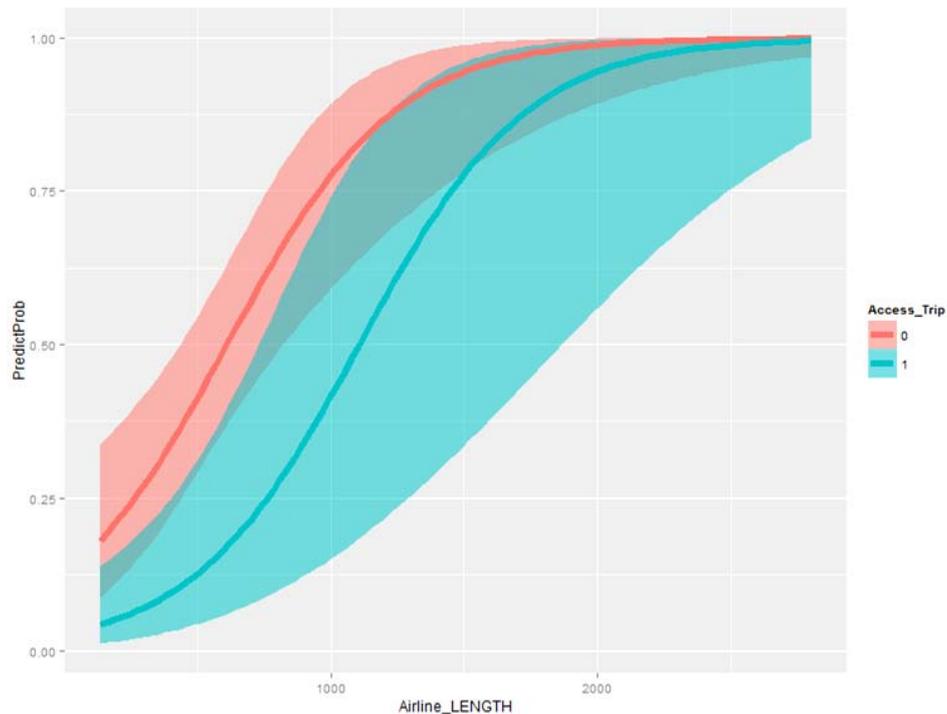


Figura 17 - curvas de probabilidades previstas para escolha da rota divergente

## 5.2. *Por onde vão os pedestres? Impacto do ambiente construído sobre a escolha de rota em viagens a pé.*

A segunda modelagem utilizou os dados das amostras de 2011/2013 e 2014, totalizando 135 rotas realizadas e 44 indivíduos (conforme apresentado na seção 4.2).

### 5.2.1. Estatísticas Descritivas

A Tabela 24 apresenta as estatísticas descritivas das principais variáveis das rotas utilizadas na modelagem, incluindo as realizadas e as alternativas geradas.

<i>Variável</i>	<i>Trilhas</i>							
	<i>Contagem</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio</i>	<i>CoefVar</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	
	Nº alternativas	406	3,26	0,83	0,25	2,00	4,00	4,00
<i>Rede</i>	Distância	406	1020,07	635,23	0,62	184,23	839,73	4097,10
	Distância em linha reta ( <i>Airline</i> )	406	721,51	487,48	0,68	142,50	597,94	2827,12
	<i>Straightness</i> (DLR/D)	406	0,70	0,12	0,17	0,28	0,71	0,98
	# Nós (intersecções)	406	14,61	9,75	0,67	2,00	12,00	53,00
	Densidade de Nós	406	1,49	0,72	0,48	0,33	1,40	5,32
	Comprimento médio do <i>Link</i> (trecho de rua)	406	58,13	29,83	0,51	14,71	51,53	229,93
<i>Vias</i>	Hierarquia média	406	4,17	0,90	0,21	1,60	4,11	6,58
	% da trilha em vias Arteriais	406	0,42	0,27	0,65	0,00	0,40	1,00
	% da trilha em vias Locais	406	0,44	0,28	0,64	0,00	0,42	1,00
	% da trilha em vias Pedestres	406	0,14	0,19	1,41	0,00	0,03	0,84
	Densidade de faixas de segurança (/100m)	406	0,30	0,31	1,04	0,00	0,24	1,99
	Densidade de placas de Pare (/100m)	406	0,03	0,08	2,74	0,00	0,00	0,75
	Densidade de Sinais (/100m)	406	0,47	0,33	0,71	0,00	0,44	1,49
<i>Forma Urbana</i>	Densidade postos/estacionamentos (/100m)	406	0,11	0,16	1,50	0,00	0,00	1,01
	Densidade compras (/100m)	406	0,07	0,11	1,51	0,00	0,00	0,74
	Densidade Prédios Especiais (/100m)	406	0,36	0,45	1,28	0,00	0,22	3,54
	Densidade Espaços Verdes (/100m)	406	0,24	0,22	0,91	0,00	0,21	1,28
	Densidade Áreas Semi-públicas (/100m)	406	0,09	0,16	1,69	0,00	0,00	1,05
	Densidade de Edificações (/100m)	406	10,48	5,00	0,48	0,49	9,98	31,94
	Continuidade (m/edif)	406	13,92	15,43	1,11	3,13	10,03	205,96
<i>Terreno</i>	Declividade média (%)	406	1,94	1,39	0,72	0,00	1,78	10,50
	Declividade máxima (%)	376	8,50	6,38	0,75	0,69	8,00	28,34

Tabela 24 - estatísticas descritivas das 406 rotas utilizadas na modelagem multinomial.

### 5.2.2. Modelos Logit Multinomiais

Modelos logit multinomiais foram estimados para acessar o impacto das variáveis sobre a escolha de rota. O interesse no entendimento do impacto dos atributos das diversas dimensões do ambiente orientou a seleção de variáveis, buscando utilizar fatores dos três blocos: Rede, Vias e Forma Urbana. Diversas especificações foram testadas, sendo as mais significativas as seguintes:

- Logit Multinomial simples - MNL1,
- Logit Multinomial incorporando interação de variáveis socioeconômicas (*status* do viajante) com atributos do ambiente (hierarquia das vias) - MNL 2;
- Logit Misto do tipo *error components* (efeito-painel) - ML1;
- Logit Misto do tipo *error components* (efeito-painel) incorporando interação de variáveis - ML 2;
- Logit Misto do tipo *random parameters* com variáveis de distância e declividade - ML 3 e 4.

Os resultados estão abaixo:

<i>Variável</i>	<i>MNL1</i>			<i>MNL2</i>		
	<i>Coef</i>	<i>SE Coef</i>	<i>P-Value</i>	<i>Coef</i>	<i>SE Coef</i>	<i>P-Value</i>
<i>Comprimento médio do link</i>	0,005	0,006	0,377	0,006	0,007	0,320
<i>Hierarquia média</i>	0,411	0,191	<b>0,031</b>			
<i>Densidade de Prédios Especiais</i>	-0,576	0,463	0,213	-0,401	0,455	0,220
<i>Densidade de Edificações</i>	-0,083	0,043	<b>0,052</b>	-0,066	0,044	0,120
<i>Atalho por Áreas Verdes 1 (0=não)</i>	-0,762	0,445	<b>0,087</b>	-0,400	0,410	0,340
<i>Hierarquia*Habitual</i>				0,417	0,262	<b>0,050</b>
<i>Constante "primeira"</i>	1,723	0,315	<b>0,000</b>	1,740	0,317	<b>0,000</b>
<i>Constante "segunda"</i>	0,114	0,370	<b>0,000</b>	2,080	0,369	<b>0,000</b>
<i>Constante "terceira"</i>	0,721	0,483	0,147	0,562	0,499	0,260
	Nº de observações = 406			Nº de observações = 406		
	Log likelihood = -99,664			Log likelihood = -98,172		
	Pseudo R2 = 0,27			Pseudo R2 = 0,241		
	Likelihood ratio test = 78,947 ( <i>P-value</i> = 0,000)			Likelihood ratio test = 79,035 ( <i>P-value</i> = 0,000)		

Tabela 25 - resultados dos modelos logit multinomiais MNL1 e MNL 2

Os coeficientes refletem os efeitos marginais das variáveis independentes sobre a escolha da rota. Os resultados da Tabela 25 mostram que as variáveis *Densidade de edificações*, *Atalho por áreas verdes* e *Hierarquia média das vias* são significativas apenas no MNL1 ( $\alpha = 0,1$ ). As predictoras *Comprimento do link* e *Hierarquia* têm sinais positivos, como esperado, indicando que a utilidade da alternativa (rota) aumenta à medida que aumenta o comprimento dos trechos de rua e a “pedestrialidade” das vias (como visto, a hierarquia numérica varia de 1= rodovia até 7= via exclusivamente de pedestres).

As variáveis *Densidade de prédios especiais*, *Densidade de edificações* (contínuas) e *Atalho por áreas verdes* (binária) possuem sinal negativo, indicando que a utilidade da rota diminui à medida que aumentam as densidades e que se realiza o atalho.

O modelo com interações entre a hierarquia das vias e o status do indivíduo - caminhante habitual ou não - apresenta piores resultados do que o modelo mais simples (MNL1). No entanto, o sinal positivo da interação entre *Habitual* e *Hierarquia* indica que as pessoas que utilizam mais o modo a pé são mais sensíveis à classe das vias.

Os modelos mistos ML1 e ML2 são do tipo *error components* para dar conta do efeito-painel (mais de uma situação de escolha/viagem por indivíduo). Os resultados estão abaixo:

<i>Variável</i>	<i>ML1</i>			<i>ML2</i>		
	<i>Coef</i>	<i>SE Coef</i>	<i>P-Value</i>	<i>Coef</i>	<i>SE Coef</i>	<i>P-Value</i>
<i>Comprimento médio do link</i>	0,010	0,008	0,200	0,009	0,008	0,260
<i>Hierarquia média</i>	0,530	0,218	<b>0,000</b>			
<i>Densidade de Prédios Especiais</i>	-0,629	0,542	0,130	-0,425	0,521	0,260
<i>Densidade de Edificações</i>	-0,093	0,047	<b>0,050</b>	-0,075	0,046	0,110
<i>Atalho por Áreas Verdes 1 (0=não)</i>	-0,721	0,481	<b>0,030</b>	-0,387	0,429	0,230
<i>Hierarquia*Habitual</i>				0,483	0,288	<b>0,020</b>
<i>Constante "primeira"</i>	2,270	0,624	<b>0,000</b>	2,240	0,608	<b>0,000</b>
<i>Constante "segunda"</i>	2,670	0,672	<b>0,000</b>	2,610	0,649	<b>0,000</b>
<i>Constante "terceira"</i>	1,130	0,734	0,160	1,060	0,717	0,170
<i>Sigma panel</i>	1,270	0,717	<b>0,080</b>	1,210	0,690	<b>0,030</b>
	Nº de observações = 406			Nº de observações = 406		
	<i>Draws = 1000</i>			<i>Draws = 1000</i>		
	Log likelihood = -95,144			Log likelihood = -96,970		
	Pseudo R2 = 0,265			Pseudo R2 = 0,251		
	Likelihood ratio test = 68,559 ( <i>P-value = 0,000</i> )			Likelihood ratio test = 64,980 ( <i>P-value = 0,000</i> )		

Tabela 26 - resultados dos modelos mistos ML1 e ML2

Os coeficientes das variáveis explicativas retornaram sinais e magnitudes semelhantes às dos modelos multinomiais simples, e as estatísticas de teste também foram similares, indicando um bom ajuste. No entanto, apenas a preditora *densidade de edificações* apresentou significância (a 0,1).

A estatística *Sigma panel* é significativamente diferente de zero, o que indica que existe o “efeito painel”, ou seja, há correlação entre as escolhas de um mesmo indivíduo.

Modelos logit mistos adicionais - ML3 e ML4 - foram estimados para incluir duas variáveis consideradas muito importantes pela teoria, as referências empíricas e os estudos prévios deste trabalho para a escolha de rota de pedestres: distância e declividade. Eles foram especificados com os chamados “coeficientes randômicos”.

<i>Variável</i>	<i>ML3</i>			<i>ML4</i>		
	<i>Coef</i>	<i>SE Coef</i>	<i>P-Value</i>	<i>Coef</i>	<i>SE Coef</i>	<i>P-Value</i>
<i>Distância</i>	-5,914	0,872	<b>0,000</b>	-5,880	0,842	<b>0,000</b>
<i>Hierarquia média</i>	0,436	0,263	<b>0,097</b>	0,440	0,263	<b>0,094</b>
<i>Densidade de Prédios Especiais</i>	-0,692	0,618	0,262	-0,705	-0,611	0,248
<i>Densidade de Edificações</i>	-0,072	0,050	0,149	-0,072	0,049	0,145
<i>Atalho por Áreas Verdes?</i>	-0,831	0,541	0,124	-0,837	0,545	0,124
<i>Declividade média</i>				-0,042	0,212	0,840
<i>SD Distância</i>	0,412	1,068	0,700	0,389	1,076	0,717
<i>SD Hierarquia média</i>	0,000	70,070	1,000	0,000	70,570	1,000
<i>SD Densidade de Prédios Especiais</i>	-0,009	107,630	0,999	-0,009	106,160	0,999
<i>SD Densidade de Edificações</i>	-0,0003	8,252	0,999	-0,0003	8,302	0,999
<i>SD Declividade média</i>				-0,0005	59,789	0,999
<i>Constante "primeira"</i>	2,427	0,419	<b>0,000</b>	2,436	0,491	<b>0,000</b>
<i>Constante "segunda"</i>	2,643	0,494	<b>0,000</b>	2,651	0,492	<b>0,000</b>
<i>Constante "terceira"</i>	0,985	0,547	<b>0,071</b>	0,981	0,547	<b>0,073</b>
	Nº de observações = 406			Nº de observações = 406		
	<i>Draws = 1000</i>			<i>Draws = 1000</i>		
	Log likelihood = -97,54			Log likelihood = -97,496		
	Pseudo R2 = 0,288			Pseudo R2 = 0,288		
	Likelihood ratio test = 78,947			Likelihood ratio test = 79,035		
	<i>(P-value = 0,000)</i>			<i>(P-value = 0,000)</i>		

Tabela 27 - resultados dos modelos mistos ML3 e MNL 4

Os modelos apresentaram um bom ajuste e novamente os sinais foram coerentes. *Distância*, *Densidades*, *Atalho* e *Declividade* têm sinais negativos, indicando que a utilidade da rota diminui à medida que aumentam a distância, as densidades, a declividade e que se realiza o atalho. Conforme esperado, o coeficiente da variável distância tem significância estatística com  $\alpha = 0,01$ , o que não ocorreu com a declividade. Das demais variáveis, apenas a hierarquia das vias apresentou significância (a 0,1).

Os coeficientes randômicos que foram estimados apresentaram desvios-padrão (*SD*) não significativos, indicando que eles não podem ser considerados distribuições, e sim parâmetros fixos.

Os resultados obtidos em todos os modelos foram consistentes com a teoria microeconômica e os pressupostos metodológicos. Distância é um atributo importante, mas não o único, corroborando o conceito de que o esforço de viagem não é o único responsável pela utilidade de uma rota. O tamanho do trecho é importante, revelando a preferência dos caminhantes pela continuidade da rota, com trechos mais longos a serem percorridos e, conseqüentemente, menos cruzamentos.

A declividade, outro fator de esforço objetivo normalmente considerado importante, não se revelou significativo. Isso se deve provavelmente à concentração das viagens em áreas onde todas as alternativas de caminho entre a origem e o destino pressupõem vencer alguma encosta, ou seja, não houve escolha dentro das restrições de desvio máximo que permitisse evitar as vias com declive. Também, é possível notar pelas

estatísticas descritivas que as inclinações máximas registradas nas rotas realizadas e nas alternativas geradas concentram-se em valores abaixo de 10% (terceiro tercil = 9,59%) e raramente ultrapassam os 15% (85º percentil). Esses valores são parâmetros considerados na literatura como “limites” de conforto para a caminhada (MASCARÓ; YOSHINAGA, 2005). Acima deles, apenas trechos com escadarias foram utilizados.

Modelos alternativos com interações entre distância e declividade foram estimados a fim de verificar a hipótese de que a declividade só seja um fator relevante a partir de determinadas distâncias de viagens, quando o esforço cumulativo pudesse se revelar fator de escolha primordial. No entanto, esses modelos não retornaram coeficientes significativos para a interação e o ajuste geral caiu muito, com diversas especificações e conjuntos de variáveis.

O mais importante achado dos modelos provavelmente se refere à influência que a densidade edificada e os prédios excepcionais exercem sobre a utilidade das caminhadas. Conforme discutido na seção, 2.2.1, é esperado que ruas com muitos prédios de pequeno porte alinhados e próximos entre si, indicando uma consistência morfológica que foi aqui representada pela variável *Densidade de edificações* sejam percebidos pelos pedestres como o “pano de fundo” da cidade e, portanto, tratados com indiferença em suas escolhas. Estes buscariam as excepcionalidades e irregularidades da forma urbana para ancorar sua navegação espacial, trechos onde essa consistência fosse perturbada. O que foi detectado nos modelos no âmbito desta amostra é que essa densidade tende a não ser significativa, e, quando o é, tem impacto negativo para a escolha de rota. Isso indica que o pedestre considera pouco atraente as ruas com maior consistência do conjunto de edificações. Se utilizada a variável recíproca, *metros/edifício*, o sinal se inverte, ou seja, quanto maior a distância “pertencente” a cada edifício (o espaçamento entre seus centróides), mais a variável contribui positivamente para a utilidade da rota.

Por outro lado, os prédios especiais, aqueles que se destacam por seu porte, inserção no terreno e/ou atividade diferenciada - como é o caso dos equipamentos de saúde, educação, esporte e comércio - tendem a ser utilizados como âncora para a navegação dos pedestres. A presença desse marcos urbanos, em tese, deveria exercer impacto positivo na escolha de rota, fazendo aumentar a utilidade de uma determinada alternativa de caminho à medida que eles existissem em maior quantidade. No entanto, o que ocorreu na amostra é que sua maior densidade contribui negativamente para a utilidade de uma rota. Isso poderia indicar que quando eles existem em grande quantidade ao longo de uma rota, eles perdem o valor de marco orientador e se tornam recorrentes, são “banalizados” e considerados negativamente a avaliação dos pedestres. Modelos com a variável *Exposição a prédios especiais?* Foram estimados de maneira a eliminar esse problema do eventual excesso de excepcionalidades, mas o sinal seguiu negativo e a variável perdeu significância. A interpretação é que, na realidade de Porto Alegre - e talvez das cidades brasileiras - este tipo de equipamento pode sim servir como referência, mas isso não significa que sua presença ao longo das rotas seja desejada pelos pedestres.

Outra interpretação que merece aprofundamento é de que os prédios públicos e/ou equipamentos urbanos na realidade brasileira geralmente são mal tratados pela coletividade, mal cuidados, com falta de manutenção e, conseqüentemente, inseguros. Seu entorno tende a ser “terra de ninguém”, sem limpeza, iluminação, e muitas vezes com padrões de apropriação anti-social do espaço (mendigos, flanelinhas, vendedores ambulantes, estacionamentos irregulares, etc.) que não atraem quem está de passagem.

As variáveis socioeconômicas específicas dos indivíduos não se revelaram importantes, o que mostra certa indistinção de preferências entre os diferentes estratos de idade, ocupação e educação. No entanto, o *status* do caminhante surgiu como importante preditora de comportamento, como que era esperado. Isso, de certa forma, expressa o senso comum: pessoas que utilizam a caminhada como seu principal modo de deslocamento tendem a se comportar de maneira diferente das demais, escolhendo suas rotas com maior sensibilidade aos atributos do ambiente, especialmente às características das vias. Sua opção por rotas com maior proporção de trechos amigáveis ao pedestre revela provavelmente maior frequência de realização da mesma viagem, maior conhecimento do ambiente e uma ponderação negativa das grandes avenidas, cruzamentos e interações com o tráfego. De maneira inversa, os indivíduos mais motorizados preferem as vias arteriais da cidade, muito provavelmente pela sensação de segurança que elas proporcionam.

## 6. CONCLUSÕES

As caminhadas sempre foram um modo de transporte relativamente importante na divisão modal das cidades, uma opção simples e barata de realização dos deslocamentos urbanos cotidianos. Em Porto Alegre, dados do início da década de 2000 apontam para um percentual de 28% de utilização do modo a pé, enquanto no Brasil como um todo ele é de 24%. Este número muda conforme o porte da cidade e a condição socioeconômica dos indivíduos, o que mostra um provável desprestígio do modal no contexto das grandes cidades brasileiras, sujeitas às recentes tendências de estímulo ao consumo e fabricação de automóveis e simultaneamente, de explosão da urbanização.

Nos países desenvolvidos, por outro lado, o estímulo ao transporte não motorizado já é uma política bem estabelecida desde que os efeitos nocivos do uso indiscriminado de veículos automotores foram associados a uma série de prejuízos concretos. Congestionamentos, atrasos e emissões de gases produzem não apenas impacto sobre o clima do planeta e *stress*, mas também afetam objetivamente a produtividade da economia e a própria saúde dos habitantes das cidades, expostos à poluição, dependentes do veículo particular e com tendência ao sedentarismo.

Para incrementar a participação dos modos ativos de viagem políticas sociais e econômicas têm sido utilizadas nesses países, mas a grande estratégia para viabilizar esse objetivo parecem ser as modificações nos padrões de desenvolvimento urbano, revertendo tendências de espalhamento e urbanização esparsa (*urban sprawl*) que estão associadas aos padrões insustentáveis de utilização de veículos motorizados. Essa estratégia está baseada em evidências de que o ambiente construído exerce clara influência sobre o comportamento de viagens, pois a forma e os usos do solo de uma cidade podem dificultar ou facilitar a adoção dos diversos modais. Ela pode favorecer a caminhada ao aproximar origens e destinos residenciais, empregos e o lazer ou, pelo contrário, impor o uso do automóvel ao afastá-los.

Numerosos trabalhos já documentaram essa conexão entre a forma urbana e o transporte, indicando que bairros com desenho urbano “tradicional” proveem melhor acesso a destinos do que os subúrbios residenciais. Vizinhanças com mais densidade construída, usos do solo mistos e rede viária mais regular apresentam maiores índices de viagens não motorizadas do que as áreas onde as residências estão distantes dos serviços, separadas destes por grandes vias arteriais ou rodovias hostis a qualquer outro modo que não o automóvel. Está claro, portanto, que a compactação urbana, o adensamento populacional, a miscigenação de atividades e a conectividade do sistema viário são condições básicas para a chamada caminhabilidade, devendo as políticas urbanas ser direcionadas para estimulá-las.

Porém, para consolidar o modo a pé como opção consistente e viável de viagem, não bastam apenas essas condições gerais, pois as características agregadas impactam basicamente sobre a demanda, ou seja, sobre a potencial geração de viagens. Tão importante quanto isso é entender “por onde vão os pedestres” - quais as rotas que serão utilizadas pelas viagens geradas nesses ambientes densos, mistos e bem conectados.

Na busca por esse entendimento, este estudo propõe dar atenção ao problema da escolha de rota na escala geográfica da rede viária urbana, onde as caminhadas entre origens e destinos levam os pedestres a tomar decisões que necessariamente devem considerar a forma urbana. Nessa escala de análise, com viagens que percorrem distâncias médias e longas, são os efeitos do somatório atributos dos *links* e nós que efetivamente parecem importar. É nela que os edifícios e os elementos do sistema viário exercem impacto direto sobre as escolhas de rota dos viajantes a pé.

Em tempos de disseminação das tecnologias de informação para a mobilidade como os mapas *online*, GPS e sistemas de localização, verifica-se ainda pouco desenvolvimento deste aspecto. A compreensão dos elementos que impactam sobre as escolhas dos pedestres é, sem dúvida, um fundamento para a construção de serviços e produtos de geração de rotas para pedestres. Ao contrário dos sistemas de roteirização para veículos e até mesmo para bicicletas, os quais apresentam condições detalhadas de tráfego e terreno e os disponibilizam como critérios para a seleção de caminhos, os serviços para pedestres ainda estão baseados fundamentalmente no simples fator distância, de modo geral desconsiderando os efeitos do ambiente construído.

Aparentemente, essa falta de interesse sobre as viagens a pé na escala da rede viária urbana deve-se à relativamente pequena participação das viagens utilitárias no total de deslocamentos a pé. Essas viagens que vencem distâncias relativamente grandes respondem por um pequeno percentual do total: em Porto Alegre 95% têm abaixo de 2 km, número semelhante ao encontrado neste estudo, com a média desse tipo de viagem ficando em 680 metros, o 85º percentil um pouco acima de 800m (equivalente a meia milha) e o máximo em 3,5 km.

Porém, se forem incluídas as caminhadas diárias para compras, e alcançar amenidades e serviços outros que não o trabalho ou a escola, as quais têm em torno dos 800m (10 minutos aproximadamente), têm-se um conjunto de viagens com grande possibilidade de contribuir para a substituição dos modais motorizados e para a realização de atividade física em níveis suficientes para a promoção da saúde. Percebendo essas lacunas no conhecimento e o potencial de contribuição que o entendimento das escolhas de rota tem para as políticas de mobilidade sustentável, esta tese propõe uma estrutura metodológica para modelar comportamento de viagem incorporando dimensões mais elaboradas das características do ambiente - a forma urbana.

O estudo de caso aqui desenvolvido trouxe resultados que indicam que os pedestres efetivamente consideram diversos fatores do ambiente em suas escolhas de rota, não se fixando apenas a critérios de custo ou esforço como a distância ou as declividades. A configuração do sistema viário, representada pelo tamanho dos trechos e quantidade de intersecções (cruzamentos), juntamente com a hierarquia das vias (grau de “pedestrialidade”) e as características dos edifícios, especialmente seu arranjo ao longo das quadras, são os fatores que mais se destacaram nos modelos estimados.

Trechos mais longos e poucas travessias foram fatores percebidos como positivos para a escolha de uma rota, enquanto a presença de prédios especiais e a maior densidade de edifícios nos trechos revelaram-se atributos negativos. As características socioeconômicas dos indivíduos não se mostraram significativos para as escolhas, revelando certa indistinção de preferências no âmbito dessa amostra. Apenas a condição de usuário habitual do modo a pé mostrou ser um atributo individual relevante, interagindo significativamente com a hierarquia viária e demonstrando que as pessoas que utilizam mais o modal são mais sensíveis ao grau de pedestrialidade das vias.

O exercício de construção metodológica com alguma exploração de resultados que compõe essa tese mostrou-se promissor, mas requer aprofundamento. Monitorar indivíduos com dispositivos de posicionamento via satélite e modelar suas escolhas com um conjunto de atributos que representa as diferentes dimensões do ambiente da cidade - rede, vias e forma urbana - produziu resultados satisfatórios apesar das deficiências técnicas e operacionais encontradas. Ao comparar os atributos das rotas e as escolhas, foi possível estimar a utilidade percebida dos componentes do sistema de circulação e da forma urbana.

Trabalhos como este devem ser aprimorados e continuados, desdobrando uma série de aspectos metodológicos e conceituais que ficaram pouco desenvolvidos. Definir e introduzir mais variáveis de outras dimensões do ambiente - qualidade das calçadas, tratamento paisagístico, iluminação - é imperioso, bem como definir métodos de medição e representação mais precisa dos atributos da cidade com vistas à sua utilização como variáveis em modelos de escolha.

Ainda, é recomendada a exploração de outras especificações, avaliando modelos separados por motivo de viagem, padrão de distância e estratos de indivíduos, Alterações de comportamento em função da sazonalidade - época do ano, dia da semana, dia ou noite - e da variação climática devem ser estudadas, bem como desenvolvido um estudo mais aprofundado das diferentes respostas que homens, mulheres, jovens, idosos e indivíduos de diferentes estratos sociais apresentam para os estímulos da forma urbana.

A continuidade da coleta com GPS a fim de atingir uma amostragem mais ampla e representativa de indivíduos é, portanto, fundamental. É altamente recomendável qualificar o entendimento das escolhas nas viagens através da aplicação de questionários mais completos que contemplem outras características socioeconômicas dos participantes - renda, posse de automóvel, etnia - e também variáveis atitudinais tais como a familiaridade com o ambiente, hábitos e preferências. A investigação deve também buscar informações sobre a frequência de realização da mesma viagem e aspectos cognitivos dos caminhantes, tendo em vista que muitas viagens são moduladas por decisões tomadas *real-time*, durante a caminhada. É importante incorporar estratégias para capturar esse aspecto do problema, pois a escolha de caminho prévia, feita antes da saída, pode ser alterada em função de mudanças inesperadas no ambiente e também por questões subjetivas de mais difícil modelagem.

As percepções e sensações subjetivas podem ser muito importantes para o entendimento das escolhas dos pedestres, pois sua interação com os atributos concretos do ambiente parece atuar nos mecanismos de avaliação do espaço e na consequente ponderação de utilidades. Os atributos revelados como mais importantes pelos modelos aqui estimados podem ser relacionados à dimensão subjetiva da segurança, por exemplo, como indicado pela preferência por rotas com menos cruzamentos e o desprezo pela utilização de atalhos por áreas verdes. A preservação pessoal em relação a acidentes de trânsito e a fuga de possíveis crimes parecem ser dois aspectos de uma sensação generalizada de insegurança que as cidades brasileiras produzem sobre os moradores, onde cerca de 39% dos viajantes a pé revelam ter medo de se acidentarem e 40% temem quando em deslocamentos a pé. Isso provavelmente leva a uma avaliação dos atributos concretos da forma urbana que pondera preferencialmente o seu potencial de garantia da segurança pessoal. Ruas desertas, parques e praças abandonadas são indutores de medo, assim como cruzamentos e travessias com grandes avenidas movimentadas são hostis ao pedestre. Avaliar a utilização de construtos subjetivos ou outras estratégias de incorporação desses aspectos aos modelos de escolha parece ser um importante desdobramento dessa pesquisa.

Outra recomendação importante para trabalhos futuros está relacionada com a discussão sobre a variação de comportamento de escolha que os pedestres podem apresentar quando se movimentam em áreas com diferentes características agregadas. Bairros muito distintos uns dos outros em termos de sua estrutura urbana geral - densidades, conectividade viária e usos - podem levar a diferentes ponderações sobre os atributos, mesmo que o viajante seja o mesmo, com mesmo motivo de viagem e sob mesmas condições de tempo e ambiente. Uma área central com malha viária xadrez, edificações compactas e baixas formando um conjunto denso com atividades comerciais em seus térreos é diferente de uma franja urbana industrial, e, em cada uma delas, o mesmo fator “número de cruzamentos”, por exemplo, provavelmente vai provocar diferentes percepções de utilidade na mente de uma pessoa que caminha.

Assim, uma melhor distribuição especial da amostra de viagens a pé deve ser uma meta para os estudos, buscando eliminar a concentração verificada neste estudo a partir de uma correta conceituação e seleção de tipologias de áreas, que representem a variedade de tecidos urbanos encontrados na cidade pesquisada.

Também é necessário explorar os modelos de escolha discreta em todo o seu potencial, utilizando efetivamente os modelos do tipo *PS-Logit* que incorporam os termos de correção da correlação entre as alternativas às utilidades sistemáticas. Este termo necessita de rotinas de cálculo que podem ser implementadas sobre no algoritmo de geração de rotas aqui proposto, já gerando como *output* o fator de sobreposição dos caminhos do *choice set*.

Adicionalmente, além da análise de sensibilidade dos modelos desenvolvidos, buscando entender como o comportamento de escolha se modifica quando variam algumas das condições da forma urbana, outras métricas podem ser exploradas, como a chamada “taxas marginais de substituição”, calculadas para a

formulação clássica das funções de utilidade - linear nos parâmetros e aditiva - como a razão entre os coeficientes estimados da distância e do atributo em questão. Ela pode ser estimada para a variável “exposição a espaços abertos”, por exemplo, a fim de acessar o “valor subjetivo da distância”, uma espécie de “disposição a pagar” (*willingness to pay*) na qual os pedestres expressam sua aceitação a caminhar uma distância extra para expor-se (ou não) aos custos impostos pela presença de parques ou praças.

Estes aprofundamentos são fundamentais para avaliar a eficiência do método proposto, permitir generalizações e validá-lo para a utilização em estudos sobre o transporte a pé e como ferramenta de suporte à decisão no âmbito do planejamento da mobilidade urbana.

## REFERÊNCIAS / BIBLIOGRAFIA

ADKINS, A.; DILL, J.; LUHR, G.; NEAL, M. Unpacking Walkability: Testing the Influence of Urban Design Features on Perceptions of Walking Environment Attractiveness. **Journal of Urban Design**, v. 17, n. 4, p. 499–510, 2012.

AGRESTI, A. **Categorical Data Analysis**. John Wiley & Sons, Inc. 2003.

AMÂNCIO, M. A.; SANCHES, S. A forma urbana e as viagens a pé – estudo de caso em uma cidade brasileira de porte médio. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 30, n. 2. doi: 10.4025/actascitechnol.v30i2.5465, 2008.

ARIOTTI, P.; ARAÚJO, D.; MOSCARELLI, F.; CYBIS, H. B. B. Associação de modelos macroscópicos e microscópicos de tráfego para estudo de circulação. XVIII Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes. **Anais...** . p.478–489, 2004.

BANISTER, D. The sustainable mobility paradigm. **Transport Policy**, v. 15, n. 2, p. 73–80, 2008.

BEKHOR, S.; BEN-AKIVA, M. E.; RAMMING, M. S. Evaluation of choice set generation algorithms for route choice models. **Annals of Operations Research**, v. 144, n. 1, p. 235–247. doi: 10.1007/s10479-006-0009-8, 2006.

BEKHOR, S.; PRATO, C. G. Methodological transferability in route choice modeling. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 43, n. 4, p. 422–437. doi: 10.1016/j.trb.2008.08.003, 2009.

BENAKIVA, M.; BIERLAIRE, M. Discrete choice methods and their applications to short term travel decisions. **Handbook of transportation science**. p.5–33. Springer, 1999.

BHAT, C. R. Accommodating flexible substitution patterns in multi-dimensional choice modeling: formulation and application to travel mode and departure time choice. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 32, n. 7, p. 455–466. doi: 10.1016/S0191-2615(98)00011-3, 1998.

BIERLAIRE, M. BIOGEME: a free package for the estimation of discrete choice models. Swiss Transport Research Conference. **Anais...** , 2003.

BOARNET, M. G.; CRANE, R. **Travel by Design: The Influence of Urban Form on Travel: The Influence of Urban Form on Travel**, Spatial information systems. Oxford University Press, USA, 2001a.

BORGERS, A.; TIMMERMANS, H. J. P. Modelling pedestrian behaviour in downtown shopping areas. Proceedings of CUPUM conference London CD-ROM paper. **Anais...** . v. 83, 2005.

BOVY, P. H. L. On Modelling Route Choice Sets in Transportation Networks: A Synthesis. **Transport Reviews**, v. 29, n. 1, p. 43–68. doi: 10.1080/01441640802078673, 2009.

BRADSHAW, C. Creating - And Using - A Rating System For Neighborhood Walkability Towards An Agenda For “Local Heroes.” . Boulder, Colorado, 1993.

BROACH, J.; DILL, J.; GLIEBE, J. Where do cyclists ride? A route choice model developed with revealed preference GPS data. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 46, n. 10, p. 1730–1740. doi: 10.1016/j.tra.2012.07.005, 2012.

BROACH, J.; GLIEBE, J.; DILL, J. Calibrated Labeling Method for Generating Bicyclist Route Choice Sets Incorporating Unbiased Attribute Variation. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2197, n. -1, p. 89–97. doi: 10.3141/2197-11, 2010.

BROWN, B. B.; WERNER, C. M.; AMBURGEY, J. W.; SZALAY, C. Walkable Route Perceptions and Physical Features: Converging Evidence for En Route Walking Experiences. **Environment and Behavior**, v. 39, n. 1, p. 34–61. doi: 10.1177/0013916506295569, 2007.

DE CAMBRA, P. J. M. **Pedestrian Accessibility and Attractiveness Indicators for Walkability Assessment**. Thesis for the Master Degree (MSc) in Urban Studies and Territorial Management, 2012.

CAMPOLI, J.; LINCOLN INSTITUTE OF LAND POLICY. **Made for walking: density and neighborhood form**. Cambridge, Mass: Lincoln Institute of Land Policy, 2012.

CASCETTA, E.; NUZZOLO, A.; RUSSO, F.; VITETTA, A. A Modified Logit Route Choice Model Overcoming Path Overlapping Problems. Specification and Some Calibration Results for Interurban Networks. p.p. 697–711, 1996.

DE CERREÑO, A. L.; NGUYEN-NOVOTNY, M. L. H.; OTHERS. Pedestrian and bicyclist standards and innovations in large central cities. **New York: Rudin Center for Transportation Policy & Management, New York University**. Retrieved February 4, 2015, from <http://wagner.nyu.edu/files/rudincenter/bikeped.pdf>, 2006.

CERVERO, R.; KOCKELMAN, K. Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 2, n. 3, p. 199 – 219. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S1361-9209\(97\)00009-6](http://dx.doi.org/10.1016/S1361-9209(97)00009-6), 1997.

CHAIX, B.; MÉLINE, J.; DUNCAN, S.; et al. GPS tracking in neighborhood and health studies: A step forward for environmental exposure assessment, a step backward for causal inference? **Health & Place**, v. 21, p. 46–51. doi: 10.1016/j.healthplace.2013.01.003, 2013.

CHARTRAND, G. **Introductory graph theory**. Unabridged and corr ed. New York: Dover, 1985.

CIARLINI, M. Modelos de Escolha Discreta e sua Aplicação ao Transporte Aéreo. **Journal of Transport Literature**, v. 2, n. 2, 2010.

CYBIS, H. B. B.; LINDAU, L. A.; DE ARAUJO, D. R. C. Implantação de um modelo de simulação e alocação do tráfego em Porto Alegre. **Revista dos Transportes Públicos-ANTP-Ano**, v. 24, p. 2º. 2002.

CZOGALLA, O.; HERRMANN, A. Parameters determining route choice in pedestrian networks. TRB 90th annual meeting compendium of papers DVD. Washington, DC. **Anais...** . p.23–27, 2011.

DALTON, R.; EMO, B.; HOELSCHER, C.; WIENER, J. Wayfinding and spatial configuration: evidence from street corners. 2012.

- DE LA BARRA; PEREZ; ANEZ. Multidimensional Path Search and Assignment. Manchester, UK, 1993.
- DIAL, R., B. A PROBABILISTIC MULTIPATH TRAFFIC ASSIGNMENT MODEL WHICH OBVIATES PATH ENUMERATION. **Transportation Research /UK/**, v. 5 N2, p. p. 83–113, 1971.
- DOMENCICH, T., A.; MCFADDEN, D. **URBAN TRAVEL DEMAND - A BEHAVIORAL ANALYSIS**. p.215 p., 1975.
- DRUCK, S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.; CARVALHO, M. S. **Análise espacial de dados geográficos**. Planaltina: Empraba Cerrados, 2004.
- EPTC; MAGNA ENGENHARIA; ITS. **EDOM 2003 - Pesquisa de Origem e Destino de Porto Alegre - Entrevista Domiciliar**. Porto Alegre, RS, 2004.
- EWING, R.; CERVERO, R. Travel and the built environment: a synthesis. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 1780, n. 1, p. 87–114. Retrieved February 14, 2015, , 2001.
- EWING, R.; CERVERO, R. Travel and the Built Environment: A Meta-Analysis. **Journal of the American Planning Association**, v. 76, n. 3, p. 265–294. doi: 10.1080/01944361003766766, 2010.
- EWING, R. H. **Pedestrian-and transit-friendly design: a primer for smart growth**. Smart Growth Network Washington, DC, 1999.
- EWING, R.; HANDY, S.; BROWNSON, R. C.; CLEMENTE, O.; WINSTON, E. Identifying and measuring urban design qualities related to walkability. **Journal of Physical Activity & Health**, v. 3, p. S223 , 2006.
- DE FARIA, A. P. N.; KRAFTA, R. Representing urban cognitive structure through spatial differentiation. 4th International Space Syntax Symposium, London. **Anais...** . 2003.
- FIGUEIREDO, L.; AMORIM, L. Continuity lines: aggregating axial lines to predict vehicular movement patterns. Proceedings of the Third Great Asian Streets Symposium,. **Anais...** . National University of Singapore, Singapore, 2004.
- FIorenzo-CATALANO, M. S. **Choice set generation in multi-modal transportation networks**. Delft, The Netherlands: Netherlands TRAIL Research School, 2007.
- FOLTETE, J.-C.; PIOMBINI, A. Deviations in pedestrian itineraries in urban areas: a method to assess the role of environmental factors. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 37, n. 4, p. 723–739, 2010.
- FRANK, L. D.; SALLIS, J. F.; CONWAY, T. L.; et al. Many Pathways from Land Use to Health: Associations between Neighborhood Walkability and Active Transportation, Body Mass Index, and Air Quality. **Journal of the American Planning Association**, v. 72, n. 1, p. 75–87. doi: 10.1080/01944360608976725, 2006.
- FREJINGER, E.; BIERLAIRE, M. Capturing correlation with subnetworks in route choice models. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 41, n. 3, p. 363–378. doi: 10.1016/j.trb.2006.06.003, 2007.

- FREJINGER, E.; BIERLAIRE, M.; BEN-AKIVA, M. Sampling of alternatives for route choice modeling. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 43, n. 10, p. 984–994. doi: 10.1016/j.trb.2009.03.001, 2009.
- GOLLEDGE, R. G.; CENTER, U. OF C. (SYSTEM) T.; UNIVERSITY OF CALIFORNIA, S. B. D. OF G. **Defining the criteria used in path selection**, Working paper. University of California Transportation Center, 1995.
- GUO, Z. Does the pedestrian environment affect the utility of walking? A case of path choice in downtown Boston. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 14, n. 5, p. 343–352. doi: 10.1016/j.trd.2009.03.007, 2009.
- GUO, Z.; LOO, B. P. Y. Pedestrian environment and route choice: evidence from New York City and Hong Kong. **Journal of Transport Geography**, v. 28, p. 124–136. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2012.11.013, 2013.
- GUO, Z.; WILSON, N. H. M. Assessing the cost of transfer inconvenience in public transport systems: A case study of the London Underground. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 45, n. 2, p. 91–104. doi: 10.1016/j.tra.2010.11.002, 2011.
- HAIR JR; JOSEPH; ANDERSON, R. E.; et al. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre: Bookman, 2007.
- HANDY, S.; CAO, X.; MOKHTARIAN, P. Correlation or causality between the built environment and travel behavior? Evidence from Northern California. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 10, n. 6, p. 427–444. doi: 10.1016/j.trd.2005.05.002, 2005.
- HARRISON, F.; BURGOINE, T.; CORDER, K.; et al. How well do modelled routes to school record the environments children are exposed to?: a cross-sectional comparison of GIS-modelled and GPS-measured routes to school. **Int J Health Geogr**, v. 13, n. 5, 2014.
- HASENACK, H.; WEBER, E. J.; MARCUZZO, S. F.; PHILIPP, R. P.; PORTO ALEGRE (RIO GRANDE DO SUL, BRAZIL) (EDS.). **Diagnóstico ambiental de Porto Alegre: geologia, solos, drenagem, vegetação e ocupação, paisagem**. Porto Alegre: Prefeitura Municipal de Porto Alegre, Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2008.
- HESS, P. M.; MOUDON, A. V.; SNYDER, M. C.; STANILOV, K. Site design and pedestrian travel. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 1674, n. 1, p. 9–19. Retrieved January 21, 2015, , 1999.
- HILLIER, B.; HANSON, J. **The social logic of space**. Cambridge [England]; New York: Cambridge University Press, 1984.
- HOOGENDOORN, S. P.; BOVY, P. H. L. Pedestrian route-choice and activity scheduling theory and models. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 38, n. 2, p. 169–190. doi: 10.1016/S0191-2615(03)00007-9, 2004.
- HOSMER, D. W. **Applied logistic regression**, Wiley series in probability and statistics. Third edition ed. Hoboken, New Jersey: Wiley, 2013.

HOWARD, E.; KANG, B.; HURVITZ, P.; MOUDON, A., VERNEZ; SAELENS, B. Modeling GPS-Based Walking Activity and Its Association with Objectively Measured Built Environment. p.16p, 2014.

HURVITZ, P. M.; MOUDON, A. V.; KANG, B.; FESINMEYER, M. D.; SAELENS, B. E. How far from home? The locations of physical activity in an urban U.S. setting. **Preventive Medicine**, v. 69, p. 181–186. doi: 10.1016/j.ypmed.2014.08.034, 2014.

HURVITZ, P. M.; MOUDON, A. V.; KANG, B.; SAELENS, B. E.; DUNCAN, G. E. Emerging Technologies for Assessing Physical Activity Behaviors in Space and Time. **Frontiers in Public Health**, v. 2. doi: 10.3389/fpubh.2014.00002, 2014.

JACOBS, J. **The Death and Life of Great American Cities**, Vintage books.241. Random House, 1961.

KITCHIN, R.; FREUNDSCHUH, S. **Cognitive Mapping: Past, Present, and Future**, Routledge frontiers of cognitive science. Routledge, 2000.

KRAMBECK, H. V. **The global walkability index**. Massachusetts Institute of Technology, 2006.

KRARUP, S.; RUSSELL, C. S. **Environment, Information and Consumer Behaviour**, New horizons in environmental economics. Edward Elgar, 2005.

LARRAÑAGA, A. M.; TEN CATEN, C. S.; CYBIS, H. B. B. Relação entre estrutura urbana e padrão de viagens a pé. XXIII Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes. **Anais...** 2009.

LARRAÑAGA, A. M.; CYBIS, H. B. B. Impacto da Estrutura Urbana na Escolha Modal: Evidências de Porto Alegre. XXIV Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes. **Anais...** . p.1-12, 2010.

LAW, M. **Getting to know ArcGIS for desktop**, Getting to know ArcGIS Desktop. 3rd ed ed. Redlands, Calif: ESRI Press, 2013.

LECK, E. The impact of urban form on travel behavior: a meta-analysis. **Berkeley Planning Journal**, v. 19, n. 1, 2006.

LEE, B. H.; JENNINGS, L.; EL-GENEIDY, A. How does land use influence cyclist route choice? transportation research board annual meeting. **Anais...** , 2010.

LEE, C.; MOUDON, A.; COURBOIS, J. Built Environment and Behavior: Spatial Sampling Using Parcel Data. **Annals of Epidemiology**, v. 16, n. 5, p. 387–394. doi: 10.1016/j.annepidem.2005.03.003, 2006.

LEE, C.; MOUDON, A. V. Correlates of walking for transportation or recreation purposes. **Journal of Physical Activity & Health**, v. 3, p. S77, 2006.

LEE, C.; MOUDON, A. V. The 3Ds+R: Quantifying land use and urban form correlates of walking. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 11, n. 3, p. 204–215. doi: 10.1016/j.trd.2006.02.003, 2006b.

LEE, J.; GEISTFELD, L. V. Enhancing consumer choice: Are we making appropriate recommendations? **Journal of Consumer Affairs**, v. 32, n. 2, p. 227–250, 1998.

- LEINBERGER, C. B.; LYNCH, P. Ranking Walkable Urbanism in America's Largest Metros, 2014.
- LIN, L.; MOUDON, A. V. Objective versus subjective measures of the built environment, which are most effective in capturing associations with walking? **Health & Place**, v. 16, n. 2, p. 339–348. doi: 10.1016/j.healthplace.2009.11.002, 2010.
- LYNCH, K.; CAMARGO, J. L. **A imagem da cidade**. São Paulo: Martins Fontes, 1997.
- MANSKI, C. The structure of random utility models. **Theory and Decision**, v. 8, n. 3, p. 229–254, 1977.
- MASCARÓ, J. L.; YOSHINAGA, M. **Infra-estrutura urbana**. Porto Alegre: Masquatro, 2005.
- MCCANN, B. A.; EWING, R. Measuring the Health Effects of Sprawl: A National Analysis of Physical Activity, Obesity and Chronic Disease. **Dictionary of Human Geography, 5th ed.**(Oxford: Wiley-Blackwell, 2009), p. 719, 2003.
- METHORST, R.; HMI, B.; RISSER, R.; et al. Pedestrian Quality Needs. **UK: Walk21**, 2010.
- MILLWARD, H.; SPINNEY, J.; SCOTT, D. Active-transport walking behavior: destinations, durations, distances. **Journal of Transport Geography**, v. 28, p. 101–110. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2012.11.012, 2013.
- MITCHELL, A.; ESRI. **Spatial measurements & statistics**. Redlands, Calif.: ESRI Press, 2005.
- MOKHTARIAN, P. L.; CAO, X.; HANDY, S. L. Examining the impacts of residential self-selection on travel behavior: Methodologies and empirical findings, 2008.
- MOUDON, A. V. **Built for change: neighborhood architecture in San Francisco**. Cambridge, Mass: MIT Press, 1986.
- MOUDON, A. V. THE ROLE OF TYPOMORPHOLOGICAL STUDIES IN ENVIRONMENTAL DESIGN RESEARCH. **Changing Paradigms**, p. 41–48, 1989.
- MOUDON, A. V.; LEE, C.; CHEADLE, A. D.; et al. Operational definitions of walkable neighborhood: theoretical and empirical insights. **Journal of Physical Activity & Health**, v. 3, p. S99, 2006.
- MOUDON, A. V.; STEWART, O.; LIN, L. **Safe Routes to School (SRTS) Statewide Mobility Assessment Study Phase I Report**, 2010.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (U.S.). **Driving and the built environment: the effects of compact development on motorized travel, energy use, and CO2 emissions**, Transportation Research Board special report. Washington, D.C: Transportation Research Board, 2009.
- NETTO, V. M.; VARGAS, J. C.; DE SABOYA, R. T. (Buscando) Os efeitos sociais da morfologia arquitetônica. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 4, n. 2, p. 261–282, 2012.
- Open Street Map. **.Open Street Maps**. Retrieved December 12, 2013, from <https://www.openstreetmap.org>.

- ORTÚZAR, J.; WILLUMSEN, L. G. **Modelling Transport**. John Wiley & Sons, 1990.
- PANERAI, P.; CASTEX, J.; DEPAULE, J.-C. **Formes urbaines: de l'îlot à la barre**. Marseille (France): Ed. Parenthèses, 1997.
- PAPADIMITRIOU, E.; YANNIS, G.; GOLIAS, J. A critical assessment of pedestrian behaviour models. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, v. 12, n. 3, p. 242–255. doi: 10.1016/j.trf.2008.12.004, 2009.
- PAPINSKI, D.; SCOTT, D. M.; DOHERTY, S. T. Exploring the route choice decision-making process: A comparison of planned and observed routes obtained using person-based GPS. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, v. 12, n. 4, p. 347–358. doi: 10.1016/j.trf.2009.04.001, 2009.
- PARK, S.; KANG, J. Operationalizing Walkability: Pilot Study for a New Composite Walkability Index Based on Walker Perception. TRB Annual Meeting Paper. **Anais...** . v. 11, 2011.
- PRASHKER, J. N.; BEKHOR, S. Investigation of stochastic network loading procedures. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 1645, n. 1, p. 94–102, 1998.
- PRATO, C. G. Route choice modeling: past, present and future research directions. **Journal of Choice Modelling**, v. 2, n. 1, p. 65–100, 2009.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. **Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental**, 1999.
- PRETTO, C.; CYBIS, H.; JACOBSEN, A. A multi-layer simulation model for vehicle and pedestrian interaction. Compendium of Papers CD-ROM, the 89th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington DC. **Anais...** . p.22–26, 2011.
- QUDDUS, M. A.; OCHIENG, W. Y.; ZHAO, L.; NOLAND, R. B. A general map matching algorithm for transport telematics applications. **GPS Solutions**, v. 7, n. 3, p. 157–167. doi: 10.1007/s10291-003-0069-z, 2003.
- RAMMING, M. S. **Network knowledge and route choice**. Massachusetts Institute of Technology, 2001.
- RIBEIRO, M. D.; LARRAÑAGA, A. M.; ARELLANA, J.; CYBIS, H. B. B. Influence of GPS and Self-reported Data in Travel Demand Models. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 162, p. 467–476. doi: 10.1016/j.sbspro.2014.12.228, 2014.
- SAELENS, B. E.; HANDY, S. L. Built Environment Correlates of Walking: A Review. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 40, n. Supplement, p. S550–S566. doi: 10.1249/MSS.0b013e31817c67a4, 2008.
- SCHLOSSBERG, M.; WEINSTEIN AGRAWAL, A.; IRVIN, K. How far, by which route and why? A spatial analysis of pedestrian preference. **Journal of urban design**, v. 13, n. 1, p. 81–98, 2008.
- SEVTSUK, A.; MEKONNEN, M. Urban network analysis. A new toolbox for ArcGIS. **Revue internationale de géomatique**, v. 22, n. 2, p. 287–305. doi: 10.3166/riig.22.287-305, 2012.

STRAIF, KURT; COHEN, AARON; SAMET, JONATHAN. **Air Pollution and Cancer**, IARC Scientific Publication. Lyon: International Agency for Research on Cancer, 2013.

THE R FOUNDATION. The R Project for Statistical Computing. **The R Project for Statistical Computing**. Retrieved November 20, 2014 from <http://www.r-project.org/>.

THORNDYKE, P. W.; HAYES-ROTH, B. Differences in spatial knowledge acquired from maps and navigation. **Cognitive Psychology**, v. 14, n. 4, p. 560 – 589. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0010-0285\(82\)90019-6](http://dx.doi.org/10.1016/0010-0285(82)90019-6), 1982.

TIMMS, P. M.; TIGHT, M.; WATLING, D.; et al. Pathways to achieving radically different urban walking and cycling futures in the UK by 2030. Retrieved February 4, 2015 from <http://eprints.whiterose.ac.uk/77577/>, 2010.

TRAIN, K. **Discrete choice methods with simulation**. 2nd ed ed. CambridgeNew York: Cambridge University Press, 2009.

TRANSIT COOPERATIVE RESEARCH PROGRAM; NATIONAL RESEARCH COUNCIL (U.S.); UNITED STATES; TRANSIT DEVELOPMENT CORPORATION. **Guidelines for providing access to public transportation stations** (K. Coffel, Ed.), TCRP report. Washington, D.C: Transportation Research Board, 2012.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (ED.). **Highway capacity manual**. Washington, D.C: Transportation Research Board, National Research Council, 2000.

VITON, P. A. **Discrete-Choice Logit Models With R**. Retrieved January 21, 2015, from <http://facweb.knowlton.ohio-state.edu/pvton/courses2/crp5700/5700-mlogit.pdf>, 2012.

WEGENER, M. Overview of land-use transport models. **Handbook of transport geography and spatial systems**, v. 5, p. 127–146, 2004.

WILSON, A. G. A family of spatial interaction models, and associated developments. **Environment and Planning**, v. 3, n. 1, p. 1–32, 1971.

ZACHARIAS, J. Pedestrian Behavior Pedestrian Behavior and Perception in Urban Walking Environments. **Journal of Planning Literature**, v. 16, n. 1, p. 3–18. doi: 10.1177/08854120122093249, 2001.

ZEGRAS, P., C. INFLUENCE OF LAND USE ON TRAVEL BEHAVIOR IN SANTIAGO, CHILE. **Transportation Research Record**, , n. 1898, p. 175–182, 2004.

ZHU, W.; TIMMERMANS, H. Modeling pedestrian shopping behavior using principles of bounded rationality: model comparison and validation. **Journal of Geographical Systems**, v. 13, n. 2, p. 101–126. doi: 10.1007/s10109-010-0122-8, 2011.