

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

CURSO DE MESTRADO EM GEOTECNIA E TRANSPORTES

**CRITÉRIOS PARA DEFINIÇÃO DE
ELEMENTOS DE PROJETO DE ESTAÇÕES DE
CORREDORES DE BRT**

Luciano Aparecido Chagas

Belo Horizonte

2014

Luciano Aparecido Chagas

**CRITÉRIOS PARA DEFINIÇÃO DE ELEMENTOS DE
PROJETO DE ESTAÇÕES DE CORREDORES DE BRT**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Geotecnia e Transportes da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geotecnia e Transportes.

Área de concentração: Transportes

Orientadora: Profa. Dra. Leise Kelli de Oliveira

Coorientadora: Profa. Dra. Heloisa Maria Barbosa

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2014

C433c Chagas, Luciano Aparecido
Critérios para definição de elementos de projeto de estações
de corredores de BRT [manuscrito] / Luciano Aparecido Chagas. – 2014.
x, 168 f., enc.: il.

Orientadora: Leise Kelli de Oliveira .
Coorientadora: Heloísa Maria Barbosa.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais,
Escola de Engenharia.

Anexos e apêndices.

Bibliografia: f. 130-132.

1. Sistema BRT de transporte - Teses. 2. Engenharia de transportes –
Teses. I. Oliveira, Leise Kelli de. II. Barbosa, Heloisa Maria. III.
Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. IV. Título.

CDU: 656(043)



FOLHA DE APROVAÇÃO

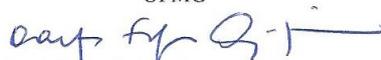
CRITÉRIOS PARA DEFINIÇÃO DE ELEMENTOS DE PROJETO DE ESTAÇÕES DE CORREDORES DE BRT

LUCIANO APARECIDO CHAGAS

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOTECNIA E TRANSPORTES, como requisito para obtenção do grau de Mestre em GEOTECNIA E TRANSPORTES, área de concentração TRANSPORTES.

Aprovada em 28 de abril de 2014, pela banca constituída pelos membros:


Profa. Leise Kelli de Oliveira - Orientadora
UFMG


Prof. Carlos Felipe Grangeiro Loureiro
UFC


Prof. Ronaldo Guimarães Gouvêa
UFMG

Osias Baptista Neto

Belo Horizonte, 28 de abril de 2014.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha existência e de todas as pessoas que fazem parte da minha vida.

À minha família: minha esposa Aline, pelo caloroso incentivo, pela ajuda com as apresentações e por ter enfrentado frio e vento durante as férias para me ajudar na pesquisa em Curitiba, mas principalmente por conviver com o frio da minha ausência, enquanto me debruçava sobre este trabalho; minha filha Sarah, pelos necessários momentos de relaxamento que me proporcionou ao me fazer brincar de “Pula Balula”; meus pais, pelas orações e pelo apoio incondicional em tudo que faço; meus irmãos, cunhados e sobrinhos, que me confortam com os verdadeiros laços familiares.

Às orientadoras, professoras Leise e Heloisa, pela amizade, confiança, incentivo, apoio, e por sempre terem acreditado que eu seria capaz de ter êxito nessa empreitada. Aos demais professores, pelos conhecimentos compartilhados, dicas e convivência acolhedora.

Ao Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia da UFMG, por ceder a sala de alunos e os equipamentos. À secretária Kátia Souza, pela presteza no atendimento das minhas demandas.

À BHTRANS, pela liberação de horas para o curso, e pelo fornecimento dos dados de projeto. Aos colegas que contribuíram e, em especial, ao diretor Célio Bouzada, pela liberação especial para as disciplinas isoladas, forte incentivo ao meu ingresso no curso de Mestrado.

À EWS, na pessoa do Dr. Sideney Schreiner, pelo fornecimento de opiniões, dicas e sugestões para esse trabalho, e pela cessão da rede básica de simulação.

Aos profissionais, professores e entidades que responderam os questionários de pesquisa.

Aos bolsistas Pedro Guellner e Leonardo Zinato, pelo apoio na elaboração de importantes etapas desse trabalho.

Ao professor Dr. Carlos Felipe Grangeiro Loureiro e ao Mestre Osias Baptista Neto, por terem gentilmente aceitado o convite de fazer parte da banca examinadora.

À PTV, por fornecer a licença-tese do VISSIM.

Ao CNPq, pelos recursos financeiros, equipamentos e bolsistas para desenvolvimento da pesquisa.

A todos os demais amigos e colegas que contribuíram. E aos que não ajudaram, também agradeço, por tornar esse desafio ainda maior e, conseqüentemente, mais fortalecedor.

"A resposta certa, não importa nada: o essencial é que as perguntas estejam certas."

Mário Quintana

"Eu não falhei. Eu apenas descobri dez mil maneiras que não funcionam."

Thomas Edison

RESUMO

Os sistemas BRT – *Bus Rapid Transit* têm sido adotados em várias cidades do mundo como alternativa de transporte de massa devido aos menores custos de implantação e de operação. Para que esse sistema atinja o desempenho comparado a modos sobre trilhos, seu objetivo essencial, foco especial deve ser dado ao projeto das estações, que constituem, senão o maior, um dos principais gargalos do sistema. Nesse contexto, este estudo propõe discutir e desenvolver critérios para a definição de elementos de projeto das estações de corredores de BRT. A seleção destes elementos baseou-se em pesquisas com especialistas e na avaliação do projeto em desenvolvimento do BRT de Belo Horizonte, sendo usada a simulação microscópica para apoiar as análises. A pesquisa com especialistas determinou a ordem de importância dos elementos e de parâmetros de projeto, e revelou informações sobre sistemas em operação das cidades de Cali, Rio de Janeiro e Curitiba. Os parâmetros de tempos por passageiro e das manobras dos ônibus foram medidos em sistemas semelhantes, para calibrar o modelo de simulação, e para estabelecer conclusões sobre os métodos de dimensionamento usados. Os resultados do estudo tornaram possível identificar como cada elemento de projeto deve ser considerado para um desempenho adequado desse componente do sistema, com enfoque na capacidade e no nível de serviço ao usuário.

ABSTRACT

The BRT systems – Bus Rapid Transit have been adopted in cities around the world as an alternative mass transport due to lower costs of deployment and operation. For this system obtain the performance compared to rail modes, its essential purpose, special focus should be given to the design of the stations, which are, if not the biggest, one of the major bottlenecks in the system. In this context, in this study is discussed and developed criteria for defining design elements of the corridors of BRT stations. The selection of these elements are given based on surveys of experts and evaluation of the project in BRT development of Belo Horizonte, the microscopic simulation being used to support the analyzes. A survey of experts determined the order of importance of elements and design parameters, and revealed information systems in operation in the cities of Cali, Rio de Janeiro and Curitiba. The parameters of time per passenger and the maneuvering of buses were measured in similar systems, to calibrate the model simulation and reach conclusions about the design methods used. The results of the study made it possible to identify how each element of the project should be considered for proper performance of this system component, focusing on capacity and level of customer service.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELAS	IX
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	X
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 O BRT E A ESTAÇÃO DE CORREDOR	2
1.2 JUSTIFICATIVA	4
1.3 OBJETIVOS DO TRABALHO	5
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	6
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	7
2.1 DEFINIÇÕES E CONCEITOS	7
2.1.1 <i>BRT – Bus Rapid Transit</i>	7
2.1.2 <i>Estação de corredor</i>	10
2.2 ELEMENTOS DE PROJETO	11
2.2.1 <i>Plataforma</i>	11
2.2.2 <i>Portas da estação</i>	17
2.2.3 <i>Catracas</i>	18
2.2.4 <i>Portas e tamanho dos ônibus</i>	18
2.2.5 <i>Acesso</i>	21
2.2.6 <i>Sistema de atracagem e posição das plataformas</i>	22
2.2.7 <i>Outras questões da interface do veículo com a estação</i>	24
2.3 PARÂMETROS DE PROJETO	25
2.3.1 <i>Tempo de parada e tempos de embarque e desembarque</i>	25
2.3.2 <i>Tempo morto, aceleração e desaceleração</i>	28
2.4 MEDIDAS DE DESEMPENHO	29
2.4.1 <i>Capacidade</i>	29
2.4.2 <i>Nível de serviço para passageiros</i>	33
2.5 MODELOS DINÂMICOS E A DEFINIÇÃO DO <i>SOFTWARE</i>	34
2.6 SÍNTESE DA FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA QUANTO AOS ELEMENTOS E PARÂMETROS	38
3 METODOLOGIA	40
3.1 PESQUISAS COM ESPECIALISTAS	40
3.2 SELEÇÃO DOS PARÂMETROS E ELEMENTOS	41
3.3 MEDIDAS DE PARÂMETROS EM SISTEMAS SEMELHANTES	41
3.4 DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE MICROSSIMULAÇÃO	42
3.5 SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS	43
3.6 AVALIAÇÃO DO PROJETO DO BRT DE BELO HORIZONTE	43
4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA	44
4.1 DESCRIÇÃO DO PROJETO DO BRT DE BELO HORIZONTE	44
4.2 DADOS E CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO DAS ESTAÇÕES DO BRT MOVE	48
4.3 PESQUISAS COM ESPECIALISTAS	52
4.3.1 <i>Pesquisa sobre sistemas específicos</i>	52
4.3.2 <i>Pesquisa sobre parâmetros e prática de projetos</i>	54
4.4 SELEÇÃO DOS PARÂMETROS E ELEMENTOS	58
4.5 MEDIÇÕES DOS PARÂMETROS EM SISTEMAS SEMELHANTES	60
4.5.1 <i>Aceleração e desaceleração</i>	60
4.5.2 <i>Tempos de embarque e desembarque</i>	65
4.5.3 <i>Tempos de passagem pelas catracas</i>	69
4.5.4 <i>Tempos de abertura e fechamento de portas e pontes</i>	72
4.5.5 <i>Tempo morto</i>	76

4.5.6	<i>Teste de aderência das velocidades medidas e simuladas no VISSIM</i>	78
4.6	DESENVOLVIMENTO DO MODELO DA ESTAÇÃO	79
4.6.1	<i>Inserção dos parâmetros medidos</i>	79
4.6.2	<i>Simulação da parada na estação</i>	80
4.6.3	<i>Inserção dos dados de projeto</i>	81
4.6.4	<i>Uso do VISSIM para simular o projeto da estação de corredor</i>	82
4.7	CENÁRIOS SIMULADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS	86
4.7.1	<i>Resultados conclusivos da simulação</i>	87
4.7.2	<i>Simulação do elemento Plataforma</i>	88
4.7.3	<i>Simulação do elemento Sistema de atracagem</i>	92
4.7.4	<i>Simulação do elemento Tamanho do ônibus</i>	96
4.7.5	<i>Simulação do elemento Posição das portas da estação</i>	99
4.7.6	<i>Simulação do elemento Acesso</i>	99
4.7.7	<i>Simulação do elemento Catraca</i>	102
4.8	AVALIAÇÃO DO PROJETO DO BRT MOVE	104
4.8.1	<i>Plataforma</i>	104
4.8.2	<i>Sistema de atracagem</i>	107
4.8.3	<i>Tamanho do ônibus</i>	113
4.8.4	<i>Posição relativa das portas da estação</i>	116
4.8.5	<i>Sentido de fluxo e número de portas do ônibus</i>	117
4.8.6	<i>Acesso</i>	118
4.8.7	<i>Número e sentido de fluxo das catracas</i>	122
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	124
5.1	PRINCIPAIS CONCLUSÕES	124
5.2	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	129
	REFERÊNCIAS	130
	APÊNDICE A – PESQUISAS COM ESPECIALISTAS	133
	APÊNDICE B – MONTAGEM DA REDE DE ESTAÇÃO DE CORREDOR DE BRT NO VISSIM	146

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Automóveis e motorização – regiões metropolitanas brasileiras (IPEA, 2013, p. 18)	2
Figura 2.1 – Espectro de qualidades dos transportes públicos sobre pneus (WRIGHT; HOOK, 2008) ..8	
Figura 2.2 – Esquema das áreas de uma estação (adaptado de KITTELSON <i>et al.</i> , 2003)	12
Figura 2.3 – Áreas da estação de BRT (adaptado de Wright e Hook, 2008, p. 389)	13
Figura 2.4 – Sequência de berços em plataforma reta (adaptado de Levinson <i>et al.</i> , 2003)	24
Figura 2.5 – Tempo de parada <i>versus</i> embarques (CASTILHO, 1997, p. 21)	27
Figura 2.6 – Impacto da saturação na velocidade dos veículos nas estações (Manual de BRT, 2008, p. 267)	31
Figura 2.7 – Nível de serviço para áreas de espera (GUAZZELLI, 2012, adaptado de Kittelson <i>et al.</i> , 2003)	33
Figura 2.8 – Nível de serviço para áreas de caminhada (GUAZZELLI, 2012, adaptado de KITTELSON <i>et al.</i> , 2003).....	34
Figura 2.9 – Estação como um sistema de filas (adaptado de Engelbrecht e Bekker, 2012)	36
Figura 3.1 – Etapas da metodologia	40
Figura 4.1 – Corredores de BRT de Belo Horizonte (adaptado de BHTRANS, 2012).....	45
Figura 4.2 – Principais componentes da estação AC-14 (adaptado de BHTRANS, 2012).....	46
Figura 4.3 – Seção transversal do BRT Antônio Carlos (adaptado de BHTRANS, 2012)	47
Figura 4.4 – Modulação das estações do BRT de Belo Horizonte	48
Figura 4.5 – Respostas sobre parâmetros definidores do projeto da estação	56
Figura 4.6 –Parâmetros incluídos na simulação.....	57
Figura 4.7 – Tela e saída do aplicativo <i>Android-Speedometer</i> para medidas de velocidade em função do tempo.....	61
Figura 4.8 - Aceleração em função da velocidade no formato do VISSIM	63
Figura 4.9 – Desaceleração em função da velocidade no formato do VISSIM.....	63
Figura 4.10 – Pré-carregamento de aceleração desejada em função da velocidade no VISSIM.....	64
Figura 4.11 – Tempo de embarque em função do número de passageiros embarcados – ônibus do Transmilenio (14/10/10).....	67
Figura 4.12 – Tempo de embarque em função do número de passageiros embarcados – ônibus do Transmilenio (25/8/11).....	69
Figura 4.13 – Catracas no Trem Metropolitano (esq.), Curitiba (meio) e Cali (direita)	70
Figura 4.14 – Estação San Pedro (BRT Mio) às 17h59 (esquerda) e às 18h22 (direita).....	72
Figura 4.15 – Portas dos ônibus nos sistemas BRT de Curitiba (à esquerda) e de Cali (à direita)	75
Figura 4.16 – Passageiros junto à porta do ônibus – BRT Mio.....	75
Figura 4.17 – Parâmetros de transporte público no VISSIM	80
Figura 4.18 – Recurso de ajuste da manobra de mudança de faixa nas paradas no VISSIM.....	84
Figura 4.19 – Sobreposição de veículos no VISSIM	85
Figura 4.20 – Exemplo de relatório do VISSIM importado para o Excel	86
Figura 4.21 – Aglomeração de passageiros na plataforma metropolitana – instante 1824”	88
Figura 4.22 – Aglomeração de passageiros na plataforma metropolitana aos 1067” (17 minutos)	89
Figura 4.23 – Ocupação das plataformas municipal A aos 1040”(acima) e municipal B aos 1274”(abaixo).....	91
Figura 4.24 – Rota de chegada na área de espera no exemplo do manual do VISSIM (PTV, 2012, p. 511)	91
Figura 4.25 - Comparativo de desaceleração para valores de campo e resultados da simulação para o cenário ATRAC-COMPONTE	94
Figura 4.26 - Comparativo de aceleração para valores de campo e resultados da simulação para o cenário ATRAC-COMPONTE	94
Figura 4.27 – Cenário TAMANHO-ART (acima) e TAMANHO-PADRON (abaixo) aos 36 minutos.....	98
Figura 4.28 – Rotas estáticas de pedestres na estação.....	100
Figura 4.29 – Configuração da rampa no cenário ACESSO1	101
Figura 4.30 – Configuração da rampa no cenário ACESSO2	101
Figura 4.31 – Configuração da rampa no cenário ACESSO3	101

Figura 4.32 – Dispositivos de auxílio à atracagem no Transmilenio (adaptado de ALCADÍA MAYOR, 2010)	108
Figura 4.33 – Estruturas dos estribos adotados no BRT de Cali (novo à esquerda e danificado ao meio) e no BRT MOVE (direita).....	108
Figura 4.34 – Uso de segregador nas paradas de corredores exclusivos de São Paulo	109
Figura 4.35 – Ensaios de posicionamento do segregador em função das dimensões dos ônibus e declividade transversal da pista.....	110
Figura 4.36– Projeto de definição dos elementos de auxílio à atracagem do BRT MOVE (BHTRANS, 2013)	112
Figura 4.37 – Leiautes internos dos ônibus usados no BRT MOVE.....	114
Figura 4.38 - Cenário ATRAC-SEM-PONTE, aos 43 minutos (2623 segundos).....	116
Figura 4.39 – Portas da estação de corredor do BRT MOVE	117
Figura 4.40 – Modularização das portas dos ônibus do BRT MOVE (BELO HORIZONTE, 2012, item 12.3)	118
Figura 4.41 – Esquema de travessia do corredor (travessia em Z).....	119
Figura 4.42 – Elemento Acesso: soluções 1-B e 2-B – rampas e escadas (BHTRANS, 2012)	120
Figura 4.43 – Solução A: rampa única dividida por corrimão intermediário (BHTRANS, 2013).....	120
Figura 4.44 – Largura para deslocamento em linha reta – cadeirante e pedestre (NBR 9050/2004, p. 6)	121
Figura 4.45 – Aglomeração de pedestres no gargalo da solução 2-B	122
Figura A.1 – Características geométricas dos veículos no VISSIM	147
Figura A.2 – Parâmetros de transporte público no VISSIM	148
Figura A.3 – Exemplo de gráfico de aceleração máxima do VISSIM (PTV, 2012).....	150

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Nível de serviço para áreas de fila e espera.....	14
Tabela 2.2 – Nível de serviço para pedestres em circulação e fluxo médio por unidade de largura.....	15
Tabela 2.3 – Tempos de embarque e desembarque para diferentes configurações.....	20
Tabela 2.4 – Elementos e parâmetros de projeto de estações segundo a bibliografia consultada.....	39
Tabela 4.1 – Dados de dimensionamento do projeto da estação AC-14.....	49
Tabela 4.2 – Características operacionais das linhas da estação AC-14.....	51
Tabela 4.3 – Agrupamento dos graus de importância dos parâmetros.....	55
Tabela 4.4 – Ordem de representatividade dos parâmetros sob cada aspecto.....	58
Tabela 4.5 – Seleção de elementos, variações e implicações no projeto das estações.....	59
Tabela 4.6 – Seleção de parâmetros de projeto de estações de corredores de BRT.....	60
Tabela 4.7 – Exemplo das medidas de aceleração e desaceleração para dois pontos de parada.....	62
Tabela 4.8 – Comparativo dos valores de aceleração e desaceleração por declividade.....	62
Tabela 4.9 – Tempos de embarque e desembarque – Trem Metropolitano de Belo Horizonte.....	66
Tabela 4.10 – Tempos de embarque e desembarque – RIT Curitiba.....	66
Tabela 4.11 – Tempo de embarque em função do número de passageiros embarcados – ônibus do Transmilenio (14/10/10).....	67
Tabela 4.12 – Tempo de embarque em função do número de passageiros embarcados – ônibus do Transmilenio (25/8/11).....	68
Tabela 4.13 – Tempos de catraca para os sistemas pesquisados.....	71
Tabela 4.14 – Tempos de abertura e fechamento de portas e pontes – RIT Curitiba.....	73
Tabela 4.15 – Tempos de abertura e fechamento de portas – BRT Mio.....	74
Tabela 4.16 – Tempos de abertura e fechamento de portas – BRT MOVE.....	74
Tabela 4.17 – Comparativo dos tempos para os três sistemas.....	74
Tabela 4.18 – Tempos de desaceleração e aceleração – sistema convencional de Belo Horizonte.....	77
Tabela 4.19 – Distâncias médias e máximas de desaceleração e aceleração – sistema convencional de Belo Horizonte.....	77
Tabela 4.20 – Comparativo de tempo de viagem para os cenários simulados – veículos com e sem ponte de embarque.....	95
Tabela 4.21 - Comparativo de tempos de desaceleração e aceleração para os cenários simulados – veículos com e sem ponte de embarque.....	95
Tabela 4.22 - Comparativo de tempo de viagem para os cenários simulados – veículos Padron e articulados.....	98
Tabela 4.23 – Determinação do número de embarques com base na frequência da linha.....	105
Tabela 4.24 – Oferta de projeto do BRT Antônio Carlos e oferta teórica com uso de somente ônibus articulados.....	115
Tabela 4.25 - Modularização das portas dos ônibus do BRT MOVE (BELO HORIZONTE, 2012, item 12.3).....	118

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

BHTRANS	Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte S/A
BRT	<i>Bus Rapid Transit</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CBTU	Companhia Brasileira de Trens Urbanos
ETG	Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia
HCM	<i>Highway Capacity Manual</i>
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
PROCONVE	Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
PTV	<i>Planung Transport Verkehr</i>
RIT	Rede Integrada de Transporte (Curitiba)
SETOP	Secretaria de Transportes e Obras Públicas
SetraBH	Sindicato das Empresas de Transporte de Passageiros de Belo Horizonte
Sintram	Sindicato das Empresas de Transporte de Passageiros Metropolitano
TCQSM	<i>Transit Capacity and Quality of Service Manual</i>
TCRP	<i>Transit Cooperative Research Program</i>
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
URBS	Urbanização de Curitiba S/A

1 INTRODUÇÃO

O crescimento das grandes metrópoles tem demandado cada vez mais soluções para a melhoria da mobilidade dos seus habitantes. O alto grau de urbanização e o aumento da frota de veículos particulares e das taxas de motorização têm levado os especialistas em transporte a voltar sua atenção aos problemas de congestionamento urbano. Particularmente, nas grandes cidades brasileiras, a acelerada deterioração nas condições de mobilidade nos últimos anos pode ser explicada por outros fatores como a histórica relação estabelecida entre a Capital e os municípios vizinhos, desempenhando estes a função de cidades-dormitório e a falta de investimentos e subsídios aos sistemas de transporte público. Associa-se a isso o recente crescimento econômico das regiões metropolitanas, bem como a expansão de bairros residenciais mais afastados, cujas distâncias casa-trabalho tendem a ser mais longas do que nas regiões mais centrais das cidades (IPEA, 2013).

Um estudo do IPEA (2013), com o objetivo de analisar o tempo que a população urbana das grandes metrópoles gasta nos deslocamentos casa-trabalho, revelou que, entre os anos de 1992 e 2009, esse tempo aumentou, chegando a ser 31% maior em 2009 nas regiões metropolitanas de São Paulo e do Rio de Janeiro. Além disso, o estudo conclui que os trabalhadores de baixa renda fazem viagens, em média 20%, mais longas que os mais ricos, sendo que 19% dos mais pobres gastam mais de uma hora em suas viagens. Vale destacar que a diferença de tempo de viagem entre ricos e pobres varia entre as regiões metropolitanas, mas atinge os maiores valores em Belo Horizonte, Curitiba e no Distrito Federal, sendo 40%, 61% e 75%, respectivamente. Belo Horizonte figura ainda como a região com o terceiro maior tempo médio de deslocamento casa-trabalho em 2010, atrás apenas de São Paulo e do Rio de Janeiro. Não por acaso, os dados desse estudo mostram Belo Horizonte como a metrópole com a quinta maior taxa de motorização e o maior aumento dessa taxa, quase 55% no período entre 2000 e 2010 (Figura 1.1), dentre as capitais pesquisadas. É também conclusão desse estudo que o tempo gasto no transporte urbano pelas pessoas é de interesse central para as políticas urbanas e de transporte, por estar associado ao bem-estar das pessoas e diretamente relacionado aos níveis de congestionamento das cidades. Sabe-se que investimentos em transporte coletivo que funcione com rapidez e conforto não só têm o potencial de manter os atuais usuários, mas também de atrair usuários dos modos motorizados privados, com conseqüente redução dos congestionamentos e dos tempos de viagem. Isso

libera espaço no sistema viário para outros usuários, como pedestres e ciclistas, e reduz a emissão de poluentes, aspectos compatíveis com uma melhor qualidade de vida urbana.

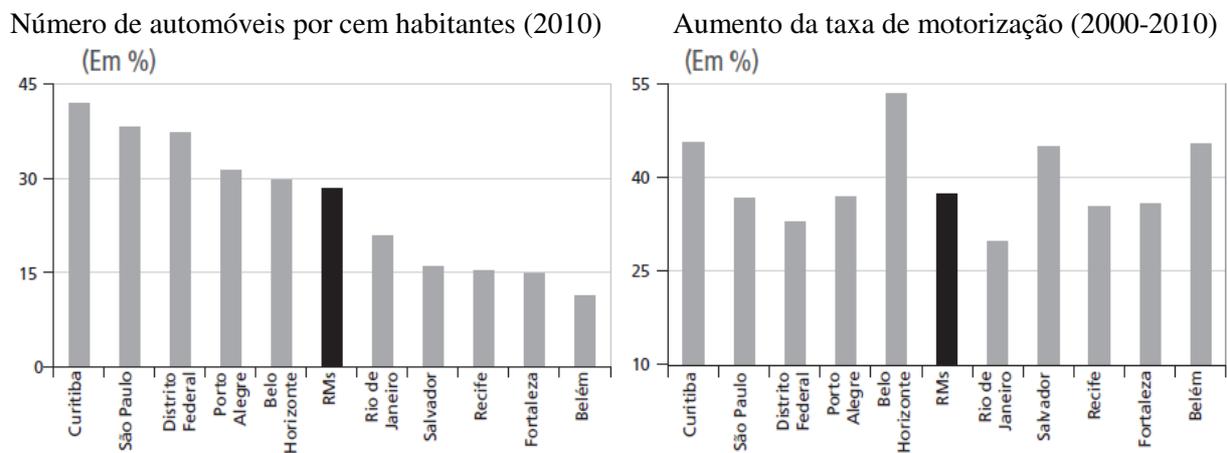


Figura 1.1 – Automóveis e motorização – regiões metropolitanas brasileiras (IPEA, 2013, p. 18)

Nestes requisitos, se enquadram os sistemas de transporte sobre trilhos, que são tradicionalmente reconhecidos como modos de transporte de alta capacidade. Almejando a eficiência, em termos de capacidade, desse modo de transporte, medidas diversas de tratamento para priorização da circulação de ônibus em vias urbanas, que seguem a lógica da segregação dos trilhos, foram adotadas pelo mundo. A ideia não é nova, mas é pouco praticada. Vuchic (2005) afirma que os principais obstáculos ao aprimoramento de serviços de transporte público por ônibus são mais de cunho organizacional e política que tecnológica, e que a implantação de faixas dedicadas aos ônibus deve ser acompanhada de contínua proteção contra a pressão popular por compartilhá-las com outras categorias de veículos. As cidades que conseguiram vencer esses obstáculos, como Curitiba e Bogotá, elevaram ao patamar de excelência os sistemas que adotam ônibus, surgindo, assim, o BRT – *Bus Rapid Transit* ou Transporte Rápido por Ônibus. Os governos locais destas cidades encontraram no sistema BRT a alternativa mais politicamente viável para o transporte de elevadas demandas.

1.1 O BRT e a estação de corredor

Segundo Wright e Hook (2008), as origens do conceito de BRT datam de 1937, quando a cidade de Chicago elaborou planos para converter três linhas férreas dentro da cidade em corredores de ônibus expressos. Em 1974, começou a operar o sistema da cidade de Curitiba, com a maioria dos atributos que definem um sistema BRT (Lindau *et al.*, 2007). Mais tarde, Bogotá se baseou na experiência bem sucedida de Curitiba para desenvolver o TransMilenio,

que, segundo o *BRT Policy Center* (2006), transportou 45 mil passageiros/h/sentido (*BRT POLICY CENTER*, 2006), volume antes somente atribuído a sistemas sobre trilhos. No entanto, Wright e Hook (2008) ponderam que, para que o sistema BRT seja de elevada capacidade e altas velocidades comerciais, ele deve possuir características como pistas segregadas, múltiplas posições de parada nas estações, serviços expressos e de poucas paradas, pagamento da tarifa fora do ônibus, embarque em nível, veículos articulados com múltiplas e largas portas e bons espaços nas estações. Além disso, os mesmos autores frisam que mecanismos destinados a descongestionar a área das estações e que garantam rápidos embarques e desembarques de passageiros produzem maiores velocidade e capacidade, e salientam que o projeto de um sistema BRT eficiente só é possível a partir de um extenso conhecimento das causas de atrasos nas paradas e das formas de resolver estes problemas.

No método apresentado pelo Manual de BRT (WRIGHT; HOOK, 2008), a capacidade do corredor, que, em última análise, equivale à capacidade da estação crítica, é definida a partir de uma equação determinística (WRIGHT; HOOK, 2008, p. 273), em que alguns destes fatores são representados por oito variáveis. No entanto, segundo o próprio manual, a equação não detalha precisamente as inter-relações desses fatores. Para citar um exemplo, a adoção de valores fixos médios para o tempo de parada do veículo na estação pode ser uma simplificação inadequada, já que vários autores (CASTILHO, 1997; ENGELBRECHT; BEKKER, 2012; JAISWAL *et al.*, 2009; LIN; WILSON, 1992; PUONG, 2000; VUCHIC, 2007;) concluem que este tempo não é função linear dos tempos de embarque e desembarque por passageiro, e pequenas variações nesse parâmetro têm efeito significativo na capacidade, por se tratar de sistemas de altas frequências. Assim, a avaliação do desempenho operacional da estação, diante de tantas variáveis envolvidas, fica limitada com o uso de métodos analíticos empíricos. Soma-se a isso, a dificuldade de estabelecer valores para essas variáveis, pelo fato que cada local de implantação possui suas especificidades quanto ao comportamento dos passageiros, regras de conduta dos motoristas, preferências por determinadas tecnologias dos gestores e operadores, condições geométricas das vias, entre outras.

Uma das ferramentas capazes de viabilizar a análise conjunta de elementos de projeto, agregando maiores quantidades de variáveis, com um custo relativamente baixo se comparado com o benefício associado, é a simulação computacional. Pereira *et al.* (2011) concluem que a microsimulação computacional pode propiciar a determinação dos limites operacionais de

corredores de BRT, através da análise de múltiplos cenários. Já Engelbrecht e Bekker (2012) defendem que, de modo geral, os modelos de simulação de tráfego desenvolvidos para estudo de corredores de transporte não consideram o fluxo de passageiros. Além disso, para esses autores, as estações apenas representam atrasos e o foco se restringe à capacidade do corredor como um todo. Assim, é necessário investigar a capacidade de uma estação, relacionada ao número de passageiros atendidos, e não restringir a análise de capacidade relacionada somente ao fluxo de veículos (ENGELBRECHT; BEKKER, 2012).

1.2 Justificativa

Segundo a NTU (2010), as estações geralmente representam o principal gargalo dos projetos de BRT e precisam ser dimensionadas corretamente, além de projetadas considerando todos os seus detalhes. Com isso, é possível evitar a formação de filas de ônibus, típicas de sistemas abertos de grande demanda, e atingir elevadas capacidades de transporte. Gardner *et al.* (1991) apontam que os atrasos devidos à transferência de passageiros têm um importante impacto na redução da velocidade operacional dos ônibus em sistemas priorizados, enquadrando-se aí o BRT, concluindo que a parada constitui o principal fator de limitação da capacidade. Da mesma forma, o *Highway Capacity Manual* (TRB, 2000) define que a capacidade de um sistema de transporte público é limitada pela parada ou estação crítica, o que é confirmado por Vuchic (2007).

Uma estação de corredor de BRT pode servir somente a linhas troncais, sendo denominada estação troncal, ou pode atender a diferentes serviços, denominando-se estação de transferência, permitindo, assim, o intercâmbio de passageiros entre as linhas (WRIGHT; HOOK, 2008). Portanto, o projeto da estação deve obrigatoriamente considerar a correta demanda de movimentação de usuários, incluindo não somente aqueles com origem e destino nela mesma, mas também aqueles que irão utilizá-la para as conexões, de modo a subsidiar seu adequado dimensionamento. Além da demanda, outros fatores, como tempo de parada e o tempo de manobra dos veículos na estação, o tempo de embarque e desembarque por passageiro, o efeito da aglomeração de pessoas na plataforma e os canais de entrada e saída (linhas de bloqueio) devem embasar o projeto da estação.

Diante do exposto, evidencia-se a necessidade de uma análise exploratória dos métodos e critérios existentes para a definição de elementos de projeto das estações de corredores de

BRT. Comprovadamente adequada, será adotada a modelagem microscópica para, a partir da simulação de múltiplos cenários, verificar e quantificar a influência de cada elemento de projeto na capacidade da estação. Considerando o foco desse trabalho, será adotado aqui o termo estação de corredor, de modo a abranger tanto as estações troncais quanto as estações intermediárias de transferência localizadas no corredor.

1.3 Objetivos do trabalho

Este estudo tem como objetivo geral estabelecer critérios para definição de elementos de projeto operacional das estações de corredores de BRT, selecionados a partir do referencial teórico, de pesquisas com especialistas e da experiência do pesquisador no acompanhamento e desenvolvimento de parte do projeto físico do BRT de Belo Horizonte. Os critérios serão definidos para sistemas denominados completos, segundo a classificação do Manual do BRT (WRIGHT; HOOK, 2008), mas são adaptáveis a sistemas de outros níveis de qualidade. Importante frisar que o foco do trabalho se restringe à estação de corredor, que é somente um dos principais componentes de um sistema BRT, formado também pelas demais estações, como terminais de integração e estações de transferência, e por garagens, vias e veículos, como será detalhado no Capítulo 2.

Os objetivos específicos são:

- Realizar pesquisas com especialistas em BRT para identificar o grau de importância a cada parâmetro e elemento de projeto identificado na bibliografia;
- Identificar e medir parâmetros de projeto em sistemas semelhantes, para dimensionamento e calibração da simulação da estação;
- Desenvolver um modelo microscópico para simulação da estação e de cenários relacionados à variação de alguns elementos;
- Aplicar a metodologia para avaliar o projeto de uma estação de corredor do BRT da Cidade de Belo Horizonte;
- Avaliar a eficácia do manual do *software* VISSIM em traduzir corretamente o potencial prático deste simulador para estudo acadêmico.

1.4 Estrutura da dissertação

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos. Além da introdução, que contextualiza o assunto, define a justificativa e os objetivos da pesquisa, os demais expõem a fundamentação teórica, a metodologia adotada, a sua aplicação no projeto de uma estação do BRT de Belo Horizonte, com os respectivos resultados obtidos, e as considerações finais.

O capítulo 2 contém a revisão da bibliografia que constituiu a fundamentação teórica dos principais temas e conceitos tratados neste trabalho, bem como a elaboração da lista inicial de elementos e parâmetros explorados pelo estudo.

Uma breve descrição de cada etapa da metodologia do trabalho está apresentada no capítulo 3.

No capítulo 4, é apresentada a aplicação da metodologia no projeto de BRT de Belo Horizonte, contendo a descrição desse projeto, os dados e critérios nele adotados e os resultados obtidos em cada etapa.

Finalmente, no capítulo 5 estão relacionadas as considerações finais, com o resumo das principais conclusões do trabalho e as recomendações para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo aborda inicialmente as diferentes definições de BRT e de estação de corredor. Em seguida, discute sobre os elementos, parâmetros de entrada para o projeto e parâmetros de avaliação do desempenho que serão tratados. Por fim, são enumerados os motivos que justificam o uso da microssimulação no método proposto.

Diversos autores concluíram em seus estudos, como será visto adiante, que os métodos tradicionais de definição dos elementos de estações buscam simplificar as relações entre eles, o que, apesar de necessário em casos de prazos exíguos e ausência de dados, pode comprometer consideravelmente os resultados. Dentre os vários elementos de estações de corredor de BRT, a pesquisa bibliográfica identificou os mais relevantes para investigar o seu efeito na definição do projeto. A conclusão geral, tanto dos trabalhos científicos como de planejadores e operadores de sistemas BRT, é que as causas de atrasos na permanência do ônibus na estação devem ser minimizadas, para garantir maior eficiência no seu funcionamento e, conseqüentemente, de todo o sistema.

2.1 Definições e conceitos

Para conduzir o estudo, que se refere à estação de corredores de BRT, é preciso inicialmente explorar as definições de BRT, bem como conceituar os elementos e variáveis que o compõem, e definir como esses conceitos serão adotados nesse trabalho.

A referência principal para os conceitos apresentados a seguir é o Manual de BRT (WRIGHT; HOOK, 2008) e, onde couber, será confrontada com as outras referências estudadas, procurando explorar de forma abrangente cada conceito.

2.1.1 BRT – *Bus Rapid Transit*

O Manual de BRT (WRIGHT; HOOK, 2008), provavelmente a mais popular publicação sobre o assunto na atualidade, mostra que classificar um sistema de transporte público sobre pneus como *Bus Rapid Transit* não é tarefa trivial, dada a ampla variedade de sistemas em operação que combinam algumas qualidades. Wright e Hook (2008) argumentam que, ao invés de uma definição clara de BRT, há um espectro de níveis qualitativos de sistemas que usam ônibus, onde se insere o BRT, como mostra a Figura 2.1. Nesse espectro, a denominação BRT completo está no nível mais alto, com características como: vias

segregadas ou faixas exclusivas na maioria da extensão do sistema troncal/corredores da cidade, múltiplas posições de parada nas estações, serviços expressos e de poucas paradas, controle de pagamento fora do ônibus, embarque em nível e veículos articulados com múltiplas e largas portas, mas, principalmente, “serviço de metrô”.

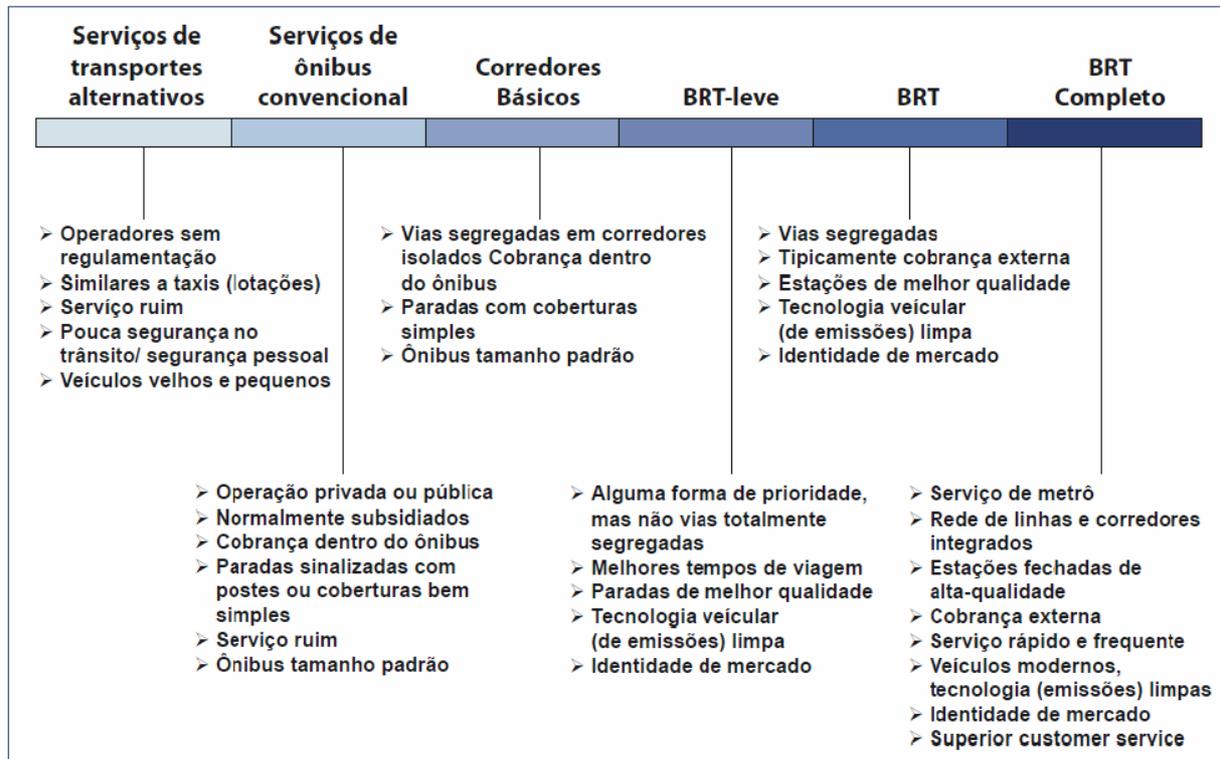


Figura 2.1 – Espectro de qualidades dos transportes públicos sobre pneus (WRIGHT; HOOK, 2008)

Levinson *et al.* (2003) definem BRT como "um modo de transporte público sobre pneus, rápido e flexível, que combina estações, veículos, serviços, vias exclusivas e elementos de sistemas inteligentes de transporte (ITS – *Intelligent Transportation System*) em um sistema integrado com uma forte identidade positiva". Os autores afirmam que o BRT pode ser encarado como um “bonde moderno (LRT – *Light Rail Transit*) sobre pneus, mas com maior flexibilidade operacional e menores custos de implantação e operação”.

Vuchic (2005), antes de definir o que é BRT, pondera que há uma tendência de usar esse termo para qualquer linha de ônibus que tenha parcial separação de faixas, novos ônibus ou uma distinção na designação da linha, e que essa proliferação do termo degrada e fere o conceito original. O autor também argumenta que a definição não pode ser precisa, já que um modo de transporte público é composto por muitos e diferentes elementos. No entanto, um

sistema deve incluir certos elementos que são essenciais para ser denominado BRT, tais como:

- não-compartilhamento com outros modos (como HOV – *high occupancy vehicle*);
- estações diferenciadas, com boa proteção aos passageiros, informação e equipamentos de bilhetagem automática, e espaçadas de, no mínimo, 300 a 400 m em áreas centrais, e distâncias maiores nas áreas periféricas;
- linhas diferenciadas com frequência, confiabilidade e *headways* regulares durante todo o dia;
- ônibus com desenho atraente, maior número de portas com maior largura, piso baixo ou plataforma alta que permita a transferência rápida nas estações;
- tratamento preferencial nas interseções;
- uso de técnicas de ITS para monitoramento dos veículos, informações aos passageiros e cobrança de tarifa.

Constata-se que o termo flexibilidade aparece em quase todas as definições, colocada como uma vantagem do BRT sobre sistemas que utilizam trilhos. No entanto, Vuchic (2005, p. 569) adverte, ao “corrigir os equívocos sobre transporte público” introduzidos ao planejamento de sistemas de transporte no período 1950-1970, que o termo flexibilidade é erroneamente colocado como um objetivo principal no planejamento de transporte público, e que tem sido usado não só para criticar sistemas sobre trilhos como inflexíveis, como também para concluir que serviços que possuem itinerário e quadro de horários adaptáveis são superiores aos que são fixos, permanentes e confiáveis. Além disso, conceitos opostos à flexibilidade são permanência, confiabilidade, durabilidade, eficiência e simplicidade, características desejáveis à maioria dos serviços de transporte público (VUCHIC, 2005).

Embora grande parte dos conceitos de BRT inclua flexibilidade como vantagem, também converge para a ideia de reproduzir as características dos sistemas sobre trilhos utilizando ônibus, o que constitui um fator predominante e traz mais coerência com a proposta do sistema.

2.1.2 Estação de corredor

O termo estação para o transporte coletivo é geralmente usado tanto para os terminais, onde há conexão de serviços distintos (troncais, alimentadores) ou de modos distintos (ônibus, metrô, trem), quanto para as estruturas ao longo do corredor ou via. Como o foco do presente trabalho está voltado às estações de corredores, as definições serão exploradas no sentido de distinguir estas estruturas das demais. Kittelson *et al.* (2003) conceituam estações de vias exclusivas de ônibus (*busways stations*) como estruturas frequentemente maiores e mais elaboradas que paradas de ônibus típicas, porém menores que aquelas destinadas a modos sobre trilhos, podendo ser instaladas do lado direito ou esquerdo dos ônibus, ser fechadas ou não, com ou sem estrutura de cobrança e outras facilidades, com piso baixo ou elevado, com ou sem faixa de ultrapassagem.

O Manual de BRT (WRIGHT; HOOK, 2008) adota uma terminologia própria, em que as estações ao longo do corredor são classificadas em dois tipos: estação troncal padrão, em que há acesso apenas às linhas troncais; e estação intermediária de transferência, que oferecem conexão com linhas alimentadoras, exercendo função semelhante ao terminal, porém em menor escala. Já Vuchic (2005) conceitua estação de transporte público (*transit station*) como sendo uma estrutura especial para que passageiros realizem embarque, desembarque, espera e transferência; e estações de transferência (*transfer station*) como estações que unem duas ou mais linhas, onde os passageiros podem passar de uma para outra, não especificando o tipo de linha (troncal, alimentadora, etc.). Por esta definição, dependendo do desenho da rede de transporte do sistema BRT, uma estação localizada no corredor desempenhará função de estação de transferência, pois mesmo não recebendo linhas alimentadoras, como definem Wright e Hook (2008), possibilitará a transferência dos usuários para linhas diferentes que por ela passem.

Vuchic (2005), ao conceituar BRT, acrescenta que este sistema deve possuir estações que acomodem a parada simultânea de dois ou mais ônibus, possibilidade de ultrapassagem ou operação em comboio com *headways* curtos, com menos de dois minutos. O presente estudo não tratará da operação em comboios, ou seja, as baías ou berços, que são as áreas da pista ocupadas por um único ônibus durante os embarques e desembarques (KITTELSON *et al.*, 2003; WRIGHT; HOOK, 2008), serão considerados como funcionando de forma independente, com faixa para ultrapassagem. Nota-se que uma estação pode ser composta por

uma ou mais plataformas de embarque e desembarque, com suas respectivas paradas. Há estações no sistema Transmilenio, por exemplo, que possuem até cinco paradas.

Considerando o foco desse trabalho, será adotado aqui o termo estação de corredor, de modo a abranger tanto as estações troncais quanto as estações intermediárias de transferência localizadas no corredor.

2.2 Elementos de projeto

O TCQSM – *Transit Capacity and Quality of Service Manual* (KITTELSON *et al.*, 2003) aborda vários elementos de projeto de estações, sejam elas de corredor ou terminais, de ônibus ou outros modos, e métodos para a determinação da capacidade de cada elemento. Dentre os elementos de estações abordados, o conjunto que se aplica às estações de corredor inclui o dimensionamento da área de espera, da área de circulação, de portas, rampas, escadas, estações elevatórias e catracas de acesso. O manual também aborda dispositivos de compra de bilhetes (máquinas de bilhetes e bilheterias), incomuns para a realidade brasileira, que não serão, portanto, tratados neste estudo.

O Manual de BRT (WRIGHT; HOOK, 2008) separa o dimensionamento de um sistema BRT em duas etapas: uma considerando a operação da pista, na parte de projeto operacional, e a outra focando a operação da plataforma de embarque, na parte de projeto físico. O texto ressalta a relação entre esses dois componentes, mas isso não é explicitado numericamente nas equações apresentadas pelo Manual.

2.2.1 Plataforma

Kittelson *et al.* (2003) definem que a plataforma deve ter área que comporte os passageiros à espera do seu ônibus e área de circulação para os fluxos de chegada e partida de passageiros, mantendo um nível de serviço razoável, tanto para as filas quanto para a circulação. Definem, ainda, que o comprimento de uma plataforma é baseado no comprimento do veículo usado e no número de veículos atendidos pela estação ao mesmo tempo, enquanto a largura depende de considerações estruturais, espaço para fila e circulação de passageiros e localização das entradas e saídas. Kittelson *et al.* (2003) afirmam que o caminhamento e a espera não ocorrem uniformemente na área da plataforma, e que há espaços específicos para cada uma dessas atividades, bem como aqueles denominados “áreas mortas”, que, em geral, não são usados

pelos passageiros, como por exemplo, o espaço entre dois ônibus sucessivos. Assim, os autores dividem as plataformas nas seguintes áreas (Figura 2.2):

- Área de circulação;
- Área de espera;
- Área de segurança (adjacente à borda da plataforma e às áreas de espera), delimitada por uma linha de atenção a 0,5 m da borda da plataforma;
- Áreas “mortas” entre as áreas de embarque;
- Espaço tomado por assentos, pilares e outras obstruções;
- Área de acumulação de filas.

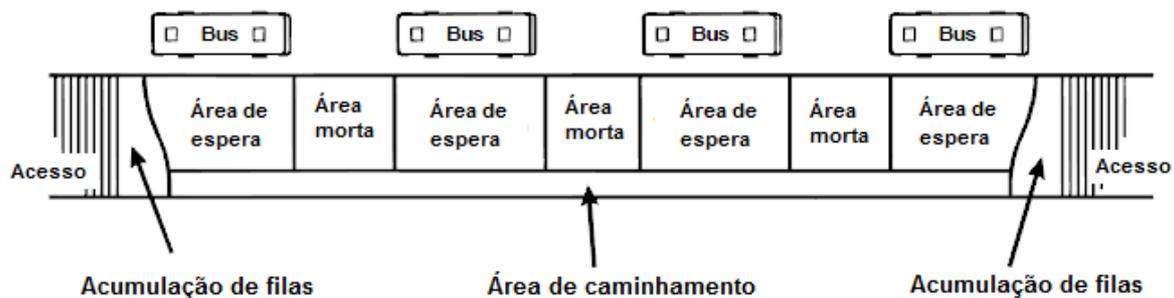


Figura 2.2 – Esquema das áreas de uma estação (adaptado de KITTELSON *et al.*, 2003)

De forma semelhante, o Manual de BRT (WRIGHT; HOOK, 2008) define que as estações de BRT são geralmente compostas por subparadas ou plataformas, áreas de transição e infraestrutura de integração, enquanto as plataformas seriam subdivididas nas áreas mostradas na Figura 2.3.

Percebe-se uma limitação dos métodos ao considerar a separação dos espaços de espera e circulação na plataforma. Na prática, ocorre a mistura e o conseqüente atrito entre passageiro aguardando o embarque com aqueles circulando, seja para ir até a outra subparada, seja para desembarcar do veículo.

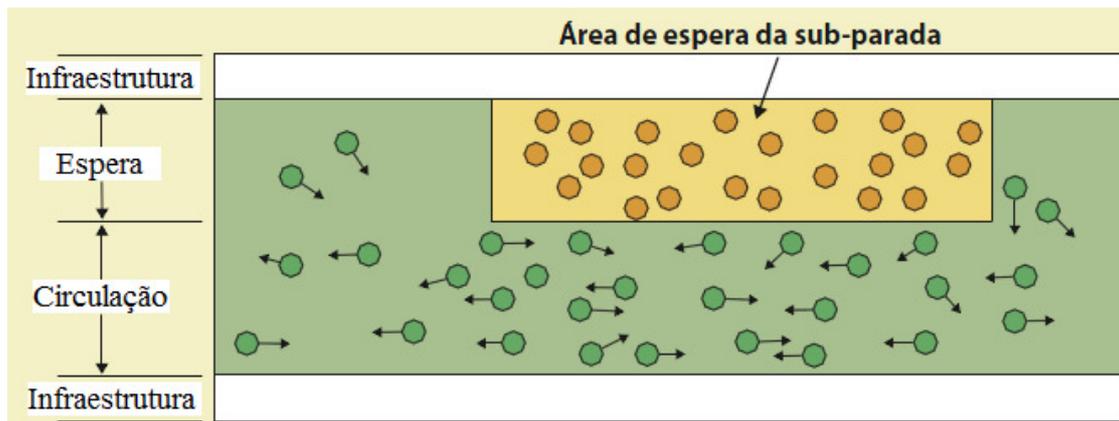


Figura 2.3 – Áreas da estação de BRT (adaptado de Wright e Hook, 2008, p. 389)

Levinson *et al.* (2003) definem que a largura da plataforma deve acomodar a demanda de passageiros dos quinze minutos mais carregados, para um horizonte de, pelo menos, cinco a dez anos, considerando que a plataforma deve estar liberada por esses passageiros até a chegada do próximo (grupo de) ônibus. Além disso, a plataforma deve ser dimensionada para evitar a saturação, especialmente quando for provida de equipamentos de cobrança de tarifas, como bilheterias e catracas. É desejável, segundo os autores, que plataformas centrais tenham uma largura de 6,0 a 7,5 m.

O método do TCQSM (KITTELSON *et al.*, 2003) determina que o tamanho da plataforma deve propiciar um nível de serviço para os pedestres “D”, “C” ou melhor nas áreas de espera, e “C” ou melhor nas áreas de circulação (ver detalhamento da definição do nível de serviço para passageiros na seção 2.4.2), devendo seguir os seguintes passos, para o cálculo dessas áreas:

Cálculo da área de espera

- Escolha do espaço médio por pedestre ($m^2/\text{pedestre}$), na Tabela 2.1, em função do nível de serviço desejado;
- Ajuste apropriado para as características dos passageiros;
- Estimativa da demanda máxima de passageiros para a plataforma em um dado período de tempo;
- Cálculo da área de espera necessária, pela multiplicação espaço médio por pedestre pela demanda máxima de passageiros;

- Cálculo da largura adicional necessária para circulação, conforme descrito a seguir;
- Cálculo do espaço para acumulação de filas nos acessos;
- Definição os espaços adicionais que não serão usados, incluindo as áreas mortas e as obstruções físicas;
- Adição da área de segurança, de 0,5 m de largura de cada lado pelo comprimento da plataforma;
- Cálculo da área total somando todas as áreas anteriores.

Tabela 2.1 – Nível de serviço para áreas de fila e espera

Nível	Espaço Médio por Pedestre		Espaçamento Médio Entre Pessoas	
	(ft ² /p)	(m ² /p)	(ft)	(m)
A	≥ 13	≥ 1,2	≥ 4,0	≥ 1,2
B	10-13	0,9-1,2	3,5-4,0	1,1-1,2
C	7-10	0,7-0,9	3,0-3,5	0,9-1,1
D	3-7	0,3-0,7	2,0-3,0	0,6-0,9
E	2-3	0,2-0,3	< 2,0	< 0,6
F	< 2	< 0,2	Variável	Variável

Fonte: Kittelson *et al.* (2003) (tradução)

Cálculo da largura das áreas de circulação

- Escolha do fluxo máximo de pedestres (pedestres/m/min) na Tabela 2.2, em função do nível de serviço desejado;
- Estimativa da demanda de pico de 15 minutos;
- Multiplicação por fator de ajuste apropriado que considera o uso adicional de espaços por pedestres com características especiais, como cadeirantes e usuários de cão-guia;
- Cálculo do fluxo de pedestres de projeto (em pedestres/min), dividindo a demanda de 15 minutos por 15;
- Cálculo da largura efetiva de circulação, dividindo o fluxo de pedestres de projeto pelo fluxo máximo de pedestres;
- Cálculo da largura total, adicionando as faixas de segurança de 0,5 m de cada lado da plataforma.

Tabela 2.2 – Nível de serviço para pedestres em circulação e fluxo médio por unidade de largura

Nível	Espaço por Pedestre (m ² /p)	Fluxos e Velocidades Esperados		
		Velocidade Média, V (m/min)	Fluxo por Unidade de Largura, v (p/m/min)	Relação volume/capacidade
A	≥ 3,3	79	0-23	0,0-0,3
B	2,3-3,3	76	23-33	0,3-0,4
C	1,4-2,3	73	33-49	0,4-0,6
D	0,9-1,4	69	49-66	0,6-0,8
E	0,5-0,9	46	66-82	0,8-1,0
F	< 0,5	< 46	Variável	Variável

Fonte: Kittelson *et al.* (2003) (tradução)

Segundo Wright e Hook (2008), o número de passageiros em espera em cada estação pode ser determinado com base em matriz de origem-destino (OD) ou pelos dados de demanda das linhas atuais que serão incorporadas ao novo sistema. Kittelson *et al.* (2003) ponderam que é importante, no dimensionamento de qualquer elemento da estação, considerar pequenos períodos de pico dentro da hora-pico, sendo usual a adoção do período de pico de quinze minutos. Os autores consideram, ainda, que ocorrem picos intensos durante o desembarque dos veículos na estação e, por esse motivo, o período de análise pode precisar ser até menor que quinze minutos, se o intervalo entre viagens for mais curto que isso.

De posse dos dados de demanda, pode ser estimado o total de passageiros aguardando para o embarque em uma plataforma, através da Equação 2.1 (WRIGHT; HOOK, 2008):

$$F_{max} = \sum \left(\frac{Pemb_i}{Freq_i} \right) = \sum P embbus_i \quad 2.1$$

onde:

F_{max} = número máximo de passageiros previstos na espera (passageiros);

$Pemb_i$ = fluxo de passageiros embarcando na linha i (passageiros/hora);

$Freq_i$ = frequência da linha i;

$P embbus_i$ = número médio de passageiros embarcando por veículo da linha i.

As equações definidas pelo Manual de BRT (WRIGHT; HOOK, 2008) para as áreas e larguras de circulação e espera da estação estão mostradas a seguir (equações 2.2, 2.3 e 2.4).

A Equação 2.2 determina a área mínima necessária para passageiros esperando:

$$A_{minesp} = \frac{F_{max}}{C_{apax}} \quad 2.2$$

onde:

A_{minesp} = área mínima necessária para passageiros esperando;

F_{max} = número máximo de passageiros previstos na espera;

C_{apax} = número máximo de passageiros por metro quadrado.

Wright e Hook (2008) definem que a largura da plataforma é calculada em função da quantidade de passageiros aguardando para o embarque, mas está limitada pela seção da via, sendo que a largura mínima é 3,0 m, observada no sistema BRT de Quito. Já o comprimento mínimo deve ser igual ao comprimento do veículo utilizado.

Considerando que cerca de 2.000 pedestres podem passar por uma seção de um metro de largura em uma hora, com nível de conforto razoável (que, segundo a Tabela 2.2, corresponde a um nível de serviço entre “B” e “C”), a Equação 2.3 (WRIGHT; HOOK, 2008) define a largura necessária para a circulação de passageiros:

$$L_{circ} = \frac{Pph}{2.000} \quad 2.3$$

onde:

Pph = número previsto de passageiros circulando por hora.

Assim, o cálculo da largura da plataforma é feito pela Equação 2.4:

$$L_{plat} = 1,0 + L_{esp} + L_{circ} + L_{espop} \quad 2.4$$

onde:

L_{plat} = largura total da plataforma;

1,0 metro = largura necessária para infraestrutura;

L_{esp} = largura necessária para passageiros esperando em uma direção;

L_{circ} = largura necessária para a circulação de passageiros;

L_{espop} = largura necessária para passageiros esperando no sentido oposto.

Se a estação for localizada na parte central da via, haverá paradas nos dois sentidos, sendo representado pelo termo L_{espop} , como será mostrado no próximo item. Nota-se que o método do TCQSM (KITTELSON *et al.*, 2003) não explicita essa particularidade.

2.2.2 Portas da estação

Um elemento que deve ser considerado no projeto da estação é o posicionamento relativo das portas da estação que fazem a interface com os ônibus. Como dito na seção anterior, o comprimento mínimo da estação equivale ao comprimento do veículo utilizado. Wright e Hook (2008) afirmam que, se a plataforma atende somente um veículo por vez, não tem efeito positivo o aumento da sua extensão, uma vez que os passageiros se aglomeram em torno das portas. No entanto, se a estação possui paradas justapostas, ou seja, permitindo a operação de dois veículos simultâneos, um de cada lado da plataforma, a largura desta deverá ser aumentada para garantir o atendimento a essa demanda, o que equivale à soma do termo L_{espop} na Equação 2.4.

Como quase sempre há restrição quanto ao aumento da largura, como já dito, o escalonamento ou deslocamento relativo das portas é uma alternativa a ser considerada. Wright e Hook (2008) afirmam que, quando as paradas são deslocadas ou escalonadas, o valor de L_{espop} é nulo na equação da largura mínima, o que provavelmente dobra a capacidade de uma plataforma de largura definida.

Obviamente, as dimensões e o distanciamento entre elas dependerão do veículo usado, sendo que a sua escolha definirá a configuração das portas no projeto da estação.

Quanto às portas de acesso à estação, o TCQSM (KITTELSON *et al.*, 2003) aborda métodos de dimensionamento de dispositivos do tipo porta giratória ou pivotante, que são usadas em estações terminais e, portanto, não se aplicam às estações de corredor. As considerações relativas à porta de entrada, que permanece aberta durante a operação da estação, são as mesmas para áreas de circulação, sendo que devem ser considerados os fluxos de entrada e

saída passando pela largura da porta. Os dispositivos colocados nos acessos que serão abordados pelo método aqui proposto são as catracas, discutidas no item seguinte.

2.2.3 Catracas

As catracas são dispositivos de controle de acesso que podem ser usados tanto para entrada, com liberação através da validação do bilhete, quanto para saída da estação, com passagem livre. Kittelson *et al.* (2003) ponderam que a capacidade de um acesso é determinado pelo tempo requerido por cada pedestre que passa por ele, sendo recomendado que a medida desse tempo deve ser feita em campo, em acessos similares aos que serão adotados no projeto. Além disso, concluem que o efeito do dispositivo de controle de acesso no fluxo de pedestres dependerá do intervalo de tempo entre pedestres, sendo que se este não for suficiente, haverá a formação de filas.

Hoogendoorn (2003) simulou o projeto de uma estação de metrô com o objetivo de avaliar, com um modelo de microssimulação, denominado NOMAD, a implantação de diferentes configurações de catracas nos seus acessos e o conseqüente nível de serviço para os pedestres, através da verificação de filas e atrasos. Foram simuladas situações com catracas que permitiam fluxo em ambas as direções e com catracas exclusivas para entrada ou saída de passageiros. Os resultados apontaram a última configuração como sendo a de melhor desempenho para o caso estudado.

2.2.4 Portas e tamanho dos ônibus

As referências citadas a seguir evidenciam a importância de se determinar a quantidade, a largura, a posição e o sentido de fluxo permitido pelas portas dos ônibus. Castilho (1997) aponta que a capacidade de transferência de passageiros entre veículo e estação é mais importante que o tamanho do veículo usado, evidenciando a importância da definição das suas portas. Wright e Hook (2008) argumentam que todos os esforços no sentido de equacionar as demais variáveis que definem o projeto da estação podem ser em vão, se as portas dos veículos não possibilitarem o fluxo facilitado dos passageiros. Os autores reservaram uma seção inteira do manual sobre as portas dos veículos, abrangendo grande parte dos aspectos que devem ser considerados na escolha da sua configuração.

Segundo Levinson *et al.* (2003), é reconhecidamente importante a definição do melhor arranjo das portas dos veículos usados nos sistemas BRT, uma vez que isso tem reflexos diretos na redução dos tempos de parada do veículo nas estações. Os mesmos autores relatam que o uso de múltiplas portas nos ônibus, aliado ao pagamento antecipado de tarifa, reduziu o tempo de parada para cerca de vinte segundos por estação em Curitiba, cujos ônibus biarticulados possuem cinco conjuntos de portas. Os autores argumentam que um número suficiente de portas com largura suficiente deve ser provido, especialmente no caso da cobrança de tarifa ser externa, colocando como parâmetro geral que deve haver uma porta para cada três metros de comprimento de veículo. Em contrapartida, o número de assentos é bastante influenciado pelo número e pela localização das portas (LEVINSON *et al.*, 2003).

Pela regra acima descrita, um ônibus de 18 metros teria seis conjuntos de portas. Já Wright e Hook (2008) definem que um veículo típico de 18 metros tem três ou quatro conjuntos de portas duplas, concluindo que se o ônibus possui três portas, sobra mais espaço para assentos, enquanto a eficiência em embarques e desembarques é maior se houver quatro portas. Assim, a escolha pelo número de portas depende do padrão de operação que se deseja oferecer para o sistema: mais conforto para o usuário ou maior capacidade de transferência de passageiros. Ainda segundo essa publicação, veículos de 160 passageiros com quatro conjuntos de portas de 1,1 m de largura, com comprimento de 18,5 m, têm se constituído um padrão.

Assim como outros autores anteriormente citados, Fernandez *et al.* (2010) também contestaram o uso de funções lineares para descrever o tempo de parada dos veículos nas estações, propondo um modelo que embasou a investigação da influência de alguns fatores, como largura da porta, altura da plataforma e método de cobrança de tarifa, na variação do tempo de parada. Estes autores defendem a importância de determinar um modelo específico para cada sistema projetado, além de colocarem como proposta para futuros trabalhos investigar como diferentes níveis de ocupação e diferentes leiautes internos do veículo afetam o tempo de parada na estação. Em um dos cenários estudados, os resultados apontaram para uma redução de 25% a 45% nos tempos de embarque e desembarque, para pagamento antecipado de tarifa e considerando portas de 800 mm e 1600 mm de largura, sendo que a largura da porta mostrou-se mais influente nesses tempos que a diferença de altura entre a plataforma e o piso do ônibus.

Wright e Hook (2008) apresentam alguns dados que conflitam com estas conclusões. A Tabela 2.3 mostra que, mesmo a largura da porta mudando de 600 mm para 1100 mm, os tempos de embarque (1,5 segundos por passageiro) e desembarque (1,0 e 1,2 segundos por passageiro) praticamente não se alteram, quando considerados veículos de piso baixo e alto, respectivamente.

Tabela 2.3 – Tempos de embarque e desembarque para diferentes configurações

Método de cobrança	Configuração			Tempos (segundos por passageiros por porta)	
	Largura da porta (metros)	Tipo de acesso ao piso do veículo	Altura do piso do veículo	Embarque	Desembarque
A bordo, pelo motorista	0,6	Degraus	Alto	3,0 ¹	ND
A bordo, cartão sem contato (sem catraca)	0,6	Degraus	Alto	2,0 ²	ND
Externa	0,6	Degraus	Alto	2,0 ³	1,5 ³
Externa	0,6	Degraus	Baixo	1,5	1,2
Externa	1,1	Degraus	Alto	1,5	1,0
Externa	1,1	Degraus	Baixo	1,1	0,9
Externa	1,1	Nível	Alto	0,75 ¹	0,5 ¹

1. Colômbia, México 2. China 3. Brasil ND: Não disponível

Fonte: WRIGHT; HOOK (2008, p. 284)

Segundo Vuchic (2007), os valores unitários para os tempos de embarque e desembarque de passageiros dependem dos seguintes fatores:

- Número de portas por veículo;
- Método de pagamento da tarifa;
- Diferença de nível entre veículo e plataforma;
- Desenho das portas e características das áreas adjacentes a elas;
- Sentido do fluxo de passageiros pelas portas (único ou duplo).

Com relação ao sentido de fluxo pelas portas dos ônibus, Vuchic (2007) apresenta duas equações para a determinação do tempo de parada do veículo na estação: uma para embarque e desembarque por portas diferentes (Equação 2.5) e outra para as duas atividades ocorrendo simultaneamente por todas as portas (Equação 2.6).

$$t_s = t_0 + \text{Max} (\lambda \cdot p_b, \mu \cdot p_a) \quad 2.5$$

$$t_s = t_0 + \lambda \cdot p_b + \mu \cdot p_a \quad 2.6$$

onde:

t_0 [s] é o tempo perdido (tempo morto);

λ e μ [s/pax] são os tempos de embarque e desembarque por passageiro, respectivamente;

p_b e p_a [pax/veículo] são os números de passageiros embarcando e desembarcando, respectivamente, pelas portas mais carregadas.

Neste último tipo de operação, o autor afirma que o atrito entre os passageiros embarcando e desembarcando aumenta os tempos de embarque e desembarque por passageiro, mas não define qual é essa relação (VUCHIC, 2007; WRIGHT; HOOK, 2008).

Wright e Hook (2008) também argumentam que o sentido de fluxo duplo pelas portas pode retardar o processo de entrada e saída de passageiros, aumentando o tempo de parada dos ônibus, e que uma solução seria designar portas específicas para entrada ou saída. No entanto, os autores não são conclusivos em relação à melhor forma de operação das portas, pois colocam que esta configuração pode causar confusão ao usuário, além de levá-lo ao desconforto de ter que se deslocar no interior do veículo durante a viagem, para chegar à porta de saída.

Neste contexto, Vuchic (2007) acrescenta outros fatores que influenciam na eficiência operacional de um sistema BRT, relacionados aos veículos: número de assentos, estrutura, tamanho e tecnologia de atracagem (ou docagem). O sistema de atracagem e o tamanho do veículo serão abordados, embora os critérios para escolha do último não serão discutidos neste trabalho, visto que extrapolam o objetivo da pesquisa.

2.2.5 Acesso

Este elemento se refere ao uso de dispositivos como rampas, escadas e elevadores (ou plataformas elevatórias), ou a combinação deles, para vencer o desnível entre a pista e a plataforma da estação, quando estas são elevadas ao nível do piso dos ônibus. Segundo Kittelson *et al.* (2003), as rampas devem ser inicialmente usadas para garantir o acesso de

pessoas como mobilidade reduzida à estação, incluindo passageiros com carrinhos de bebê ou carregando grandes volumes, e podem ser projetadas para o público em geral, substituindo as escadas, se isso for conveniente. Os autores salientam que há normas que disciplinam as dimensões e características das rampas para propiciar sua adequação ao uso do público alvo (no caso do Brasil, a NBR 9050 – ABNT, 2004), e ponderam que consistem em uma alternativa a plataformas elevatórias, com as vantagens de demandarem pouca manutenção, não terem custo de operação e estarem disponíveis a um número maior de usuários. Wright e Hook (2008) tratam o tema de forma semelhante, e acrescentam que as rampas podem sempre ser usadas de forma independente pelo usuário e que longas esperas pelo pessoal da estação podem representar frustração e constrangimento ao usuário que delas depende. O método de dimensionamento de rampas do TCQSM (KITTELSON *et al.*, 2003), sob o aspecto da capacidade, equivale ao de dimensionamento de áreas de circulação.

2.2.6 Sistema de atracagem e posição das plataformas

Segundo Vuchic (2007), existem basicamente três tipos de tecnologias adotadas para garantir a atracagem precisa dos veículos nas estações:

- eletrônica, em que os ônibus seguem os impulsos magnéticos de uma guia enterrada no pavimento, através de sensores a bordo (ônibus *Civis* e *Phileas*, do BRT de Eindhoven);
- ótica, em que o veículo detecta linhas demarcadas no pavimento (usado em Rouen, na França);
- mecânica, em que os veículos possuem rodas horizontais nas laterais que o mantêm na pista, através do contato com um meio-fio apropriado (sistema *O-Bahn*, usado em Essen, na Alemanha, em Adelaide, na Austrália e em Nagoya, no Japão) (LEVINSON *et al.*, 2003, VUCHIC, 2007; WRIGHT; HOOK, 2008; KANTOR *et al.*, 2006).

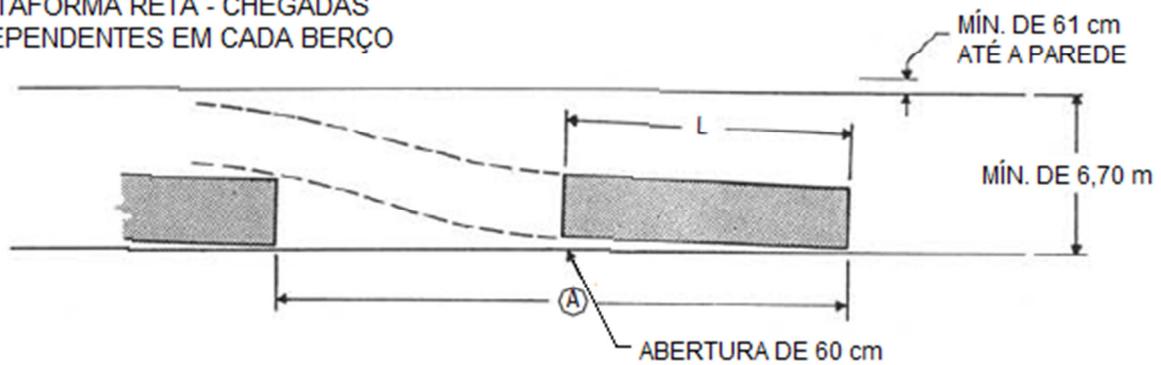
No caso de sistemas óticos e magnéticos, os custos elevados e as limitações tecnológicas têm inviabilizado sua utilização (WRIGHT; HOOK, 2008).

Nos sistemas em que a técnica de manobra do veículo é manual, o motorista deve reduzir a velocidade para 10 a 15 km/h, mantendo-a até conseguir o alinhamento das portas do veículo com as portas ou aberturas da estação, e um vão de cerca de 10 cm da plataforma, resultando em perda considerável de tempo em cada estação (VUCHIC, 2007; WRIGHT; HOOK, 2008).

Em Curitiba e Quito são usadas pontes retráteis ou basculantes nos veículos, para tornar a interface veículo-plataforma livre de obstáculos, e diminuir a necessidade de precisão na atracagem, reduzindo o tempo de manobra em relação aos sistemas que não as possuem. O veículo é alinhado manualmente o mais próximo possível da plataforma, podendo ficar a até 45 cm dela, e a ponte é baixada para preencher o vão resultante (VUCHIC, 2007; WRIGHT; HOOK, 2008). Wright e Hook (2008) também admitem que as pontes reduzem os tempos de embarque e desembarque, já que os passageiros não precisam avaliar as condições do vão que precisam saltar para passar do veículo para a plataforma, e vice-versa, além de oferecer maior segurança aos usuários e reduzir o risco de colisões do veículo com a estação. A questão da acessibilidade para pessoas com mobilidade reduzida também aparece como um ponto positivo das pontes basculantes. O uso de pontes rebatíveis manuais para cadeirantes nos ônibus resolve o problema do vão entre o veículo e a plataforma, mas não constitui um item de acessibilidade, à medida que depende de ser acionada por outra pessoa que não seja o próprio usuário. Além disso, pode gerar constrangimento ao cadeirante, que pode se sentir responsável pelo atraso à operação do serviço (WRIGHT; HOOK, 2008). Por outro lado, alguns autores (KANTOR *et al.*, 2006; LEVINSON *et al.*, 2003; WRIGHT; HOOK, 2008) afirmam que, assim como elevadores, as pontes são equipamentos que requerem manutenção preventiva e geram impacto negativo no tempo de parada. Wright e Hook (2008) acrescentam ainda que, no final das contas, as vantagens introduzidas pelo uso da ponte tendem a mais que compensar o tempo adicional de descimento e recolhimento, bem como o custo adicional de operação e manutenção. O fato é que não foi encontrada quantificação desse custo adicional, nem do impacto no tempo total da manobra, em que deve ser descontada a maior agilidade na aproximação do veículo.

Além do efeito no tempo de manobra e na segurança dos usuários, a escolha pela tecnologia usada no sistema de atracagem interfere no projeto físico da estação. Levinson *et al.* (2003) afirmam que a configuração de plataformas em linha com chegadas em berços independentes requer que os ônibus se aproximem no berço seguinte pela faixa adjacente. Isso permite chegadas e saídas independentes, mas necessita maior habilidade do condutor e um maior comprimento da plataforma, sendo que tais requisitos são tão mais necessários quanto menos tecnologia for empregada no auxílio à manobra. Para esta configuração, que é a usada em estações de corredor de BRT completo, os autores (LEVINSON *et al.*, 2003) definem que as posições de parada devem considerar o que mostra a Figura 2.4.

PLATAFORMA RETA - CHEGADAS
INDEPENDENTES EM CADA BERÇO



ÔNIBUS		
	SIMPLES	ARTICULADO
L	12,25 m	18,30 m
A	24,50 m	30,50 m

Figura 2.4 – Sequência de berços em plataforma reta (adaptado de Levinson *et al.*, 2003)

Já o Manual de BRT (WRIGHT; HOOK, 2008) preconiza que o comprimento da pista junto às estações de sistemas BRT completos deve ser o somatório do comprimento do veículo que utiliza a baía, da posição de um veículo extra em espera e de uma distância de manobra entre duas baías consecutivas, que equivale a 1,7 vezes o comprimento do veículo. Essa distância é necessária para oferecer melhores condições de manobra do veículo na plataforma, considerando um veículo parado na baía anterior e a manobra sendo feita, conseqüentemente, pela faixa de ultrapassagem.

De fato, as referências citadas tornam evidente a importância da escolha do tipo e da tecnologia usada no sistema de atracagem dos ônibus na definição do projeto da estação, o que afeta diretamente a operação da estação. Neste trabalho serão confrontados sistemas que adotam ponte nos veículos com aqueles que não as adotam.

2.2.7 Outras questões da interface do veículo com a estação

Além da questão específica da atracagem do veículo na estação, outros estudos trataram da interface do veículo com a plataforma. Kantor *et al.* (2006) confirmaram que estratégias de embarque em nível reduzem o tempo de permanência do veículo na estação, por facilitar o embarque e o desembarque. Zhou *et al.* (2010) avaliaram o uso de portas deslizantes em plataformas no fechamento do acesso aos veículos e concluíram pelo aumento do conforto e

da segurança para os passageiros, o que indiretamente reflete na capacidade do sistema ao evitar que haja perturbações na chegada e na saída dos ônibus da estação.

As estações com plataforma elevada são adotadas em sistemas BRT, como o de Bogotá, Quito e Curitiba, mas a difusão dos veículos de piso baixo teriam realçado seus inconvenientes: são mais caras, ocupam mais espaços com rampas para acesso de cadeirantes, criam obstrução visual e limitam a flexibilidade da frota, que só pode operar em vias que as possuem. (LEVINSON *et al.*, 2003; VUCHIC, 2007).

Contrapondo esse ponto de vista, Wright e Hook (2008) enumeram algumas vantagens e desvantagens do uso de veículos de piso baixo, especialmente se aplicados em países em desenvolvimento. Os custos de aquisição seriam 20% a 30% maiores que um veículo de piso alto, e a manutenção seria de 10% a 20% mais cara, enquanto as estações para estes teriam um custo de implantação cerca de 5% maior.

Embora os veículos e plataformas de piso elevado sejam uma tendência nos países em desenvolvimento, a decisão pelo uso de uma das configurações deve ser embasada em estudos técnicos que possam quantificar cada um desses aspectos, que não se resumem ao corredor em si, mas engloba o contexto em que se insere. Neste caso, devem ser avaliadas, por exemplo, questões como a capacidade dos veículos e sua adequabilidade às condições físicas e operacionais do itinerário da linha, para que o sistema e a cidade não sejam prejudicados por uma decisão aleatória.

2.3 Parâmetros de projeto

São definidos como parâmetros de projeto os fatores que precisam ser arbitrados ou medidos para serem usados como dados de entradas nas equações de definição dos elementos ou no modelo de simulação. Neste trabalho são relatados os mais recorrentes na literatura consultada.

2.3.1 Tempo de parada e tempos de embarque e desembarque

O Manual de BRT define o tempo total de parada como sendo a quantidade de tempo que um dado veículo ocupa uma posição de parada na estação, sendo composto pelo tempo total de embarques, pelo tempo total de desembarques e pelo tempo morto (WRIGHT; HOOK, 2008).

O TCQSM (KITTELSON *et al.*, 2003) define que o tempo de parada pode ser governado pela demanda de embarques (típicas do pico da tarde), pela demanda de desembarques (típicas do pico da manhã) ou pela demanda de transferência de passageiros em pontos com essa característica, sendo que, em todos os casos, esse tempo é proporcional aos volumes de embarques e/ou desembarques e à soma do tempo requerido para servir a cada passageiro.

Jaiswal *et al.* (2009; 2010) afirmam que a aplicação padrão do procedimento do TCQSM (KITTELSON *et al.*, 2003) tem se mostrado menos confiável quando aplicado a estações de BRT com múltiplas áreas de acomodação lineares, pois o modelo subestima o fato de os usuários requererem uma distância considerável a ser percorrida até o ônibus, sob o efeito da obstrução causada pela aglomeração de pessoas. Os modelos existentes para o tempo de parada dos ônibus em estações foram desenvolvidos como estudos de caso e consideram o número de embarques e desembarques como as variáveis mais significativas (JAISWAL *et al.*, 2010). No caso estudado, em que não há sistema de informação ao usuário indicando a posição de parada, nem definição da posição de parada do ônibus de cada linha, foi demonstrado que o tempo médio de caminhada na estação até o ônibus é dez vezes maior que em uma parada convencional, e que o tempo perdido do ônibus na estação é 3,8 vezes maior que quando operando em um ponto simples (JAISWAL *et al.*, 2009). Nestes trabalhos, os autores relatam não terem encontrado literatura sobre a relação do tempo de parada dos ônibus com a aglomeração de usuários e seu efeito na caminhada dos passageiros até a porta de entrada do seu ônibus, concluindo que o tempo de parada do ônibus cresce com o aumento da aglomeração de pessoas na estação.

Castilho (1997) afirma que, a partir de um dado instante, devido à restrição de espaço físico no veículo causada pelos passageiros a bordo, o tempo de parada deixa de ser uma função linear do número de passageiros embarcando, como mostra a Figura 2.5 (TRL/ODA, 1993 *apud* CASTILHO, 1997).

Puong (2000) desenvolveu um modelo para o cálculo do tempo de parada do veículo para estações de uma determinada linha de sistema sobre trilhos e também demonstrou que a aglomeração de pessoas em pé embarcadas tem efeito não linear no tempo de parada do veículo. O estudo indica que a operação deve garantir que não haja excesso de pessoas em pé dentro dos veículos, para assegurar rapidez nas operações de embarque e desembarque nas estações.

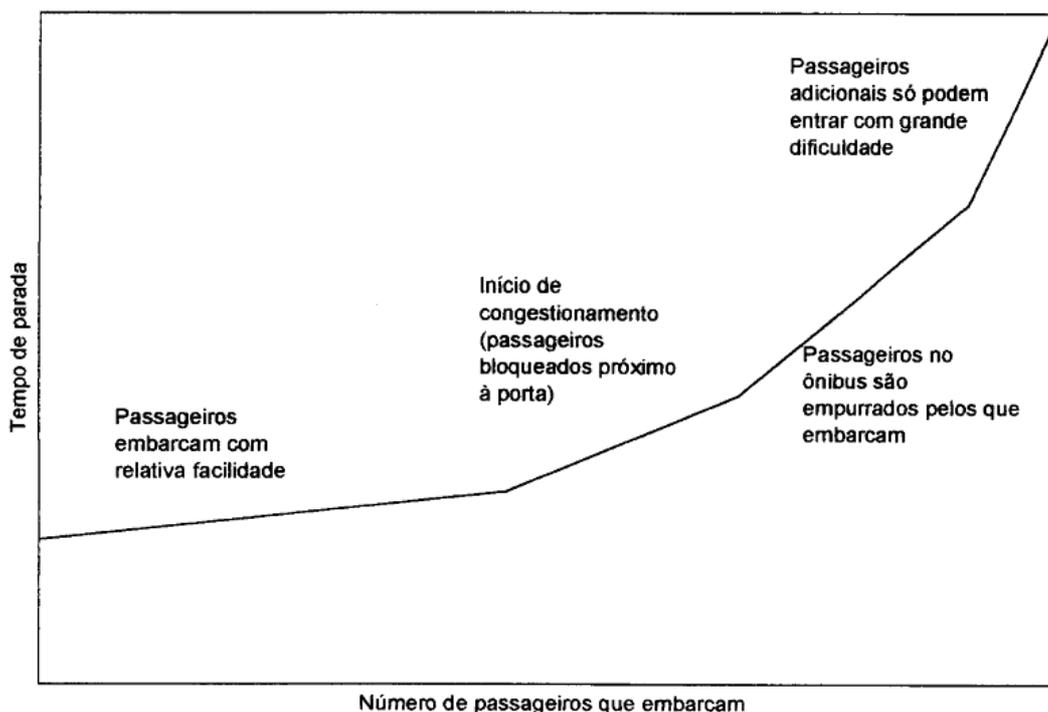


Figura 2.5 – Tempo de parada *versus* embarques (CASTILHO, 1997, p. 21)

Segundo Lin e Wilson (1992), outros estudos relacionados ao tempo de parada adotaram método dos mínimos quadrados com regressão linear simples para relacionar o tempo de parada dos ônibus com o número de passageiros embarcando e desembarcando, criando modelos específicos para diferentes condições de operação, tais como restrições nas portas de entrada e saída, método de pagamento da tarifa e desenho do veículo. A principal conclusão desses autores é que tanto o número de passageiros embarcando e desembarcando quanto o nível de aglomeração de pessoas em pé a bordo afetam significativamente o tempo de parada do veículo, sendo evidenciado que o efeito dessa aglomeração não se relaciona linearmente com o acréscimo de atraso produzido.

Levinson *et al.* (2003) apresentam, no Guia de Implementação de BRT, intervalos de valores e médias sugeridas para os tempos de embarque e desembarque, relacionados a diferentes formas de pagamento de tarifa. No entanto, simplificam o efeito dos passageiros em pé a bordo, ao definir que deve ser acrescentado 0,5 segundo aos valores quando há presença de passageiros em pé, sem mencionar qualquer relação com a quantidade de passageiros.

A preocupação com o tempo de parada é, de fato, uma constante na operação de sistemas existentes. O Manual de Operações do Transmilenio (ALCADÍA MAYOR, 2010) aponta para a necessidade de minimizar a probabilidade de formação de filas nas estações, indicando a

fixação do tempo máximo de permanência dos veículos nas estações, em aproximadamente 25 segundos (ALCADÍA MAYOR, 2010; BRT POLICY CENTER, 2006).

Os estudos apresentados mostram que a aglomeração de pessoas na estação e a quantidade de passageiros em pé a bordo deveriam ser parâmetros considerados no projeto da estação, dada a sua significativa influência nos tempos de embarque e desembarque e, conseqüentemente, na capacidade do sistema. Porém, verifica-se que não há como tratar analiticamente sem esforços consideráveis, além de consistirem em parâmetros dinâmicos, sendo o resultado da interação entre os passageiros, os veículos e a estação. Assim, o presente estudo tratará como parâmetros de projeto o tempo de embarque por passageiro, o tempo de desembarque por passageiro e o tempo morto, sendo a aglomeração de usuários na estação e a quantidade de passageiros em pé a bordo, parâmetros de avaliação. A definição de tempo morto apresenta peculiaridades que justificam ser tratado à parte. Outras considerações relativas aos tempos de embarque e desembarque por passageiro são apresentadas no item 2.2.4.

2.3.2 Tempo morto, aceleração e desaceleração

O Manual de BRT define tempo morto como “a diferença de tempo entre um veículo que passa direto por uma estação e um veículo que para nela, abre e fecha as portas sem nenhum embarque ou desembarque e volta a acelerar”. Portanto, estão inclusos os tempos da desaceleração necessária para aproximar-se da plataforma, da abertura das portas para o embarque e desembarque de passageiros, de fechar as portas e o tempo de acelerar até atingir a velocidade de cruzeiro (WRIGHT; HOOK, 2008). Os autores afirmam que a maioria dos veículos precisa de um tempo médio de 10 segundos para encostar, abrir e fechar as portas e se afastar da plataforma, sendo que se deve somar 1/6 de segundo neste tempo para cada metro de comprimento, se o veículo é maior. Interessante notar que os autores não definem a partir de qual medida um veículo é considerado “maior”, não ficando claro se a equação vale para qualquer comprimento. Assim, o tempo morto (incluindo os tempos de aceleração e desaceleração) seria calculado pela Equação 2.7.

$$T_{morto} = 10 + \left(\frac{C_{bus}}{6}\right) \quad 2.7$$

onde:

T_{morto} = Tempo morto [segundos];

C_{bus} = Comprimento do ônibus [m].

Segundo Vuchic (2007), um dos componentes do tempo gasto pelo veículo na estação é o termo t_o , que representa um tempo fixo gasto durante a chegada e a partida do veículo, e é função da preparação para a transferência dos passageiros, como abertura e fechamento de portas, e partida do veículo. Segundo Chapman (1978 *apud* PEREIRA, 2011), tempo morto é aquele não utilizado para embarque e desembarque, e que, portanto, não depende do número de passageiros embarcando ou desembarcando. Pereira (2011) conceitua tempo morto inspirado em Chapman (1978), como sendo o “tempo requerido para abertura e fechamento de portas”.

Nota-se que as últimas definições não incluem os tempos de aceleração e desaceleração no tempo morto como a primeira. De fato, tempo de aceleração e desaceleração depende de fatores como o tipo de interface veículo-plataforma, o sistema de atracagem, o peso do veículo e a potência do motor, e características da superfície da via, como declividade e pavimento (WRIGHT; HOOK, 2008), sendo, então, razoável que sejam tratados de modo independente do tempo morto.

Portanto, no presente estudo será considerado tempo morto como sendo somente o tempo referente à abertura e fechamento das portas e acionamento de quaisquer outros dispositivos necessários à preparação do veículo para as atividades de embarque e desembarque (sistema de atracagem, elemento a ser discutido adiante). Dessa forma, tempo morto, aceleração e desaceleração serão aqui tratados como parâmetros de projeto distintos.

2.4 Medidas de desempenho

Existem várias medidas que podem ser usadas para avaliar o desempenho e a eficiência da estação de corredor. Porém, baseado no que já foi apresentado anteriormente, a análise focará nas medidas de capacidade e nível de serviço para os passageiros.

2.4.1 Capacidade

Wright e Hook (2008) afirmam que, em geral, o ponto de gargalo de um sistema de transporte pode ser representado por um dos seguintes três fatores: demora de embarque e desembarque

de passageiros; congestionamento de veículos nas estações; congestionamento de veículos nas interseções. Assim, os dois primeiros estão diretamente ligados às estações.

O TCQSM (KITTELSON *et al.*, 2003) discute que capacidade de sistemas por ônibus é uma definição complexa, sendo uma medida de desempenho que reflete a interação entre o fluxo de passageiros e o fluxo de veículos de uma linha, uma faixa ou um terminal. A capacidade está relacionada ao movimento tanto de pessoas quanto de veículos, ao tamanho dos ônibus usados e à frequência com que operam, e à política de operação, definida pelo órgão gerenciador.

Pereira (2011) trabalha o conceito de capacidade de sistemas de transporte coletivo, baseando-se em Vuchic (2007) e Fernandez e Planzer (2002, *apud* PEREIRA, 2011). Assim, Pereira (2011) define diferentes classificações, com base na capacidade limite do seu componente mais carregado, que pode ser a via, as interseções e as estações. Segundo Vuchic (2007), a capacidade de uma linha de transporte coletivo é definida como o número máximo de unidades que pode ser transportado por ela por um ponto fixo, durante uma hora, sob determinadas condições, sendo que essas unidades são, principalmente, veículos e passageiros. Dessa forma, a capacidade da linha passa a ser então a menor das duas capacidades: a da via e a da estação. O autor ratifica as referências citadas no capítulo anterior (NTU (2010; GARDNER *et al.*, 1991; TRB, 2010), colocando que, de modo geral, a capacidade da estação é que determina a capacidade da linha.

Para Gardner *et al.* (1991), no que se refere à estação, a capacidade é designada sob dois enfoques: número máximo de veículos atendidos em um sentido de circulação em um dado período de tempo e; número máximo de embarques e desembarques em um sentido de circulação em um dado período de tempo.

Vuchic (2007) alerta que a tendência de simplificar o complexo conceito de capacidade de uma linha de transporte coletivo e de querer expressá-la como um simples número leva a decisões frequentemente errôneas, e aponta cinco preceitos que devem ser compreendidos para que isso seja evitado:

- A capacidade de uma linha não é um número fixo e único, está relacionada a medidas de desempenho como nível de serviço, confiabilidade e conforto;

- Operar um sistema próximo da capacidade não é uma condição desejável – usualmente, a mais satisfatória condição de operação é com volumes que não ultrapassem 80% da máxima capacidade possível;
- Há uma grande diferença entre a capacidade de projeto e o número de passageiros realmente transportados durante uma hora – flutuações na demanda podem inserir longos tempos de espera;
- Capacidade viária é um conceito totalmente diferente de capacidade da estação – como já mencionado anteriormente, exceto para casos de linhas expressas, a capacidade da estação governa a capacidade da linha.
- Capacidades teóricas são frequentemente diferentes das capacidades práticas – isso ocorre por causa da variação das condições de operação que se verifica no mundo real.

Na mesma linha de raciocínio, Wright e Hook (2008) discutem a analogia entre nível de saturação para tráfego misto e para o transporte coletivo, concluindo que, embora para o primeiro seja claro e pouco variável o limite máximo aceitável (85%) a partir do qual há queda abrupta das velocidades, para estações de BRT isso não ocorre. Atribui-se isso ao fato de os ônibus terem “atividades irregulares”, que pode levar uma estação à saturação na prática, mesmo com taxas de ocupação das baías (saturação teórica) abaixo de 30%, como mostra a Figura 2.6.

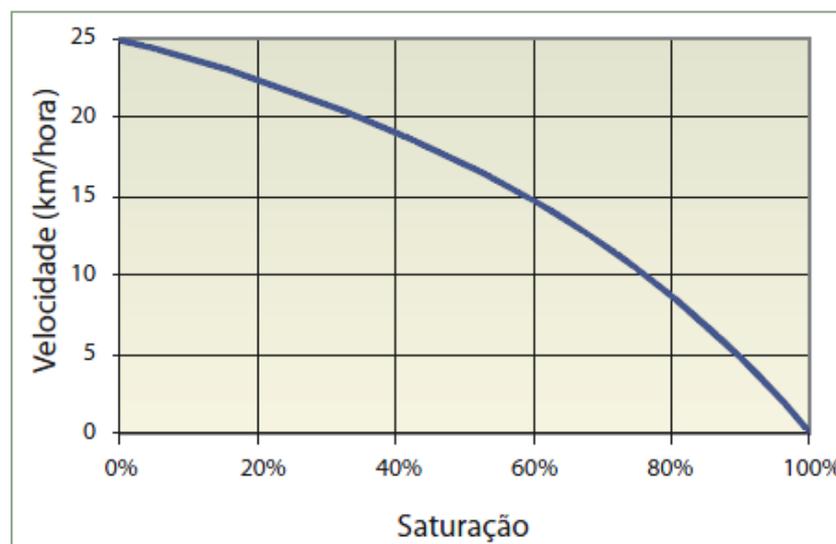


Figura 2.6 – Impacto da saturação na velocidade dos veículos nas estações (Manual de BRT, 2008, p. 267)

Os autores discutem as inter-relações dos diferentes fatores de projeto e chegam à relação detalhada para o cálculo de capacidade, traduzida pela Equação 2.8 (WRIGHT; HOOK, 2008).

$$Cap = \frac{N_{par} \times X \times 3600}{\left[\frac{T_{mor} \times (1 - Dir)}{NP_{bus}} + (Fren \times T_{pax}) \right]} \quad 2.8$$

onde:

Cap = capacidade em passageiros por hora por sentido;

N_{par} = número de baias de parada na estação;

X = nível de saturação;

3600 = número de segundos em uma hora;

T_{mor} = tempo morto (inclui frenagem e aceleração);

Dir = porcentagem de veículos que passam direto pela estação (serviços expressos ou de poucas paradas);

NP_{bus} = capacidade do veículo;

F_{ren} = fator de renovação de passageiros na estação;

T_{pax} = tempo médio de embarque e desembarque por passageiro.

Nota-se que os tempos de embarque e desembarque são considerados iguais na equação da capacidade.

O nível de saturação de uma baía de parada é calculado pela Equação 2.9.

$$X = (T_{morto} \times Freq + P_{emb} \times T_{emb} + P_{des} \times T_{des})/3600 \quad 2.9$$

onde:

X = nível de saturação;

T_{morte} = tempo morto (segundos);

$Freq$ = frequência de veículos parando na baía (veículos/hora);

P_{emb} = fluxo de passageiros embarcando por aquela baía (passageiros/hora);

T_{emb} = tempo médio de embarque por passageiro (segundos);

P_{des} = fluxo de passageiros desembarcando naquela baía (passageiros/hora);

T_{des} = tempo médio de desembarque por passageiro (segundos);

3600 = número de segundos em uma hora.

A análise dessas equações revela que a capacidade do sistema está diretamente relacionada com os seguintes parâmetros e elementos de projeto: tempo morto; tempos de embarque e desembarque; tamanho e capacidade do veículo; aceleração e desaceleração.

2.4.2 Nível de serviço para passageiros

O procedimento adotado por Kittelson *et al.* (2003) para avaliar o nível de serviço em áreas de espera e em áreas de circulação são baseados na obra de Fruin (1987, *apud* KITTELSON *et al.*, 2003) e no HCM 2000, conforme ilustram a Figura 2.7 e a Figura 2.8.

	Definição NS	Espaço por pedestre (m ² /p)
	Nível de Serviço A Espera e livre circulação nas áreas de espera possíveis sem qualquer conflito com os demais.	≥ 1,2
	Nível de Serviço B É possível a espera e circulação sem atrapalhar os demais na fila.	0,9 - 1,2
	Nível de Serviço C É possível a espera e circulação sem atrapalhar os demais na fila; esta densidade é o limite do conforto.	0,7 - 0,9
	Nível de Serviço D Espera sem contato corporal é impossível; circulação na área da fila extremamente restrita e movimento só é possível em grupos; muito tempo de espera nessa densidade é desconfortável.	0,3 - 0,7
	Nível de Serviço E Espera com contato corporal constante; circulação entre as filas impossível; filas nessa densidade sem grandes desconfortos só são sustentáveis durante um curto período.	0,2 - 0,3
	Nível de Serviço F Virtualmente todas as pessoas na área da fila estão em contato direto	< 0,2

Figura 2.7 – Nível de serviço para áreas de espera (GUAZZELLI, 2012, adaptado de Kittelson *et al.*, 2003)

Definição NS	Espaço por pedestre (m ² /p)
Nível de Serviço A Velocidade de caminhada definida livremente; conflito com outros pedestres improvável.	$\geq 3,3$
Nível de Serviço B Velocidade de caminhada definida livremente; pedestres respondem à presença de outros.	2,3 - 3,3
Nível de Serviço C Velocidade de caminhada definida livremente; ultrapassagem é possível em fluxos unidirecionais; pequenos conflitos com pedestres em fluxo reverso ou cruzado.	1,4 - 2,3
Nível de Serviço D Liberdade restrita para escolha de velocidade e ultrapassagem; alta probabilidade de conflito com pedestres em fluxo reverso ou cruzado.	0,9 - 1,4
Nível de Serviço E Velocidade e possibilidade de ultrapassagem restritas para todos os pedestres; movimento é possível apenas com conflito; movimento reverso ou cruzado é possível apenas com extrema dificuldade; volume se aproxima à máxima capacidade.	0,5 - 0,9
Nível de Serviço F Velocidade e possibilidade de ultrapassagem extremamente restritas; constante contato involuntário com outros pedestres; movimento reverso ou cruzado impossível; fluxo esporádico e instável.	$< 0,5$

Figura 2.8 – Nível de serviço para áreas de caminhada (GUAZZELLI, 2012, adaptado de KITTELSON *et al.*, 2003)

Segundo Wright e Hook (2008), o limite da condição razoável de conforto durante a espera é três passageiros por metro quadrado, ou seja, $C_{apax} = 3 \text{ pax/m}^2$.

Cabe salientar que a condição de conforto, traduzida pelo número de pessoas por unidade de área de espera é, ao mesmo tempo, um parâmetro de entrada e uma medida de desempenho do projeto já definido. O próprio TCQSM coloca os procedimentos de definição de cada elemento, seguido do procedimento de determinação de sua capacidade.

Como observado anteriormente, a condição de conforto deveria ser verificada tanto na plataforma (aglomeração de pessoas) quanto no interior do veículo (passageiros em pé), o que se reflete também na eficiência do sistema, pela sua implicação no tempo de parada do veículo.

2.5 Modelos dinâmicos e a definição do software

A discussão dos elementos e parâmetros aqui colocada evidencia tanto as limitações dos métodos empíricos, como a convergência dos autores citados em concluir que modelos dinâmicos são mais adequados ao estudo de sistemas BRT. Pereira (2011) argumenta que os recentes avanços computacionais possibilitam o estudo de projetos mais complexos, como os

projetos de BRT e relata dois exemplos nos quais a modelagem microscópica foi usada. No projeto existente do corredor de BRT TransCarioca, do Rio de Janeiro, a simulação foi empregada para aprimorá-lo, considerando um cenário que não foi previsto na concepção original. No projeto do sistema de Arequipa (Peru), a simulação orientou a definição tanto do traçado como das dimensões das plataformas de estações (PEREIRA, 2011).

Segundo Engelbrecht e Bekker (2012), alguns modelos de simulação de tráfego não consideram o fluxo de passageiros, além de ter a estação como um ‘atraso’ no corredor, o que é colocado pelos autores como um dos argumentos para a investigação que desenvolveram sobre a “capacidade de passageiros” de uma estação de ônibus.

Daamen *et al.* (2001) estudaram a aplicação de um modelo de fluxo de pedestres para a análise do seu comportamento em estações, e concluíram que a prática de modelar e visualizar o comportamento dinâmico dos pedestres é relativamente nova. Segundo eles, a forma tradicional de projetar estações tem embasamento empírico, a partir da observação do comportamento dos passageiros, não conseguindo incorporar o seu comportamento dinâmico. No caso específico de uma estação, as pessoas se comportam de forma diferente, se comparado com circunstâncias normais, pois estão apressadas para pegar seu ônibus ou preocupadas com a possibilidade de perdê-lo. Além disso, as condições de caminhada também diferem, pois há maior concentração de pessoas, com direções e velocidades diversas (DAAMEN *et al.*, 2001). Os autores afirmam que é difícil avaliar o nível de conforto em uma área para pedestres sem usar um modelo dinâmico de simulação, pois a aleatoriedade dos fluxos pode levar à concentração dos pedestres em um curto período de tempo na estação, o que já havia sido concluído por Kittelson *et al.* (2003). Em um modelo macroscópico, o nível de conforto é, em geral, expresso pelo número de pessoas por metro quadrado em uma hora, o que pode refletir erroneamente uma condição de conforto razoável, por se basear em valores médios.

Analogamente, Engelbrecht e Bekker (2012) propuseram um modelo dinâmico e estocástico que incorpora a variação do sistema real ao longo do tempo, e que trata a estação como um sistema de filas, como representado na Figura 2.9.

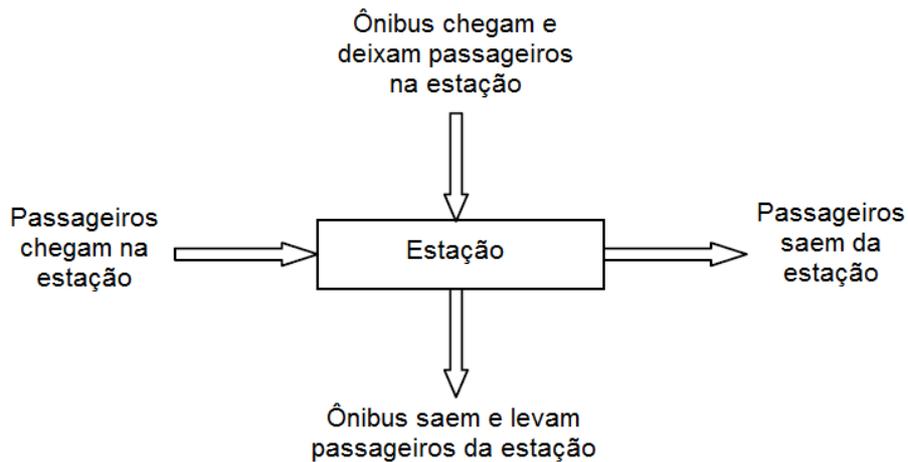


Figura 2.9 – Estação como um sistema de filas (adaptado de Engelbrecht e Bekker, 2012)

Os autores concluem pela necessidade de se utilizar, no mínimo, percentis ao realizar estudos com simulações, que são capazes de oferecer mais informações ao planejador do que simplesmente valores médios. O estudo demonstrou a robustez do modelo que, a partir de uma aplicação em uma estação real, apresentou as ocupações das plataformas de uma estação, correspondentes a duas variações de taxas de chegadas de passageiros. Embora o modelo proposto tenha representado um avanço em relação aos modelos tradicionais, são apontadas pelos próprios autores limitações relevantes, confirmadas pelos estudos citados anteriormente, como a chegada dos ônibus na estação sem variação, seguindo exatamente o quadro de horários; não considerar passageiros em pé dentro do ônibus e; tratar a capacidade dos veículos somente como passageiros sentados (ENGELBRECHT; BEKKER, 2012). Assim, nem o efeito do carregamento prévio, nem a capacidade real dos veículos foram considerados.

Como citado anteriormente, Hoogendoorn (2003) demonstrou a importância de aplicar modelos de simulação do fluxo de pedestres para a definição da melhor configuração de catracas nos acessos de uma estação de metrô.

Castilho (1997) conclui que, em função da complexidade do funcionamento de uma parada de ônibus, que envolve fatores estocásticos de ocupação pelos ônibus e passageiros, e das trocas de passageiros entre ônibus e plataforma, a modelagem analítica detalhada desse elemento do sistema torna-se impraticável, devendo a modelagem por simulação uma alternativa a ser considerada.

Diante dessas constatações, o presente estudo empregou o uso da microssimulação para testar a eficiência da estação. Dentre os *softwares* comerciais disponíveis, optou-se pelo VISSIM (PTV, 2012), devido ao contato anterior do pesquisador com este simulador, à disponibilização de uma licença-tese pela fornecedora PTV (2012) e ao apoio da EWS Engenharia de Transportes Ltda., com larga experiência no manuseio do *software*. Além disso, a análise das funcionalidades do VISSIM foi complementada a partir do que é relatado no manual do usuário. Este manual (PTV, 2012) garante que o *software* é capaz de auxiliar a análise das operações de transporte coletivo e privado sob restrições relacionadas a configuração de faixas, composição veicular, semáforos, paradas do transporte coletivo (estações e pontos), e que o fluxo de pedestres também pode ser modelado, de modo exclusivo ou combinado com o tráfego, privado ou do transporte público. Com isso, pôde ser identificada a possibilidade de edição de vários parâmetros de calibração relacionados à operação do transporte coletivo, bem como o lançamento dos principais elementos da estação e da simulação de pedestres, de forma integrada em um único modelo, aspecto essencial para a realização das análises que se pretendia estabelecer.

Jacobsen e Cybis (2011) justificaram a escolha do VISSIM, para seu estudo de travessias de pedestres, por usar abordagem mais elaborada da interação entre veículos e pedestres. No entanto, é também intenção deste estudo investigar que os modelos que envolvem pedestres exigem uma associação mais criteriosa entre os valores adotados para parâmetros e as condições simuladas, que normalmente se pratica para a simulação de veículos, e que o desafio é maior quando se desenvolvem estudos multimodais.

Estudos mostram que o VISSIM é um *software* capaz de representar realisticamente a simulação de tráfego (FELLENDORF; VORTISCH, 2001; OLSTAM; TAPANI, 2004), mas demanda um trabalho pesado de calibração, dada a quantidade elevada de parâmetros e sua difícil interpretação, envolvendo até mesmo métodos de inteligência computacional e processos de tentativa e erro (OLSTAM; TAPANI, 2004; OLIVEIRA; CYBIS, 2008). No entanto, no caso de modelos que requerem a calibração de um menor número de parâmetros, a questão passa a ser se estes são capazes de refletir satisfatoriamente o comportamento do motorista (OLSTAM; TAPANI, 2004). Isso indica uma tendência de que simuladores mais completos em termos de representação da realidade são, proporcionalmente, mais complexos, no que se refere à calibração.

Salienta-se que não houve participação do pesquisador em cursos direcionados ao manuseio de funcionalidades específicas do simulador, como a simulação de pedestres. Além da baixa oferta e do alto custo desse tipo de curso no país, o intuito do trabalho foi avaliar a eficácia do manual em traduzir corretamente o potencial prático do simulador para estudo acadêmico.

2.6 Síntese da fundamentação teórica quanto aos elementos e parâmetros

A Tabela 2.4 resume os elementos e parâmetros que as referências consultadas mostraram ter maior relevância para a definição do projeto da estação de corredor, com a respectiva implicação no projeto e fonte pesquisada.

A lista definitiva de elementos de projeto abordados pelo método será delimitada no capítulo Metodologia.

A análise da bibliografia consultada corrobora uma das hipóteses do presente trabalho: métodos estáticos empíricos não são capazes de traduzir a operação de sistemas de transporte próximos do limite da sua capacidade (ENGELBRECHT; BEKKER, 2012), o que será explorado nas próximas seções. Assim, o objetivo deste capítulo é dotar de um referencial teórico o presente estudo, ao mesmo tempo em que garante a delimitação e contextualização da sua contribuição científica.

Tabela 2.4 – Elementos e parâmetros de projeto de estações segundo a bibliografia consultada

Elemento/Parâmetro	Implicação no projeto	Fonte
Aglomeração de passageiros na estação	O tempo de parada dos ônibus na estação não é função linear do número de passageiros que vão embarcar, e cresce com o aumento da aglomeração de pessoas na estação.	Jaiswal <i>et al.</i> (2009)
Quantidade de passageiros em pé a bordo	O tempo de parada dos ônibus na estação é altamente sensível à quantidade de passageiros em pé no veículo, sendo a relação entre ambos não-linear.	Puong (2000) Lin e Wilson (1992) Castilho (1997)
Tecnologia de auxílio à atracagem	A atracagem do veículo na estação (automática ou manual com ou sem uso de ponte móvel) influencia no tempo de manobra de aproximação do veículo.	Vuchic (2007) Kantor <i>et al.</i> (2006) Wright e Hook (2008)
Tamanho do ônibus	Influencia o dimensionamento e o <i>layout</i> das estações (frequências, número e posição de portas da estação).	Wright e Hook (2008) Vuchic (2007)
Quantidade de portas dos ônibus	Mais portas aumentam a taxa de transferência de passageiros entre veículo e estação.	Fernandez <i>et al.</i> (2010) Vuchic (2007) Castilho (1997) Wright e Hook (2008)
Sentido de fluxo pelas portas dos ônibus	O tempo de parada do veículo é afetado pelo esquema de entrada e saída dos passageiros pelas portas.	Vuchic (2007) Levinson <i>et al.</i> (2003)
Posição relativa das portas da estação	Os passageiros se aglomeram em torno das portas, o que pode requerer maior largura e/ou comprimento para espera e circulação.	Wright e Hook (2008) Levinson <i>et al.</i> (2003)
Sentido de fluxo pelas catracas	No caso estudado, as catracas que operam em um único sentido têm maior capacidade que com fluxos de entrada e saída simultâneos.	Hoogendoorn (2003)

3 METODOLOGIA

A etapa de fundamentação teórica detectou elementos e parâmetros que interferem no projeto e no dimensionamento das estações de BRT, a partir de vários trabalhos que tratam do efeito de cada um deles no desempenho do sistema. A síntese da fundamentação teórica resultou na lista preliminar desses elementos e parâmetros, que foi o ponto de partida para a aplicação da metodologia aqui apresentada. Este capítulo descreve brevemente as etapas metodológicas, mostradas na Figura 3.1, para obtenção dos critérios para definição desses elementos.

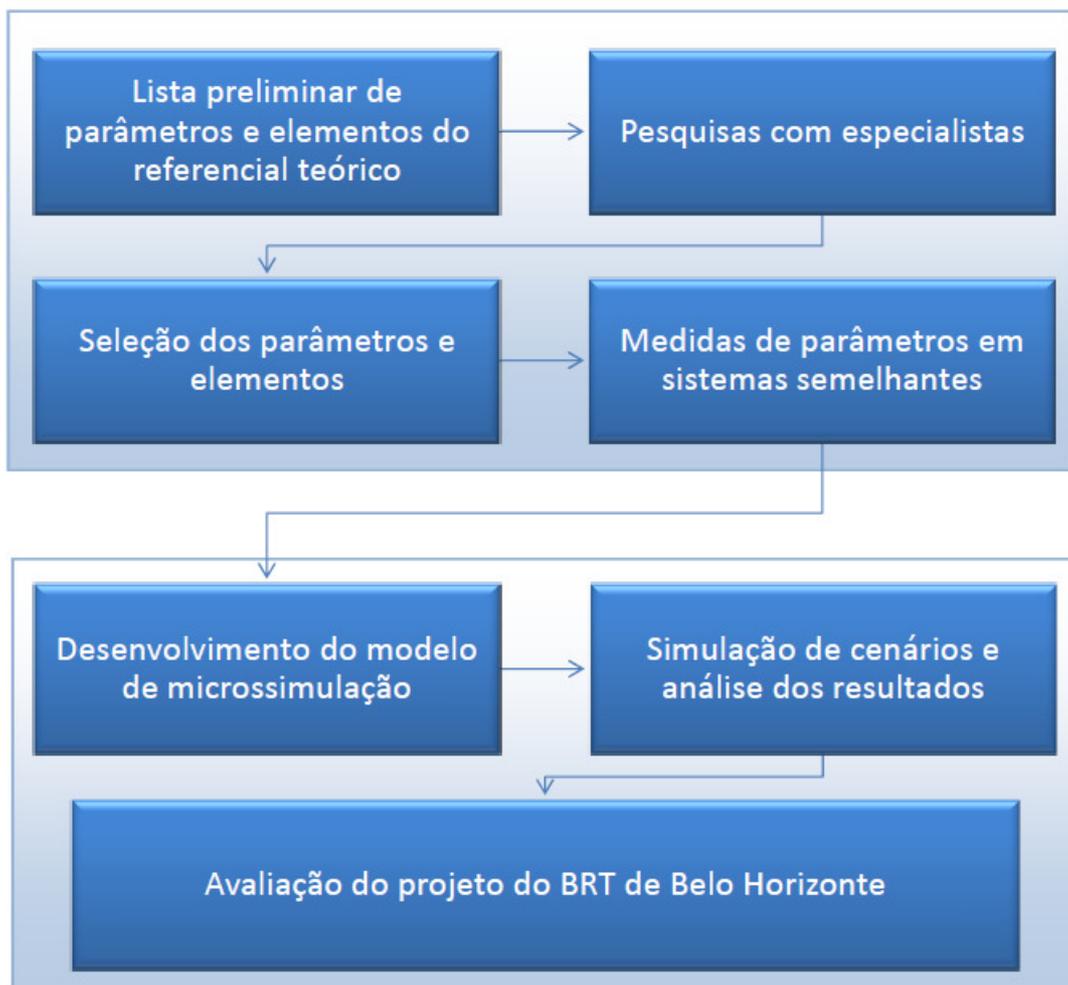


Figura 3.1 – Etapas da metodologia

3.1 Pesquisas com especialistas

As pesquisas com especialistas tiveram como objetivos identificar o grau de importância atribuído à lista de elementos e parâmetros selecionados na fundamentação teórica e obter

informações sobre a prática em projetos de estações de corredores de sistemas BRT. Tais pesquisas são realizadas através de dois questionários.

O primeiro questionário foi destinado a profissionais responsáveis pela operação, gerenciamento ou que participaram do projeto de sistemas de BRT em operação, contendo perguntas específicas para o Mio (Cali, Colômbia) o Transoeste (Rio de Janeiro) e a Rede Integrada de Transporte (Curitiba). O intuito é identificar os possíveis pontos em que a operação revela falhas de projeto e que, portanto, merecem atenção na fase de concepção.

O segundo questionário, denominado “Parâmetros e prática de projeto de estações de BRT”, é hospedado no *site* de pesquisas *SurveyMonkey* e foi destinado a pesquisadores, projetistas, gerenciadores e operadores que estavam envolvidos ou já se envolveram com o projeto ou a operação de sistemas BRT, sendo considerados, portanto, especialistas nesse sistema.

Salienta-se que nestes questionários não há distinção entre ‘parâmetros de projeto’ e ‘elementos de projeto’, tal como se estabeleceu no capítulo anterior, o que só foi possível com uma análise mais aprofundada da questão.

3.2 Seleção dos parâmetros e elementos

Os resultados das pesquisas serviram para ordenar os parâmetros e elementos pela ordem de importância, sob a ótica dos especialistas, através de escala numérica ou por respostas afirmativas e negativas. Estes resultados foram confrontados com as conclusões do referencial teórico. Além disso, foi considerada a experiência do autor, como participante e como observador, no desenvolvimento do projeto de BRT de Belo Horizonte, o que conduziu ao levantamento de questões relevantes sobre os critérios de definição dos elementos e parâmetros desse projeto. Estes três componentes possibilitaram delimitar a abordagem de cada elemento e parâmetro, constituindo a base para a construção dos critérios para definição dos elementos.

3.3 Medidas de parâmetros em sistemas semelhantes

A etapa de medidas dos parâmetros em sistemas semelhantes foi realizada com o objetivo de calibrar o modelo de simulação da melhor forma possível, além de comparar os valores medidos com os valores da bibliografia e com os adotados no projeto de referência.

Os parâmetros de aceleração e desaceleração foram usados para que a manobra de atracagem dos ônibus fosse corretamente representada na simulação. Para medir a aceleração, desaceleração e o tempo morto, foram realizadas viagens nos ônibus do sistema de transporte coletivo de Belo Horizonte, com um *tablet* equipado com um aplicativo para capaz de medir a velocidade em função do tempo, e de definir os intervalos de tempo e as distâncias de desaceleração para a parada no ponto, e de aceleração até a velocidade de cruzeiro. Os tempos de embarque e desembarque por passageiro, os tempos de passagem pelas catracas e os tempos de abertura e fechamento de portas e pontes foram medidos através de filmagens dos sistemas BRT Mio (Cali), do Transmilenio (Bogotá), da Rede Integrada de Transporte (Curitiba) e do Trem Metropolitano de Belo Horizonte. Este último foi considerado pelo fato do embarque e desembarque ter características compatíveis com o sistema BRT em estudo, pelo menos quanto ao nivelamento da plataforma do veículo com o piso da estação, e por possibilitar capturar peculiaridades comportamentais do usuário local, como a obediência à regra “deixe sair para depois entrar”. Os tempos foram coletados diretamente das filmagens, com uso de cronômetro de precisão de 0,1 segundo, e foram tabulados para definição dos respectivos valores de média e desvio-padrão.

3.4 Desenvolvimento do modelo de microssimulação

A avaliação preliminar do VISSIM, tal como descrita na fundamentação teórica, levou à conclusão de que o *software* seria capaz de atender às necessidades do presente estudo. O manual descreve uma ferramenta com a qual é possível simular microscopicamente o transporte coletivo, com a interação dos seus principais componentes, como os veículos, as áreas de embarque e desembarque e os passageiros. A simulação de pedestres e a simulação do transporte público no VISSIM são conectadas por elementos especiais de modelagem, capazes de reproduzir as principais atividades dos passageiros, tais como caminhar até a plataforma, esperar seu ônibus e embarcar nele, após aguardar os demais passageiros desembarcarem. Os usuários desembarcam e caminham até seu destino, seguindo rotas previamente definidas. A simulação dos pedestres, e da sua interação com os veículos, é realizada através do módulo denominado VISWALK.

Inicialmente, foi montada uma rede piloto da estação AC-14 do BRT de Belo Horizonte, com alguns parâmetros e elementos básicos, para testar preliminarmente o potencial do *software*. Em seguida, foi construído o modelo de microssimulação de uma estação de corredor do BRT

Antônio Carlos, usando o VISSIM, com todos os elementos de projeto, e cuja calibração utilizou os parâmetros medidos. Este modelo inicial foi denominado Cenário Zero.

3.5 Simulação de cenários e análise dos resultados

A partir do Cenário Zero, foram derivados cenários parciais para, quando possível, avaliar elementos específicos, e as variações de alguns deles, tal como ocorreram, ou poderiam ocorrer, durante a elaboração do projeto. Esta avaliação teve como foco definir o efeito de cada elemento de projeto selecionado na eficiência da estação.

Ao todo, foram desenvolvidos 28 cenários. Entre eles estão o cenário Zero, que deu origem aos demais, os cenários provisórios ou preliminares, criados para resolução de problemas relacionados à calibração de componentes da rede do VISSIM, e os definitivos, usados para comparativo de alternativas de elementos de projeto, como plataforma, atracagem, acesso e tamanho do ônibus. Nem todos os elementos foram simulados, em função das limitações encontradas na calibração do modelo, especialmente as relacionadas à simulação de pedestres, que serão detalhadas no próximo capítulo.

A avaliação foi baseada nos relatórios de desempenho emitidos pelo *software* e, principalmente, na observação direta da animação dos cenários. Determinados tipos de relatórios foram gerados para os cenários que seriam comparados e, com base em medidas de desempenho específicas, foi estabelecida a diferença quantitativa entre eles. Quanto às animações, a análise foi qualitativa, e a comparação se deu entre os instantes críticos dos filmes da simulação, para a medida de desempenho considerada. Basicamente, essas medidas foram o tempo de viagem, a ocupação da pista e a ocupação das áreas de pedestres.

3.6 Avaliação do projeto do BRT de Belo Horizonte

Nesta etapa, foram discutidos e analisados os critérios adotados no projeto do BRT de Belo Horizonte para a definição de cada elemento, à luz dos resultados obtidos nas etapas anteriores: as referências bibliográficas; as pesquisas com especialistas; as informações e medições sobre os sistemas semelhantes pesquisados e; a simulação dos cenários.

4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a aplicação da metodologia elaborada, com o detalhamento e os resultados de cada uma das suas etapas. Inicialmente, é descrito o projeto do BRT de Belo Horizonte, contextualizando a estação que foi adotada para embasar a construção dos critérios para definição dos elementos de projeto.

4.1 Descrição do projeto do BRT de Belo Horizonte

Belo Horizonte, ao longo dos anos, vem consolidando uma rede de transporte estruturada, que cobre todo o território municipal, com uma hierarquia de serviços muito bem definida, que vão desde linhas troncais, ligando as regiões periféricas ao centro, até linhas de vilas e favelas, que atingem as ocupações informais de modo eficiente. O conceito de rede vai além da parte física e se manifesta também na política tarifária, que prevê desconto em deslocamentos combinados na mesma região ou na segunda viagem, por linhas que se complementam, ou ainda pelo Trem Metropolitano. Além disso, o transporte clandestino praticamente inexistente e foi substituído pelas linhas suplementares que, como o próprio nome sugere, supre o sistema convencional com acesso a vias onde ônibus convencionais não se adequam.

A rede de transporte do BRT de Belo Horizonte se insere nesse sistema existente, para reforçar o seu conceito de modelo tronco-alimentado, reduzindo, assim, o número de serviços concorrentes no mesmo corredor. O intuito é concentrar a demanda dos bairros, que chega às estações de integração por linhas alimentadoras, distribuindo-a para a área central, ou outros destinos importantes, em linhas troncais. O projeto do BRT de Belo Horizonte, que recebeu a denominação de BRT MOVE, engloba importantes corredores de transporte do município: as avenidas Cristiano Machado e Presidente Antônio Carlos, e contíguas a esta, também as avenidas Dom Pedro I e Vilarinho. Estes corredores viários constituem os principais eixos de transporte que ligam a região norte ao centro da Capital mineira. Além desses corredores, faz parte da rede de BRT o Rotor da área central, formado pelas avenidas Paraná e Santos Dumont, onde as linhas farão o retorno. A Figura 4.1 apresenta o mapa dos corredores e a localização das estações de integração do BRT MOVE. As linhas do sistema serão troncalizadas nas estações de integração Venda Nova, Vilarinho e Pampulha, para o corredor MOVE Antônio Carlos, e na estação São Gabriel, para o corredor MOVE Cristiano Machado.

Com exceção da Estação Pampulha, as demais já existem e estão passando por reformas para se adequarem ao novo sistema.

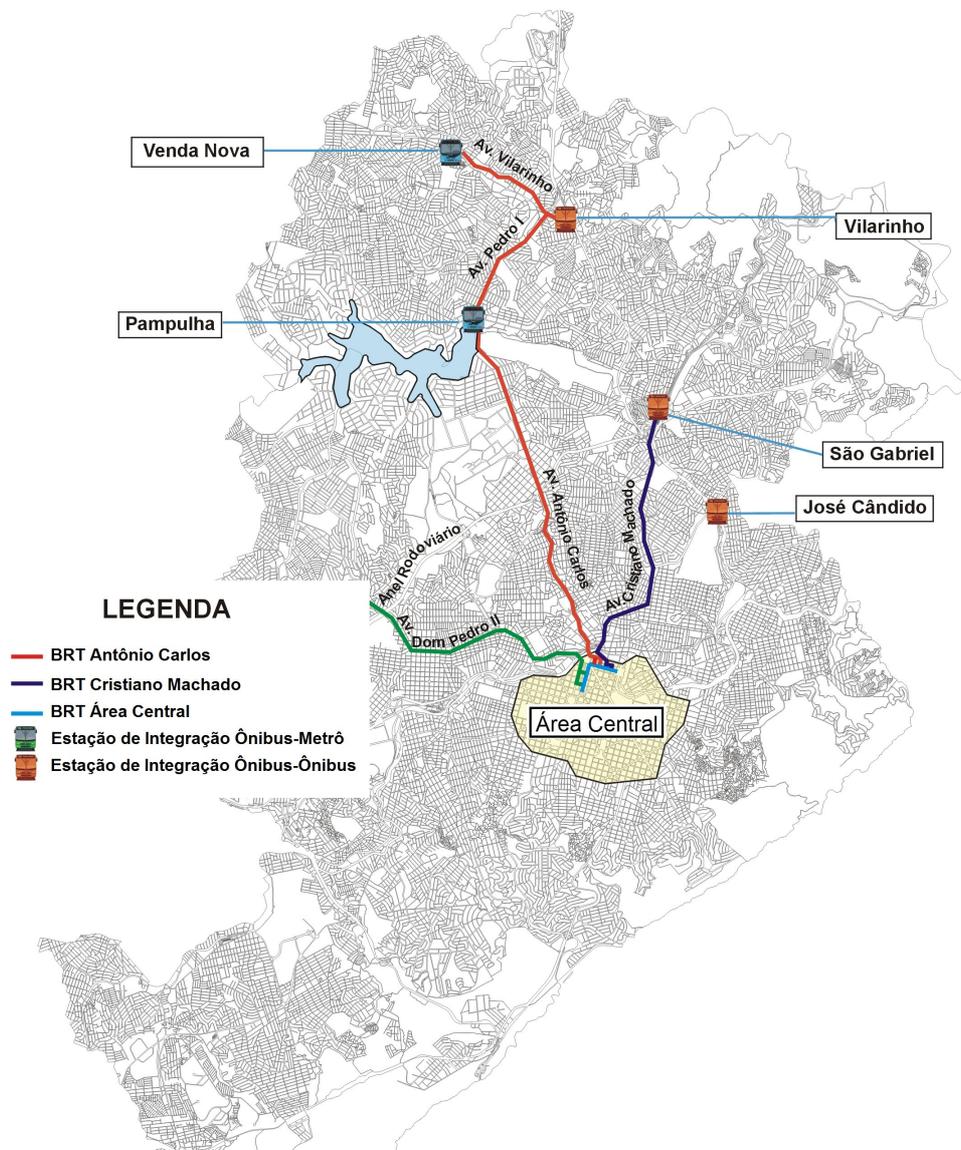


Figura 4.1 – Corredores de BRT de Belo Horizonte (adaptado de BHTRANS, 2012)

A diferença principal do BRT MOVE é o modo de ingresso do usuário ao sistema troncal, que não mais é feito diretamente pelos ônibus, mas pelas estações de integração ou de corredor, constituindo um sistema fechado. As demais características operacionais de um sistema BRT completo, tal como definidas no capítulo 2, foram adotadas quase em sua totalidade, sendo exceções o uso de tecnologias limpas, com relação às emissões, e o serviço de metrô, rápido e frequente. Quanto às emissões, o manual de especificação dos veículos do BRT de Belo Horizonte (BELO HORIZONTE, 2012) define apenas que os motores devem atender

integralmente aos limites impostos pela legislação de meio ambiente e pelo PROCONVE, e faculta aos fabricantes o desenvolvimento de novas tecnologias para a sua redução. Quanto ao serviço de metrô, só se saberá quando o sistema estiver em plena operação, fato que não ocorreu até a finalização deste trabalho.

Uma peculiaridade do sistema belo-horizontino é a existência de dois subsistemas totalmente separados, que só compartilham as mesmas vias: um metropolitano, gerenciado pela Secretaria de Transportes e Obras Públicas – SETOP, e outro municipal, gerenciado pela BHTRANS. Assim como já acontece, isso se deve ao fato de não haver uma entidade de atuação metropolitana que possa gerenciar o sistema de transporte da Região Metropolitana de Belo Horizonte como um todo, como ela precisa. Esta condição fez com que todo o sistema fosse concebido para funcionar separado: a frota, as garagens, o sistema de bilhetagem com cartões eletrônicos e tarifas próprios, as estações de integração e as estações de corredor. Nestas, há plataformas separadas para cada serviço, cada uma com sua respectiva estrutura de controle de acesso (bilheterias e catracas). Não há integração tarifária, de modo que o usuário que necessita migrar de um sistema para o outro, deve pagar a tarifa correspondente. A Figura 4.2 mostra os principais componentes da estação AC-14.

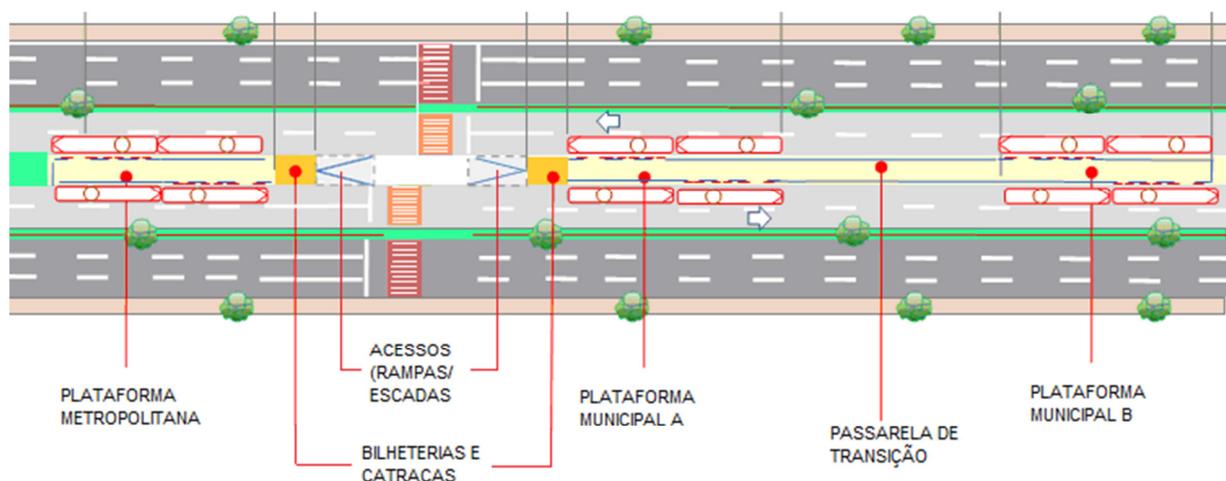


Figura 4.2 – Principais componentes da estação AC-14 (adaptado de BHTRANS, 2012)

Como o sistema engloba somente os corredores citados, algumas linhas troncais terão caráter misto, ou seja, operarão tanto nos corredores exclusivos quanto no tráfego misto. São linhas que originalmente já ligavam outros corredores, como a Av. Amazonas ou a Rua Padre Eustáquio, onde não haverá, nessa fase de projeto, conversão para o sistema BRT. Assim, os

ônibus usados nestas linhas terão portas de acesso em ambos os lados, sendo do lado esquerdo na altura do piso da estação, e do lado direito com degraus, como as dos ônibus do sistema convencional.

O denominado BRT Antônio Carlos também inclui as avenidas Vilarinho e Dom Pedro I, e contém um total de 26 estações de corredor, que, segundo a BHTRANS, são denominadas estações de transferência, pois permitem a integração de viagens dos passageiros entre as linhas de outras redes que por elas passam. Estas estações são identificadas pelo prefixo que representa o corredor (“AC”, para Av. Antônio Carlos e “CM”, para Av. Cristiano Machado), seguido por um número de ordem, cuja sequência se inicia no bairro Venda Nova e termina no Complexo Viário da Lagoinha. As quatro primeiras estão localizadas na Avenida Vilarinho (AC-01 a AC-04), as seis seguintes na Av. Dom Pedro I (AC-05 a AC-10), a décima-primeira é a Estação de Integração Pampulha, 14 na Av. Presidente Antônio Carlos (AC-12 a AC-25), e a última no Complexo Viário da Lagoinha (AC-26), para garantir o acesso à Estação Lagoinha do Trem Metropolitano. As estações são localizadas no eixo da via, entre duas pistas exclusivas para o sistema, sendo uma por sentido, contendo duas faixas de trânsito. Nas estações, uma das faixas é destinada à baía e a outra à ultrapassagem e às linhas expressas (Figura 4.3).

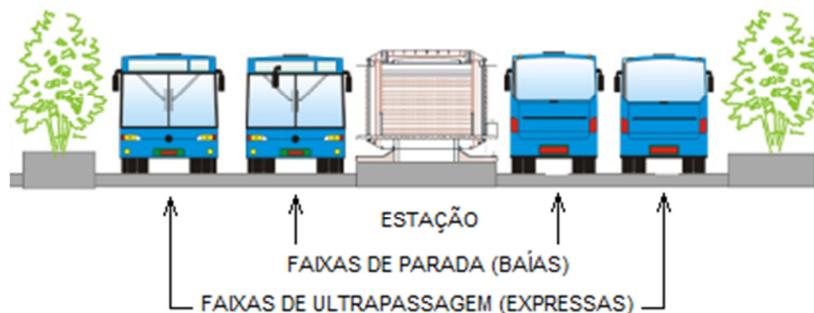


Figura 4.3 – Seção transversal do BRT Antônio Carlos (adaptado de BHTRANS, 2012)

As plataformas de embarque das estações do BRT MOVE foram projetadas com uma estrutura modular, constituindo um padrão para todos os corredores. Os módulos que formam as plataformas metropolitana e municipal A são os entrada, de bilheteria, de catracas e os de embarque, como mostrado na Figura 4.4. A plataforma municipal B possui somente o módulo de entrada e os módulos de embarque. Cada módulo tem 2,40 m de comprimento, resultado do projeto tipo das estações.

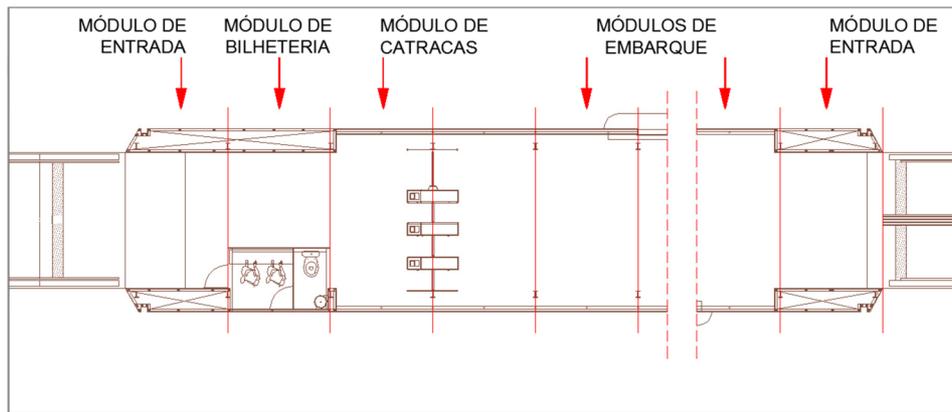


Figura 4.4 – Modulação das estações do BRT de Belo Horizonte

A estação denominada AC-14 é localizada na Av. Presidente Antônio Carlos, em frente à entrada do *Campus* da Pampulha da UFMG, e foi escolhida como base para o presente estudo pela sua alta movimentação de passageiros e pela disponibilização da rede básica fornecida ao Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia da UFMG.

4.2 Dados e critérios de dimensionamento das estações do BRT MOVE

Os dados e critérios de dimensionamento das estações foram extraídos do documento “Projeto de transporte do BRT Antônio Carlos” (BHTRANS, 2012). Segundo este documento, a área de embarque foi dimensionada por um método definido pela BHTRANS, em que o comprimento da plataforma da estação é obtido através da Equação 4.1:

$$C = \left[\left(\frac{Pass}{4} \right) \times \frac{1}{Nc} \right] \times \frac{1}{L} \quad 4.1$$

onde:

C = Comprimento da estação;

$Pass$ = soma do número de embarques e desembarques de passageiros (maior pico manhã ou tarde), dividido por quatro, onde este número representaria 15 minutos da hora pico;

Nc = Nível de conforto, em passageiros/m²;

L = Largura útil da estação.

Por esse método, a área da plataforma é dimensionada para caber 25% da demanda total de passageiros que usa a estação, prevista para a faixa horária mais carregada.

A largura útil considerada para as estações do BRT Antônio Carlos foi de 3,90 m, correspondendo à largura disponível de 5,0 m do canteiro central da avenida, descontando-se as estruturas laterais, como paredes e estribos (dispositivo de interface estação-ônibus).

Foi adotado um nível de serviço de dois passageiros por metro quadrado (ou 0,5 m² por passageiro), maior que o indicado no Manual de BRT, de três passageiros por metro quadrado (ou 0,3 m² por passageiro). Considerando a classificação estabelecida pelo TCQSM, os dois valores equivalem ao nível de conforto D (Tabela 2.1 da seção 2.2.1), que corresponde ao intervalo de 0,3 a 0,7 m² por passageiro.

O comprimento total de cada plataforma corresponde à soma do comprimento calculado e dos módulos complementares. As medidas foram arredondadas para múltiplos de 2,40 m, que é o comprimento de cada módulo que forma a plataforma coberta. A Tabela 4.1 mostra os dados de dimensionamento específicos da estação AC-14.

Tabela 4.1 – Dados de dimensionamento do projeto da estação AC-14

Número de passageiros/h	Plataformas municipais		Plataforma metropolitana	
	Faixa de 6h	Faixa de 17h	Faixa de 6h	Faixa de 17h
Embarques	178*	624*	53*	1003*
Desembarques	1099*	621*	594*	59*
Embarques + Desembarques	1276	1245	628	1003
Maior Emb+Des		1276		1003
Maior Emb+Des/4		319		251
	Módulo A	Módulo B	Módulo único	
Área (m ²)	53	106	125	
Largura (m)	3,9	3,9	3,9	
Comprimento (m)	33,60	26,40	38,40	

Fonte: BHTRANS (2012)

Os valores marcados com asterisco não constam nas planilhas do documento e foram obtidos com a equipe responsável pelo projeto. Estes valores foram usados nas simulações. Observa-

se que a soma dos valores informados pela equipe não correspondem aos valores que constam no relatório. O pico da manhã (6h) apresentou a maior demanda de passageiros, somando-se os dois sentidos, centro e bairro, sendo este o critério de escolha da demanda usada no dimensionamento de cada estação. Foi adotado um nível de serviço de dois passageiros/m².

Segundo o relatório do projeto, o número de embarques e desembarques de passageiros, por cada linha da estação, foi obtido através de pesquisa sobe e desce com senha, nos horários de pico, realizada em 2010, sendo redistribuídos e agrupados, conforme a nova disposição das linhas nas estações, sendo esta demanda expandida para o ano de 2030. As tabelas desse documento apresentam somente os somatórios de todas as linhas para os números de embarques e desembarques, e os dados desagregados constariam no relatório elaborado pelo consórcio de empresas contratado para estudar a rede de transporte do novo sistema.

A divisão das linhas de cada parada foi determinada a partir da verificação da medida de saturação da pista, cujo valor máximo admitido para cada parada foi de 0,40, referência originada da bibliografia. O grau de saturação da pista foi calculado pela Equação 4.2:

$$S = \left[N_o \times \left(TM + \frac{Pass}{N_o} \times TE \right) \right] \times \frac{1}{3600} \quad 4.2$$

onde:

N_o = número de ônibus – frequência (ônibus/h);

TM = tempo de manobra do veículo para operação de embarque e desembarque, incluindo os tempos de aceleração e desaceleração (conforme Manual de BRT);

$Pass$ = passageiros embarcados por hora;

TE = Tempo de embarque.

Nota-se que é apenas uma forma diferente de apresentar a Equação 2.9 (seção 2.4.1), em que não há distinção entre tempos de embarque e desembarque. O relatório apresenta dois valores diferentes, para esse parâmetro, ou seja, o termo TE , sendo 0,5 segundo no texto, e 0,35 segundo na explicação dos termos da Equação 4.2. Foi ressaltado que tal parâmetro considerou que o perfil do usuário local é diferente do perfil do usuário citado no Manual de

BRT, embora não tenham sido expostos os motivos para isso. Foi arbitrado um tempo de manobra de 20 segundos.

A frequência e o tipo de veículo de cada linha, para cada plataforma, estão indicados na Tabela 4.2. Em função das características das linhas do sistema, serão usados três tipos de ônibus:

- Articulado-BRT: ônibus articulado, com quatro conjuntos de portas à esquerda;
- Articulado-MISTO: ônibus articulado, com quatro conjuntos de portas à esquerda e dois conjuntos à direita;
- Padron: ônibus simples, com dois conjuntos de portas à esquerda e dois conjuntos à direita.

Tabela 4.2 – Características operacionais das linhas da estação AC-14

Código	Denominação	Serviço	Tipo de veículo	Frequência (viagens/h) ⁽¹⁾	Plataforma
63	Est. Venda Nova-Lagoinha	Parador	Padron	13	Municipal A
68	Est. Vilarinho-Lagoinha	Parador	BRT	12	Municipal A
6350	Est. Vilarinho-Est. Barreiro	Parador	Padron	7	Municipal A
5106	Bandeirantes-BH Shopping	Parador	Padron	9	Municipal A
51	Est. Pampulha-Hospitais	Parador	Misto	17	Municipal B
52	Est. Pampulha-Lagoinha	Parador	BRT	32	Municipal B
5451	Est. Pampulha-Pe. Eustáquio	Parador	Padron	9	Municipal B
5250	Est. Pampulha-Betânia	Parador	Padron	9	Municipal B
2	Est. Justinópolis-TERGIP (Paradora)	Parador	Misto	10	Metropolitana
6	Est. Morro Alto-TERGIP (Paradora)	Parador	Misto	16	Metropolitana
13	Est. São Benedito-TERGIP (Paradora)	Parador	Misto	15	Metropolitana
17	Est. Vilarinho-TERGIP (Paradora)	Parador	Misto	16	Metropolitana
24	Est. Morro Alto-Alam. da Serra	Parador	Padron	7	Metropolitana
31	Est. Vilarinho-C. Ind. v. Anel	Parador	Padron	9	Metropolitana
32	Est. S. Benedito-Al. da Serra v. Anel	Parador	Padron	9	Metropolitana
34	Est. S. Benedito-C. Ind. v. Amazonas	Parador	Padron	7	Metropolitana
36	Est. Justinópolis-Al. da Serra	Parador	Padron	9	Metropolitana
61	Est. Venda Nova-Centro	Direto	Misto	17	-
65	Est. Vilarinho-Centro	Direto	BRT	22	-
50	Est. Pampulha-Centro	Direto	BRT	42	-
1	Est. Justinópolis-TERGIP (Direto)	Direto	Misto	10	-
5	Est. Morro Alto-TERGIP (Direto)	Direto	Misto	17	-
12	Est. São Benedito-TERGIP (Direto)	Direto	Misto	17	-
16	Est. Vilarinho-TERGIP (Direto)	Direto	Padron	12	-

⁽¹⁾ Dados para o ano de 2030/Fonte: BHTRANS (2012)

A BHTRANS informou que os dados de frequência e tipo de ônibus passariam por revisão, com a participação do SetraBH e do Sintram, os sindicatos das empresas operadoras das linhas municipais e metropolitanas, antes do início da operação do MOVE. Como os dados não foram disponibilizados em tempo hábil, não foi possível adotá-los.

4.3 Pesquisas com especialistas

As pesquisas foram feitas entre setembro e outubro de 2013. Dos quatro questionários sobre os sistemas BRT específicos, um foi enviado a um dos técnicos envolvidos com projetos e operação do Mio (Cali) e dois a técnicos da operação e gerenciamento do Transoeste (Rio de Janeiro), sendo integralmente respondidos. O quarto questionário, referente à Rede Integrada de Transporte de Curitiba (RIT), foi enviado à central de relacionamento da URBS – Urbanização de Curitiba S/A, mas foi respondido parcialmente. A companhia não autorizou o envio dos questionários diretamente aos técnicos responsáveis. Já o questionário eletrônico, sobre parâmetros e prática de projetos, teve como destinatários pesquisadores, projetistas, gerenciadores e operadores que estavam envolvidos ou já haviam se envolvido com o projeto ou a operação de sistemas BRT, sendo considerados, portanto, especialistas no tema. Os formulários e as respostas completas de ambos os questionários estão apresentados no Apêndice A. O questionário foi enviado, via correio eletrônico, a um total de 45 especialistas, sendo que dezoito deles (40%) responderam a pesquisa, e dois destes deram respostas incompletas. Ressalta-se a falta de cooperação de acadêmicos para com a pesquisa em questão.

4.3.1 Pesquisa sobre sistemas específicos

A RIT de Curitiba adota numeração de portas nos ônibus, sendo definidas portas específicas para entrada ou saída, dependendo da estação, o que, segundo a URBS, serve para facilitar o deslocamento dos usuários no interior dos ônibus. Lá, os ônibus possuem aviso sonoro que indica as portas que devem ser usadas para o desembarque. O sistema de acionamento das portas da estação não é igual para todas as estações, mas, segundo a companhia, tem base eletromecânica e pode ser manual ou automático. Durante a visita técnica, feita em julho de 2013, foi presenciada a ocorrência de problemas durante o seu acionamento, sendo necessário o forçamento da porta pelos usuários para a conclusão da abertura. A ocupação dos veículos é definida para o nível máximo de seis passageiros por metro quadrado, e a disposição de assentos é por uma distribuição denominada “2x1”, ou seja, assentos duplos de um lado do

ônibus e assentos simples do outro. Com relação à ocorrência de acidentes e problemas de operação relacionados à ponte móvel dos ônibus, a URBS declara ter conhecimento dessas questões, mas não dispõe dos dados e de custos de manutenção, e que não pretende eliminar o uso do dispositivo. Segundo a companhia, tais dados devem ser solicitados às empresas operadoras, tarefa para a qual não houve tempo disponível.

Já no Transoeste e no Mio, todas as portas dos ônibus são usadas para embarque e desembarque simultâneos, segundo os respondentes. Interessante relatar que o operador do Transoeste declarou que a ideia de separar os fluxos “é boa”, o que pode indicar necessidade de melhorar a operação atual. A tecnologia de atracagem é manual, com auxílio de bandeiras afixadas na estação e tubos de aço no pavimento (Transoeste) para manter os pneus na trajetória correta e evitar a colisão com a estação. Os operadores relatam não haver custos relevantes de manutenção dos veículos em função de abalroamentos, nem número significativo de acidentes, embora não tenham estes dados disponíveis. Ressalta-se que foi relatado que o alinhamento do veículo não seria um problema importante e, quando há ocorrências de choques durante a manobra de parada ou partida, estas seriam atribuídas à distração do motorista. Segundo as respostas para o Mio, ocorrem dois a três casos por semana, sendo relatados pequenos danos para as estações e ônibus. No Transoeste, os danos seriam desprezíveis, e minimizados pelo uso de borrachas afixadas nos estribos das estações. Foi relatada a prática de treinamento de duas a três semanas com os novos motoristas para a execução da manobra.

Os tamanhos dos ônibus são o Padron e o articulado, nos dois sistemas, sendo que no Transoeste estes têm comprimento de 18,6 m, 21 m e um de 23 m, com capacidades para, respectivamente, 140, 180 e 200 passageiros. O consórcio operacional revelou que, apesar da escolha do tamanho do ônibus ser critério das empresas operadoras, estas são incentivadas a renovar a frota com veículos maiores. O Mio adota articulados para 160 passageiros, com portas somente à esquerda, e ônibus tipo Padron com portas dos dois lados, para operarem também no tráfego misto. Quanto ao desenho interno, as respostas dos responsáveis pelos três sistemas revelam preocupação em oferecer mais espaço para passageiros em pé, ou seja, dotar os veículos de menor número de assentos, para garantir maior capacidade, com a justificativa de que os usuários permanecem pouco tempo dentro dos veículos.

4.3.2 Pesquisa sobre parâmetros e prática de projetos

Uma aplicação piloto do questionário eletrônico foi realizada com quatro profissionais da BHTRANS envolvidos com o projeto do BRT MOVE. Três deles responderam à pesquisa piloto, mas apenas um forneceu todas as impressões e contribuições para a melhora da estrutura e organização do questionário.

O questionário foi dividido em duas seções, direcionadas aos perfis diferentes de participantes, e uma parte introdutória, que contém a definição de estação de corredor, para delimitar corretamente o foco da pesquisa. A primeira seção do questionário apresenta a lista dos oito parâmetros e elementos levantados a partir da fundamentação teórica, e solicita ao respondente ordená-los, segundo o seu grau de importância relativo na definição do projeto de uma estação de corredor, tendo em vista a maior eficiência do sistema e o melhor nível de serviço ao usuário. Instruiu-se que fosse considerado na análise apenas o caráter técnico, relevando possíveis limitações de outra ordem, e que a classificação obedecesse a uma escala de 1 a 8, sendo que os números mais próximos de um representam maior importância. Além disso, mesmo que o respondente julgasse igual importância a mais de um parâmetro, foi solicitado que ele atribuisse somente um grau de importância a cada um, para buscar coerência na análise dos resultados. Ao fim dessa seção, o participante poderia encerrar o questionário, caso não conhecesse ou não tivesse se envolvido com projetos de BRT.

A segunda seção, direcionada aos respondentes que efetivamente participaram ou estavam participando de algum projeto de BRT, solicitou indicações quanto aos elementos e parâmetros considerados no projeto desses sistemas, se foi usada a ferramenta microsimulação e quais os elementos e parâmetros nela incluídos.

A pesquisa revelou que 89% dos respondentes são da área de planejamento ou projeto, seguido pelas áreas de operação e pesquisa (28%), e gerenciamento (17%). A soma desses percentuais não é 100% pelo fato de ter sido facultado ao participante se enquadrar em mais de uma categoria.

A atribuição do grau de importância relativo de cada um dos parâmetros, ao definir o projeto de estações, foi aplicada a todos os participantes, independentemente do seu envolvimento direto com projetos de BRT. Para simplificar a análise, as respostas foram organizadas agrupando-se os graus de importância em dois intervalos. Foi estabelecido que graus de 1 a 4

representam os parâmetros mais importantes, e que graus de 5 a 8 foram atribuídos aos de menor importância, conforme apresentado na Tabela 4.3.

Pelos resultados, pode-se concluir que a aglomeração de passageiros na estação é o aspecto mais importante para 87% dos respondentes, seguido por quantidade de passageiros em pé a bordo (grau de 2 a 4 para 53% de respostas) e tecnologia de auxílio à atracagem (grau 3 ou 4 para 67% dos respondentes). Mais da metade dos respondentes (53%) considera o tamanho do ônibus com grau de 1 a 4, e 47% o considera com grau de 5 a 8, predominando, pois, o maior grau de importância para esse parâmetro. Os parâmetros menos importantes seriam a posição relativa das portas da estação, o sentido de fluxo e a quantidade de portas dos ônibus, para 60 a 73% das respostas. Já o sentido de fluxo pelas catracas representa grau de 1 a 3 para 47% dos participantes, e grau de 5 a 8 para os outros 53%, ou seja, predomina o menor grau de importância para esse parâmetro.

Tabela 4.3 – Agrupamento dos graus de importância dos parâmetros

Parâmetro	Grau	Respostas
Aglomeração de passageiros na estação	1 a 4	87%
Quantidade de passageiros em pé a bordo	2 a 4	53%
Tecnologia de auxílio à atracagem	3 a 4	67%
Tamanho do ônibus	1 a 4 5 a 8	53% 47%
Posição relativa das portas da estação	5 a 8	60%
Sentido de fluxo pelas portas dos ônibus	5 a 8	73%
Quantidade de portas dos ônibus	5 a 8	73%
Sentido de fluxo pelas catracas	1 a 3 5 a 8	47% 53%

A questão seguinte solicitou ao respondente encerrar sua participação, caso não tivesse sido efetivamente envolvido ou não tivesse conhecimento de algum projeto de BRT. Assim, as respostas seguintes foram dadas somente por profissionais de alguma forma ligados a tais projetos.

Estes especialistas indicaram que “tamanho do ônibus”, “quantidade de portas dos ônibus” e “aglomeração de passageiros na estação” foram os parâmetros definidores do projeto das estações de maior relevância. A Figura 4.5 relaciona o percentual de respostas associado a cada parâmetro.

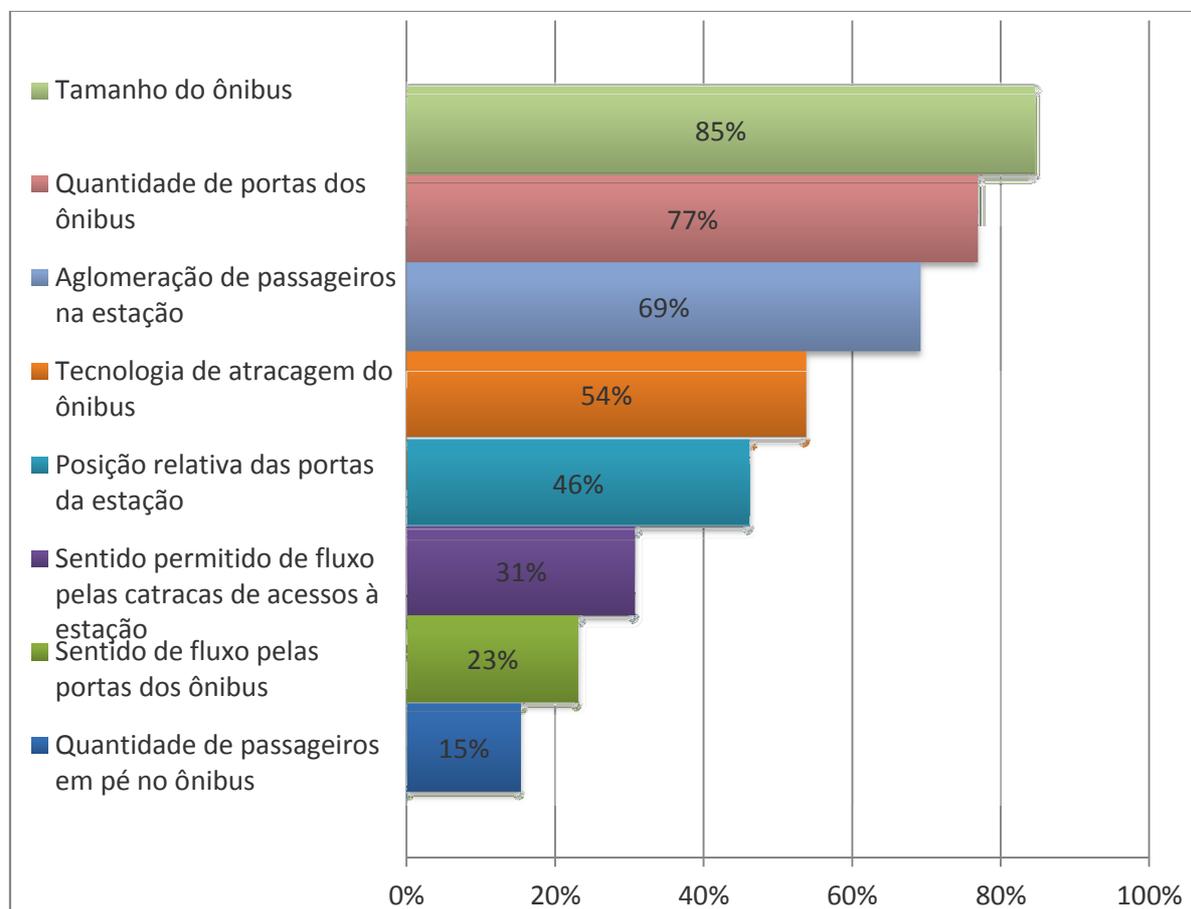


Figura 4.5 – Respostas sobre parâmetros definidores do projeto da estação

Quanto ao método usado no dimensionamento das estações, 36% dos respondentes declararam que foi usado o método do Manual de BRT, 27% citaram o método do TCQSM e os demais revelaram outros, como o “método do Aimsun”, a “experiência” e “projetos de referência (Curitiba, Quito, Transmilenio e Mio)”, confirmando as considerações da fundamentação teórica. Desses participantes, 18% admitiram que o método usado não é adequado para projetos dessa natureza.

Além disso, 28% dos respondentes declararam que foi usado um modelo de microsimulação computacional capaz de simular as interfaces entre ônibus, estação e passageiros, sendo citados os *softwares* Legion, Aimsun e Simul8 para criar esses modelos. Estes justificaram

suas respostas relatando que houve a necessidade de avaliar a capacidade da estação com a movimentação de pedestres. Estes participantes indicaram os parâmetros que foram incluídos na simulação da estação, como mostrado na Figura 4.6.

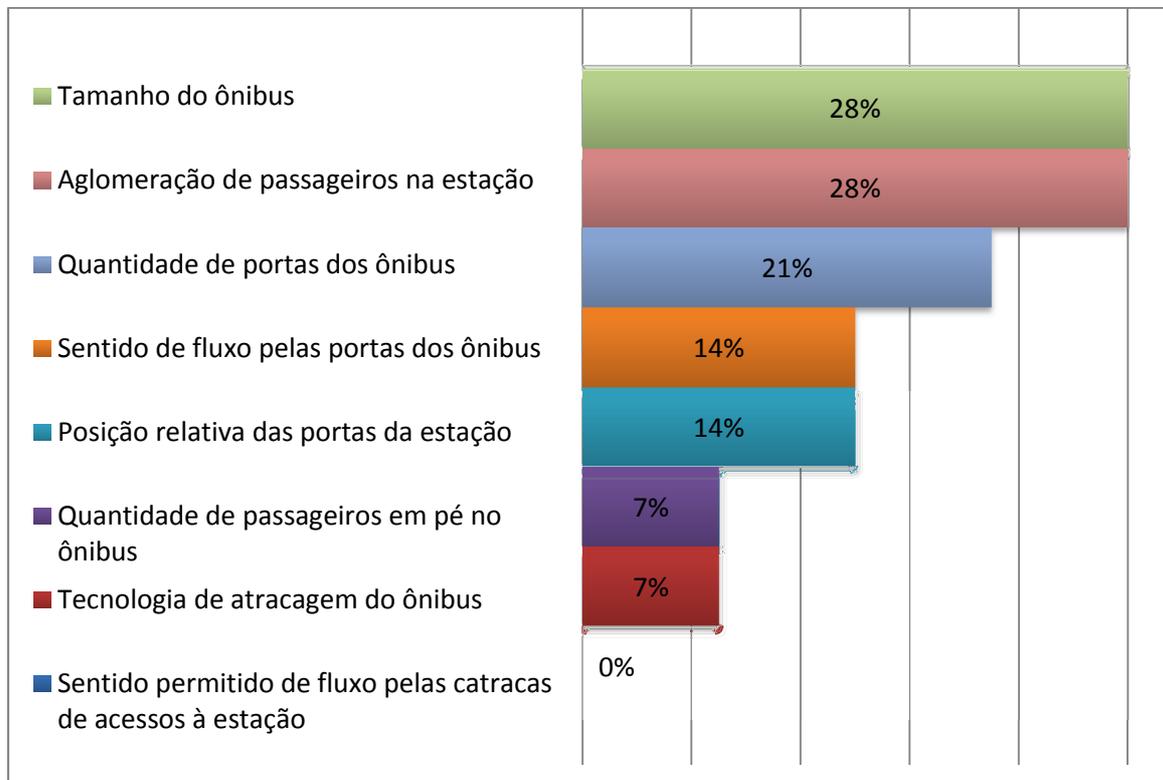


Figura 4.6 –Parâmetros incluídos na simulação

Os resultados revelaram que o tamanho do ônibus e a aglomeração de passageiros fizeram parte de todos os modelos relatados, e que o sentido de fluxo pelas catracas e a tecnologia de atracagem não foram considerados em nenhum deles. Os demais 28%, que não utilizaram modelagem, citaram justificativas como a falta da ferramenta e de prazo suficiente, e o fato da microssimulação do fluxo de passageiros em estações ser “incipiente e não consolidada no Brasil”.

Interessante notar pelas respostas que a ordem de importância dos parâmetros difere, quando se trata da opinião geral dos especialistas e do que é observado na prática, que é também diferente da importância dada a eles ao modelar o projeto. A Tabela 4.4 explicita esta comparação, através da ordem de importância atribuída a cada parâmetro, e indica a porcentagem do número de respondentes que indicou a inclusão de cada parâmetro em um modelo de simulação.

Tabela 4.4 – Ordem de representatividade dos parâmetros sob cada aspecto

Parâmetro	Opinião geral dos especialistas	Definidores de projetos na prática	Inclusão do parâmetro na modelagem
Aglomeração de passageiros na estação	1	2	29%
Quantidade de passageiros em pé a bordo	2	6	7%
Tecnologia de auxílio à atracagem	3	3	7%
Tamanho do ônibus	4	1	29%
Posição relativa das portas da estação	5	3	14%
Sentido de fluxo pelas portas dos ônibus	6	5	14%
Quantidade de portas dos ônibus	7	2	21%
Sentido de fluxo pelas catracas	8	4	0%

4.4 Seleção dos parâmetros e elementos

A partir dos resultados das pesquisas com especialistas e da observação e participação do autor no projeto do BRT MOVE, foram selecionados os elementos e parâmetros abordados no presente trabalho.

O elemento acesso não foi incluído entre os itens do questionário sobre parâmetros e prática de projetos. Contudo, após o encerramento do questionário, o aprofundamento da análise da bibliografia, dos sistemas em operação pesquisados, e do projeto do BRT de Belo Horizonte, revelaram a necessidade da sua abordagem.

A Tabela 4.5 apresenta os elementos selecionados pelos critérios utilizados e a partir dos resultados obtidos nas etapas anteriores, dispostos segundo a ordem de importância estabelecida pelos especialistas. A segunda coluna contém suas possíveis variações, e a terceira exemplifica algumas das respectivas implicações em outros componentes da estação e possíveis inter-relações.

Tabela 4.5 – Seleção de elementos, variações e implicações no projeto das estações

Elemento	Variações no projeto	Implicações e inter-relações
Plataforma	Comprimento x largura Área de espera x área de circulação	Área da plataforma Comprimento da estação
Sistema de atracagem	Automático ou manual Com ou sem uso de ponte móvel	Tempo morto Espaçamento das plataformas
Tamanho do ônibus	Padron, articulado, biarticulado	Comprimento da plataforma Número e posição das portas da estação
Posição das portas da estação	Justapostas x escalonadas	Comprimento total da estação
Sentido de fluxo pelas portas dos ônibus	Sentido duplo x portas específicas para cada sentido	Organização dos fluxos na plataforma Circulação no interior do ônibus
Número de portas dos ônibus	Dois a cinco conjuntos	Taxa de transferência de passageiros Ocupação interna Número de passageiros sentados
Acesso	Rampas Escadas	Posicionamento das plataformas Filas de entrada e saída
Catracas	Número e sentido de fluxo	Área para acumulação de filas, dentro e fora da plataforma

A quantidade de passageiros em pé a bordo aparece, na pesquisa com especialistas, com o segundo maior grau de importância na definição do projeto da estação. No entanto, para que este parâmetro pudesse ser considerado, seria necessário modelar todo o corredor, com toda a movimentação de passageiros em cada estação, para que a ocupação do veículo ao chegar à estação em estudo, pudesse ser estabelecida, usando-a em uma função que definisse o tempo de embarque. Outra forma seria um simulador que fosse capaz de modelar os pedestres no interior do veículo, o que não é o caso da versão do VISSIM que foi usada. Por esses motivos, o parâmetro não aparece na seleção.

O estudo também revelou a necessidade de abordar o parâmetro tempo morto sob duas formas: uma, segundo o conceito mais adequado de acordo com as referências bibliográficas,

e outra, segundo a indicada pelo Manual de BRT, o mesmo usado no projeto do BRT de Belo Horizonte. A lista de parâmetros selecionados está mostrada na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Seleção de parâmetros de projeto de estações de corredores de BRT

Parâmetros
Aceleração/desaceleração na parada
Tempos de embarque e desembarque por passageiro
Tempos de passagem pelas catracas
Tempo morto (abertura e fechamento de portas/pontes)
Tempo morto (conceito do Manual de BRT)

4.5 Medições dos parâmetros em sistemas semelhantes

Esta seção apresenta o detalhamento dos métodos adotados e os resultados das medições de aceleração e desaceleração, tempos de embarque e desembarque, de passagem pelas catracas e de abertura e fechamento de portas e pontes e tempo morto.

4.5.1 Aceleração e desaceleração

As medidas de desaceleração na chegada e aceleração na partida do ponto de ônibus foram feitas nos ônibus do sistema convencional de Belo Horizonte, que servem as linhas do corredor exclusivo da Avenida Presidente Antônio Carlos. A média e o desvio-padrão da aceleração e desaceleração resultaram de 89 medidas feitas a partir de um total de 12 viagens, realizadas no trecho do corredor, compreendido entre a Av. Otacílio Negrão de Lima e a Rua Rio Novo. Foram feitas seis viagens no sentido centro e seis no sentido bairro, entre os dias 3 e 8/10/13, em horários aleatórios, no período da manhã.

O método consiste em realizar viagens embarcadas, portando um *tablet* equipado com o Android-Speedometer (2013), um aplicativo gratuito obtido pela internet, que mede velocidades em função do tempo, com base em sua localização via GPS (*Global Positioning System*), fornecendo tabelas em formato CSV (*Comma Separated Values*) com estas informações. A sua aferição foi feita por averiguação visual, comparando-se a velocidade medida pelo aplicativo e aquela mostrada pelo velocímetro do veículo. A diferença máxima observada, quando o veículo mantinha uma velocidade constante, foi menor que 2 km/h, tendo ocorrido raras vezes, erro que foi considerado pouco representativo. Além disso, o aplicativo informa a precisão de localização e da medida (Figura 4.7), e o total de satélites dos quais recebe dados. Esta precisão foi observada em todo o percurso, variando entre 5 m e 11

m, mas geralmente em torno de 8 m. A Figura 4.7 mostra um exemplo de tela e uma saída do aplicativo para uma das viagens realizadas no corredor.

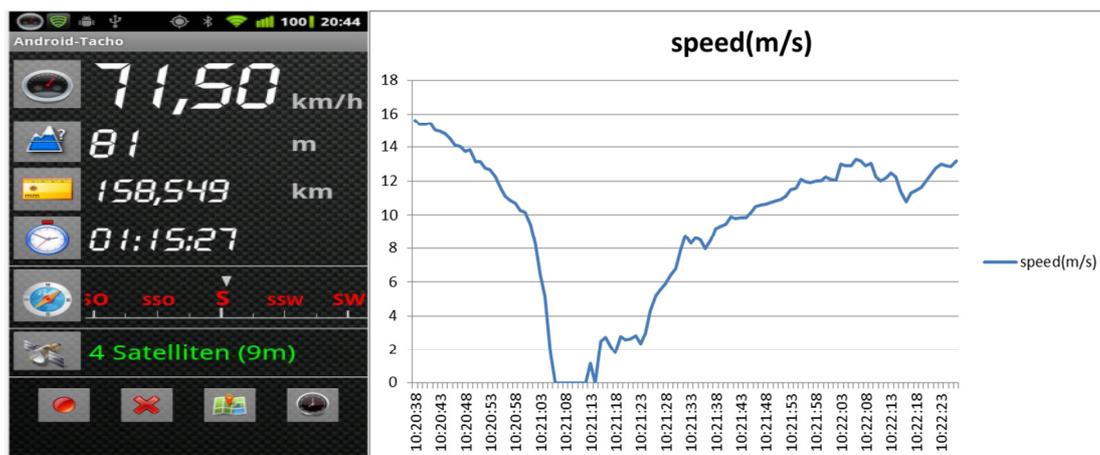


Figura 4.7 – Tela e saída do aplicativo *Android-Speedometer* para medidas de velocidade em função do tempo

Os dados de medição do aplicativo para cada viagem realizada foram exportados sob a forma de tabela para o programa Microsoft Excel, com intervalos de tempo de um segundo. Dessas tabelas, foram feitos gráficos para os trechos que antecediam e sucediam cada parada, cuja localização foi identificada durante a viagem. Além disso, foram anotados a lotação do veículo (cheio, média, vazio) o sentido da viagem, a linha, a data e o horário, além dos fatores que pudessem interferir nas medições, como semáforo fechado próximo à parada. Sendo a aceleração a taxa de variação temporal da velocidade, utilizou-se a inclinação da reta, ajustada linearmente aos valores dos gráficos, para obter aceleração e desaceleração médias. O ajuste linear foi feito pelo próprio Excel, que mostrou resultados com diferença desprezível em relação aos resultados do *software* estatístico Origin.

Posteriormente, os resultados foram adequados ao formato do VISSIM, que não adota valores de média e desvio-padrão, mas sim funções de aceleração e desaceleração, sendo o seu valor da aceleração definido em m/s^2 , com base na velocidade instantânea do veículo, em km/h . A forma de inserção dos valores será vista na próxima seção.

Após os devidos ajustes nos dados, constatou-se grande variação entre os valores, sendo para desaceleração, o mínimo de $0,58 m/s^2$ e o máximo de $2,55 m/s^2$. E para aceleração, $0,30 m/s^2$ e $1,24 m/s^2$, respectivamente. Os possíveis motivos para esta variação podem ser as características do condutor e do veículo, o relevo, a lotação do ônibus e o horário da viagem.

Os dados foram organizados por ponto de parada, visando comparar a variação dos valores obtidos em função dos fatores de variação. Notaram-se valores bem próximos para um mesmo ponto, independentemente dos fatores condutor, veículo, lotação e horário. Concluiu-se, então, que o relevo era o fator de maior peso na determinação da aceleração dos veículos, conforme comparação entre os pontos mostrados na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Exemplo das medidas de aceleração e desaceleração para dois pontos de parada

	Parada Anhanguera		Parada Hospital Odilon Behrens	
Declividade (%)	4		-1	
Desaceleração (m/s ²)	1,75	1,88	1,44	1,59
Aceleração (m/s ²)	0,60	0,48	0,76	0,80
Linha	2215 A	1207 A	2214	2256 A
Data	4/10/13	8/10/13	3/10/13	8/10/13
Horário	9h40	11h37	10h15	12h15
Lotação	Cheio	Média	Média	Média

A partir desta conclusão, tomou-se a decisão de agrupar os valores em função da declividade da pista no ponto de parada, obtida diretamente do projeto do BRT Antônio Carlos. Para uma análise geral dos dados, tomaram-se a média e o desvio-padrão de aceleração e desaceleração para a cive, declive e média geral destes valores, cujos resultados estão apresentados na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 – Comparativo dos valores de aceleração e desaceleração por declividade

Declividade	Desaceleração (m/s ²)		Aceleração (m/s ²)	
	Média	Desvio	Média	Desvio
A cive	1,71	0,50	0,55	0,094
Declive	1,56	0,26	0,70	0,16
Geral	1,62	0,36	0,61	0,14

Diante da conclusão do efeito da declividade nos valores medidos, foram selecionados somente os que melhor representavam o caso da estação modelada. Para o ponto em frente à UFMG, a declividade é de cerca de 4%. Assim, tomaram-se todos os valores dos pontos com declividades entre 3% e 5%, a fim de se obter o maior número de pontos com a menor variação de valores.

A Figura 4.8 e a Figura 4.9 mostram as funções de aceleração e desaceleração para os dados selecionados, no formato do VISSIM. Para inserir os valores pesquisados, essas funções foram ajustadas para cada tipo de veículo criado, para representar os ônibus usados no sistema. Os valores máximo e mínimo de cada ponto foram calculados somando-se e subtraindo-se o desvio-padrão da média.

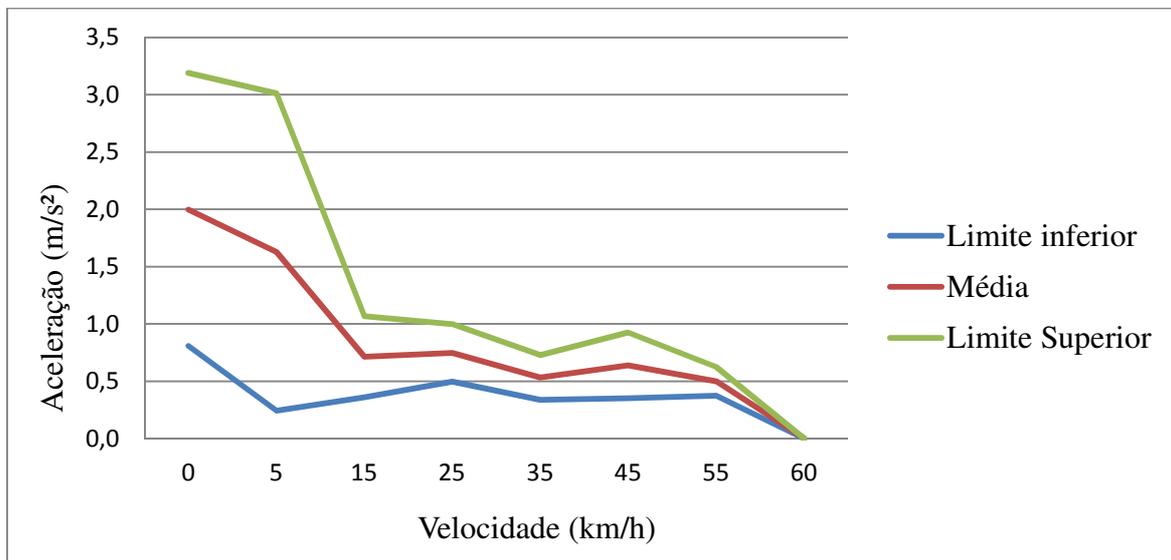


Figura 4.8 - Aceleração em função da velocidade no formato do VISSIM

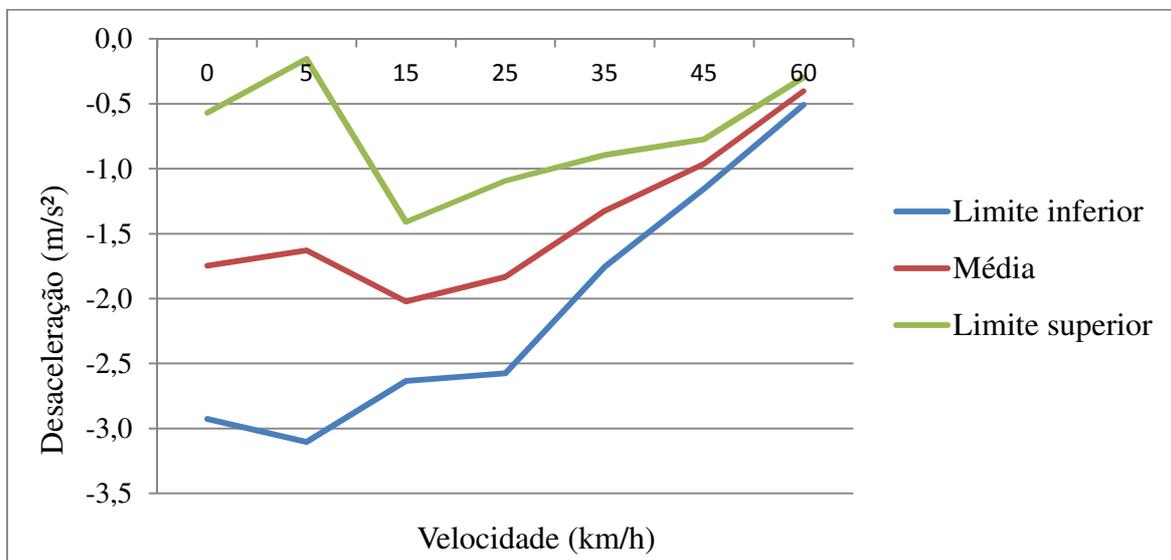


Figura 4.9 – Desaceleração em função da velocidade no formato do VISSIM

Cabe salientar que, como o limite de velocidade na via pesquisada é de 60 km/h, supõe-se que nesta velocidade a aceleração é nula. Utilizou-se esta suposição para se plotar o último ponto do gráfico de aceleração. Como poucas vezes a velocidade do veículo se aproximou de 60 km/h e o valor da desaceleração neste ponto é necessário para se plotar o gráfico de

desaceleração, o valor desta desaceleração foi determinado por extrapolação da curva, toda vez que a velocidade era superior a 50 km/h.

Quando se comparam as curvas da pesquisa com as pré-estabelecidas pelo VISSIM, cujo exemplo se apresenta na Figura 4.10, nota-se grande diferença no seu comportamento.

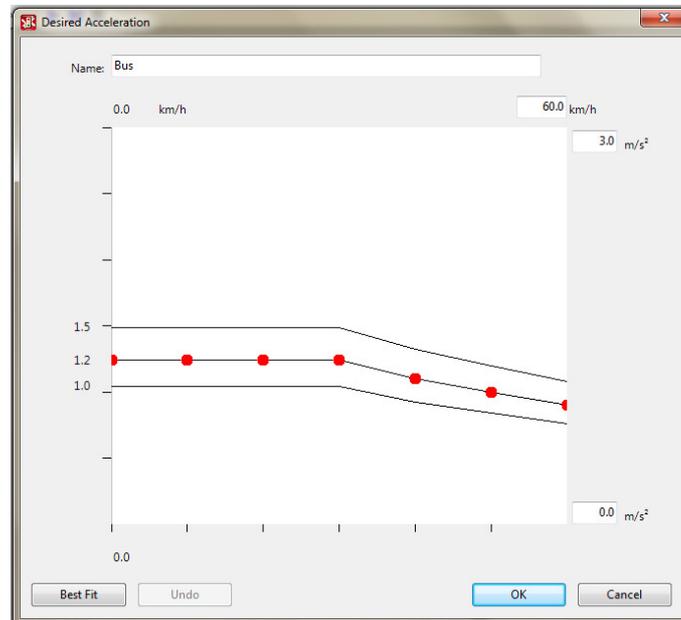


Figura 4.10 – Pré-carregamento de aceleração desejada em função da velocidade no VISSIM

As funções pré-definidas de aceleração são embasadas nos dados obtidos junto ao departamento de transportes da cidade de Karlsruhe (Alemanha), onde o *software* foi criado. Isso é compreensível, já que as condições das vias, dos veículos e da topografia são diferentes para cada cidade. Esta comparação confirma a importância de se determinar o parâmetro para cada contexto simulado.

Pereira (2011) mediu o valor de aceleração para veículos articulados, em corredores de Porto Alegre e Curitiba, para calibração do modelo usado em seu estudo, e relatou ser da ordem 1,0 m/s², enquanto a desaceleração foi estimada como sendo o dobro da aceleração, ou seja, 2,0 m/s². Percebe-se que estes valores superam os obtidos pela pesquisa (Tabela 4.8).

Santos (2013) propôs um método de medida da aceleração e desaceleração dos ônibus, para calibrar modelos de simulação, que consiste em coletar filmagens da operação dos ônibus, e extrair os dados usando ferramenta de reconhecimento de imagens. O método foi aplicado no sistema BRT de Curitiba e resultou em faixas de valores de 0,80 a 1,07 m/s², para aceleração, e 1,29 a 1,80 m/s², para desaceleração. Outro resultado importante desse estudo é que os

veículos com nível de ocupação máxima (nível cinco na escala adotada) alcançam 75,7% da aceleração dos veículos com nível de ocupação mínima (nível um), comprovando a alta relação da aceleração com a lotação do veículo, tal como foi concluído para as medidas de Belo Horizonte. Por outro lado, considerando que as medidas foram feitas em um local onde o terreno é plano, a declividade da pista não influenciou na variação dos valores obtidos, como nas medidas para aquela cidade. Além disso, a relação peso/torque dos veículos é diferente para os dois casos, e não foi analisada no presente trabalho. Importante observar que Santos (2013) apresenta seu método como uma alternativa mais confiável, frente àqueles que usam GPS, que estão sujeitos ao efeito do chamado *canyon* urbano, isto é, o erro e o atraso de localização dos satélites em função da ‘sombra’ de edifícios altos. No entanto, seu método não poderia ser aplicado no trecho pesquisado da Av. Pres. Antônio Carlos, pois não há edifícios onde possam ser instaladas as câmeras para geração de filmagens no trecho pesquisado. Ao mesmo tempo, esse fato favorece a utilização de métodos baseados em GPS. Com base nestas observações, o método e as medidas obtidas para Belo Horizonte foram consideradas válidas.

4.5.2 Tempos de embarque e desembarque

Os filmes do Trem Metropolitano foram produzidos pelo pesquisador, na Estação Central, entre 16h30 e 19h30 do dia 25/6/13. Infelizmente, não foi possível aproveitar algumas filmagens, feitas com permissão e acompanhamento do pessoal da CBTU, responsável pela operação do trem, pois a equipe só autorizou a execução do trabalho em períodos de baixa demanda, com o argumento de não prejudicar a circulação dos passageiros. Os filmes do sistema de Curitiba também foram feitos pelo pesquisador, na estação Rodoferroviária, entre 14h30 e 20h20 do dia 23/7/13. Foram considerados apenas intervalos de fluxos contínuos, excluindo-se os de pouca demanda (mínimo de três pessoas) ou de elevada saturação. O tempo gasto por pessoa foi calculado a partir do número maior possível de pessoas embarcando ou desembarcando, ininterruptamente, dividido pelo intervalo de tempo total gasto, para que o erro de medição fosse minimizado. Os tempos foram medidos de duas formas diferentes, com o intuito de isolar a interferência de um tempo sobre o outro: para cada atividade, embarque e desembarque, ocorrendo isoladamente, e; para a situação em que ocorrem simultâneas. No caso de Curitiba, as atividades já ocorrem isoladas, pois o sistema opera com portas específicas para cada uma.

Os valores para o Trem Metropolitano foram determinados com base em 13 intervalos de fluxo ininterrupto de desembarque e 15 intervalos para embarques, correspondentes a 60 pessoas saindo e 148 pessoas entrando no trem. Os valores foram agrupados como mostra a Tabela 4.9, e resultaram de médias para sete fluxos de desembarque somente, cinco fluxos de embarque somente e oito fluxos onde ocorrem simultaneamente embarques e desembarques.

Tabela 4.9– Tempos de embarque e desembarque – Trem Metropolitano de Belo Horizonte

	Atividades isoladas		Atividades Simultâneas	
	Somente desembarque	Somente embarque	Desembarque	Embarque
Média (s)	1,29	0,96	1,34	1,16
Desvio (s)	0,28	0,23	0,49	0,24

Os dados confirmam a conclusão da bibliografia: observa-se que, quando cada atividade ocorre sem a interferência da outra, o tempo gasto por pessoa é inferior ao dos casos em que ocorrem simultaneamente. Um motivo que pode explicar a maior variabilidade para os tempos de desembarques é o fato de os passageiros começarem a embarcar sem aguardar os demais saírem do trem, ou seja, sem obedecer à regra “deixe sair para depois entrar”.

Os resultados para o BRT de Curitiba estão mostrados na Tabela 4.10, obtidos de 63 pessoas em fluxo contínuo de embarque e 40 pessoas em fluxo contínuo de desembarque.

Tabela 4.10 – Tempos de embarque e desembarque – RIT Curitiba

	Desembarque	Embarque
Média (s)	0,99	0,96
Desvio (s)	0,16	0,21

Observa-se que os tempos do sistema de Curitiba são menores que os de Belo Horizonte, mesmo sendo os trens dotados de portas mais largas que os ônibus de lá. É provável que isso se justifique pelo fato daquele sistema adotar portas específicas para embarque ou desembarque, pois, quando se comparam as medidas para atividades isoladas, trem e BRT possuem o mesmo tempo de embarque.

Salienta-se que não foi considerada a lotação de cada veículo para se medir os tempos de embarque e desembarque, o que deve ser feito para um melhor comparativo das medidas. Para ilustrar esse fato, foram analisados dois vídeos mostrando a entrada de passageiros na primeira porta de um ônibus previamente vazio do sistema Transmilenio, gravado às 6h28

(pico da manhã), do dia 14/10/10. Foi medido o tempo para cada grupo de cinco pessoas que entraram no veículo, e determinado o tempo médio de entrada por passageiro, em função do total de passageiros que embarcaram pela porta, obtendo-se os resultados da Tabela 4.11 e da Figura 4.11.

Tabela 4.11 – Tempo de embarque em função do número de passageiros embarcados – ônibus do Transmilenio (14/10/10)

Total de Embarques	Tempo por Pessoa (s)
5	0,30
10	0,32
15	0,34
20	0,34
25	0,38
30	0,50
35	0,56
40	0,90

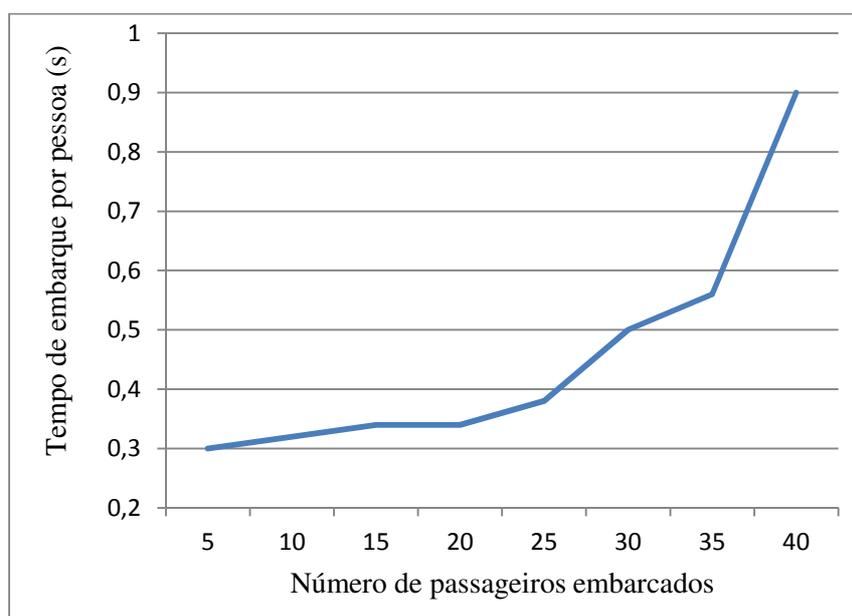


Figura 4.11 – Tempo de embarque em função do número de passageiros embarcados – ônibus do Transmilenio (14/10/10)

Observa-se que o tempo gasto por passageiro para entrar no veículo aumenta com o número de passageiros embarcados, até o limite, quando lotação do veículo é atingida e não é possível entrar mais nenhum passageiro. Obviamente, para a correta relação do tempo por passageiro

com a lotação do veículo, esta deveria ser medida, e não somente os passageiros embarcados pela porta observada.

Outro vídeo analisado, feito para situação semelhante, às 19h19 do dia 25/8/11, levou aos resultados da Tabela 4.12 e da Figura 4.12. A diferença neste caso é que os visitantes, que cederam o filme, estavam dentro do ônibus, e um deles saiu do veículo enquanto os passageiros embarcavam, fazendo com que o gráfico apresentasse uma variação, em torno dos 20 passageiros embarcados. Outro fato é que houve uma descontinuidade do fluxo, entre o 29º e o 32º passageiro, alterando o comportamento do final do gráfico.

O resultado é suficiente para confirmar a bibliografia: a quantidade de pessoas em pé embarcadas tem efeito não linear no tempo de parada do veículo (comparar com a Figura 2.5), e merece ser considerada ao dimensionar a estação, além do efeito do fluxo de saída sobre o de entrada, nos tempos de embarque e desembarque por pessoa. Não por acaso, os especialistas pesquisados atribuem o segundo maior grau de importância relativo à quantidade de passageiros em pé a bordo, e o terceiro definidor do projeto da estação, embora não tenha predominado como um parâmetro de simulação.

Tabela 4.12 – Tempo de embarque em função do número de passageiros embarcados – ônibus do Transmilenio (25/8/11)

Total de embarques	Tempo por pessoa (s)
5	0,28
10	0,34
15	0,42
20	0,90
25	0,86
29	0,93
32	1,23

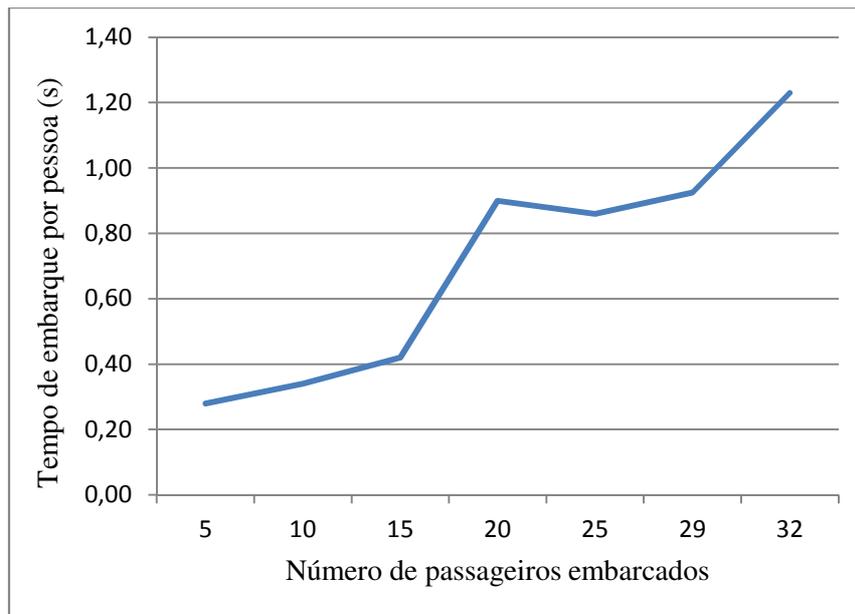


Figura 4.12 – Tempo de embarque em função do número de passageiros embarcados – ônibus do Transmilenio (25/8/11)

Os dados do Manual de BRT indicam, para o sistema Transmilenio, onde há portas com 1,1 m de largura, piso alto do veículo e embarque em nível, um tempo de 0,75 segundo para embarque e 0,5 para desembarque (ver Tabela 2.3), sendo afirmado pelos autores que esse sistema “registra tempos de embarque na faixa de 0,3 segundos por passageiro” (WRIGHT; HOOK, 2008, p. 284). Consta no relatório do projeto da BHTRANS que o tempo de embarque e desembarque considerado teria sido de 0,5 segundo, independentemente da operação. No entanto, foi verificado nas planilhas de cálculo do relatório que foram adotados 0,3 segundo por passageiros embarcando e 0,2 segundo por passageiros desembarcando. O mesmo relatório, ao descrever os termos da equação da saturação (Equação 4.2), coloca que foi usado o valor de 0,35 segundo para o tempo de embarque, não mencionando o de desembarque. Nota-se, pelas medidas obtidas, que estes valores só são atingidos quando o ônibus está com baixa ocupação, o que não ocorre em uma operação típica. Por esses motivos, o modelo de simulação foi calibrado com os valores medidos para o Trem Metropolitano.

4.5.3 Tempos de passagem pelas catracas

As medidas dos tempos de passagem pelas catracas foram feitas em filmes que mostram a passagem de passageiros pelas catracas nos sistemas pesquisados. As medidas foram extraídas com cronômetro de precisão, considerando apenas fluxos contínuos de, no mínimo, três pessoas, exceto para Curitiba, onde foi considerado um fluxo mínimo de duas pessoas. O

valor foi calculado a partir do fluxo total de pessoas passando pela catraca, ininterruptamente, dividido pelo intervalo de tempo total gasto, buscando minimizar o erro de medição. Foram excluídos os casos isolados em que alguns passageiros demoravam mais do que a média para transpor a catraca, como por exemplo, por desconhecimento da forma correta de validação do cartão. Nos sistemas pesquisados, há três formas de pagamento: bilhete magnético (tecnologia Edmonson), no Trem Metropolitano; dinheiro, em Curitiba; e cartão eletrônico (tecnologia *smart card*), em ambos. Nestes, as catracas funcionam somente em um sentido: para entrada, com pagamento da tarifa ou; para saída, livre. Em Curitiba, a catraca é do lado de fora da parte fechada da estação. No Mío, porém, há três catracas reversíveis nas estações pesquisadas, ou seja, a mesma catraca permite a entrada com pagamento de tarifa e a saída livre, o que é indicado por sinal luminoso que alterna entre uma seta verde e um xis vermelho, conforme a presença do usuário. A Figura 4.13 mostra as catracas para cada um dos sistemas pesquisados.



Figura 4.13 – Catracas no Trem Metropolitano (esq.), Curitiba (meio) e Cali (direita)

Os filmes do Trem Metropolitano foram produzidos pelo pesquisador, na Estação Central, entre 16h30 e 19h30 do dia 25/6/13. De modo análogo, os filmes do sistema de Curitiba foram feitos na estação Tiradentes, entre 19h30 e 20h20 do dia 26/7/13. Os filmes das estações Tequendama e San Pedro, do BRT Mío, são do período compreendido entre 16h30 e 19h30 do dia 14/12/12, e foram fornecidos pela Metrocali, órgão gerenciador do sistema.

Os tempos de passagem pela catraca na estação do Trem Metropolitano resultaram de oito intervalos de fluxo ininterrupto, correspondentes a um total de 92 pessoas passando pelas catracas para entrar na estação, sem distinguir se usavam o bilhete magnético ou o cartão eletrônico. Na estação-tubo de Curitiba, as medidas foram feitas para um total de 25 pessoas passando pela catraca, pagando com cartão. Embora a coleta de dados tenha sido para um número maior de pessoas, muitas pagaram com dinheiro, de forma aleatória, reduzindo o

número de fluxos de duas pessoas ou mais pagando com cartão. Nas estações de Cali, os tempos foram medidos com base em 167 fluxos contínuos de entrada, com pagamento da tarifa, e em 48 fluxos de saída livre, sendo cada fluxo de três a 18 pessoas, totalizando 1083 passageiros passando pelas catracas ao entrar, e 293 ao sair. A Tabela 4.13 apresenta os resultados para os três sistemas pesquisados.

Tabela 4.13 – Tempos de catraca para os sistemas pesquisados

Sistema	Entrada		Saída	
	Média (s)	Desvio (s)	Média (s)	Desvio (s)
Trem Metropolitano (BH)	4,71	0,47	-	-
RIT Curitiba	4,02	0,93	-	-
Mio	4,19	0,38	1,66	0,28

Para o Trem Metropolitano, o tempo de saída pelas catracas não foi medido, pois nos dias e horários pesquisados, não ocorreram fluxos contínuos que possibilitassem medir de forma confiável o tempo médio por passageiro. No sistema de Curitiba, a saída não foi medida, pois na estação pesquisada os desembarques ocorrem fora da parte fechada, não causando a formação de filas. Em estações de maior movimentação de passageiros, há plataformas específicas para desembarques, o que garante que não haja interferência do fluxo de saída no fluxo de entrada.

Apesar de no sistema Mio existir interferência dos fluxos de saída, o tempo gasto por passageiro passando pela catraca é menor que no Trem Metropolitano. É provável que a média de Cali tenha ficado maior que a de Curitiba em função do atrito de passageiros entrando e saindo pela mesma catraca. Pode-se explicar o fato da média do trem ser maior em razão do validador do cartão ser mais lento que dos outros sistemas, o que pode ser facilmente averiguado nos filmes. Outra possibilidade é o fator comportamental do usuário.

Importante registrar que nas estações do Mio, quando ocorrem fluxos mais concentrados, os operadores permitem a saída dos passageiros pelos portões de passagem de cadeirantes, o que evidencia a ineficiência do esquema operacional das catracas. Embora este esquema tenha se mostrado eficiente para a entrada, ele prejudica a saída e, conseqüentemente, a operação da área de embarque da estação, principalmente quando os fluxos de entrada e saída são igualmente altos. Além disso, como não há locais definidos para a saída, alguns usuários permanecem parados ou transitando em frente às catracas, aguardando uma brecha para sair.

A Figura 4.14 mostra a estação San Pedro, em dois momentos: às 17h59, quando podem ser vistas as três catracas e o portão de acesso de cadeirantes e; às 18h22, quando há elevados fluxos de entrada, fazendo com que a maior parte dos usuários saia pelo portão.



Figura 4.14 – Estação San Pedro (BRT Mio) às 17h59 (esquerda) e às 18h22 (direita)

Por outro lado, é possível concluir que, se somente duas catracas fossem dedicadas à entrada, ficando a terceira para a saída, filas mais longas se formariam fora da estação. Comparando com o sistema de Curitiba, este apresenta a vantagem de não haver interferência dos fluxos de saída e entrada, pois, como já dito, a saída do usuário se faz fora da área paga (fechada) da estação. Os valores adotados para calibrar o modelo de simulação foram aqueles medidos para o Trem Metropolitano, que considera o efeito do fator comportamental do usuário e das características do equipamento de validação da passagem, que provavelmente será o mesmo adotado no BRT MOVE.

4.5.4 Tempos de abertura e fechamento de portas e pontes

Os tempos de abertura e fechamento de portas e pontes foram medidos para os ônibus da RIT (Curitiba), do Mio (Cali) e do MOVE (Belo Horizonte), usando o mesmo método de medida, ou seja, com cronômetro de precisão, definição da média e do desvio-padrão. A identificação do momento exato de abertura e fechamento das portas, descida e recolhimento de pontes foi auxiliada pelo áudio dos filmes, que possibilita essa distinção pelo som característico do acionamento de cada dispositivo. Os filmes do sistema de Curitiba foram feitos na estação Rodoferroviária, entre 14h30 e 20h20 do dia 23/7/13. Os filmes do Mio foram cedidos pela equipe da BHTRANS, que visitou o local, nos dias 23 e 24/8/11 e 12/12/12. Os filmes do

BRT MOVE foram gerados durante a operação de teste do sistema, nos dias 18, 19 e 21/2/14, entre 9h43 e 18h49.

Em Curitiba, foram coletados 51 tempos de abertura de porta e 34 de descida de ponte basculante. Para fechamento de porta, foram obtidas 58 medidas, e 37 de recolhimento de ponte. A título de comparativo, foram medidos também os tempos de recolhimento de ponte retrátil, um sistema presente em menor número de ônibus. Os resultados estão mostrados na Tabela 4.14.

Tabela 4.14 – Tempos de abertura e fechamento de portas e pontes – RIT Curitiba

	Abertura		Fechamento		
	Porta	Ponte Basculante	Porta	Ponte Basculante	Ponte Retrátil
Média (s)	1,58	1,26	1,32	1,79	3,85
Desvio (s)	0,37	0,25	0,28	0,44	0,47

A soma dos tempos para abertura da porta e da ponte basculante é, em média, de 2,84 segundos, enquanto a soma para fechamento de porta e ponte é de 3,11 segundos. Os resultados comprovam que a ponte do tipo retrátil leva mais que o dobro do tempo para ser recolhida que a ponte basculante. Não por acaso, a URBS afirmou não estar mais adotando este tipo de ponte, em função de resultados negativos quanto a sua eficiência.

Também foram analisados dez vídeos, a partir dos quais foi possível medir os tempos de abertura e fechamento de porta no Mio, onde os ônibus não adotam ponte e o motorista deve aproximá-lo ao máximo do piso da estação. Estes vídeos foram gravados nos dias 23 e 24/8/11 e 12/12/12. Obtiveram-se 12 tempos de abertura e seis de fechamento. Nota-se grande variação dos tempos medidos, como pode ser visto na Tabela 4.15. Acredita-se que a explicação para isso pode ser a diferença entre os dois veículos usados, e a pequena quantidade de dados coletada, reduzindo a confiabilidade do resultado.

Tabela 4.15 – Tempos de abertura e fechamento de portas – BRT Mio

	Tempo de Abertura (s)	Tempo de Fechamento (s)
	2,20	*
	3,00	2,30
	3,20	*
	2,60	2,50
	*	2,30
	1,70	*
	2,30	*
	3,00	3,30
	2,90	*
	2,90	2,80
	2,80	*
	3,10	2,80
	3,10	*
	4,00	*
Média	2,68	2,67
Desvio	0,73	0,38

* Valores não obtidos

Observa-se que o tempo de fechamento das portas é igual ao tempo de abertura.

Os dados para o BRT MOVE foram obtidos a partir de 63 vídeos, dos quais mediram-se 72 tempos de abertura e 53 de fechamento. Os resultados estão mostrados na Tabela 4.16.

Tabela 4.16 – Tempos de abertura e fechamento de portas – BRT MOVE

	Abertura (s)	Fechamento (s)
Média	1,98	2,02
Desvio	0,06	0,06

A Tabela 4.17 apresenta o comparativo das médias para os três sistemas. A medida para Curitiba é a soma dos tempos de porta e ponte.

Tabela 4.17 – Comparativo dos tempos para os três sistemas

Sistema	Abertura (s)	Fechamento (s)
RIT Curitiba	2,84	3,11
BRT Mio	2,68	2,67
BRT MOVE	1,98	2,02

Apesar das limitações dos dados coletados para o Mio, pode-se concluir que a diferença de tempo introduzida pela colocação da ponte no veículo pode ser pequena. É provável que esse

fato se deva ao sistema de porta usado em cada sistema: enquanto nos ônibus do BRT de Curitiba, as portas abrem quase totalmente para fora, no sistema de Cali, as portas são recolhidas para dentro do veículo. Desse modo, além de possuírem um mecanismo mais complexo que do primeiro tipo, eventualmente podem ter seu movimento limitado pela presença de passageiros junto a elas (Figura 4.16). A Figura 4.15 mostra as portas dos dois sistemas.



Figura 4.15 – Portas dos ônibus nos sistemas BRT de Curitiba (à esquerda) e de Cali (à direita)



Figura 4.16 – Passageiros junto à porta do ônibus – BRT Mio

Quando se comparam os dados de Curitiba com os de Belo Horizonte, conclui-se que a diferença de tempo é da ordem de um segundo. Vale salientar que, embora a confiabilidade da medida do BRT MOVE seja maior, as medidas feitas para Cali referem-se à operação real, e

foram úteis para mostrar que há outros fatores que podem influir no tempo de abertura e fechamento, além do mecanismo em si, como a presença de usuários ou características dos dispositivos. O manual de especificações técnicas dos veículos do BRT de Belo Horizonte define as diretrizes para as portas dos ônibus, que podem ser do tipo deslizante ou basculante, o mesmo adotado no sistema de Cali, da seguinte forma:

“No acionamento tanto da porta tipo ‘deslizante’ como da ‘basculante’, a porta deve ser destacada da posição de encaixe no vão de portas e as folhas devem deslocar-se para fora, apenas o suficiente para a sua abertura. As folhas de porta localizadas na lateral esquerda (embarque em nível) devem ser projetadas ao exterior em no máximo 100 mm, considerando a existência do estribo de auxílio localizado junto às portas das Estações (BELO HORIZONTE, 2012, item 12.3).”

Esta diretriz é decorrente do sistema de atracagem especificado. Como não há ponte nos veículos, estes devem parar junto às estações tão próximo quanto possível, impedindo que haja desnível entre o seu piso e o da estação e, conseqüentemente, não sobra espaço para as portas avançarem em relação à projeção vertical do ônibus. Em outro trecho, o mesmo manual define que “o tempo máximo de abertura ou fechamento não pode ser superior a quatro segundos” (BELO HORIZONTE, 2012, item 12.3). Isso significa que, indiretamente, o uso da ponte já é admitido na especificação do veículo. Dessa forma, nos cenários simulados para o elemento atracagem, foram adotados os tempos de abertura e fechamento de dois segundos, para o cenário sem ponte, e três segundos, para o cenário com ponte.

4.5.5 Tempo morto

Os dados coletados para compor as funções de aceleração e desaceleração no VISSIM também foram usados para medir os tempos correspondentes à desaceleração e aceleração dos ônibus, ao chegar e partir do ponto de parada, com o objetivo de compor o tempo morto e comparar com o valor adotado para tal parâmetro no projeto do BRT MOVE. No VISSIM, o tempo morto é um parâmetro de entrada definido para cada tipo de ônibus, e corresponde ao chamado *clearance time*, obedecendo ao mesmo conceito selecionado pela fundamentação teórica (seção 2.3.2), ou seja, trata-se do tempo necessário para o veículo parar, abrir e fechar as portas. Os tempos de aceleração e desaceleração são um resultado da simulação, na qual as velocidades dos veículos obedecem às funções compostas para estes parâmetros e às condições da via.

No projeto do BRT de Belo Horizonte, foi usado conceito do Manual de BRT, em que o tempo morto corresponde à diferença de tempo entre um veículo que passa direto por uma estação e um veículo que para nela, abre e fecha as portas sem nenhum embarque ou desembarque e volta a acelerar. Portanto, foram analisadas as saídas do aplicativo para todas as viagens realizadas, sendo identificados os intervalos de tempo em que o veículo iniciou a redução de marcha, até a parada no ponto, para medir o tempo de desaceleração. Analogamente, foi medido o tempo transcorrido da velocidade zero até a velocidade de cruzeiro, para medir o tempo de aceleração. A análise foi feita para diferentes velocidades de cruzeiro, que variou de, aproximadamente, 36 km/h a 60 km/h. Como o parâmetro de projeto é geral, para qualquer situação de declividade, velocidade ou lotação do veículo, foram considerados todos os dados obtidos para a definição do tempo médio, para velocidades acima de 36 km/h. Os dados obtidos para o corredor Antônio Carlos revelaram os tempos médios correspondentes à desaceleração e aceleração dos ônibus, para todas as viagens realizadas no corredor, mostrados na Tabela 4.18.

Tabela 4.18 – Tempos de desaceleração e aceleração – sistema convencional de Belo Horizonte

Desaceleração (s)		Aceleração (s)	
Média	Desvio	Média	Desvio
11,7	2,8	22,5	4,7

O tempo de manobra total é calculado somando os tempos médios de desaceleração, de parada e de aceleração, até atingir a velocidade de cruzeiro, que correspondem a: $11,7 + 4,0 + 22,5$, cujo resultado é 38,2 segundos. O tempo de parada é a soma dos tempos medidos para abertura e fechamento de portas, isto é, dois segundos para cada um, e desconsidera os embarques e desembarques.

O tempo de viagem neste mesmo trecho, para um veículo que passa direto pela estação, sem realizar a parada, é calculado dividindo a soma das distâncias de desaceleração e aceleração pela velocidade de cruzeiro. Os valores médios e máximos destas distâncias foram obtidos pelos mesmos dados coletados para os ônibus convencionais, e estão apresentados na Tabela 4.19.

Tabela 4.19 – Distâncias médias e máximas de desaceleração e aceleração – sistema convencional de Belo Horizonte

Desaceleração (m)		Aceleração (m)	
Média	Máxima	Média	Máxima
65,6	83,6	139,4	197,3

Somando-se as distâncias médias de desaceleração e aceleração, tem-se 205,0 m. Para a velocidade de cruzeiro considerada de 50 km/h, ou 13,9 m/s, tem-se um tempo de viagem de 14,8 segundos. Assim, o tempo morto, segundo o conceito do Manual de BRT, pode ser calculado subtraindo este resultado do tempo de manobra total, calculado anteriormente:

$$T_{\text{morto}} = 38,2 - 14,8 = 23,4 \text{ segundos.}$$

Este é o tempo morto médio para veículos em operação convencional, cujas velocidades de chegada e saída da parada são comparáveis às praticadas por veículos que usam ponte. A manobra do BRT MOVE não foi medida, já que a operação ainda estava em teste durante a conclusão desta pesquisa. No entanto, verifica-se facilmente que o tempo requerido para alinhar o veículo com a proximidade necessária do estribo da estação é maior. No item 4.7.3 é apresentada a medição do tempo morto para o BRT MOVE, através dos resultados dos cenários simulados.

De acordo com o relatório do projeto, o valor adotado para o tempo morto foi de 20 segundos, para todos os veículos e declividades de pista. Nota-se, portanto, que o valor desse parâmetro foi subestimado, o que interfere diretamente no cálculo da saturação da parada.

4.5.6 Teste de aderência das velocidades medidas e simuladas no VISSIM

Outra aplicação dos dados coletados de velocidade por segundo, adotados para definir a aceleração dos ônibus convencionais de Belo Horizonte, foi para verificar a aderência das velocidades simuladas no VISSIM com as medidas em campo. Para medir as velocidades na desaceleração, foi selecionado o *link* que contém a parada da plataforma metropolitana no sentido centro, e o anterior a este, com uma extensão de 84 metros, distância máxima até o ponto de parada, observada para o início da desaceleração, conforme dados apresentados na seção anterior (Tabela 4.19). Analogamente, para as medidas de velocidade na aceleração, foi selecionado o *link* que contém a parada, sentido bairro, e o seguinte, com uma extensão de 197 metros. Os pontos de coleta dos dados (*Data collection points*) do VISSIM foram colocados nestas posições.

Este teste foi necessário para verificar a validade dos resultados da simulação, e assim, validar o comparativo feito entre os cenários usados para avaliar o elemento sistema de atracagem, como será visto posteriormente. Os resultados estão apresentados na seção 4.7.3.

4.6 Desenvolvimento do modelo da estação

O modelo da estação AC-14 foi construído com todos os dados e elementos do projeto fornecidos pela BHTRANS (2012), e foi calibrado com os parâmetros pesquisados, compatíveis com as definições do projeto. As etapas de construção do modelo no VISSIM estão detalhadas no APÊNDICE B.

A rede de simulação original foi recortada na área de influência da estação AC-14 e foi adaptada para representar o projeto original. Esta rede já possuía os *links*, os conectores e os semáforos, cujo posicionamento e programação de tempos foram adequados. Foram configurados todos os demais elementos de rede necessários à representação do projeto da estação, como: as linhas de ônibus, as paradas ou baías de cada plataforma, as áreas de caminamento e espera de pedestres, as rotas de pedestres, as demandas de embarques e desembarques, as regras de prioridade para os conflitos entre veículos, e entre estes e os pedestres. O modelo construído com esses dados e elementos constituiu o cenário Zero, usado para produzir os resultados preliminares da simulação e para reproduzir os demais cenários, como será tratado adiante.

A seguir são apresentados aspectos relevantes sobre a inserção dos parâmetros medidos, a simulação da parada do ônibus na estação, a inserção dos dados de projeto, os recursos de calibração e limitações gerais encontradas ao simular o projeto da estação no VISSIM. Maiores detalhes sobre a montagem da rede da estação e parâmetros de simulação estão apresentados no Apêndice B.

4.6.1 Inserção dos parâmetros medidos

Os tempos de embarque e desembarque por passageiro (*boarding time* e *alighting time*) e o tempo morto (*clearance time*) foram calibrados no VISSIM para cada tipo de veículo de projeto, como exemplifica a Figura 4.17.

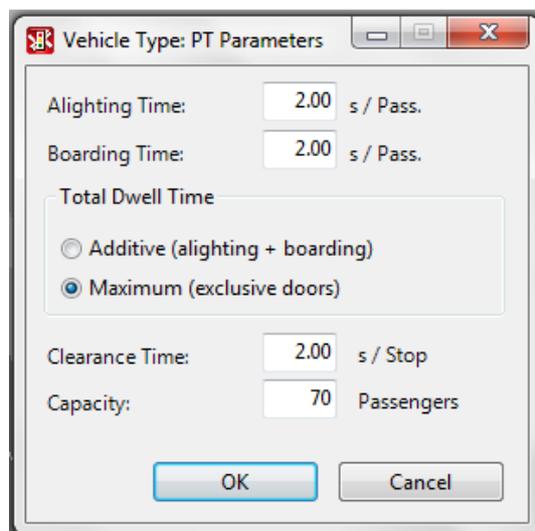


Figura 4.17 – Parâmetros de transporte público no VISSIM

Na definição dos parâmetros *alighting time* e *boarding time*, o número de portas do veículo deve ser considerado da seguinte forma: se um passageiro gasta seis segundos para desembarcar e o ônibus tem três portas, o tempo de desembarque deve ser de dois segundos. Assim, de acordo com os resultados das medições, os valores inseridos foram, respectivamente: 0,34” e 0,29”, nos ônibus articulados, que possuem quatro portas e; 0,67” e 0,58”, nos ônibus Padron, que possuem duas portas. Já o parâmetro *clearance time*, que corresponde ao tempo necessário pra o veículo parar, abrir e fechar portas, foi calibrado com 4” segundos, para todos os cenários, exceto o cenário ‘com ponte’, que foi calibrado com 6”, no qual foi somado o tempo de ponte. Para reproduzir o tempo de passagem pelas catracas, foi atribuída uma área de pedestre para cada catraca, contendo um ponto intermediário de cada rota parcial de pedestres e uma distribuição de tempo de permanência. Essa distribuição é definida pela média e pelo desvio-padrão, cujos valores adotados foram os medidos para o Trem Metropolitano, ou seja, média de 4,71” e desvio de 0,47”.

4.6.2 Simulação da parada na estação

No VISSIM, é possível configurar a simulação do embarque e desembarque de passageiros nas estações e, conseqüentemente, do tempo de parada dos veículos na estação, por três métodos, com níveis de detalhamento que variam do mais simples, por distribuição de tempos de parada com média e desvio-padrão, ao mais completo, com a simulação de pedestres. Conseqüentemente, o trabalho de calibração dos parâmetros acompanha o detalhamento.

O chamado modelo avançado de passageiros foi adotado nos cenários em que a falta da simulação de pedestres não compromete significativamente o resultado, como para a avaliação da capacidade da pista. Já o módulo VISWALK realiza a simulação microscópica dos pedestres, com base na geração dos pedestres em suas origens e, de acordo com o manual, possuiria maior capacidade de se aproximar da realidade, estando capacitado a testar a maior parte dos parâmetros abordados neste estudo. Este método foi adotado principalmente para avaliação de elementos como a plataforma, os acessos e as catracas.

4.6.3 Inserção dos dados de projeto

Os dados de projeto não possuíam o nível de detalhamento requerido pelo VISSIM. Portanto, tais dados precisaram ser adequados ao formato necessário, o que demandou algumas suposições. A divisão da demanda de entrada na estação, com origem em cada lado da avenida, foi arbitrada em 80% para o lado do *campus* e 20% para o lado oposto. Esta divisão foi necessária para avaliar as configurações de acesso testadas. Outra importante suposição foi a demanda de embarques e desembarques por linha e por sentido. Admitiu-se que a demanda de passageiros é proporcional à frequência de cada linha. Embora isso ocorra para o trecho mais carregado da linha, mas não necessariamente para a estação simulada, esta foi a maneira encontrada de carregar o modelo sem produzir maiores erros. A terceira suposição foi sobre a divisão da demanda entre os dois sentidos da avenida, admitindo-se que, para a faixa horária das 17 h (pico da tarde), 80% teria destino aos bairros e 20% teria destino ao sentido centro. Esta suposição baseia-se no movimento pendular característico deste corredor, em que ocorre a predominância de viagens de retorno à residência, nos bairros, no pico da tarde, com relação às viagens com destino ao centro. A quarta suposição é que não ocorrem embarques na plataforma metropolitana, com destino ao centro, pois, como a tarifa dessas linhas é maior, o usuário opta por realizar a viagem em linhas municipais. Esta informação foi obtida junto à equipe de projeto, mas pode ter sido equivocada, já que há linhas metropolitanas cujos destinos são acessados pelo Anel Rodoviário, como Alameda da Serra e Cidade Industrial. Fica clara a dificuldade encontrada para adequar os dados e, conseqüentemente, a necessidade de sua correta obtenção, para que os resultados não sejam comprometidos.

O critério de escolha da demanda usada no dimensionamento de cada estação foi o de maior demanda de passageiros, somando-se os dois sentidos, centro e bairro. Para a AC-14, a faixa de 6 h apresentou a maior soma de passageiros. No entanto, optou-se por usar na simulação os

dados da faixa de 17h, por apresentarem números de embarques e desembarques bastante próximos, indicando que haverá maior ocupação da plataforma nesta situação.

4.6.4 Uso do VISSIM para simular o projeto da estação de corredor

Para produzir o efeito da aleatoriedade da chegada dos ônibus na estação, em função das impedâncias anteriores, o lançamento das linhas de ônibus foi feito inicialmente seguindo a recomendação do manual do VISSIM. Esta recomendação consiste em criar um *link* fictício para cada linha, com uma parada, conectado ao *link* da pista exclusiva de cada extremidade do corredor, para representar os dois sentidos da linha: centro e bairro. As paradas dos *links* fictícios foram calibradas com a distribuição de tempo de permanência de 60 segundos, com desvio padrão de 20 segundos, com o intuito de reproduzir a aleatoriedade da entrada dos veículos na rede. Esta configuração não se mostrou eficiente, pois a entrada de muitos ônibus na rede continuou coincidindo. Então, foram criadas diferentes distribuições de tempo de parada, a cada 10 segundos, atribuídas aleatoriamente para todas as linhas, nos dois sentidos.

Nos pontos fictícios, foi lançado o número de embarques correspondente aos desembarques na estação AC-14. A porcentagem de desembarque que seria calibrada em cada parada da estação foi calculada somando o número de passageiros que deveriam desembarcar com a lotação prévia, arbitrada em 50 passageiros para todas as linhas no cenário Zero. Assim, o VISSIM define os desembarques na estação, aplicando a porcentagem calculada na lotação total do veículo. No entanto, foi observado na simulação que o número de desembarques das linhas metropolitanas no sentido centro era nulo. É fato que as linhas que apresentam um número de desembarques por hora menor que sua frequência produzem uma porcentagem de desembarques menor que a unidade. O que provavelmente estava ocorrendo é que o VISSIM ao aplicar essa porcentagem na lotação total, produzia um número menor que um, e arredondava o número de pessoas desembarcando para zero. Por isso, tentou-se resolver o problema alterando a ocupação prévia do veículo para zero e a porcentagem de desembarques para 100%. Apesar disso, a simulação não mostrou os desembarques esperados, levando à conclusão que, com a configuração anterior, a porcentagem de desembarques estava sendo aplicada somente à ocupação prévia do veículo (50 passageiros), e não à ocupação total. Não foi encontrado o motivo pelo qual os desembarques não ocorriam.

A ideia inicial de atribuir uma lotação prévia era que esse parâmetro pudesse ser alterado, para se estudar cenários relacionados à lotação dos ônibus. No entanto, concluiu-se pelos motivos relatados, que seria impraticável avaliar esse parâmetro, pois só é possível determinar a ocupação prévia corretamente quando é lançada a movimentação de passageiros ao longo de toda a linha, desde a sua origem. Assim, para resolver definitivamente o problema, atribuiu-se a ocupação prévia de cada ônibus como sendo o número de desembarques na estação AC-14, e a porcentagem de desembarques nela de 100%. Esse número de passageiros foi determinado dividindo o total de desembarques por linha, pela frequência da linha, determinando, assim, o número médio por viagem. Dessa forma, todos os passageiros presentes no veículo ao entrar na rede passaram a desembarcar na estação, corrigindo a simulação.

Considera-se que esta forma de inserção do parâmetro desembarque é uma limitação do VISSIM, pois o cálculo e o lançamento da porcentagem de desembarques para todas as paradas, ao longo de todas as linhas, gera um trabalho excessivo que o *software* poderia e deveria executar. Como, em geral, o dado disponível é o número de desembarques por parada, a inserção do parâmetro por porcentagem, na prática, inviabiliza a modelagem correta de um corredor completo.

Outra inconsistência importante ficou evidente na simulação: muitos ônibus faziam fila dupla, aguardando para alcançar sua posição de parada na plataforma. E após isso, iniciavam a manobra de mudança de faixa, obstruindo a pista. Como o *link* da pista dos ônibus tem duas faixas, os ônibus chegam em paralelo na posição de parada, sem mudar de faixa previamente. Nesta posição, eles aguardam o que está à esquerda sair para então se aproximar da borda da plataforma, atravessando na pista ou desaparecendo após o tempo de difusão, resultando em manobras irreais. Em princípio, tentou-se corrigir o problema editando os parâmetros de mudança de faixa (*driving behavior-parameters set-lane change*), como: tempo máximo até que o veículo seja retirado da rede (*waiting time before diffusion*), distância mínima para outro veículo para realizar a mudança de faixa (*Minimum headway front/rear*), desaceleração máxima de cooperação (*Maximum deceleration for cooperative braking*). Essa calibração não surtiu efeito e os parâmetros foram reeditados para os valores iniciais. Outra tentativa foi configurar as faixas com '*no lane change*', ou seja, proibição de mudança de faixa em frente a cada parada, para que a mudança ocorresse previamente, o que também não surtiu os efeitos desejados. Então, o recurso adotado foi dividir o *link*, antes e após cada parada da estação,

conectando separadamente as duas faixas ao *link* seguinte, de modo que o itinerário de cada linha, próximo à parada, pudesse incluir somente a faixa da esquerda (baía) e, nas demais paradas, a faixa da direita, como mostra a Figura 4.18.

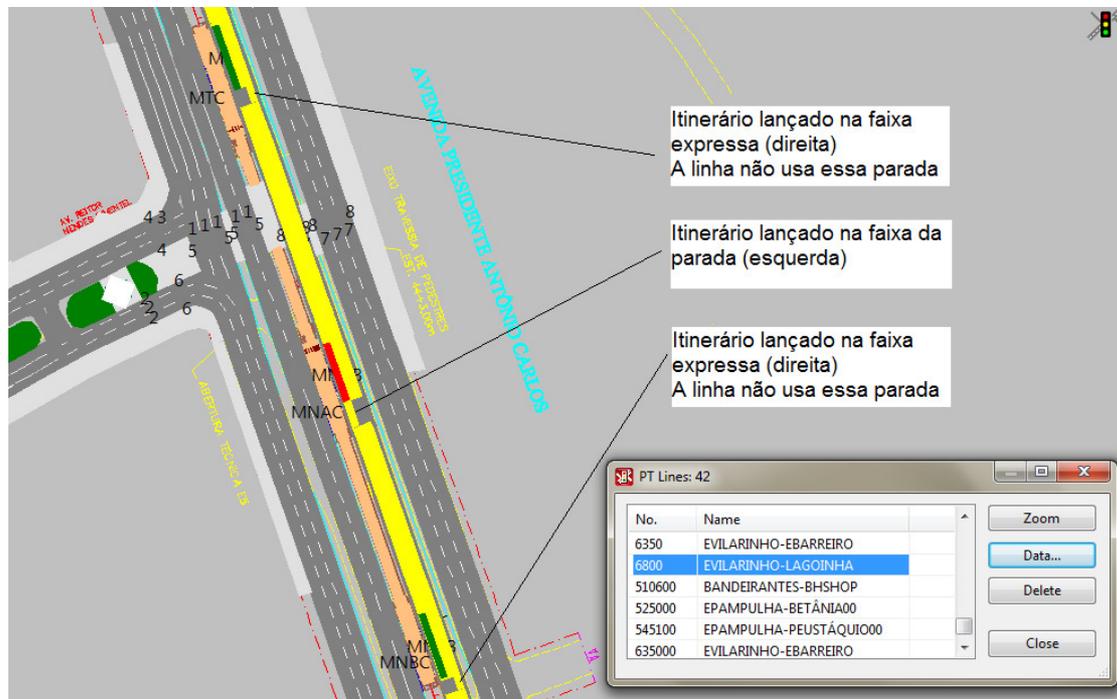


Figura 4.18 – Recurso de ajuste da manobra de mudança de faixa nas paradas no VISSIM

Desse modo, os ônibus das linhas paradoras passaram a iniciar a manobra de mudança da faixa da direita para a faixa da esquerda no trecho imediatamente antes e depois da sua parada, o que ficou mais compatível com a realidade. As linhas diretas foram lançadas somente na faixa expressa, ou seja, a da direita.

Outra limitação do VISSIM é a sobreposição de veículos durante mudanças de faixa. Não se sabe o motivo disso, mas, segundo um especialista em simulações usando esse *software*, trata-se de um problema gerado pelos modelos matemáticos e, para ser diminuído, seriam necessários ajustes no modelo de *car following*. Essa limitação compromete a eficiência do *software* na avaliação do projeto, no que se refere à capacidade da pista, pois, ao permitir que um veículo invada o espaço que outro estaria ocupando (Figura 4.19), a capacidade simulada será maior que a real. Esta calibração não deveria precisar ser feita, em nenhuma hipótese, pois é razoável assumir que seja requisito básico de um simulador não apresentar este erro. Analogamente, ocorre incompatibilidade entre os dados geométricos lançados para o veículo, na simulação 2D, e seu modelo correspondente para a simulação 3D. É necessário

compatibilizar este modelo através de módulo específico do VISSIM denominado V3DM, cuja manipulação demandaria tempo adicional. Como a diferença entre as dimensões dos veículos nas duas formas de apresentação não são significativas, optou-se por não investir tempo nesta atividade.

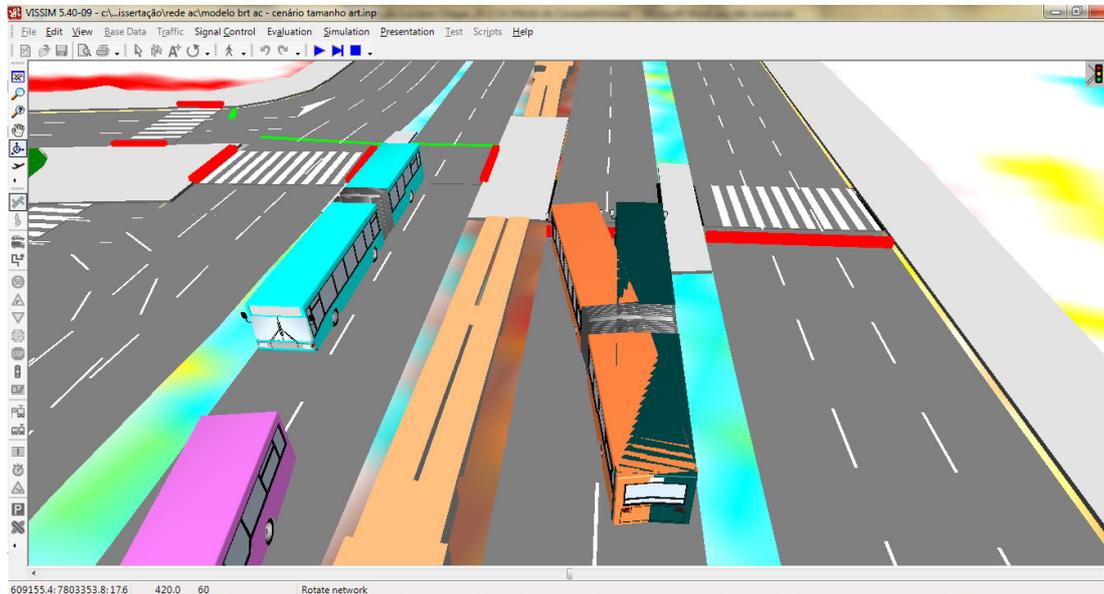


Figura 4.19 – Sobreposição de veículos no VISSIM

Quanto aos recursos de análise dos resultados, o simulador também é pouco amigável. Não é possível retroceder ou avançar a simulação. Para isso, é necessário gravar a simulação, em um *software* específico, ou no próprio VISSIM e, neste caso, é também uma tarefa bastante complexa. Por isso, primeira alternativa foi adotada, com o uso do *software* gratuito Debut, de captura de vídeo. Nos casos em que os filmes não foram suficientes, e a forma encontrada para avançar até o instante desejado de análise foi alterar a resolução da simulação para o mínimo (um passo por segundo) e a velocidade para o máximo e, a partir daí, rodar a simulação normalmente. Além disso, para propiciar o comparativo quantitativo de alguns cenários simulados, foram gerados relatórios de avaliação. No VISSIM, podem emitidos relatórios específicos para o transporte coletivo e para pedestres, mas os arquivos de saída de dados são em formato de texto (Figura 4.20), que requerem a importação para planilhas eletrônicas, a organização e a agregação dos dados, conforme a necessidade. Para obter o parâmetro tempo médio de viagem, por exemplo, é necessário fazer a média de tempos de viagem de todos os veículos que passam pela rede.

Data Collection (Raw Data)															
File:	c:\users\cliente\d	rop	box\201	-3	Lucian	o	di	sserta	Ro (1)\red	e ac\m	odelo b	rt	ac-atra	c-compon	ta.inp
Comment:	Modelo BRT AC - Lucia no Chagas														
Date:	quarta-feira, 5 de fevereiro de 2014 10:48:01														
VISSIM:	5.40-09 [41012]														
Data Collection Point	01:00	Link	61	Lane	2	at	540.000 m,	Length	0.000	m.					
Data Collection Point	02:00	Link	99	Lane	2	at	80.000 m,	Length	0.000	m.					
Data Collection Point	03:00	Link	61	Lane	1	at	540.000 m,	Length	0.000	m.					
Data Collection Point	04:00	Link	99	Lane	1	at	80.000 m,	Length	0.000	m.					
Data Collection Point	05:00	Link	60	Lane	2	at	840.000 m,	Length	0.000	m.					
Data Collection Point	06:00	Link	60	Lane	1	at	840.000 m,	Length	0.000	m.					
Data Collection Point	07:00	Link	94	Lane	2	at	85.000 m,	Length	0.000	m.					
Data Collection Point	08:00	Link	94	Lane	1	at	85.000 m,	Length	0.000	m.					
Data C.P. t(enter)	t(leave)		VehNo	Type			Line v[m/s]	a[m/s]	Occ P	ers	tQueue	VehLength[m]		
4	900.79	-1.00	138			1	12	16.6	0.03	0.21	0	2.5	18.00		
4	-1.00	901.88	138			1	12	16.6	0.02	0.38	0	2.5	18.00		
4	902.60	-1.00	139			1	5	16.6	0.02	0.40	0	3.0	18.00		
4	-1.00	903.68	139			1	5	16.6	0.01	0.18	0	3.0	18.00		
3	904.15	-1.00	151			1	65	16.6	0.03	0.35	0	3.0	18.00		
3	-1.00	905.23	151			1	65	16.6	0.02	0.23	0	3.0	18.00		
1	907.66	-1.00	152			2	36	11.3	0.61	0.34	0	2.5	13.20		
4	907.66	-1.00	155			3	1	16.7	0.00	0.34	0	2.5	18.00		
5	908.02	-1.00	140			1	5200	12.5	0.42	0.48	4	4.0	18.00		
1	-1.00	908.81	152			2	36	11.4	1.36	0.31	0	2.5	13.20		
4	-1.00	908.74	155			3	1	16.7	0.00	0.24	0	2.5	18.00		
5	-1.00	909.54	140			1	5200	10.9	1.34	0.04	4	4.0	18.00		
6	912.01	-1.00	123			1	50	16.6	0.01	0.49	0	2.5	18.00		
6	-1.00	913.10	123			1	50	16.7	0.01	0.10	0	2.5	18.00		
3	916.34	-1.00	145			2	5451	15.4	0.37	0.16	1	1.5	13.20		
3	-1.00	917.21	145			2	5451	15.2	0.24	0.21	1	1.5	13.20		

Figura 4.20 – Exemplo de relatório do VISSIM importado para o Excel

4.7 Cenários simulados e análise dos resultados

Os resultados iniciais para o cenário Zero revelaram que a simulação de pedestres no VISSIM é bem mais complexa do que se julgava inicialmente, na etapa de definição do *software*. A calibração do comportamento de pedestres no VISSIM é feita por parâmetros abstratos, cuja influência de cada um não está colocada de forma suficientemente clara e intuitiva no manual do *software*. Sua seção sobre os parâmetros do Modelo de Forças Sociais (PTV, 2012) exhibe oito parâmetros por tipo de pedestre, e mais 14 parâmetros globais. Dessa forma, a definição de cada parâmetro dependeria de uma extensa e criteriosa análise de sensibilidade, para se definir essa influência no resultado final, o que demandaria um árduo trabalho de coleta de dados e de calibração do modelo, através de um processo de tentativa e erro, e comparativo com filmagens do comportamento dos pedestres em situações semelhantes, que consome capacidade computacional e tempo elevados. Isso extrapola o objetivo desse trabalho.

Considerando ainda o efeito acumulativo de todos os outros parâmetros de calibração nos resultados da simulação, optou-se por particionar o modelo, reduzindo o nível de detalhamento no que se refere à simulação de pedestres, pela eliminação dos elementos de rede que causavam o seu comportamento irreal. Assim, foram criados submodelos específicos

para cada elemento de projeto, derivados do modelo completo: um para o acesso à estação (rampa e escadas), outro para as catracas, e assim por diante.

Esta seção apresenta inicialmente os resultados conclusivos da simulação do projeto. Em seguida, apresenta e discute os aspectos observados sobre o desenvolvimento dos cenários e a simulação de cada elemento.

4.7.1 Resultados conclusivos da simulação

Quanto aos resultados específicos para o projeto da estação AC-14, a simulação do Cenário Zero revelou que o índice de ocupação das paradas pelos ônibus é proporcionalmente maior que a ocupação das plataformas de embarque pelos passageiros. O grande número de linhas definidas para operarem no corredor, um total de 17 paradoras e quatro diretas, pode ser uma explicação para esse fato. Pelos dados de projeto, que mostram 1627 embarques e 679 desembarques, com uma frequência de 206 viagens de linhas paradoras durante o pico da tarde (17 h), ocorrerá uma média de oito embarques e três desembarques por viagem nesta estação. Este cálculo não foi feito para o pico da manhã, pois a frequência da faixa de 6 horas não foi fornecida.

Ainda que a calibração dos parâmetros comportamentais dos pedestres não tenha sido feita, foi possível observar que o número maior de embarques na plataforma metropolitana causou o travamento dos pedestres na sua entrada. São 1.003 embarques contra 59 desembarques, segundo os dados de projeto, o que representa uma média de 10 embarques por viagem, bem superior à média da estação. A Figura 4.21 mostra a aglomeração de passageiros na plataforma metropolitana, no instante 1824", ou seja, cerca de 30 minutos após o início da simulação. A falta de calibração compromete o resultado, pois o posicionamento dos passageiros que aguardam para embarcar acontece no início da área de espera, e não distribuído em torno das portas. Apesar disso, a simulação demonstra um desequilíbrio entre oferta de viagens e demanda de passageiros.



Figura 4.21 – Aglomeração de passageiros na plataforma metropolitana – instante 1824”

Os resultados específicos para cada elemento ou cenário simulado estão apresentados e discutidos nas seções seguintes.

4.7.2 Simulação do elemento Plataforma

Para avaliação da área da plataforma, foi criado um cenário, derivado do Cenário Zero, retirando-se todos os elementos que travam o cenário de origem, e que não interferem diretamente no resultado, tais como: divisão das rampas, catracas e rotas. Assim, para minimizar os problemas relativos à simulação de pedestres, foram simulados vários cenários parciais, a fim de se obter aquele capaz de produzir indicadores conclusivos quanto às plataformas.

As rampas de acesso foram mantidas com a largura total, ou seja, sem a divisão pelo corrimão intermediário do projeto. Ao se retirar as catracas, o fluxo de entrada na área de embarque torna-se maior, assim como o de saída. Por isso, foram criados obstáculos laterais para reduzir a largura da passagem onde existem as catracas, simulando a redução de largura causada por elas, buscando, com isso, minimizar a sua falta. No caso das rotas de pedestres, elementos de rede que sobrecarregam o modelo, foram testados dois cenários parciais: um para a plataforma metropolitana e outro para as plataformas municipais. No primeiro, foi mantida apenas a plataforma metropolitana funcionando com o VISWALK, mantendo as duas municipais funcionando com modelo avançado de pedestres, ou seja, sem rotas de pedestres,

mas conservando o efeito na parada dos ônibus pelo tempo necessário para os embarques e desembarques.

A simulação do cenário denominado PLATAFORMA mostrou alguns problemas de desaparecimento de pedestres que chegavam para embarcar na plataforma municipal B, o mesmo ocorrendo com alguns pedestres que nela desembarcavam. Como o problema já havia ocorrido com o cenário Zero, foi seguido o mesmo procedimento para corrigir o erro: as rotas foram refeitas e o problema foi resolvido. Não se sabe o motivo que leva o VISSIM a esse erro. O fato é que todo cenário criado com a alteração de rotas sofreu este problema. No caso da colocação dos obstáculos para substituir as catracas, concluiu-se que a diferença de resultados é praticamente nula, entre redes com e sem os obstáculos, pois, embora a largura seja reduzida, não há atraso ao passar pela abertura, como ocorre com em catracas reais.

Outro resultado foi a aglomeração de passageiros na plataforma metropolitana, a partir de 600 segundos de simulação, da mesma forma que ocorria para o cenário Zero. Assim, concluiu-se inicialmente que a presença das catracas e divisão de rampas que existia no Cenário Zero não interferia decisivamente na citada aglomeração. A diferença é que no Cenário Zero, a aglomeração é mais acentuada no entorno das catracas. O efeito da falta de calibração do comportamento dos pedestres fica claro na Figura 4.22.

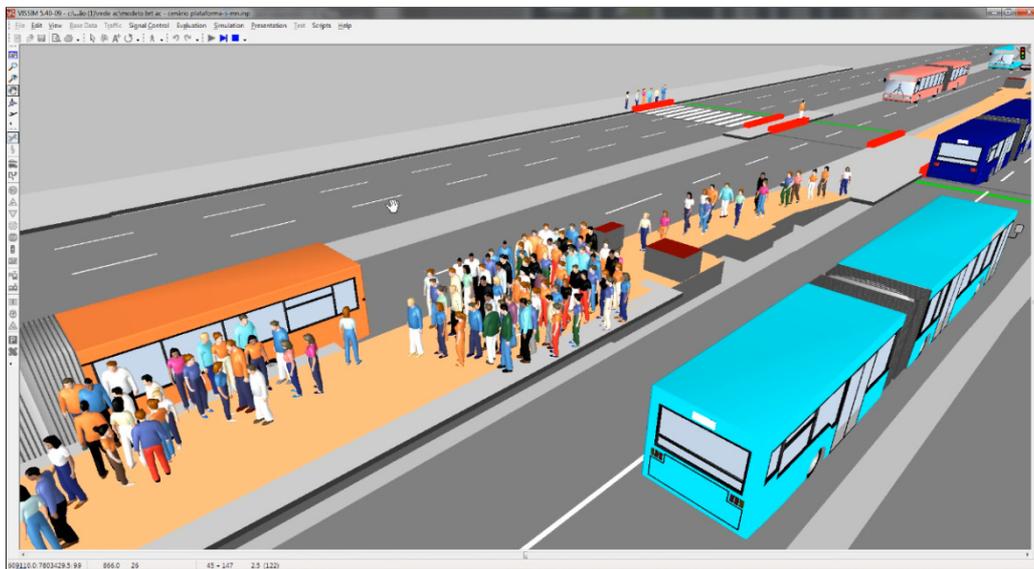


Figura 4.22 – Aglomeração de passageiros na plataforma metropolitana aos 1067” (17 minutos)

A aglomeração se forma a partir do momento em que os primeiros passageiros que se posicionam na plataforma para aguardar seu ônibus obstruem a passagem dos demais, que não

conseguem caminhar entre os outros, um comportamento bastante irreal. Esta situação, que ocorre com 17 minutos de simulação, só tende a piorar, à medida que mais passageiros desembarcam e não conseguem sair da estação.

Embora não seja possível avaliar se a área da plataforma é suficiente para a demanda, em função dos erros de desaparecimento e de aglomeração irreal de pedestres, continua valendo a conclusão de que a demanda de passageiros da plataforma metropolitana é proporcionalmente maior que a demanda das municipais, na faixa horária simulada.

A alta ocupação da área de espera nesta faixa horária é esperada, já que, por ser o pico da tarde, espera-se maior concentração de viagens com destino aos bairros, ou seja, viagens de retorno ao domicílio. No entanto, a ocupação das plataformas municipais é baixa, ao longo de toda a hora simulada. A Figura 4.23 mostra a plataforma municipal A, no momento 1040”, e a municipal B, no momento 1274”, com poucos passageiros aguardando ou circulando por elas. Neste caso, o efeito da calibração de pedestres não é relevante, pois não há conflitos significativos entre eles.

Como os resultados da simulação com os dados de projeto revelaram uma ocupação das plataformas municipais abaixo da sua capacidade, foram estudados cenários com acréscimos de demanda, até sua saturação. Observou-se que o mesmo problema da plataforma metropolitana passou a ocorrer nas municipais, ao aumentar a demanda de passageiros. A aglomeração sempre ocorre no início da área de espera, e não uniformemente distribuída ao longo dela, como era de se esperar. Mesmo com a alteração da distribuição de posição de embarques, para ocorrer na primeira porta, ou com a alteração das dimensões e posição da área de espera, para o ponto médio do comprimento da plataforma, não foi produzido o efeito desejado.

A possível razão para isso, além da falta de calibração do comportamento dos pedestres, é que o *software* parece não ser capaz de simular corretamente o posicionamento dos pedestres ao chegar à sua posição de espera, quando sua rota de chegada é paralela às portas do ônibus, como ocorre na estação de corredor, ou quando a área de espera é estreita.



Figura 4.23 – Ocupação das plataformas municipal A aos 1040”(acima) e municipal B aos 1274”(abaixo)

No exemplo do manual do VISSIM, a rota de chegada é perpendicular às portas e a área de espera é larga, como pode ser visto na Figura 4.24.

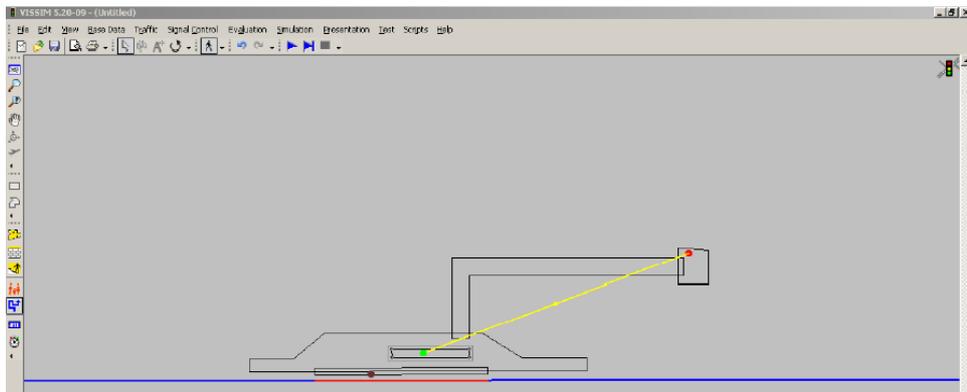


Figura 4.24 – Rota de chegada na área de espera no exemplo do manual do VISSIM (PTV, 2012, p. 511)

Assim, os cenários simulados para identificar as demandas máximas para as plataformas não foram conclusivos.

4.7.3 Simulação do elemento Sistema de atracagem

A forma encontrada de estudar a atracagem no VISSIM foi a partir da variação dos parâmetros ‘tempo morto’ e ‘aceleração/desaceleração’. A sua influência no espaçamento das plataformas não pode ser avaliada completamente por *softwares* do mesmo tipo, pois não há como calibrar a capacidade de manobra dos veículos. Importante notar que a pesquisa com especialistas também revelou que esse elemento não foi incluído nos modelos de simulação, provavelmente justificado por essa dificuldade.

Para testar esse elemento, foram gerados cenários, sem a simulação de pedestres pelo VISWALK, ou seja, com o modelo avançado de pedestres, incluindo a redução de velocidade na aproximação dos ônibus na estação. Foi adotado o elemento de rede do VISSIM, denominado *reduced speed area*, ou área de redução de velocidade. Segundo o manual, ao se aproximar da área de redução, o veículo reduz sua velocidade atual, a fim de atingir a velocidade inferior especificada, com uma desaceleração cujo valor também é especificado pelo usuário. O efeito no perfil de velocidade do veículo ocorre quando ele passa pelo início da área.

Para cada parada, no trecho de faixa de trânsito que a antecede, foi lançada uma área de redução para afetar a velocidade dos ônibus ao se aproximar da plataforma. Os parâmetros calibrados para este elemento de rede do VISSIM são:

- VehClass - Classe de veículo afetada pela área de redução de velocidade, no caso, os ônibus;
- DesSpeedNo (Min-Max) – Distribuição de velocidades do veículo ao percorrer a área, com seus valores mínimo e máximo, em km/h;
- A (m/s^2) – aceleração máxima adotada para reduzir a velocidade aos valores da distribuição. No caso, a aceleração é negativa, ou seja, desaceleração, por se tratar de redução de velocidade.
- Comprimento da área: medida em relação à posição de parada do ônibus.

A faixa de velocidades citada pela bibliografia é de 10 km/h a 15 km/h, para a manobra como um todo. No entanto, a distribuição de velocidades desejadas dos ônibus foi calibrada com os valores observados nas manobras do MOVE, em viagens realizadas na semana do início da operação comercial. Cerca de 20 metros antes do estribo da estação, observou-se uma velocidade de 15 a 20 km/h e, ao longo do estribo, a velocidade de 5 a 10 km/h. Assim, foram inseridas áreas de redução de velocidades em frente ao estribo e antes da posição de parada, com comprimentos que somam 20 metros, e as distribuições de velocidades acima. A desaceleração máxima foi calibrada com o valor medido nos ônibus convencionais, ou seja, $1,62 \text{ m/s}^2$.

Foram gerados dois cenários, um com estas áreas de redução, denominado SEM-PONTE, e outro, sem a restrição, denominado COM-PONTE, simulando veículos que adotam ponte basculante. Conforme averiguação visual feita entre a manobra de parada dos ônibus de Curitiba e os ônibus de Belo Horizonte, além das constatações da bibliografia, a existência da ponte faz com que não haja redução de velocidade maior que para uma operação de parada em sistema convencional.

Foi testada a aderência entre as curvas de velocidade em função do tempo, para as medidas nos ônibus de Belo Horizonte e para os resultados da simulação, obtidos do relatório *Vehicle record* do VISSIM. Estes resultados foram extraídos do cenário ATRAC-COMPONTE de dez viagens, cujos veículos foram selecionados aleatoriamente na simulação. As curvas de valor máximo e mínimo referem-se aos valores medidos em campo, somando e subtraindo o desvio-padrão da média. A Figura 4.25 mostra o comparativo para o trecho em desaceleração e a Figura 4.26 apresenta o trecho em aceleração.

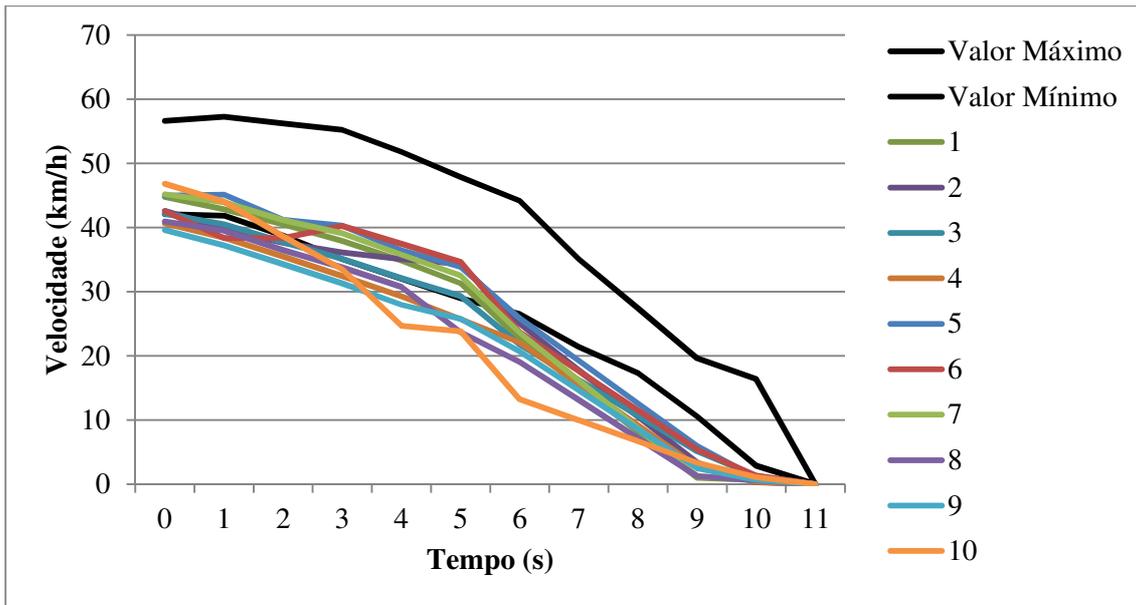


Figura 4.25 - Comparativo de desaceleração para valores de campo e resultados da simulação para o cenário ATRAC-COMPONTE

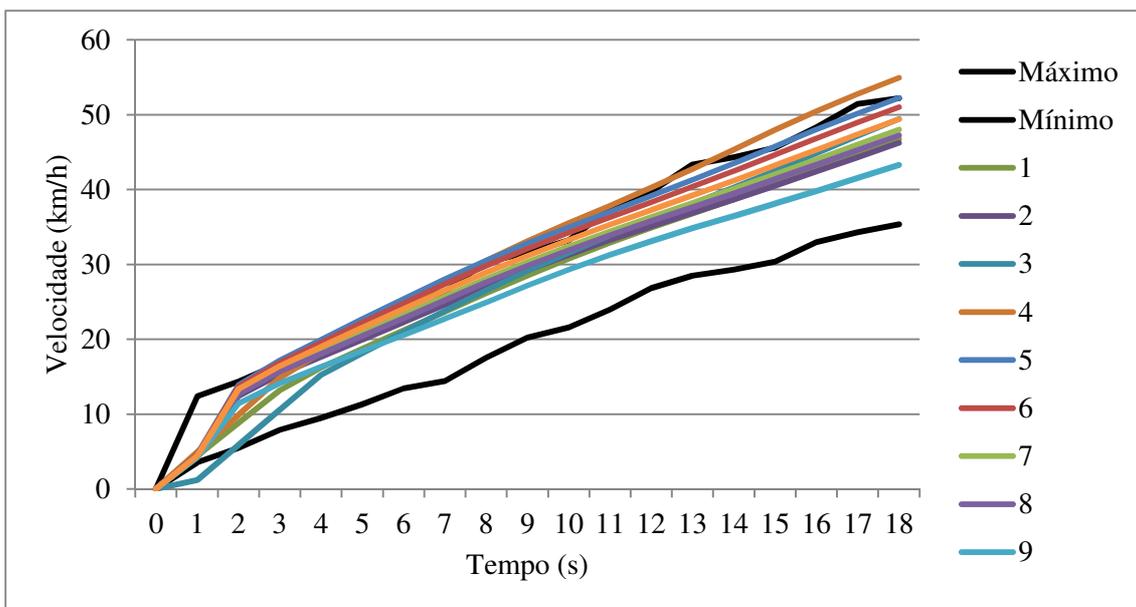


Figura 4.26 - Comparativo de aceleração para valores de campo e resultados da simulação para o cenário ATRAC-COMPONTE

Os resultados comprovam uma aderência satisfatória da simulação com a situação real, considerando os fatores que limitam a maior aproximação dos valores, como a diferença de potência e tamanho dos veículos, a lotação, o comportamento do motorista e a declividade da pista. Considera-se adequado que a simulação da chegada à estação apresente velocidades menores que as medidas de campo, devido à presença de ônibus simulados maiores que os reais. No caso da saída da estação, as velocidades simuladas se aproximaram mais das

medidas de campo. Dessa forma, admitiram-se válidos os resultados da simulação. Para uma análise global da rede, os dois cenários foram comparados em função dos tempos de viagem. Inicialmente, as seções de medição de tempo foram colocadas nos dois sentidos da via, 84 metros antes e 197 metros depois da estação, que correspondem às distâncias máximas determinadas pelos dados de campo (Tabela 4.19). Porém, os resultados da simulação revelaram que a desaceleração dos veículos do cenário ATRAC-SEMPONTE inicia a uma distância maior da estação. Dessa forma, o início de cada seção foi corrigido para 150 metros antes da estação. O tempo médio de viagem foi calculado com base em todos os veículos que percorreram o trecho especificado, nos dois sentidos da via, selecionados a partir dos quinze minutos iniciais, até o final da hora. Foram excluídos os veículos das linhas diretas, para os quais a parada não interfere. A Tabela 4.20 apresenta o comparativo desses cenários.

Tabela 4.20 – Comparativo de tempo de viagem para os cenários simulados – veículos com e sem ponte de embarque

Cenário	Total de veículos que passaram pela rede	Tempo (s)	
		Média	Desvio
ATRAC-COMPONTE	145	74,5	15,2
ATRAC-SEMPONTE	146	84,4	16,5
Diferença		9,9	

Conclui-se, portanto, que a diferença de tempo de viagem entre ônibus que adotam a ponte de embarque e ônibus que não as adotam é, em média, de 9,9 segundos, para ônibus que percorreram o trecho da estação, nos últimos 45 minutos da hora simulada.

Para inferir especificamente sobre o tempo morto, foram extraídos os dados equivalentes aos das medidas de campo, conforme apresentado na seção 4.5.5, através dos cenários simulados ATRAC-SEMPONTE e ATRAC-COMPONTE. Os tempos de desaceleração e aceleração foram medidos apenas para ônibus que chegam e partem da plataforma metropolitana, respectivamente, a fim de eliminar a influência das demais plataformas. Os dados estão apresentados na Tabela 4.21.

Tabela 4.21 - Comparativo de tempos de desaceleração e aceleração para os cenários simulados – veículos com e sem ponte de embarque

Cenário	Desaceleração (s)		Aceleração (s)	
	Média	Desvio	Média	Desvio
ATRAC-COMPONTE	21,3	1,2	19,1	1,0
ATRAC-SEMPONTE	25,2	1,7	18,8	0,8

Observa-se que o tempo de aceleração é, na prática, igual para os dois sistemas, pois se admitiu que não há diferença na manobra para os dois sistemas de atracagem. A diferença de tempo se deve à aleatoriedade dos veículos selecionados para a medida.

Refazendo os cálculos do tempo morto médio, segundo o Manual de BRT, para os dois sistemas de atracagem, usando os resultados da simulação e os tempos de abertura e fechamento de portas e pontes medidos em Curitiba e no BRT MOVE para calcular o tempo de manobra total (ver seção 4.5.5), têm-se:

Tempo de manobra total com ponte = $21,3 + 2,8 + 3,1 + 19,1 = 46,3$ segundos;

Tmorto com ponte = $46,3 - 14,8 = 31,5$ segundos.

Tempo de manobra total sem ponte = $25,2 + 2,0 + 2,0 + 18,8 = 48,0$ segundos;

Tmorto sem ponte = $48,0 - 14,8 = 33,2$ segundos

Os resultados acima sugerem, portanto, que um sistema de atracagem que não utiliza a ponte de embarque introduz maiores atrasos às viagens, com uma média de 1,7 segundo por parada, contrariando o senso comum, que afirma o contrário. De fato, é provável que o tempo adicional gasto pelo acionamento da ponte seja compensado pela rapidez da manobra do veículo que a possui. Além disso, a diferença do resultado acima para o valor do parâmetro tempo morto usado no projeto (20 segundos) é de 13,2 segundos, ou 66% maior. É necessário ressaltar que esta diferença deve ser multiplicada por todas as paradas realizadas no corredor, para avaliar o impacto global no tempo de viagem da linha completa que, logicamente, produz um efeito em cascata no dimensionamento das estações e em toda a operação.

4.7.4 Simulação do elemento Tamanho do ônibus

Os cenários de variação do tamanho do ônibus tiveram o objetivo de avaliar, para a demanda de projeto, qual seria o efeito dessa alteração na operação da pista. A variação do cenário tamanho do ônibus foi feita a partir do projeto original, transformando os ônibus Padron em equivalentes de articulados, e vice-versa.

Como já mencionado, serão adotados três tipos de ônibus: Articulado-BRT, Articulado-MISTO e Padron. A informação sobre a capacidade nominal de cada um não foi exata, pois ainda não estavam definidas pela BHTRANS as carrocerias que seriam adquiridas pelas empresas operadoras. Segundo as informações inicialmente cedidas pela equipe de projeto, os

articulados com portas somente à esquerda possuiriam capacidade para 120 passageiros, e os com portas em ambos os lados transportariam 144 passageiros, enquanto os Padron teriam capacidade para 100 passageiros. A justificativa para o fato do articulado com portas dos dois lados ter maior capacidade seria em função da possibilidade de ocupação dos espaços das portas por passageiros em pé. Embora alguns leiautes internos consultados e as respostas das pesquisas com especialistas tenham revelado capacidades diferentes, estes dados foram os adotados na simulação. Dessa forma, as linhas tiveram sua frequência alterada em função da capacidade do veículo adotado em cada cenário. Por exemplo, no cenário TAMANHO PADRON, em que todos os ônibus são Padron, as linhas que usavam o articulado misto tiveram suas frequências multiplicadas por 1,44, e as linhas que usavam o articulado BRT tiveram suas frequências multiplicadas por 1,20. De modo análogo, o cenário TAMANHO ART foi criado, substituindo os ônibus Padron por ônibus articulados, ou seja, dividindo a frequência das linhas por 1,44. Também foi criado o cenário TAMANHO BIART, no qual todos os veículos foram substituídos por ônibus biarticulados. Considerou-se a capacidade desse tipo de veículo de 180 passageiros e comprimento de 21 metros, conforme informações da pesquisa sobre o Transoeste. O objetivo deste cenário foi avaliar as condições de operação desse veículo nas estações, que foram projetadas para o veículo de comprimento máximo de 19 metros.

Obviamente, a escolha do tamanho do ônibus envolve questões diversas, como a sua adequação ao restante do itinerário, à demanda da linha e critérios dos operadores. No entanto, o objetivo aqui era avaliar como esta escolha se reflete na operação da estação de corredor.

Visualmente, pela animação dos cenários TAMANHO-PADRON e TAMANHO-ART, percebe-se uma sutil diferença nas condições de operação da pista. A Figura 4.27 mostra os dois cenários, com aproximadamente 36 minutos de simulação.

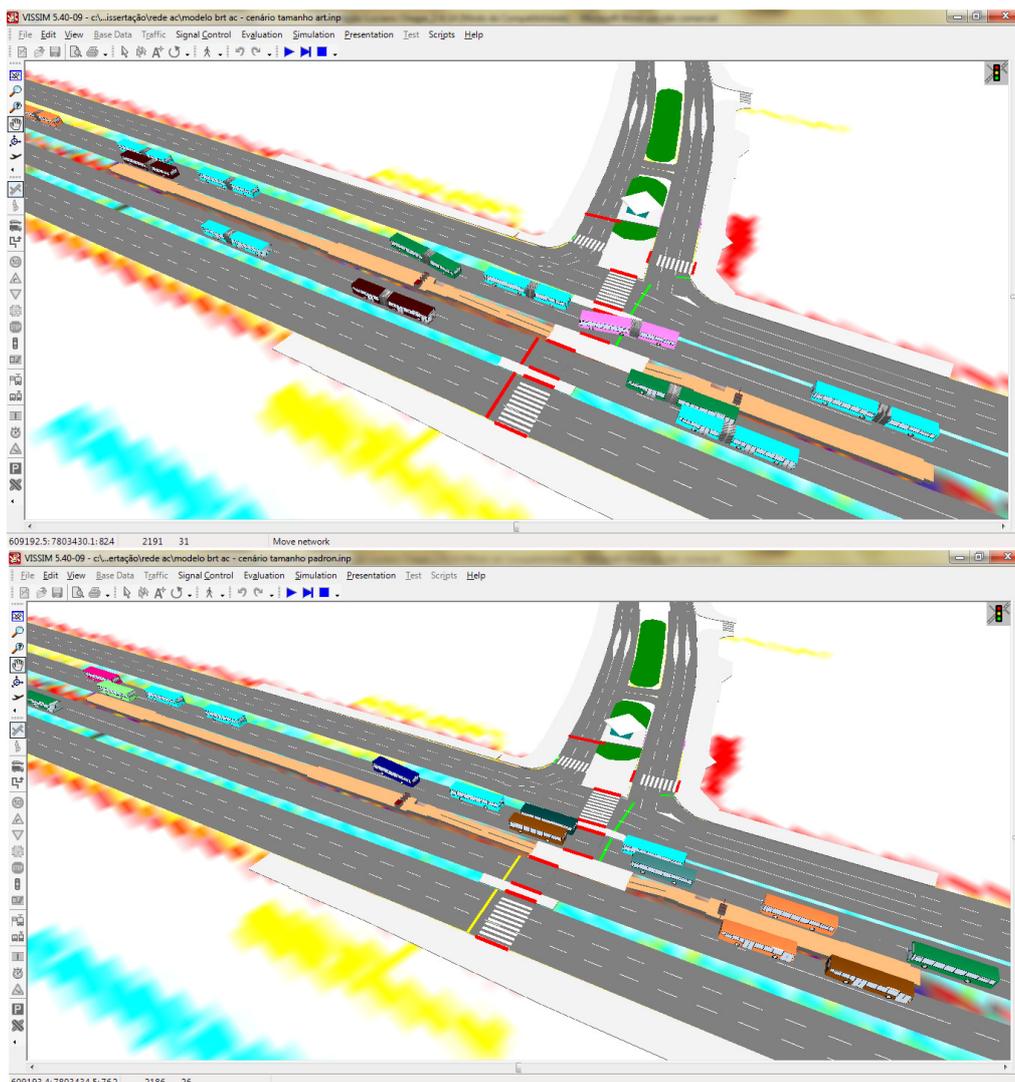


Figura 4.27 – Cenário TAMANHO-ART (acima) e TAMANHO-PADRON (abaixo) aos 36 minutos

Já os relatórios do VISSIM revelaram os resultados contidos na Tabela 4.22, que compara o tempo médio de viagem para percorrer o trecho da estação, nos dois sentidos da via, durante os últimos 45 minutos da hora simulada.

Tabela 4.22 - Comparativo de tempo de viagem para os cenários simulados – veículos Padron e articulados

Cenário	Total de veículos que percorreram o trecho	Tempo (s)	
		Média	Desvio
TAMANHO-PADRON	186	86,7	18,6
TAMANHO-ART	123	79,4	18,2
Diferença	63 (34%)	7,3 (8%)	

Pode-se concluir que, para o trecho e o intervalo de tempo considerado, o uso de articulados reduz o tempo de viagem, em média, em 7,3 segundos, ou 8%, com 63 veículos a menos. A redução de tempo de viagem está relacionada à ocupação da via: com um número maior de veículos, o tempo de percurso aumenta. O efeito acumulado para todas as estações do corredor pode acarretar em um acréscimo de frota, aumentando as desvantagens do uso de veículos menores.

4.7.5 Simulação do elemento Posição das portas da estação

As portas da estação no VISSIM são definidas indiretamente pela posição das portas dos ônibus. A partir da posição que o veículo para na pista, determinada pela localização do *PT Stop*, as transferências dos passageiros ocorrem somente a partir das suas portas, não sendo necessário lançar nenhum outro elemento na rede para simular as portas da estação. Para variar a posição das portas da estação, basta alterar a posição da parada dos ônibus na pista.

Na entrada das plataformas municipais, observou-se que, como a posição das portas de acesso aos ônibus é próxima das catracas, ocorre a concentração de passageiros aguardando o embarque próximos à primeira catraca, causando sua obstrução e conseqüente travamento da simulação de pedestres. Mais uma vez, apesar da deficiência de calibração do comportamento do pedestre, o resultado indica que deve ser evitada a colocação da porta da estação próxima das catracas. O problema não ocorreu na plataforma metropolitana, porque nesta supôs-se que não há embarques na parada sentido centro, a mais próxima das catracas. O motivo é que, pela suposição adotada, as linhas metropolitanas têm tarifa maior que as municipais e, portanto, nenhum usuário as usa para ir ao centro.

A avaliação conclusiva da posição das portas da estação foi comprometida, em função dos problemas na simulação dos pedestres. Por esse motivo, não foram estudados cenários variando esse elemento.

4.7.6 Simulação do elemento Acesso

Para simular o caminhamento dos pedestres ao acessar a estação, foi criado um total de seis rotas de desembarque, sendo cada uma com origem em cada borda de plataforma e destino no canteiro central da avenida. A partir daí, foram criadas duas rotas, tendo como seus destinos as duas calçadas da avenida: oeste, lado do *campus* da UFMG; leste, lado oposto. As rotas de

embarque foram criadas através de matriz de origem-destino, com origens nestas mesmas calçadas, e destinos nas áreas de embarque correspondentes a cada berço da estação: municipais A e B e metropolitanos, sentido centro e bairro. A divisão da rampa de acesso, onde há um corrimão intermediário, também demandou a inclusão de rotas parciais de subida e descida, para a modelagem correta do fluxo de pedestres. Sem essas rotas, os pedestres sempre escolhem o caminho mais curto, causando maior ocupação de um lado da rampa que do outro, de modo irreal.

O fato é que essa quantidade de rotas incluídas no modelo, somadas às de embarque e desembarque, e de entrada e saída pelas catracas, o tornou excessivamente carregado, e foi acusado por mensagens de advertência do próprio VISSIM, causando demora, repetidos travamentos e erros de processamento. A Figura 4.28 mostra todas as rotas de pedestres definidas no modelo, sem contar as rotas parciais.

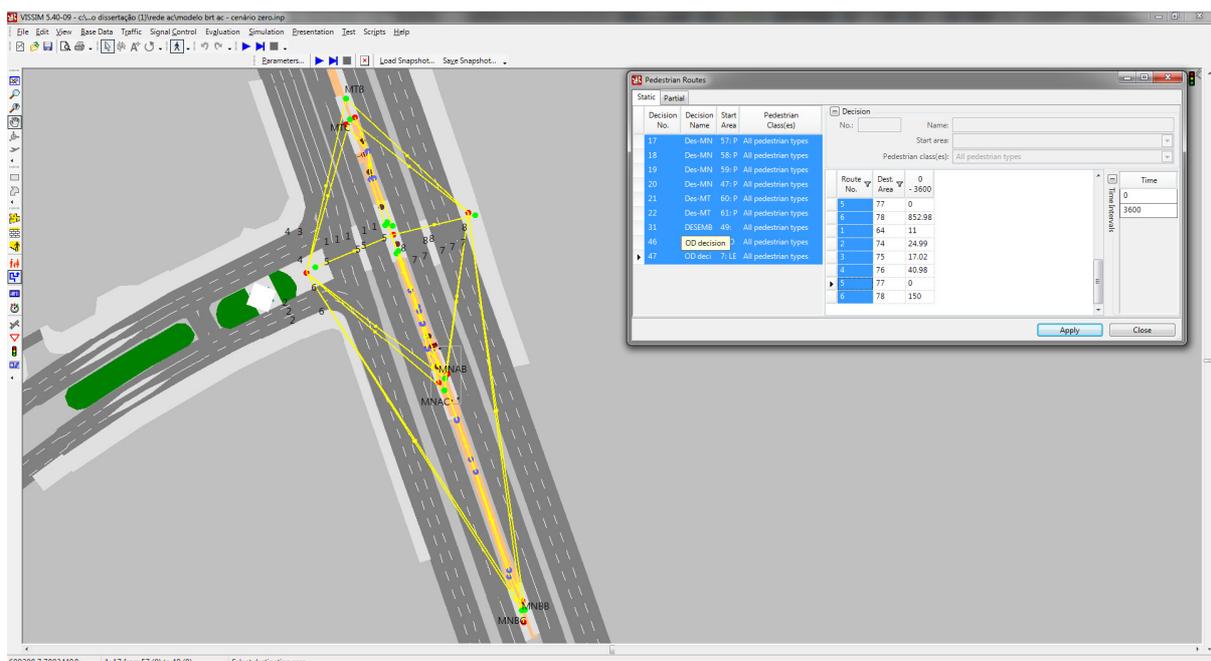


Figura 4.28 – Rotas estáticas de pedestres na estação

Foram gerados três cenários, ACESSO1, ACESSO2 E ACESSO3, a partir do cenário PLATAFORMA, sendo um para cada configuração mostrada na Figura 4.29, Figura 4.30, e Figura 4.31.



Figura 4.29 – Configuração da rampa no cenário ACESSO1



Figura 4.30 – Configuração da rampa no cenário ACESSO2



Figura 4.31 – Configuração da rampa no cenário ACESSO3

Foram adotados valores de velocidades de pedestres pesquisados por Gualberto *et al.* (2013), para representar o percentual de usuários com mobilidade reduzida. Os autores concluíram que estes pedestres desenvolvem velocidades médias de 0,69 m/s, sendo o valor mínimo encontrado de 0,43 m/s, no caso específico estudado. Como não era o objetivo do presente

trabalho explorar a calibração de pedestres, os valores foram adotados como uma mera referência. Além disso, arbitrou-se como 10% o percentual desse tipo de pedestre.

As simulações com a demanda de projeto demonstraram que o cenário ACESSO1 produz os melhores resultados para a fluidez dos pedestres, apesar da divisão da rampa pelo corrimão causar conflitos entre os pedestres com direções opostas. Comparando os outros dois cenários, cujas configurações de rampas e escadas são aplicáveis nos casos em que a inclinação da pista não admite a colocação de uma rampa única, conclui-se que o ACESSO2 apresenta maior organização dos caminhamentos e redução dos conflitos, pois separa o fluxo das pessoas com mobilidade reduzida, que usam as rampas, das demais, que usam as escadas.

4.7.7 Simulação do elemento Catraca

Apesar do baixo grau de importância atribuído pelos especialistas a esse elemento, optou-se por considerá-lo na simulação, uma vez que a ausência das catracas poderia comprometer os resultados da análise.

Foram simuladas duas configurações: catracas funcionando simultaneamente para entrada e saída, como no BRT Mío, e catracas com sentido fixo, sendo duas no sentido de maior demanda e uma no sentido contrário. Para tanto, delimitaram-se áreas de pedestres onde se localizam as catracas e atribuiu-se um tempo de permanência, medido no Trem Metropolitano, correspondente ao tempo gasto pelo usuário para transpô-las. Como o tempo de entrada é maior que o tempo de saída, em função do pagamento da tarifa, foi necessário definir um par de áreas para cada catraca, com seus respectivos os tempos de permanência, relativos à passagem dos pedestres entrando ou saindo.

As rotas totais de entrada e saída dos pedestres foram geradas através de uma matriz de origem/destino dos passageiros, cujas demandas foram obtidas dos dados de projeto. Um ponto intermediário de cada rota de pedestres, de entrada ou de saída, foi colocado na respectiva área de cada catraca. Inicialmente, quatro origens de pedestres – nordeste, noroeste, sudeste e sudoeste – foram criadas para dar realismo ao caminhamento até a estação. Como a simulação estava muito lenta, as origens foram transformadas em apenas duas: leste e oeste, buscando tornar o modelo mais leve. No entanto, não se obteve melhora perceptível no desempenho da rede.

Este elemento foi o que demandou o maior esforço de calibração e os piores resultados. O método de calibração do tempo de passagem dos usuários pelas catracas no VISSIM não se mostrou adequado, principalmente para representar catracas que funcionam simultaneamente para entrada e saída, como no BRT Mio. Quando ocorre uma maior aglomeração nas áreas das catracas, os pedestres se mostram incapazes de se organizarem para ceder a vez aos demais, causando a obstrução da passagem. Além disso, alguns pedestres não seguem suas rotas e tentam voltar ao ponto de origem. O efeito em cascata é inevitável e a aglomeração só tende a aumentar, à medida que chegam mais pedestres tentando atravessar a área. O estágio da etapa de carregamento, que consistiu em pesquisar soluções para esse problema, levou à conclusão que todos os esforços no sentido de minimizar as inconsistências falharam, como:

- Calibração do tempo de permanência (*dwell time*) na área das catracas;
- Uso do atributo *queuing* na área das catracas – definição da formação da fila, no sentido da criação da área;
- uso do chamado potencial dinâmico (*dynamic potencial*) – faz com que os pedestres atualizem seu percurso com base na avaliação das condições das rotas pré-definidas, a cada passo de simulação, por critérios;
- alteração do método de escolha de rotas parciais – pode ser por percentual fixo de fluxo por cada sub-rota, por tempo de viagem com base em quatro métodos distintos, por definição de ponto obrigatório de passagem (*service point selection*) com base em número de pessoas em fila;
- alteração dos parâmetros comportamentais nos arquivos de configuração (*parameter sets*), mencionados anteriormente;
- edição das rotas totais e parciais de pedestres, com alteração dos pontos de origem, destino e intermediários.

Com o atributo *queuing* ativado, a entrada dos pedestres na estação se mostrou irreal, com a acumulação deles no patamar que antecede a porta de entrada. Foram feitos testes com esse atributo somente em uma das catracas e nenhum fluxo de ônibus, ou seja, sem fluxo de pedestres saindo da estação. Quando se coloca o *dwell time* para representar o tempo de passagem pelas catracas, alguns pedestres que as transpõem ficam tentando voltar por elas, obstruindo assim a passagem e causando a aglomeração irreal da entrada da estação. O

problema se agrava com o uso do potencial dinâmico, que, segundo o próprio manual, requer mais tempo para ser processado ou pode gerar um comportamento irreal, dependendo do valor dos parâmetros. A alteração dos parâmetros comportamentais foi feita por tentativa e erro, já que a explicação do seu efeito no manual não é compreensível. Por fim, a edição das rotas ocorreu inúmeras vezes, para resolver o problema de desaparecimento e fuga dos pedestres da rede.

Assim, todos os demais cenários foram criados sem as catracas, concluindo-se que esse elemento não pôde ser analisado com o *software* VISSIM, devido à falta de detalhamento dos procedimentos de calibração citados.

4.8 Avaliação do projeto do BRT MOVE

Nesta seção, são avaliados e discutidos os critérios de definição de cada elemento de projeto selecionado, em função dos referenciais adotados: o projeto do BRT MOVE, as pesquisas com especialistas, as medições de parâmetros e as simulações.

4.8.1 Plataforma

De acordo com a bibliografia, deve ser calculado o número máximo de passageiros previstos na espera (F_{max}), pelo somatório das razões entre o fluxo de embarques em cada linha e sua frequência (Equação 2.1, seção 2.2.1). Como os embarques de cada linha não foram fornecidos, assumiu-se que são proporcionais à frequência da linha, cujos valores estão mostrados na Tabela 4.23. Assim, considerando o número máximo de dois passageiros/m², são definidas as áreas mínimas de espera para cada plataforma:

- $A_{minesp-A} = 3 \text{ m}^2$;
- $A_{minesp-B} = 3 \text{ m}^2$;
- $A_{minesp-M} = 5 \text{ m}^2$.

Estas áreas, divididas pelo comprimento da área de espera, que é considerada igual ao comprimento do ônibus, ou seja, 18 metros, resultam em larguras de 0,16 m e 0,27 m, valores parciais que compõem a largura total.

Tabela 4.23 – Determinação do número de embarques com base na frequência da linha

Embarques totais/h	Linha	Plataforma	Frequência (vg/h)	Embarque por linha/h	Embarque por plataforma/h	Frequência por Frequência (vg/h)	F_{max}
624	63	Munic. A	13	75	237	41	6
	68		12	69			
	6350		7	40			
	5106		9	52			
	51	Munic. B	17	98	387	67	6
	52		32	185			
	5451		9	52			
	5250		9	52			
1.003	2	Metrop.	10	102	1.003	98	10
	6		16	164			
	13		15	154			
	17		16	164			
	24		7	72			
	31		9	92			
	32		9	92			
	34		7	72			
36	9	92					

Para o cálculo da largura de circulação, é considerado o fluxo total de passageiros circulando pela plataforma, durante o período mais carregado, ou seja, a soma de pessoas embarcando e desembarcando (Equação 2.3). Vale salientar que na plataforma municipal A, devem ser somados os embarques e desembarques da municipal B, já que o acesso desta é feito através da primeira. A divisão dos desembarques totais por estas duas plataformas também foi feito com base nas frequências das linhas. Portanto, têm-se as seguintes larguras de circulação de passageiros em cada plataforma (L_{circ}):

- $L_{circ-A} = 1.245/2.000 = 0,62$ m;
- $L_{circ-B} = 772/2.000 = 0,39$ m;
- $L_{circ-M} = 1.003/2.000 = 0,50$ m.

Assim, da Equação 2.4, as larguras totais das plataformas, sem considerar portas defasadas, ou seja, a pior situação, são:

- $L_{plat-A} = 1,0 + 0,16 + 2 \times 0,62 = 2,40$ m;
- $L_{plat-B} = 1,0 + 0,16 + 2 \times 0,39 = 1,94$ m;

- $L_{plat-M} = 1,0 + 0,27 + 2 \times 0,50 = 2,27$ m.

Estes cálculos referem-se a valores médios para a hora. Pela recomendação da bibliografia, o período de análise deve ser os 15 minutos mais carregados na hora de pico. Como não há pesquisas para a definição da demanda desse período, os dados acima devem ser majorados. No entanto, mesmo que a majoração fosse feita, percebe-se que cálculo pelo referencial teórico resulta em larguras menores que a disponível na estação, que é de 5,00 m, e também em áreas de espera de 17 a 35 vezes menores que as definidas no projeto, que são de 53 m², 106 m² e 125 m² (Tabela 4.1). De fato, o método de cálculo do projeto assume que 25% da demanda total de passageiros da estação ocupará as plataformas ao mesmo tempo. Isso equivale a admitir que a estação permaneceria 15 minutos sem receber nenhum ônibus e, ao fim deste intervalo, todos eles chegariam simultaneamente na estação, realizando todos os desembarques, o que não é nada razoável. Os resultados da simulação comprovam que a área das plataformas atende com folga a demanda de passageiros.

Além destes aspectos do método de dimensionamento, outros relacionados à definição das plataformas foram ressaltados. O fato das estações serem concebidas como estações de transferência, ou seja, possibilitarem a troca dos passageiros entre as linhas de outras redes que por elas passam, cria um complicador: a demanda real destas estações se torna, em parte, imprevisível, pois não se sabe em quais estações os usuários farão a troca de linha, nem quais as linhas de destino.

Outro fator negativo do modelo operacional das estações é que o acesso para as duas plataformas municipais é único, fazendo com que o fluxo de passageiros com origem ou destino à plataforma B passe pela área da plataforma A. Nesta, ocorrerão conflitos entre os passageiros que por ela embarcam ou desembarcam, e também entre aqueles que aguardam seu ônibus e aqueles que precisam acessar ou sair da plataforma B, o que certamente constituirá um gargalo em estações de elevada demanda. No método de dimensionamento usado, percebe-se que não foi considerado esse efeito da circulação das pessoas, como indica a bibliografia. Vale comparar este esquema operacional com o das estações-tubo de Curitiba, nas quais os desembarques ocorrem na área externa, por portas específicas, ou em plataformas específicas para desembarque, não havendo conflito entre os fluxos de entrada e saída.

Por esses motivos, ou um modelo de fluxo de pedestres, devidamente calibrado, deve ser adotado para simular a operação das plataformas, ou uma majoração da área calculada deve ser aplicada, considerando o efeito de todos esses fatores.

4.8.2 Sistema de atracagem

A preocupação em controlar o alinhamento e o espaço máximo entre o veículo e a plataforma está presente nas diretrizes operacionais dos sistemas pesquisados. O manual de operações do sistema Megabús (LOGITRANS, 2007), da cidade de Pereira (Colômbia), traz como recomendação garantir, ao mesmo tempo, que as estações não sejam atingidas, e que o acoplamento dos ônibus nas estações sempre tenha o menor espaço possível, para que não haja acidentes com passageiros durante o embarque e desembarque. Interessante que o manual define que, se o espaçamento máximo de 15 cm não for respeitado, o motorista deve ser punido, mas não menciona nenhum dispositivo ou procedimento, por parte do operador do sistema, para auxiliar a manobra. Já o manual de operações do Transmilenio (ALCADÍA MAYOR, 2010) indica a colocação de tachões no pavimento, junto às estações, para impedir que o veículo se choque com o estribo da estação, ao se aproximar dela. Além disso, são colocadas bandeiras, fixadas às estações, de modo que, se o veículo se aproximar muito do estribo, o retrovisor atinge a bandeira, alertando o motorista da distância limite, como mostra a Figura 4.32.

Da mesma forma, a pesquisa revelou que, no Transoeste, também são usadas bandeiras afixadas na estação e tubos de aço no pavimento, para manter os pneus na trajetória correta e evitar a colisão com a estação. Além disso, esses sistemas adotam borrachas fixadas na lateral do estribo, para minimizar o efeito de possíveis choques com a lateral dos ônibus.

O sistema de atracagem do BRT de Belo Horizonte será do tipo manual, sem ponte. Neste aspecto, não só pesaram as referências dos sistemas em operação visitados pela equipe de tomada de decisão da BHTRANS, dos quais o de Curitiba não fez parte, mas também a suposição de que o uso da ponte basculante nos veículos introduziria atrasos significativos na operação do sistema. Além disso, a posição contrária ao uso da ponte foi justificada pela hipótese de que este dispositivo introduziria aumento de custos operacionais e que haveria, conseqüentemente, rejeição por parte das empresas operadoras.

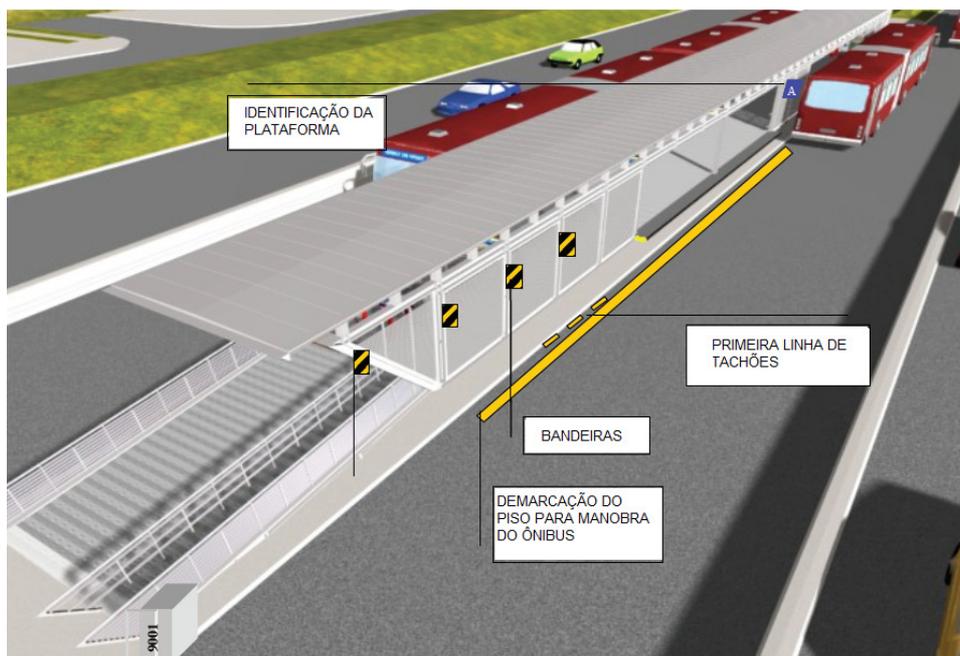


Figura 4.32 – Dispositivos de auxílio à atracagem no Transmilenio (adaptado de ALCADÍA MAYOR, 2010)

Assim como no Transmilenio e no Transoeste, foram projetados elementos que pudessem auxiliar a atracagem dos ônibus nas estações. No caso do BRT MOVE, é compreensível que o cuidado em evitar a colisão dos ônibus com o estribo da estação tenha sido ainda maior, uma vez que este estribo é a continuação da laje de piso da estação, ao contrário de outros sistemas, nos quais este componente possui estrutura deformável. A Figura 4.33 mostra a estrutura de um estribo novo e um atingido por um ônibus, no sistema de Cali, e a estrutura do estribo do sistema MOVE.



Figura 4.33 – Estruturas dos estribos adotados no BRT de Cali (novo à esquerda e danificado ao meio) e no BRT MOVE (direita)

O estudo desenvolvido para a atracagem do BRT MOVE especificou os seguintes elementos: dispositivos de orientação do alinhamento longitudinal, para regular o espaço entre o ônibus e

a plataforma; pinturas de orientação da aproximação e da saída dos ônibus da posição de parada e; marcas de orientação do alinhamento vertical, para disciplinar o alinhamento das portas dos ônibus com as da estação.

Ciente dos problemas ocorridos nos sistemas BRT visitados, a BHTRANS decidiu adotar o dispositivo denominado segregador para auxiliar o alinhamento longitudinal, da forma que é usado nos corredores exclusivos de São Paulo, como o Expresso Tiradentes e o Pirituba-Lapa (Figura 4.34).



Figura 4.34 – Uso de segregador nas paradas de corredores exclusivos de São Paulo

Este dispositivo tem a vantagem de ser projetado para esse fim, o que não ocorre com os tubos metálicos, que podem danificar a superfície lateral dos pneus, ou os tachões, que se soltam após serem golpeados repetidamente.

O projeto original de atracagem previa a fixação do segregador em uma posição que constituísse uma guia para as rodas do ônibus, a fim de viabilizar o controle do espaço entre o estribo da estação e a carroceria do ônibus. Para definir a posição do dispositivo, foram obtidas as medidas possíveis da diferença da projeção vertical da carroceria e da borda externa dos pneus esquerdos, dianteiro e traseiros, para os ônibus que se enquadravam nos requisitos do manual de especificações dos veículos. As medidas foram fornecidas pelas encarregadoras que produzem os ônibus que seriam adotados no sistema. As dimensões de chassis e carrocerias variam em função do fabricante e do modelo de cada um, o que varia a distância entre a carroceria e o pneu do ônibus, em função da combinação desses dois elementos. Como esse aspecto não foi abordado pela especificação dos veículos, todas as combinações possíveis, de pelo menos cinco carrocerias e três chassis, precisaram ser

analisadas. Além disso, há diferença entre a bitola dos eixos de um mesmo chassi, sendo a do dianteiro e menor que a dos traseiros.

Outro fator considerado foi a declividade transversal da pista. Há duas configurações possíveis nos corredores do BRT MOVE: declividade para a lateral, que ocorre na maioria dos casos, e para o centro, que acontece no BRT Antônio Carlos, no trecho entre o Anel Rodoviário e o Complexo Viário da Lagoinha. Em geral, essa declividade é de 3%, que causa uma deflexão vertical da carroceria de aproximadamente 2,8 cm em relação ao plano vertical, na altura do piso da estação (0,95 m). Assim, a posição do segregador deve ser corrigida, somando ou subtraindo esse valor do espaçamento desejado da projeção vertical do estribo, para resultar no espaçamento desejado entre a carroceria e o estribo. A Figura 4.35 mostra os ensaios que foram feitos com os dados obtidos.

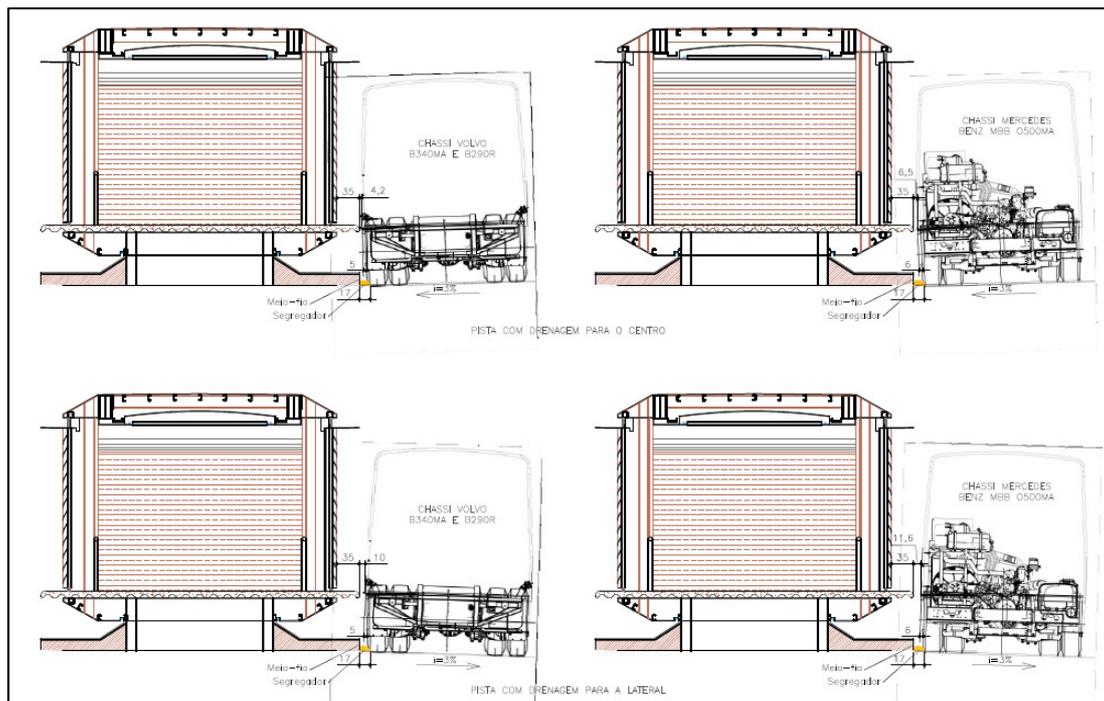


Figura 4.35 – Ensaios de posicionamento do segregador em função das dimensões dos ônibus e declividade transversal da pista

Com base nestas variáveis, concluiu-se que era possível uma posição que resultaria no intervalo de 8 a 13 cm de espaçamento entre a carroceria e o estribo, o que passou a ser adotado como diretriz de implantação dos segregadores.

Para definição da extensão e do posicionamento dos segregadores antes da estação, bem como dos demais elementos de orientação da manobra, foi usado um aplicativo destinado a teste de

manobras de veículos. Este aplicativo, denominado AutoTURN, funciona em plataforma CAD (*Computer Aided Design*) e permitiu traçar a trajetória dos ônibus diretamente sobre o projeto, em função das características geométricas de cada modelo e da sua velocidade. Foram modeladas quatro combinações críticas de chassis, sendo duas para ônibus articulados e duas para Padron, e a velocidade adotada foi de 15 km/h.

Por essas simulações, concluiu-se que deveria haver uma linha contínua de segregadores, começando a 15,0 m e terminando a 5,0 m do início da estação, com um ângulo capaz de corrigir a trajetória do pneu dianteiro para a posição especificada, garantindo o alinhamento prévio do ônibus. Entre 5,0 m e 2,0 m do início da estação, a linha seria interrompida, para dar espaço ao passagem do pneu traseiro, cuja trajetória avança sobre a do pneu dianteiro. A partir desse ponto, a guia formada pelos segregadores serviria somente aos pneus traseiros, ao longo de todo o estribo.

Uma curva de aproximação, pintada no pavimento, como a usada no Transmilenio, também foi especificada a partir dessa simulação. Com base em consulta a motoristas de ônibus, concluiu-se que essa curva deveria representar um meio-fio fictício, que é a referência à qual estão habituados. A curva foi definida para a situação mais crítica de distância entre paradas sucessivas. Para a saída, foi definida uma linha transversal pintada no pavimento, a 13 m do final do estribo, para indicar a posição onde o motorista poderia iniciar o esterçamento, sem atingir o estribo com o balanço traseiro do veículo. Esta distância corresponde ao comprimento do ônibus Padron, cuja trajetória do para-choque traseiro avança mais que a rótula dos veículos articulados. A Figura 4.36 mostra o projeto com a definição desses elementos.

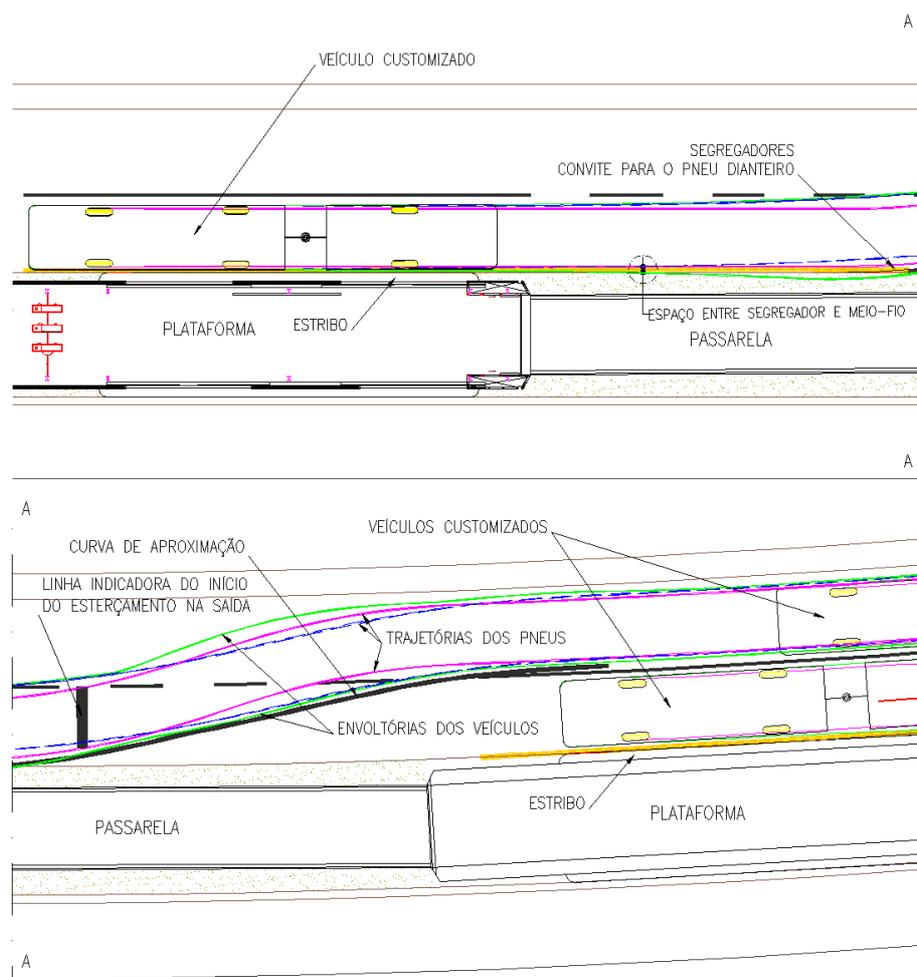


Figura 4.36– Projeto de definição dos elementos de auxílio à atracagem do BRT MOVE (BHTRANS, 2013)

Apesar de todos os esforços envidados, a diretoria de projetos alterou as especificações desses elementos, não sendo possível avaliar a eficiência do projeto. Pelo contrário, os motoristas relataram que a colocação invertida dos segregadores estava prejudicando a manobra dos ônibus, e que o atrito com os dispositivos repetidas vezes poderia causar danos permanentes aos pneus.

Para auxiliar o alinhamento transversal dos ônibus, ou seja, a coincidência das portas dos ônibus e da estação, a BHTRANS decidiu adotar marcas de referência na estação e nos ônibus, a exemplo dos sistemas citados anteriormente. Nas estações onde o ônibus para em frente à edificação, uma linha vertical colorida será fixada na parede da estação, em frente à janela esquerda do motorista, onde deverá ter uma linha da mesma cor. O número de cores corresponderá ao número de modelos de ônibus que apresentem distâncias diferentes entre a janela do motorista e a primeira porta do veículo. Ao parar o veículo, o motorista deve

assegurar que as linhas de referência estejam devidamente alinhadas, para que, conseqüentemente, as portas do ônibus estejam alinhadas às portas da estação. Nas estações onde o veículo parado, com alinhamento de portas, avança em relação à edificação, serão colocadas balizas na área entre o meio-fio e a passarela de transição ou a rampa de acesso à estação, com as respectivas cores de cada modelo de ônibus.

A solução de atracagem manual, escolhida para o BRT MOVE, foi importada de sistemas onde o relevo é predominantemente plano, e as estações são colocadas em tangentes. Em Belo Horizonte, a maior parte dos corredores possui greide ondulado, e eixo com predominância de curvas, o que fez com que muitas estações de corredor fossem implantadas em curvas verticais e horizontais. Isso faz com que a manobra de aproximação dos ônibus se dê em curva, dificultando o alinhamento do veículo junto ao estribo da estação e resultando em um espaçamento maior entre as suas últimas portas e o estribo. Soma-se a isso, o fato dos projetos executivos terem sido desenvolvidos de forma dissociada: um projeto para a pista e outro para a implantação de cada uma das estações. Conseqüentemente, não foi possível garantir a regularidade da altura da plataforma em relação à pista, pois, onde havia curva vertical ou diferença de nível entre as pistas dos dois sentidos, foi feita a compensação desta diferença ao longo do trecho em curva ou entre os dois lados da estação. Este aspecto prejudica o acesso de pessoas com mobilidade reduzida, principalmente os cadeirantes, pois a rampa manual de acesso ao ônibus não fica corretamente apoiada no piso da estação, onde este é mais alto que o piso do ônibus. Ademais, o fato da ponte ser manual, como já relatado anteriormente, introduz atrasos na operação e constrangimento aos que dela dependem.

O comparativo dos resultados da simulação, para os cenários COM-PONTE e SEM-PONTE mostrou, ainda, que o cenário no qual os ônibus possuem ponte produz um tempo médio de viagem 9,9 segundos menor, para percorrer o trecho da estação, e uma redução no tempo morto de 1,7 segundo, dados que ratificam as vantagens do uso da ponte também em termos de capacidade do sistema.

4.8.3 Tamanho do ônibus

O tamanho do ônibus articulado foi escolhido em função da orientação do Manual de BRT, que reconhece que o veículo de 18 m tende a ser um padrão. Além disso, pesaram na escolha os sistemas existentes que foram visitados, como o Transmilenio, o Mio, o Metrovia

(Guayaquil, Equador) e o Transoeste. No entanto, como já mencionado, ônibus Padron também serão adotados, em linhas de menor demanda e com itinerários onde o uso do articulado não é viável.

O item sobre capacidade de transporte do manual de especificações técnicas dos veículos do BRT MOVE traz a seguinte redação:

“O arranjo físico do salão de passageiros deve prever a ocupação total dos espaços disponíveis por bancos duplos. Entretanto, a distribuição de assentos também pode considerar, a critério da BHTRANS, a aplicação de bancos individuais ao longo do salão, como forma de otimizar a capacidade de transporte.”

O manual não menciona os limites máximo e mínimo de capacidade dos veículos, colocando apenas que a capacidade deve resultar da soma da ocupação de cinco passageiros em pé por metro quadrado, dos passageiros sentados e de uma “pessoa com deficiência”.

A indicação principal é por bancos duplos, e a consideração do uso de bancos individuais aparece como uma possibilidade. A pesquisa com especialistas revelou que esta é uma preocupação de todos eles, e que nos sistemas pesquisados já há a adoção ou busca por ônibus com filas de bancos simples para aumentar a capacidade. A Figura 4.37 apresenta a disposição dos bancos nos leiautes internos dos ônibus a serem usados no sistema.

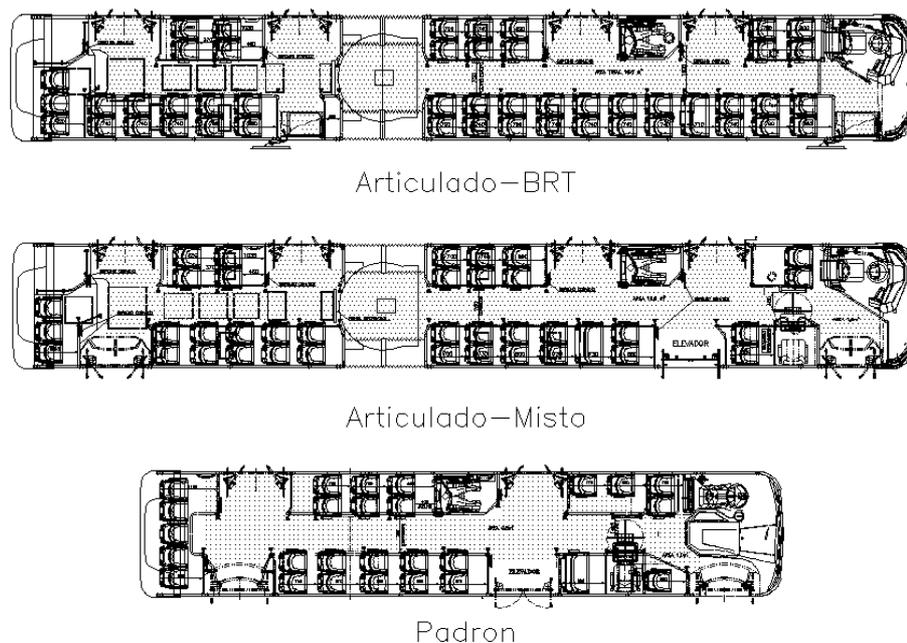


Figura 4.37 – Leiautes internos dos ônibus usados no BRT MOVE

Como já dito, serão usados três tipos de ônibus, articulado, com quatro conjuntos de portas à esquerda; articulado, com quatro conjuntos de portas à esquerda e dois conjuntos à direita e; Padron, com dois conjuntos de portas à esquerda e dois conjuntos à direita. A desvantagem da variedade de tipos de ônibus é que a aplicação do veículo torna-se limitada, uma vez que não se pode utilizar, por exemplo, um veículo com portas somente à esquerda em uma linha que demanda embarques à direita.

A definição pelo tamanho máximo do ônibus, de comprimento de até 19,0 metros, pode ter engessado o sistema de Belo Horizonte. O espaçamento entre paradas foi concebido para este comprimento, enquanto, pela resposta dos operadores e gerenciadores de sistemas existentes pesquisados, a busca por veículos maiores é uma constante, além de já existirem veículos biarticulados em operação. De fato, há uma possibilidade de crescimento da oferta, pela substituição dos veículos Padron, que são usados em 11 das 24 linhas do sistema e transportam 100 passageiros, por articulados de maior capacidade, que levam 144. A Tabela 4.24 apresenta a oferta atual do corredor, de acordo com os dados de projeto, e a oferta teórica, com o uso desse veículo.

Tabela 4.24 – Oferta de projeto do BRT Antônio Carlos e oferta teórica com uso de somente ônibus articulados

Viagens/h	Tipo de veículo	Capacidade (pass)	Oferta (pass/h/sent.)
100	Padron	100	10.000
74	Articulado Misto	144	10.656
44	Articulado BRT	120	5.280
		Total	25.936 ¹
218	Articulado	144	31.392 ²

1. Oferta atual (projeto)

2. Oferta teórica

De modo simplificado, convertendo-se todos os ônibus do projeto para articulados de 144 passageiros, o aumento da oferta no BRT Antônio Carlos, na hora-pico, seria da ordem de 21%. É provável que as frequências não possam aumentar, uma vez que a ocupação da pista, na estação simulada, já é alta, havendo momentos de saturação, como mostra a Figura 4.38, mesmo nos cenários em que são usados os tipos de ônibus do projeto.

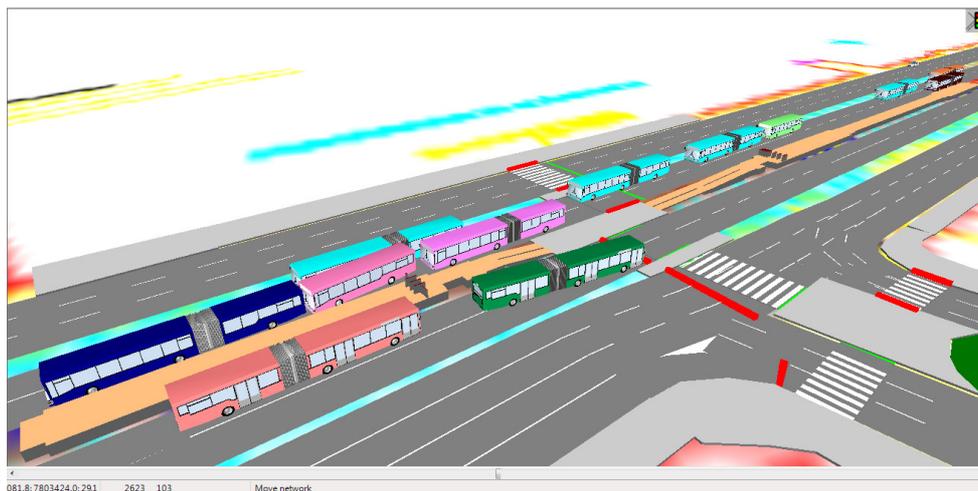


Figura 4.38 - Cenário ATRAC-SEM-PONTE, aos 43 minutos (2623 segundos)

Considerando um cenário hipotético, no qual pudessem ser usados ônibus biarticulados, como os de Curitiba ou do Rio de Janeiro, com capacidade para 200 passageiros, a capacidade teórica seria de 43.600 passageiros por hora por sentido. Embora os resultados da simulação tenham evidenciado que esta capacidade é, de fato, teórica, em função das elevadas frequências de viagens que já ocorrem com veículos menores, o veículo maior poderia ser adotado para reduzi-las, melhorando a condição de operação do sistema, já que os resultados das simulações indicam uma operação bastante instável.

Portanto, conclui-se que o projeto da estação deve possibilitar o uso de veículos maiores, para garantir, além de condições melhores de operação, o atendimento a um possível crescimento da demanda.

4.8.4 Posição relativa das portas da estação

No projeto do BRT Antônio Carlos, as portas das estações poderiam ficar defasadas quando a área da estação assim o permitiu, dependendo do comprimento da plataforma. No entanto, na estação AC-14, as portas são defasadas nas plataformas metropolitana e municipal A, enquanto na municipal B são praticamente justapostas, conforme mostra a Figura 4.39. Portanto, não ficou claro qual o critério de adoção desse recurso que aumenta a capacidade da plataforma.

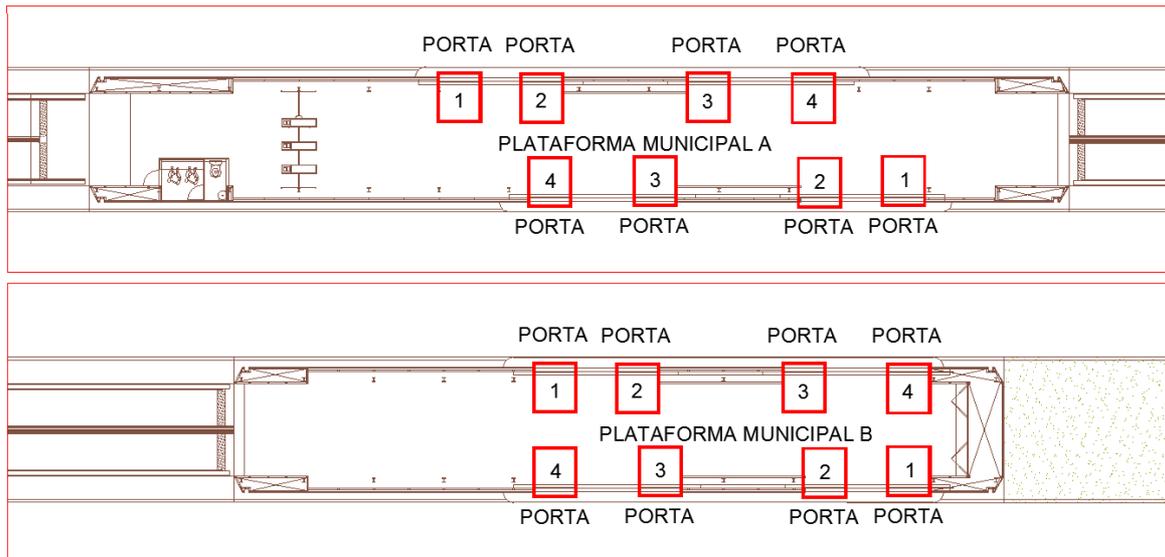


Figura 4.39 – Portas da estação de corredor do BRT MOVE

Na entrada das plataformas municipais, observou-se que, como a posição das portas de acesso aos ônibus é próxima das catracas, ocorre a concentração de passageiros aguardando o embarque próximo à primeira catraca, causando sua obstrução e conseqüente travamento da simulação de pedestres. Mais uma vez, apesar da deficiência de calibração do comportamento do pedestre, o resultado indica que deve ser evitada a colocação da porta da estação próxima das catracas.

4.8.5 Sentido de fluxo e número de portas do ônibus

Também em função dos sistemas visitados, foi definido o sentido duplo de fluxo pelas portas. Porém, as medidas de tempos por passageiro em Curitiba, onde há portas específicas para entrar e sair, resultaram em tempos de 0,99 segundos para desembarque e 0,96 para embarque, contra 1,34 e 1,16 segundos, para o Trem metropolitano. Observou-se que a desobediência à regra de deixar sair para depois entrar contribui para dilatar esses tempos. Além disso, a organização dos fluxos de entrada e saída tem o potencial de reduzir os conflitos entre os passageiros, tanto dentro da plataforma como dentro dos ônibus. Nestes, observou-se durante as visitas em Curitiba que o posicionamento dos passageiros para se aproximar da porta de saída, ocorre durante a viagem, sem grandes transtornos.

Já para a posição das portas, a BHTRANS desenvolveu um estudo com a FABUS – Associação Nacional dos Fabricantes de Ônibus para definir um padrão de posição das portas

esquerdas dos ônibus, denominado “modularização” no manual de especificação do BRT de Belo Horizonte, o que não existia até então, segundo a empresa (Tabela 4.25 e Figura 4.40).

O estudo foi necessário para definir uma posição de portas que atendesse o uso tanto de ônibus articulados quanto de Padrons. O número de quatro portas nos articulados foi adotado em função da disponibilidade de mercado desta configuração.

Constata-se que o uso de veículos com número de portas diferente pode prejudicar a operação da estação. A menos que o passageiro seja avisado previamente quais as portas da estação se abrem para o próximo veículo de duas portas, o seu caminhamento da sua posição de espera até uma destas portas gera atrasos na parada do ônibus e conflitos com os demais passageiros presentes na plataforma.

Tabela 4.25 - Modularização das portas dos ônibus do BRT MOVE (BELO HORIZONTE, 2012, item 12.3)

Medida	Referência	Articulado (mm)	Padron (mm)
A	Comprimento total máximo	19.000	13.200 a 15.000
B	Distância da porta 1 à porta 2	2.850	5.700
C	Distância da porta 2 à porta 3	5.700	-
D	Distância da porta 3 à porta 4	3.600	-

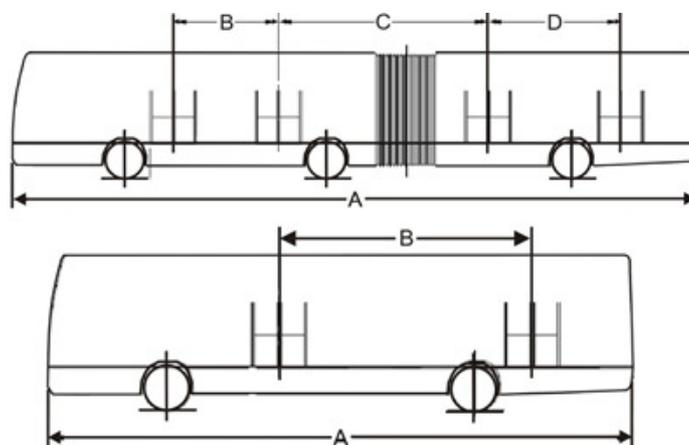


Figura 4.40 – Modularização das portas dos ônibus do BRT MOVE (BELO HORIZONTE, 2012, item 12.3)

4.8.6 Acesso

Os acessos das estações de corredores do BRT Antônio Carlos ocorrerão em nível, por travessias semaforizadas. Como o critério de programação semafórica divide o

atravessamento da avenida em duas etapas, devido à sua largura de 52 m, as faixas de pedestre foram colocadas com uma defasagem, em relação ao canteiro central, forçando os pedestres a interromper seu caminhar retilíneo, e se voltar contra o fluxo de veículos que se aproximam da travessia (Figura 4.41). Esta solução já havia sido adotada desde a implantação do corredor exclusivo na avenida, e foi endossada pela auditoria de segurança viária feita pela EMBARQ Brasil (2011) nos projetos dos corredores de BRT de Belo Horizonte.

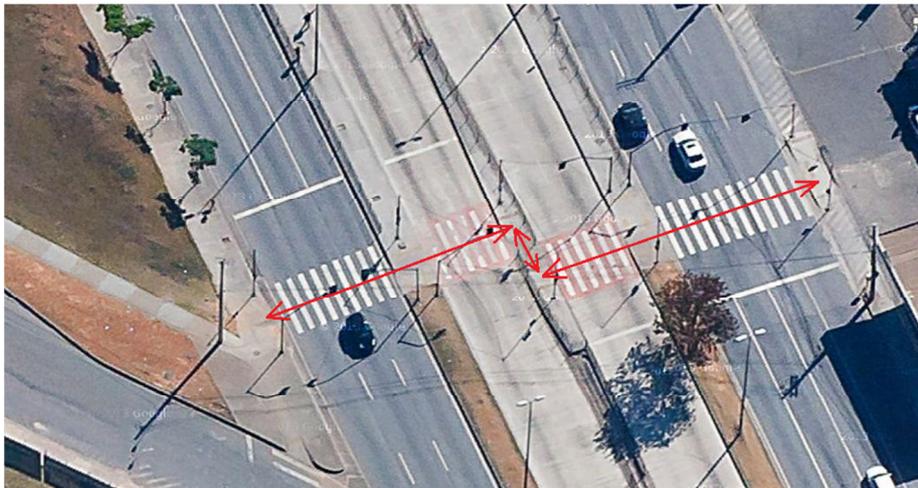


Figura 4.41 – Esquema de travessia do corredor (travessia em Z)

A conexão do passeio central com a plataforma, que tem altura de 95 cm em relação à pista, será feita por rampas, atendendo à NBR 9050 (ABNT, 2004). Quando a inclinação da pista ultrapassa o limite que impede a colocação de uma única rampa (solução A), foram colocados três lances de rampas, em direções opostas (Figura 4.42), para vencer o desnível em uma distância razoável da travessia de pedestres (solução B). Nesta solução, foram colocadas também escadas, para reduzir o caminhar dos pedestres que não tenham mobilidade reduzida.

A fase de concepção do projeto considerou duas configurações para as rampas e escadas da solução B. A Figura 4.42 mostra estas duas alternativas, cuja escolha ocorreu sem investigação da eficiência de cada uma. A primeira, solução 1-B, foi desenvolvida pelo pesquisador, e a segunda, solução 2-B, foi proposta pela consultoria de projetos, contratada para detalhar o projeto executivo das estações.

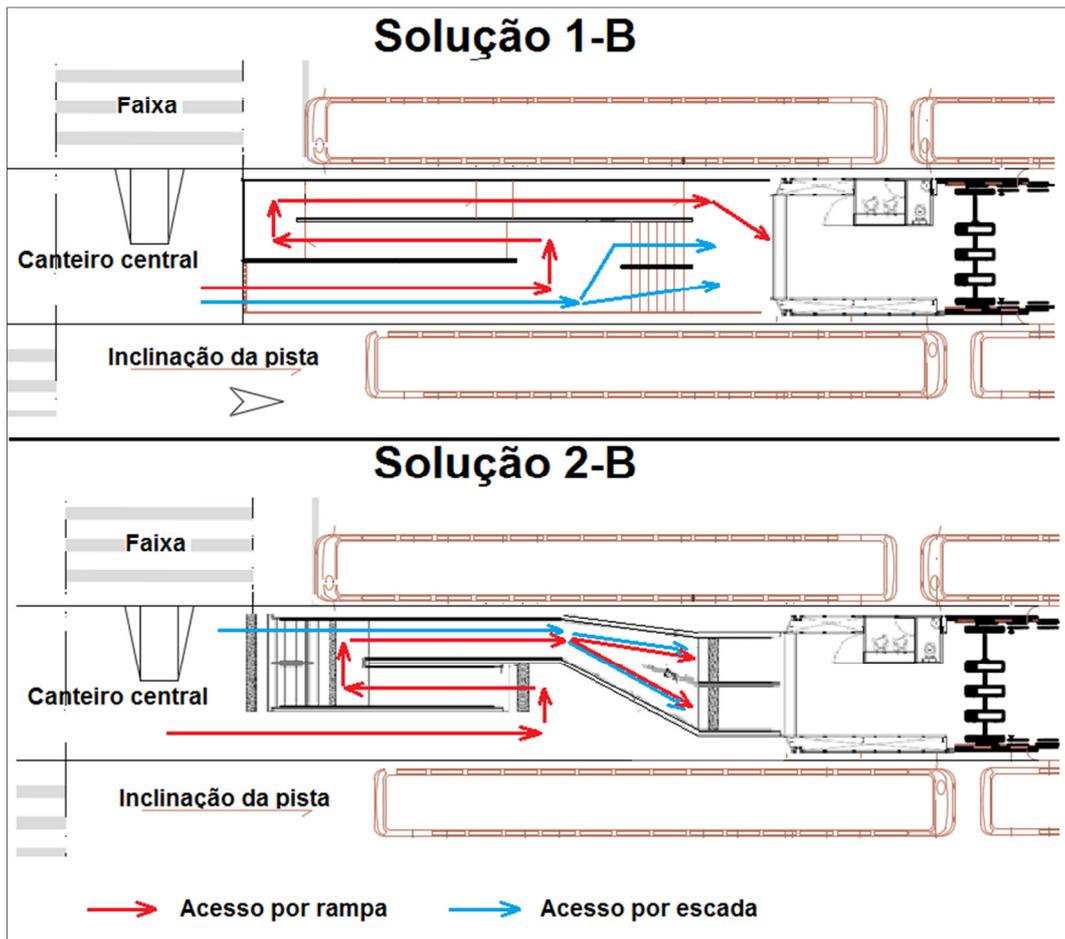


Figura 4.42 – Elemento Acesso: soluções 1-B e 2-B – rampas e escadas (BHTRANS, 2012)



Figura 4.43 – Solução A: rampa única dividida por corrimão intermediário (BHTRANS, 2013)

Mesmo nos casos em que coube a solução A, mostrada na Figura 4.43, não foram encontrados os parâmetros de dimensionamento indicando que a divisão da rampa por corrimão intermediário, para atender à NBR 9050 (ABNT, 2004), garante o funcionamento adequado do acesso à estação.

Outra solução inicialmente considerada foi a adoção de plataformas elevatórias, mas acabou sendo abandonada, por introduzir custos adicionais de implantação e manutenção.

Avalia-se que a colocação do patamar intermediário reduz a capacidade do acesso, sendo que as duas rampas resultantes da divisão possuem largura livre de 1,25 m, segundo o projeto fornecido. Esta largura é pouco mais que a mínima recomendada pela norma, para deslocamento em linha reta de um cadeirante e um pedestre, lado a lado (Figura 4.44).

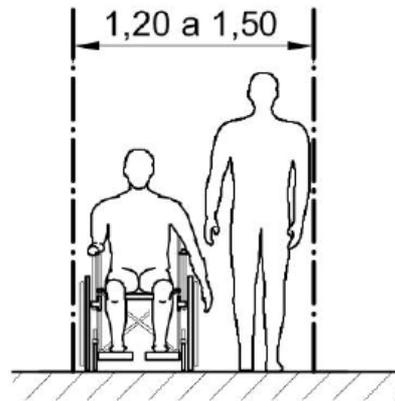


Figura 4.44 – Largura para deslocamento em linha reta – cadeirante e pedestre (NBR 9050/2004, p. 6)

Esta largura poderia ter sido ampliada, usando o espaço no qual foram colocadas jardineiras de 0,90 m laterais à rampa. Reduzindo as jardineiras laterais para 0,30 m, a largura livre poderia chegar a 1,85 m, para cada lado da rampa, suficiente para um cadeirante e duas filas de pedestres.

Pelo TCQSM, as duas rampas com 1,25 m de largura podem atender de 122 a 165 pedestres por minuto, com um nível de serviço D, enquanto a rampa da solução 2-B tem metade da capacidade, ou seja, atende de 61 a 82 pedestres por minuto (Tabela 2.2 da seção 2.2.1). Os dados de projeto apontam um fluxo horário total de 1276 passageiros, entrando e saindo das plataformas municipais, equivalente a uma média de 21 pessoas por minuto, sem correção pelo fator de ajuste de uso por cadeirantes e outras pessoas com mobilidade reduzida, e sem considerar os 15 minutos mais carregados. Por esses números, tanto a solução A quanto a solução 2-B oferecem um nível de serviço A. No entanto, os resultados dos cenários simulados demonstraram que a solução A e a solução 1-B são capazes de atender satisfatoriamente à demanda de projeto, mas mostraram conflitos no ponto de conexão da rampa com o patamar de entrada, na solução 2-B, cujo desenho deixa claro que se trata de um

gargalo. Mesmo para a demanda baixa, nos momentos em que há sincronismo de fluxos de entrada e saída, os usuários podem experimentar aglomerações, como evidenciado na Figura 4.45.

Dessa forma, torna-se evidente a necessidade de considerar os critérios aqui colocados, ao projetar os acessos à estação, e não somente o atendimento às normas de acessibilidade.



Figura 4.45 – Aglomeração de pedestres no gargalo da solução 2-B

4.8.7 Número e sentido de fluxo das catracas

No projeto das estações de corredores foram adotadas três catracas, mais um portão para acesso de cadeirantes. Este arranjo foi definido em função da largura disponível, e não de um dimensionamento. As catracas possuem o sentido de fluxo reversível e, dependendo da necessidade, podem ser destinadas duas para entrada e uma para saída, ou vice-versa. No entanto, não foi identificado no projeto do BRT MOVE o arranjo que será adotado para cada estação, e os horários de cada configuração.

Pelos dados do projeto, a maior demanda de embarques da estação AC-14 é na plataforma metropolitana, na faixa de 6 horas: 1003 passageiros. Considerando uma distribuição uniforme ao longo do tempo, o fluxo de passageiros seria de 17 pessoas por minuto. No projeto, foram adotados dados fornecidos pela CBTU – Companhia Brasileira de Trens Urbanos para a verificação do número de catracas colocadas nas estações. Estes dados indicam um tempo de passagem pela catraca de quatro segundos por passageiro, para pagamento com cartões eletrônicos (*smart cards*), o que corresponde a uma capacidade de 15

usuários por minuto, para cada catraca. Pelos dados pesquisados, o tempo obtido foi de 4,71 segundos por passageiro, que equivale à capacidade de 13 passageiros por minuto. É razoável neste caso que sejam dedicadas duas catracas para entrada, e uma para saída, já que o fluxo de saída é de 59 usuários por hora, menos de um por minuto. Com essa configuração, não haverá filas na entrada dessa plataforma, já que há uma capacidade total de entrada de 26 passageiros por minuto, adotando os tempos pesquisados. Para as plataformas municipais, tem-se um fluxo de 624 usuários entrando e 621 usuários saindo da estação, na faixa horária das 6 horas, equivalendo a 10 pessoas por minuto. Essa demanda pode ser atendida por uma única catraca, em ambos os sentidos.

Certamente, essa verificação deve ser feita para os 15 minutos mais carregados, conforme orientação da bibliografia, especialmente se tratando de uma estação que serve à Universidade, onde há concentração de demanda, que coincide com a saída de alunos e usuários do *campus* ao final de aulas e turnos de trabalho. Assim, verifica-se que os dados de demanda usados não são adequados para uma análise conclusiva.

Como relatado na seção anterior, houve problemas na simulação de pedestres interagindo com as catracas, motivo pelo qual a simulação deste elemento não foi conclusiva. Percebe-se, pela pesquisa com especialistas, que tem sido dada menor importância para este elemento de projeto, se comparado com os demais pesquisados. Este resultado provavelmente tenha se dado pela dificuldade de simular catracas, pois o que se observa na prática é diferente. O manual de operações do sistema Megabús (LOGITRANS, 2007), da cidade de Pereira, por exemplo, registra a preocupação com este dispositivo, recomendando que se realizem estudos específicos de capacidade e nível de serviço para viabilizar a avaliação e o adequado desempenho deste componente.

Portanto, conclui-se que é necessário verificar a capacidade das catracas com modelos adequados, como o citado no capítulo de fundamentação teórica, que simule a formação de filas e os fluxos de pedestres corretamente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do necessário acerto na concepção de projetos das estações de corredores para a eficiência global do sistema BRT, constatada na bibliografia e corroborada por especialistas e operadores, esta pesquisa teve como objetivo geral estabelecer critérios para definição de elementos desse componente do sistema. Os resultados do trabalho levaram a conclusões relevantes, quanto às consequências da importação de soluções de sistemas existentes e sua adaptação ao projeto em desenvolvimento, quanto à importância da medição dos parâmetros e quanto ao potencial da modelagem para simular a operação da estação, aspectos que devem ser considerados no desenvolvimento de projetos. Além disso, são relatadas neste capítulo as limitações do simulador usado, ao modelar a estação, e as recomendações para futuros trabalhos que se dediquem ao tema.

5.1 Principais conclusões

A pesquisa com especialistas evidenciou a preocupação em aumentar a atual capacidade de transporte dos sistemas existentes. As respostas mostraram também acertos e falhas nos sistemas de atracagem e os esquemas operacionais adotados na interface entre veículo e estação. Já o questionário eletrônico revelou a ordem de importância dos elementos e parâmetros levantados pela bibliografia, sendo que a aglomeração de passageiros na estação predomina com a maior importância atribuída por todos os participantes, incluindo aqueles que relataram casos práticos de projetos. A ordem de importância foi útil para estabelecer análise sobre os demais resultados do estudo. Também foram quantificados os casos em que houve uso da microssimulação e os parâmetros e elementos simulados. O estudo desenvolvido com estas fontes de informação e com a observação do projeto do BRT MOVE embasaram a seleção dos elementos que deveriam ser abordados: a plataforma, o sistema de atracagem, o tamanho do ônibus, a posição das portas da estação, o sentido de fluxo pelas portas dos ônibus, a forma de acesso e as características das catracas. Além disso, foram identificados os parâmetros que deveriam ser medidos para dimensionar a estação e calibrar o modelo de simulação.

A coleta de dados de velocidade em função do tempo, nos ônibus de Belo Horizonte, subsidiou não só a calibração do modelo com as funções de aceleração e desaceleração, objetivo original da coleta, mas também a definição das distâncias percorridas para a

realização das manobras de chegada e saída do ponto, e o teste de aderência da simulação com a operação real. Já coleta de dados dos tempos de embarque e desembarque e de passagem pelas catracas possibilitou o comparativo de esquemas em que os fluxos são unidirecionais com aqueles que são bidirecionais. As medidas de tempo de abertura e fechamento de portas e pontes de embarque demonstraram que o uso deste dispositivo aumenta, em média, o tempo de parada do ônibus em 1,95 segundo, se comparado com os ônibus do BRT MOVE, sendo que para os ônibus do BRT Mio, essa diferença pode cair para 0,6 segundo.

Inicialmente, ao se propor o uso da simulação microscópica, pretendia-se avaliar todos os elementos e parâmetros da estação em um único modelo. A escolha do VISSIM foi influenciada fortemente pelo que declara o seu manual, que deixa nítida a capacidade do *software* de editar os parâmetros e modelar os elementos selecionados, além de propiciar a simulação de pedestres e sua interface com os ônibus. No entanto, os resultados iniciais da modelagem, contendo todos esses elementos, e calibrado com os parâmetros pesquisados, mostraram que a tarefa seria impraticável, com o tempo e os recursos disponíveis, e com o conhecimento adquirido somente pelo manual do *software*. Por esse motivo, concluiu-se que o manual do VISSIM pode ser melhorado, especialmente com relação aos parâmetros de simulação de pedestres, 22 ao todo, que não se apresentam suficientemente intuitivos quanto ao seu efeito, e cuja calibração demandaria uma criteriosa e dispendiosa análise de sensibilidade, além de outras limitações, não menos importantes. A disponibilidade de cursos relativos à simulação de pedestres é baixa no Brasil, sendo que, quando ocorrem, requerem um investimento elevado. Segundo as informações de treinamentos do *site* da PTV, um curso básico de simulação realística de pedestres, com duração de um dia, na cidade-sede da empresa, custa mais de 400 euros.

As outras principais limitações detectadas, ao simular o projeto da estação com seus principais componentes (pista, ônibus e passageiros), são:

- O artifício de lançamento das linhas para produzir o efeito da aleatoriedade da chegada dos ônibus na estação, cuja recomendação do manual não se mostrou adequada;
- O lançamento dos desembarques na estação, que é definido no VISSIM por porcentagens, e não por valores absolutos;

- A calibração da mudança de faixa junto às estações, para adequar as manobras nas três paradas consecutivas por sentido;
- A sobreposição de veículos durante a manobra de mudança de faixas;
- O lançamento e o acerto na definição das rotas de pedestres, para reproduzir corretamente o seu caminamento pela rede;
- Os recursos de análise dos resultados, como os relatórios e modos de visualização da animação da rede.

De fato, algumas foram contornadas por métodos que podem ser adotados em pesquisas e modelagens similares. Apesar dessas limitações e da deficiência na calibração do comportamento dos pedestres, a modelagem da estação se mostrou útil para demonstrar os resultados fornecidos pelos cálculos analíticos e as conclusões da bibliografia, de um modo bem mais intuitivo. Os níveis de ocupação da plataforma pelos pedestres, e da pista pelos ônibus, por exemplo, tornou claro que, no caso da estação estudada, a oferta de viagens é proporcionalmente maior que a demanda de passageiros, de acordo com os dados de projeto. A simulação mostrou que o número de linhas operando no corredor é excessivo. A situação real pode ainda ser pior, já que algumas dessas linhas possuem operação mista, ou seja, trafegam fora do sistema, e dificilmente ingressarão com regularidade no corredor exclusivo. Constata-se que tais características não estão presentes em outros sistemas, e, de fato, não são compatíveis com a proposta do BRT, de tentar se aproximar de um sistema sobre trilhos, totalmente segregado.

Apesar da quantidade de passageiros em pé a bordo aparecer, na pesquisa com especialistas, com o segundo maior grau de importância na definição do projeto da estação, sua avaliação não se mostrou factível. Para que este parâmetro pudesse ser considerado, seria necessário modelar todo o corredor, com toda a movimentação de passageiros em cada estação, para que a ocupação do veículo ao chegar à estação em estudo, resultasse da própria simulação da movimentação dos passageiros, aplicando-a a uma função que definisse o tempo de embarque. Outra forma seria um simulador capaz de modelar os pedestres no interior do veículo, o que não é o caso da versão do VISSIM que foi usada. Por esses motivos, o parâmetro não foi estudado. Além disso, resultados conclusivos da simulação não puderam ser obtidos para os elementos plataforma, catraca, posição das portas da estação e acesso, em função das dificuldades encontradas na calibração de pedestres.

A principal constatação obtida pelo uso da simulação é a importância do processo de calibração de modelos. A confiabilidade dos seus resultados está fortemente atrelada a sua calibração, e quando esta não é feita de forma satisfatória, reduz o potencial da simulação de nortear a definição do projeto. Observa-se que o crescimento do uso dessa ferramenta para definição e avaliação de projetos de transporte, e até sua exigência pelos órgãos públicos responsáveis por tais projetos, não têm ocorrido na mesma proporção que o conhecimento e a prática dos seus usuários sobre ela. Por isso, recomenda-se fortemente que as entidades que demandam esse produto para embasar a elaboração de projetos e a tomada de decisão, não cedam ao apelo tecnológico e visual que as ferramentas de simulação computacional produzem, especialmente as que mostram animações em terceira dimensão, como a usada neste trabalho. É mandatório que as equipes que contratam o produto acompanhem com cuidado o processo de calibração de cada etapa do modelo, seja qual for seu nível de complexidade.

Quanto à avaliação do projeto da estação AC-14 do BRT MOVE, o estudo estabeleceu um paralelo entre os critérios para definição dos elementos e parâmetros adotados no projeto com o que pressupõe a bibliografia e o que se obteve dos especialistas e operadores de sistemas em operação. Foi detectado o superdimensionamento das plataformas, cujo método aplicado não confere com o estabelecido pela bibliografia. Como já mencionado, a simulação comprovou esta constatação e mostrou uma ocupação baixa das plataformas, especialmente as municipais, e uma desproporcionalidade entre estas e a metropolitana. Além disso, o esquema operacional adotado revelou-se sensível às alterações de demanda que podem ocorrer, pelo fato de permitirem a troca entre linhas nas estações de corredor, e por obrigarem o fluxo de pedestres da plataforma B passar pela plataforma A, fatores que não foram considerados no dimensionamento.

Sobre o sistema de atracagem, o estudo contribuiu para comparar os dispositivos e práticas adotadas nos principais sistemas em operação, e suas consequências, bem como a eliminação do mito de que o uso da ponte de embarque nos ônibus introduz atrasos significativos na operação. O parâmetro tempo morto, segundo a definição do Manual de BRT, foi obtido através da simulação, calibrada com os tempos de portas e pontes medidos, resultando em 31,5 segundos, para atracagem com ponte de embarque, e 33,2 segundos para atracagem sem ponte. Dessa forma, a diferença entre os dois sistemas de atracagem seria de 1,7 segundos,

contrariando o senso comum de que o uso da ponte de embarque acarreta atrasos significativos na operação. Conseqüentemente, a diferença entre o valor do parâmetro obtido pela simulação e o valor adotado no projeto é de 13,2 segundos, um valor 66% maior, que se traduz em subestimação do dimensionamento das estações e tem impactos significativos em toda a operação. Além disso, a definição do projeto de atracagem do BRT MOVE precisou superar dificuldades introduzidas por incompatibilidades com os demais componentes do sistema, buscou superar as falhas e se basear nos acertos dos sistemas existentes, adotando, para tanto, um *software* para simulação de manobras dos ônibus. Embora não tenha sido implantado, a experiência poderá subsidiar a correta definição de futuros projetos.

Para o tamanho do ônibus, a comparação do cenário em que se usam somente veículos Padron, com o cenário de somente articulados, demonstrou uma diferença de tempo de viagem média de 7,3 segundos, ou 8%, com redução de 34% no número de veículos, para o trecho da estação e o período de 45 minutos de simulação. Os cálculos de capacidade para um cenário em que são usados somente veículos articulados de 144 passageiros revelaram um aumento de oferta dos atuais 25.936 para 31.392 passageiros por hora por sentido, ou seja, um acréscimo da ordem de 21% na capacidade. Ficou evidente a preocupação dos responsáveis pelos sistemas em operação em dotá-los de veículos maiores e com menos bancos, diretriz que não está explícita no projeto avaliado, até porque a estação não está preparada para veículos de comprimento maior que 19 metros. Quanto ao número de portas diferentes para os ônibus, Padron e articulados, concluiu-se que pode representar um problema para a operação da estação, se não for advertido ao usuário quais as portas poderão ser usadas no ônibus que se aproxima. Com a simulação, foi possível verificar que a colocação das portas da estação próximas às catracas deve ser evitada. Foi possível discutir os critérios de definição do sentido de fluxo pelas portas dos ônibus e pelas catracas, com base nas medidas de tempo, citadas anteriormente, e informações dos especialistas sobre os sistemas pesquisados.

Dessa forma, considera-se que, das análises e discussões contidas nesse trabalho, podem ser extraídos critérios para definição dos principais elementos de projeto das estações de corredores de BRT, aplicáveis a projetos similares. Outra contribuição importante dessa pesquisa é a contraposição dos resultados obtidos pelos métodos empíricos e pela microsimulação, que demonstraram a necessidade de usar tais ferramentas de forma complementar, a fim de tornar a análise do problema o mais abrangente e completa possível.

5.2 Recomendações para trabalhos futuros

Concluindo, puderam ser selecionadas algumas recomendações para os futuros trabalhos que se dediquem ao estudo das estações de corredores de BRT ou à simulação microscópica, não só deste como dos demais componentes do sistema, além da simulação de pedestres. São elas:

- Estudar os parâmetros do VISSIM de calibração do comportamento dos pedestres;
- Aplicar a metodologia com outros *softwares* de simulação, a fim de verificar suas limitações e vantagens em relação ao VISSIM;
- Identificar outras ferramentas de simulação capazes de avaliar os elementos para os quais o VISSIM não se mostrou adequado, ou cujos resultados não foram conclusivos: a plataforma, a posição das portas da estação, o acesso e as catracas;
- Coletar informações sobre os tempos de porta e a diferença de aceleração e desaceleração para sistemas que não adotam ponte, incluindo o próprio BRT MOVE, quando a operação já estiver consolidada, e comparar com os resultados obtidos para Curitiba e com os resultados da simulação;
- Complementar a avaliação do uso da ponte de embarque, a partir da opinião das empresas operadoras de sistemas que a adotam, como a RIT Curitiba, sobre questões relacionadas a custos de operação e manutenção;
- Explorar de modo mais abrangente o comparativo dos tempos de embarque em sistemas que utilizam portas específicas para embarque (Curitiba) com sistemas em que as portas são de duplo sentido (Transmilenio);
- Coletar os tempos de embarque em função da lotação do veículo.

Acredita-se que tais trabalhos poderão complementar os resultados aqui apresentados, constituindo um valioso referencial para novos projetos de BRT. A contribuição desse referencial consiste em apoiar projetistas, gerenciadores e operadores desses sistemas, que têm sido largamente concebidos, em certos casos, com elevadas doses de empirismo e embasados em situações nem sempre compatíveis com as do projeto em desenvolvimento, requerendo adaptações posteriores que trazem transtornos aos usuários e elevados custos à população.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos*. Rio de Janeiro, 2004. 76 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15570: Transporte: especificações técnicas para fabricação de veículos de características urbanas para transporte coletivo de passageiros*. Rio de Janeiro, 2009. 15 p.
- ALCADÍA MAYOR. *Manual de operaciones Transmilenio*. Bogotá D. C., 2010.
- BELO HORIZONTE. Decreto n. 15.019 de 18 de setembro de 2012. Diário Oficial do Município, Belo Horizonte, 18 set. 2012. 54 p.
- BHTRANS – Empresa Brasileira de Transportes e Trânsito. *BRT Antônio Carlos – Projeto de Transporte n. 27 PT-009/12*. Belo Horizonte, 2012.
- BHTRANS – Empresa Brasileira de Transportes e Trânsito. *Caderno de requisitos para homologação das catracas de acesso às estações do BRT*. Belo Horizonte, 2012. Disponível em: http://www.bhtrans.pbh.gov.br/portal/page/portal/portalpublico/Temas/Noticias/catracas_210213. Acesso em: 25 de fevereiro 2013.
- ANDROID-SPEEDOMETER 3.9. 2013. Disponível em <<http://www.x-droid.de/index.php?lang=en>>. Acesso em 18 de setembro de 2013.
- BRT Policy Center. *Transmilenio*, 2004. Disponível em: <<http://www.gobrt.org/dbfront.html>>. Acesso em: 03 de abril 2013.
- CASTILHO, R.A. *Análise e simulação da operação de ônibus em corredores exclusivos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). PPGEP, UFRGS, Porto Alegre, Brasil, 1997.
- DAAMEN, W.; BOVY P. H. L.; & HOOGENDOORN, S. P. *Modelling pedestrians in transfer stations*. In M. Schreckenberg & S. D. Sharma (Eds.), *Pedestrian and evacuation dynamics* (pp. 59-74). Duisburg, Germany: Springer Verlag., 2001.
- EMBARQ BRASIL. Relatório da auditoria de segurança viária: BRT Antônio Carlos. Porto Alegre, 2011.
- EMBARQ BRASIL. Segurança viária em corredores de ônibus. Porto Alegre, 2012. 84 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE TRANSPORTES E TRÂNSITO (BHTRANS). Portal interno. Apresenta a forma de utilização do BRT MOVE. Disponível em: <http://www.bhtrans.pbh.gov.br/portal/page/portal/portalpublico/Temas/Onibus/MOVE/MOVE-funcionamento>. Acesso em: 5 de fevereiro 2014.
- ENGELBRECHT, L.; BEKKER, J. *A decision support model for passenger capacity design of BRT stations*. South African Journal of Industrial Engineering, 2012.
- FELLENDORF, M.; VORTISCH, P. *Validation of the Microscopic Traffic Flow Model VISSIM in Different Real-World Situations*. National Research Council. 80th Meeting of the Transportation Research Board (TRB). January, 2001.
- FERNANDEZ, R.; ZEGERS, P.; WEBER, G., TYLER, N. *Influence of Platform Height, Door Width and Fare Collection on Bus Dwell Time*, 2010.

- FERRAZ, A. C. P.; TORRES, I. G. E. *Transporte público urbano*. 2 ed. São Carlos: Rima, 2001. 410 p.
- GARDNER, G.; CORNWELL, P. R.; CRACKNELL, J. A. *The performance of busway transit in developing cities*. TRRL Report 329. Transportation and Road Research Laboratory, Crowthorne, UK, 1991.
- GOUVÊA, R. G. *A questão metropolitana no Brasil*. 1. ed. Rio de Janeiro: FGV, 2005. 320 p.
- GUALBERTO, F.; DIAS, J. A.; THEBIT, M. M.; BARBOSA, H. M. Velocidade de pedestres em área hospitalar: um estudo exploratório. In: XXVII ANPET – CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES. Belém, 2013.
- GUZZELLI, C. *Ferramenta de avaliação de terminais: uma contribuição para o transporte sobre trilhos*. Monografia vencedora do 8º Concurso de Monografia da CBTU – A cidade nos trilhos, 2012.
- Hoogendoorn, S. P.; Bovy, P. H. L.; Daamen, W. *Microscopic Pedestrian Wayfinding and Dynamics Modelling*. In: 82th Annual Meeting of Transportation Research Board, TRB, Washington, D.C., 2003.
- INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. *Texto para discussão: tempo de deslocamento casa-trabalho no Brasil (1992-2009): diferenças entre regiões metropolitanas, níveis de renda e sexo*. Brasília, 2013.
- JACOBSEN, A. C.; CYBIS, H. B. B. Microsimulação da travessia de pedestres: coleta de dados para calibração de modelos. *Revista Transportes*, São Carlos, v. 19, n. 2, p. 79-86, Fev. 2011. Disponível em: < <http://revistatransportes.org.br/anpet/article/view/509>>. Acesso em 13 nov. 2013.
- JAISWAL, S.; BUNKER, J.; FERREIRA, L. *Modelling the relationship between passenger demand and bus delays at busway station*. In: 88th Annual Meeting of Transportation Research Board, TRB, Washington, D.C., 2009.
- JAISWAL, S.; BUNKER, J.; FERREIRA, L. *Influence of Platform Walking on BRT Station Bus Dwell Time Estimation: Australian Analysis*. In: Journal of Transportation Engineering. 2010.136:1173-1179, 2010.
- KANTOR, D. *Issues and Technologies in Level Boarding Strategies for BRT*. Journal of Public Transportation, BRT Special Edition, 2006.
- KITTELSON & ASSOCIATES, INC.; KFH GROUP, INC.; PARSONS BRINCKERHOFF QUADE & DOUGLASS, INC; HUNTER-ZAWORSKI, K. *Transit Capacity and Quality of Service Manual*. Transit Cooperative Research Program: Report 100, Washington, DC, USA, 2003.
- LEVINSON, H.; ZIMMERMAN, S.; CLINGER, J.; RUTHERFORD, S.; SMITH, R. L.; CRACKNELL, J.; SOBERMAN, R. *Bus rapid transit Volume 1: Case Studies in Bus Rapid Transit*. Transit Cooperative Research Program: Report 90, Washington, DC, USA, 2003.
- LEVINSON, H.; ZIMMERMAN, S.; CLINGER, J.; GAST, J.; RUTHERFORD, S.; BRUHN, E. *Bus rapid transit Volume 2: Implementation Guidelines*. Transit Cooperative Research Program: Report 90, Washington, DC, USA, 2003.
- LIN, T.; WILSON, N. H. M. *Dwell time relationships for light rail systems*. Transportation Research Record 1361, 1992.

- LINDAU, L. A.; HIDALGO, D.; FACCHINI, D. *Curitiba, the cradle of Bus Rapid Transit*. Built Environment. V. 36, n. 3, 2007.
- LOGITRANS. *Asistencia técnica para la puesta em marcha de Megabús: Manual de operación del sistema integrado de transporte*. Pereira, 2007.
- NTU. *Conceitos e elementos de custos de sistemas BRT*. Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos. Brasília. Brasil, 2010.
- OLIVEIRA, M. L.; CYBIS, H. B. B. *Revisão da experiência de calibração do software VISSIM aplicado a um estudo de caso de autoestrada brasileira*. VIII Seprosul – Semana de Engenharia de Produção Sul-Americana. Bento Gonçalves, Brasil. 2008.
- OLSTAN, J. J.; TAPANI, A. *Comparison of car following models*. Swedish National Road and Transport Research Institute. VTI meddelande 960A. 2004.
- PEREIRA, B. M. *Avaliação do desempenho de configurações físicas e operacionais de sistemas BRT*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). PPGEP, UFRGS, Porto Alegre, Brasil, 2011.
- PEREIRA, B. M.; LINDAU, L. A.; CASTILHO, R. A.; DIÓGENES, M. C. *Impacto de elementos de projeto no desempenho operacional de sistemas BRT de faixa única sem ultrapassagem*. In: XXVII ANPET – CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES. Belo Horizonte, 2011.
- PEREIRA, B. M.; LINDAU, L. A.; CASTILHO, R. A. *A importância de simular sistemas Bus Rapid Transit*. XVI Congreso Latinoamericano de Transporte Público y Urbano, Cidade do México. Anais do XVI CLATPU. Buenos Aires: ALAPTU, 2010. v. 1. p. 1-11.
- PTV. *VISSIM v. 5.40-03 User Manual*. PTV – Planung Transport Verkehr AG, 2012.
- PUONG, A. *Dwell Time Model and Analysis for the MBTA Red Line*. Massachusetts Institute of Technology (MIT) Open Course Ware project. 2000.
- SANTOS, P. M. *Método de calibração de um modelo veículo seguidor para BRT e ônibus em corredor segregado*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). PPGEP, UFRGS, Porto Alegre, Brasil, 2013.
- SINDICATO DAS EMPRESAS DE TRANSPORTE DE PASSAGEIROS DE BELO HORIZONTE (SetraBH). Disponível em: < <http://www.setrabh.org.br> >. Acesso em 3 fev. 2014.
- TRB. *Highway Capacity Manual*. Transportation Research Board. National Research Council, Washington, D.C., U.S.A., 2010.
- VUCHIC, V. R. *Urban transit: Operations, planning and economics*. 1. ed. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc., 2005. 644 p.
- VUCHIC, V. R. *Urban transit: Systems and technology*. 1. ed. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc., 2007. 602 p.
- WRIGHT, L.; HOOK, W. *Manual de BRT: Guia de Planejamento*. Ministério das Cidades, Brasília, Brasil, 2008.
- ZHOU, C.; SU, Z.; ZHOU, J. *Design and implementation of the Platform Screen Doors system for BRT*. In: 10th International Conference of Chinese Transportation Professionals (ICCTP), Beijing, 2010.

APÊNDICE A – PESQUISAS COM ESPECIALISTAS

Questionário “Parâmetros e prática de projetos de estações de BRT”

Informações sobre a pesquisa

Esta pesquisa tem como objetivos identificar com especialistas o grau de importância atribuído aos parâmetros selecionados pelo presente estudo e levantar informações sobre a prática em projetos de estações de corredores de sistemas de BRT (Bus Rapid Transit). Os resultados darão subsídio a um projeto de dissertação do Mestrado em Geotecnia Transportes da Universidade Federal de Minas Gerais.

Para esta pesquisa, o termo "estação de corredor" refere-se a estações localizadas ao longo dos corredores de sistemas de BRT, que permitem embarques, desembarques e/ou transferência de passageiros entre as linhas que nelas operam; são fechadas e possuem estrutura completa de cobrança de tarifa e acesso (bilheterias e catracas).

A pesquisa é composta por oito questões que levam, em média, dez minutos para serem respondidas.

Contamos com sua valiosa colaboração.

Luciano Aparecido Chagas
lachagas@ig.com.br
Mestrado em Geotecnia e Transportes
UFMG

1. Qual a sua relação profissional/acadêmica com o tema "sistemas de BRT"?

Pesquisa

Operação

Gerenciamento

Planejamento/Projeto

Outro (especifique)

Esta questão refere-se aos parâmetros de projeto de estações de corredores de BRT que foram selecionados a partir das referências bibliográficas consultadas.

Você deve atribuir o grau de importância relativo de cada um dos parâmetros, ao definir o projeto de uma estação de corredor, tendo em vista a maior eficiência do sistema e o melhor nível de serviço ao usuário.

Considere na sua análise apenas o caráter técnico, relevando possíveis limitações de outra natureza.

A escala vai de 1 a 8, sendo que os números mais próximos de 1 representam maior importância, e os mais próximos de 8 representam menor importância.

Mesmo que você avalie mais de um parâmetro com a mesma importância, você deve atribuir somente um grau de importância a cada parâmetro.

2. Atribua o grau de importância relativo de cada um dos parâmetros abaixo ao definir o projeto de estações de corredores de BRT.

	1	2	3	4	5	6	7	8
Aglomeração de passageiros (passageiros/m ²) na estação	<input type="radio"/>							
Quantidade de passageiros embarcados em pé no ônibus antes de chegar à estação	<input type="radio"/>							
Tecnologia de auxílio da manobra de chegada, aproximação e saída do ônibus na estação	<input type="radio"/>							

Tamanho do ônibus usado (padron, articulado, biarticulado)	<input type="radio"/>							
Quantidade de portas dos ônibus	<input type="radio"/>							
Sentido de entrada e saída dos passageiros pelas portas dos ônibus (único ou duplo por porta)	<input type="radio"/>							
Posição relativa das portas da estação para acesso aos ônibus (justapostas ou defasadas por sentido)	<input type="radio"/>							
Sentido permitido de fluxo pelas catracas de acessos à estação (único ou duplo por catraca)	<input type="radio"/>							

As questões a seguir referem-se aos projetos dos quais você tem conhecimento, participou ou está participando.

São considerados os mesmos parâmetros da questão anterior. A descrição de cada um está resumida para simplificar a apresentação da questão.

3. Se não for o seu caso, marque a opção "Não tenho conhecimento de projetos dessa natureza" para encerrar sua participação.

Não tenho conhecimento de projetos dessa natureza

4. Quais os parâmetros foram definidores do(s) projeto(s) das estações de corredores de BRT do(s) qual(is) você tem conhecimento, participou ou está participando?

- Aglomeração de passageiros na estação
- Quantidade de passageiros em pé no ônibus
- Tecnologia de atracagem do ônibus
- Tamanho do ônibus
- Quantidade de portas dos ônibus
- Sentido de fluxo pelas portas dos ônibus
- Posição relativa das portas da estação
- Sentido permitido de fluxo pelas catracas de acessos à estação
- Outros (especifique)

5. Qual foi o método de dimensionamento adotado no projeto das estações?

- Método do Manual de BRT
- Método do TCRP - Transit Capacity and Quality of Service Manual (publicação do TRB)
- Outro (cite)

6. Você considera que o método adotado é adequado para projetos dessa natureza?

- Sim
- Não

Comente sua resposta.

7. Foi utilizado algum modelo de microssimulação computacional para avaliar e definir o projeto das estações de corredor, capaz de simular as interfaces entre ônibus, estação e passageiros?

- Sim
- Não

Por quê?

8. Qual foi o modelo de microssimulação (software) usado?

9. Quais foram os parâmetros incluídos na microssimulação?

- Aglomeração de passageiros na estação
- Quantidade de passageiros em pé no ônibus
- Tecnologia de atracagem do ônibus
- Tamanho do ônibus
- Quantidade de portas dos ônibus
- Sentido de fluxo pelas portas dos ônibus
- Posição relativa das portas da estação
- Sentido permitido de fluxo pelas catracas de acessos à estação

Outros (especifique)

Questionário específico sobre a RIT – Rede Integrada de Transporte (Curitiba).

Informações sistema de transporte para Mestrado

Relacionamento URBS <relacionamento@urbs.curitiba.pr.gov.br>
Para: Luciano Aparecido Chagas <lachagas@ig.com.br>

30 de outubro de 2013 15:18

Prezado Luciano,

Infelizmente ainda não obtivemos retorno de todas as áreas envolvidas nas questões que você no encaminhou. Porém, como forma de tentar auxiliá-lo em suas pesquisas, seguem abaixo (em vermelho) as informações já disponibilizadas.

Contamos com sua compreensão e, assim que obtivermos os demais dados, encaminharemos.

Atenciosamente,

Unidade de Relações Institucionais

Área Comercial

URBS - Urbanização de Curitiba S/A

www.urbs.curitiba.pr.gov.br

Estações-tubo

1. A parte fechada das estações-tubo foi dimensionada somente para o número de embarque de passageiros ou para acomodar a soma de passageiros embarcando e desembarcando dos ônibus?
 2. Todas as estações de corredores foram dimensionadas com essa mesma premissa ou houve diferenciação? Quais seriam os motivos?
 3. Verifiquei que existem estações que possuem um módulo somente para desembarque e outro somente para embarque. Por quê?
 4. Verifiquei que as portas dos veículos são numeradas, sendo que em algumas estações as portas são usadas para embarque e desembarque simultaneamente, em outras somente para um sentido. Qual o motivo dessa diferença?
- R. Quanto a numeração das portas, estas servem para facilitar os deslocamentos dos usuários no interior

dos ônibus, pois existe as informações audio-visuais que reforçam, por onde os usuários devem desembarcar. Ex: *desembarque pelas portas 2 e 4; desembarque por todas as portas...*

5. Qual dos dois esquemas a URBS considera melhor, em termos de capacidade e de organização dos fluxos: entrada e saída simultâneas ou separadas?

6. Verifique se os motoristas usam marcas no pavimento para orientar a parada dos ônibus, para alinhar as suas portas com as da estação. Isso é usado em todas as estações?

7. A URBS considera esse sistema eficiente ou considera substituí-lo? Se sim, qual seria a solução?

8. O sistema de abertura das portas das estações é automático ou manual? O mesmo sistema é adotado para todas as estações?

R: As portas automáticas possuem sistema manual e automático. Os sistemas não são exatamente iguais para todas as estações, mas são todos baseados em sistema eletromecânico de acionamento.

Veículos

9. Quantos e quais os tipos de carrocerias são adotados no sistema? Quais os critérios de definição desses tipos?

R: Induscar, Neobus, Mascarello, Marcopolo e Comil. A escolha pelo modelo da carroceria é de competência das Empresas Operadoras.

10. Qual o critério adotado para definir o layout interno dos ônibus: número de assentos versus espaço para passageiros em pé?

R: A disposição interna é definida em uma distribuição 2x1, ou seja, assentos simples de um lado e duplo do outro lado, já os espaços para passageiros em pé, são definidos de acordo com o modelo da carroceria. Adotamos o dimensionamento de 6 passageiros/m².

11. Há histórico de problemas de operação com a ponte móvel dos veículos?

R: Sabemos que existe problema, no entanto, não dispomos desta informação, a qual deverá ser solicitada as Empresas Operadoras do sistema.

Segue link com a relação das operadoras e seus contatos: <http://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/transporte/rede-Integrada-de-transporte/37>

Se preferir, pode tentar manter contato com o Sindicato que representa as Empresas de ônibus urbanos em Curitiba e Região - SETRANSP. O telefone de contato é: (41) 3264-6767.

12. Que percentual a manutenção da ponte representa no custo total de operação do veículo?

R. Idem resposta acima.

13. A URBS considera esse custo representativo?

R. Idem resposta acima.

14. As empresas operadoras avaliam negativamente o uso da ponte e defendem sua eliminação?

R. Idem resposta acima.

15. Há histórico de acidentes com usuários ou outros veículos?

R. Já tivemos acidentes com este equipamento, mas não sabemos informar precisamente os números. A consulta deve ser feita diretamente às Empresas Operadoras.

16. A URBS considera abandonar o uso da ponte móvel? Se sim, quais seriam os motivos e a solução a ser adotada?

R. No momento não estamos pensando em mudar esta concepção.

17. Verifiquei que há pelo menos dois tipos de ponte: uma basculante e outra retrátil. Por que há os dois (ou mais) tipos? Qual dos tipos a URBS considera que opera melhor, e por quais motivos?

R. Foi uma iniciativa de evolução(retrátil), no entanto, não obtivemos resultados positivos. Atualmente só utilizamos a basculante.

Pesquisa sobre o BRT Transoeste

17 de setembro de 2013 22:08

Estações

1. Como funcionam as portas dos veículos: todas são usadas para embarque e desembarque simultaneamente ou somente para um sentido (portas específicas para embarque ou desembarque)?

Todas são usadas para embarque e desembarque simultaneamente

2. As portas são numeradas? Há aviso sonoro indicando o sentido de fluxo das portas?

São numeradas. Há aviso de sonoro de portas abrindo/fechando

3. Qual é a referência usada pelos motoristas para orientar a parada dos ônibus, para alinhar as suas portas com as da estação? Isso é usado em todas as estações?

Foi afixada uma bandeira colorida (azul e amarela) na parede externa da estação onde o motorista alinha o espelho retrovisor com a posição na bandeira e isso representa o correto posicionamento no que permite o alinhamento das portas do veículo com as portas das estações. É usado em todas as estações.

4. A SMTR considera esse sistema eficiente ou considera substituí-lo? Se sim, qual seria a solução?

É eficiente não consideramos substituí-lo pois é de custo baixo, não tem manutenção relevante, fácil de implantar e eficaz

5. O sistema de abertura das portas das estações é automático ou manual? O mesmo sistema é adotado para todas as estações?

Automático em todas as estações através de sensor de tamanho do veículo que emite comando para abertura das portas das estações

Veículos

1. Quantos e quais os tipos de carrocerias são adotados no sistema? Quais os critérios de definição desses tipos?

São usados: Ônibus Padron de 12,6 metros; ônibus articulado de 18,60 metros; Ônibus articulado de 21 metros; e recentemente entrou um ônibus articulado de 23 metros; A estação permite que se use também ônibus padron de 15 metros mas não temos.

2. Qual o critério adotado para definir o layout interno dos ônibus: número de assentos *versus* espaço para passageiros em pé?

O Layout interno é apresentado pelas Encarroçadoras (atualmente temos a veículos montados pela Marcopolo, Neobus e Mascarello) as plantas são aprovadas na SMTR e é levado em consideração as normas NBR e ABNT;

O posicionamento de portas tem que atender o projeto das estações

3. Há histórico de problemas de operação com o alinhamento dos veículos na estação durante a parada ou partida?

Problemas pontuais ocorreram na fase de testes operacionais quando os motoristas ainda estavam se familiarizando com o novo sistema mas isto não é representativo no dia-a-dia da operação.

4. É usado algum dispositivo para auxiliar esse alinhamento do veículo?

Para auxiliar no alinhamento do veículo há bandeira de alinhamento na parte externa, pintura de referencia no pavimento, e mini tachão sonorizador preso no pavimento da estação, há também uma guia de tubo de aço na altura da roda preso ao longo da estação para evitar o choque do veículo com a plataforma de embarque. Dispositivos das estações e não dos veículos.

5. Há histórico de acidentes com usuários ou outros veículos durante a parada?

Durante a parada para embarque Não.

6. Que percentual a manutenção causada por choques dos veículos com a estação, durante a parada, representa no custo total de operação do veículo?

Não temos como informar este dado por ausência de informações momentâneas.

7. A SMTR considera esse custo representativo?

Não

8. As empresas operadoras avaliam negativamente o sistema de parada adotado e defendem sua eliminação?

O Consórcio operador não relatou pois foi feito em conjunto a implantação dos sistemas de auxílio nas paradas.

9. A SMTR considera alterar esse sistema de parada? Se sim, quais seriam os motivos e a solução a ser adotada?

Não

1. Como funcionam as portas dos veículos: todas são usadas para embarque e desembarque simultaneamente ou somente para um sentido (portas específicas para embarque ou desembarque)?

Resp. emb e desemb simultâneo

2. As portas são numeradas? Há aviso sonoro indicando o sentido de fluxo das portas?

Não há aviso sonoro de fluxo e as portas dos carros não são numeradas para os passageiros. (a ideia é boa)

3. Qual é a referência usada pelos motoristas para orientar a parada dos ônibus, para alinhar as suas portas com as da estação? Isso é usado em todas as estações?

Resp: É usado em todas as estações uma marca colorida onde os motoristas alinham com alguma parte do carro (retrovisor, por exemplo) a mesma técnica do BRT de Bogotá.

4. Os operadores do *BRT Transoeste* consideram esse sistema eficiente ou consideram substituí-lo? Se sim, qual seria a solução?

Resp. Elcentel

5. O sistema de abertura das portas das estações é automático ou manual? O mesmo sistema é adotado para todas as estações?

Resp: Automático para todas as estações.

Veículos

1. Quantos e quais os tipos de carrocerias são adotados no sistema? Quais os critérios de definição desses tipos?

Resp: No momento:

Neobus - 18,4 metros para 140 pax e 21 metros para 180 pax
Marcopolo - 18,4 metros para 140 pax e 23 metros para 200 pax
Mascarello - 21 metros para 180 pax

A seleção é critério de operação mas estamos incentivando a busca por carros maiores (21 e 23 metros).

2. Qual o critério adotado para definir o layout interno dos ônibus: número de assentos versus espaço para passageiros em pé?

Resp: Padrão de tabela (bancos duplos) mas estamos incentivando filas simples de bancos para ter mais espaço no salão para quem viaja em pé, pois as viagens são rápidas e os passageiros gastam pouco tempo a bordo. Cando maior capacidade do sistema.

3. Há histórico de problemas de operação com o alinhamento dos veículos na estação durante a parada ou partida?

Resp: Não, mas para tal fazendo 2 a 3 semanas de treinamento com os novos motoristas

4. É usado algum dispositivo para auxiliar esse alinhamento do veículo?

Resp: Sim, guia de roda em tubos metálicos para que a roda toque e evite a colisão com a lateral da estação

5. Há histórico de acidentes com usuários ou outros veículos durante a parada?

Resp: Não

6. Que percentual a manutenção causada por choques dos veículos com a estação, durante a parada, representa no custo total de operação do veículo?

Resp: Desprezível (arranhões laterais minimizados pelo uso de borrachões).

7. Os operadores do BRT Trarsoesie consideram esse custo representativo?

Resp: Não

8. As empresas operadoras avaliam negativamente o sistema de parada adotado e defendem sua eliminação?

Resp: Não

9. Os operadores do BRT Trarsoesie consideram alterar esse sistema de parada? Se sim, quais seriam os motivos e a solução a ser adotada?

Resp: Não

Ocorro com sua valiosa contribuição ao fornecer as informações solicitadas, pelo que antecipadamente agradeço.

Pesquisa sobre o Mio

20 de setembro de 2013 21:27

Luciano,
Embaixo responsta às perguntas da pesquisa.

Estações

1. Como funcionam as portas dos veículos: todas são usadas para embarque e desembarque simultaneamente ou somente para um sentido (portas específicas para embarque ou desembarque)?

Nas estações todas as portas são usadas para embarque e desembarque simultaneamente. No caso das terminais que possuem suficientes plataformas, particularmente durante horários do pico, os veículos param numa plataforma de desembarque e logo deslocam-se a outra plataforma de embarque.

2. As portas são numeradas? Há aviso sonoro indicando o sentido de fluxo das portas?

Existe nomenclatura para identificar as diferentes plataformas según localização e sentido de via. A nomenclatura permite ao motorista saber qual é a plataforma de embarque/desembarque ainda sem precisar de sinalização.

Não existem avisos sonoros.

3. Qual é a referência usada pelos motoristas para orientar a parada dos ônibus, para alinhar as suas portas com as da estação? Isso é usado em todas as estações?

Bandeira de Advertência antes da Aproximação à Estação

Uma vez que a parte dianteira do veículo aproxima-se ao módulo da estação, é necessário auxiliar ao motorista para prevenir que o veículo fique muito perto demais golpeando a plataforma. Para conseguir isso, colocam-se bandeiras de advertência na estrutura lateral da estação na frente de cada módulo e antes de cada plataforma, de tal modo se alguma das bandeiras for golpeada pelo espelho esquerdo do veículo, o barulho ocasionado avverte ao motorista que o veículo está muito perto e deve corrigir imediatamente a trajetória de aproximação.

Fitas Guias para Alinhamento das Portas do Veículo com as Portas da Plataforma

Para subsidiar ao motorista na execução dessa manobra, prevê-se a instalação de uma fita guia na janela esquerda do veículo (fita janela motorista) e outra fita na lateral do módulo da estação (fita módulo-plataforma). Essas duas fitas deverão ser da mesma cor, estar instaladas verticalmente e coincidir frente a frente quando as portas do veículo alinham-se face a face com as portas da plataforma.

O alinhamento das portas do veículo com as portas da plataforma de embarque e desembarque é a manobra final da aproximação à plataforma. Assim durante essa manobra de alinhamento, o motorista sempre deverá observar e assegurar que a fita janela motorista coincide frente a frente com a fita módulo-plataforma

Todas as estações possuem essas guias para alinhamento de portas.

4. A METROCALI considera esse sistema eficiente ou considera substituí-lo? Se sim, qual seria a solução?

O sistema é simples e funciona bastante bem.

5. O sistema de abertura das portas das estações é automático ou manual? O mesmo sistema é adotado para todas as estações?

O sistema é semi-automático acionado pelo motorista quando aperta o botão de abertura de portas do ônibus, ao mesmo tempo o aparelho emissor emite desde o ônibus o sinal de radiofrequência (que deve corresponder ao número/localização da plataforma desejada), o sistema receptor na estação/plataforma aciona a abertura de portas da estação durante o tempo que o sistema receptor da estação permanece recebendo o sinal desde o ônibus.

Quando o motorista fecha as portas do ônibus o sinal de radiofrequência deve deter as emissões de sinal, portanto o sistema receptor na estação deverá fechar as portas da estação imediatamente.

Veículos

1. Quantos e quais os tipos de carrocerias são adotados no sistema? Quais os critérios de definição desses tipos?

Articulado (160 pax), Padrao (80 pax), Microônibus (50 pax)

2. Qual o critério adotado para definir o layout interno dos ônibus: número de assentos versus espaço para passageiros em pé?

O critério dominante é: sistema de transporte de massa = mais passageiros em pé

3. Há histórico de problemas de operação com o alinhamento dos veículos na estação durante a parada ou partida?

O alinhamento de veículos não é um problema importante. As vezes há ocorrências por causa de distração do motorista.

4. É usado algum dispositivo para auxiliar esse alinhamento do veículo?

Resposta no item 4 -Estações

5. Há histórico de acidentes com usuários ou outros veículos durante a parada?

Todas as ocorrências são registradas, porém é muito raro acidentes desse tipo. Sem conhecer as estatísticas, vale a pena dimensionar que um veículo que percorre 300 KMS de BRT durante um dia faria 600-800 paradas.

Aqui em Cali, esse assunto não é tratado nos Comitês de Operadores. Ocorrências são muito poucas.

6. Que percentual a manutenção causada por choques dos veículos com a estação, durante a parada, representa no custo total de operação do veículo?

Aqui em Cali, dos a três casos por semana. Maioria dos Choques são com danos pequenos para a estação. O ônibus não sofre danos importantes.

7. A METROCALI considera esse custo representativo?

Não

8. As empresas operadoras avaliam negativamente o sistema de parada adotado e defendem sua eliminação?

Não

9. A METROCALI considera alterar esse sistema de parada? Se sim, quais seriam os motivos e a solução a ser adotada?

Não

APÊNDICE B – MONTAGEM DA REDE DE ESTAÇÃO DE CORREDOR DE BRT NO VISSIM

Este apêndice descreve os passos de montagem da rede da estação de corredor de BRT no VISSIM, com foco nos elementos e parâmetros abordados. Utilizou-se a planta do projeto do BRT Antônio Carlos em CAD (*Computer Aided Design*), que foi inserida como *background*, para a construção de todos os elementos geométricos da via e da estação.

As estações de BRT são configuradas com os seguintes elementos de rede: linhas e paradas de ônibus, áreas de pedestres, rampas, escadas e obstáculos. Posteriormente, são definidos os elementos de rede relacionados à simulação de pedestres, como matrizes de origem-destino, demandas e rotas.

No VISSIM, o elemento de rede *PT Stop*, ou parada de transporte coletivo, equivale tanto a ponto de ônibus, como a estações de bonde ou metrô. Aqui, a parada corresponde a cada berço ou baía da estação. Na janela de criação de parada de ônibus, podem ser definidos, além de outros parâmetros, a faixa de tráfego onde a parada está localizada, o comprimento e a posição, em relação ao início do *link* e o lado em que a plataforma está posicionada: à direita ou à esquerda do veículo. Se a parada estiver em um *link* com mais de uma faixa, os veículos que já estiverem liberados podem deixar a parada, mesmo quando houver outro ainda realizando transferências, assim como outro pode parar na posição à frente do veículo parado, se houver espaço suficiente para acomodá-lo.

As linhas receberam o mesmo código dado pelo projeto do BRT Antônio Carlos, bem como o nome, o tipo de veículo e a distribuição de velocidade desejada. As linhas foram criadas também para o sentido bairro, adotando o mesmo código, seguido do sufixo 00. A frequência de viagens foi transformada em *headway*, em segundos, denominada *Service rate* no modelo. Foi mantida ativa somente a parada prevista para a linha: metropolitana, municipal A ou municipal B. Na janela de dados da parada (*PT Stop Data*), foi selecionado o lado esquerdo para embarques e desembarques nos ônibus e mantida a possibilidade de atraso de partida em função dos embarques. O tipo de veículo que a linha usa foi definido na janela de criação das linhas (*PT line*).

Os três tipos de ônibus usados no projeto foram criados na base de dados, em distribuições de modelos 2D/3D. São eles:

- Articulado BRT;
- Articulado Misto;
- Padron.

As características geométricas dos veículos lançadas no modelo estão mostradas na Figura A.1. Os veículos articulados são modelados incluindo as características geométricas dos dois elementos que o compõem: veículo trator e reboque.

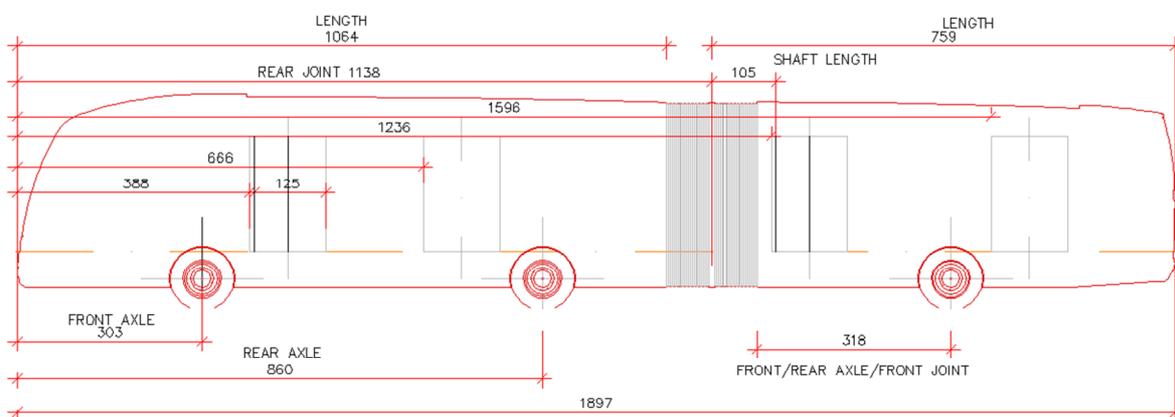


Figura A.1 – Características geométricas dos veículos no VISSIM

As portas de cada elemento do veículo foram definidas com os seguintes dados:

- Posição: distância da porta em relação à frente do elemento;
- Largura da porta;
- Altura acima do nível do *link* (pista);
- Lado em que a porta se localiza (no caso do projeto, lado esquerdo);
- Uso: se a porta serve somente para embarques ou desembarques, ou para ambas as operações (este é o caso do projeto).

Na janela de edição das características dos ônibus, foram definidas as características especiais relacionadas ao transporte público (*PT Parameters*), conforme mostra a Figura A.2.

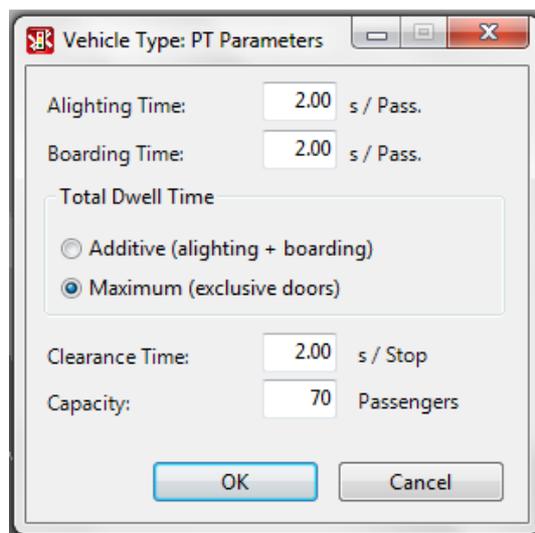


Figura A.2 – Parâmetros de transporte público no VISSIM

Estes parâmetros foram calibrados como descrito adiante.

- *alighting time* e *boarding time*: correspondem ao tempo médio de desembarque e embarque, respectivamente, em segundos por passageiro. Na definição desses tempos, o número de portas do veículo deve ser considerado da seguinte forma: se um passageiro gasta seis segundos para desembarcar e o ônibus tem três portas, o tempo de desembarque deve ser de dois segundos. Assim, os valores de *alighting time* e *boarding time* inseridos foram, respectivamente: 0,34” e 0,29”, nos ônibus articulados, que possuem quatro portas e; 0,67” e 0,58”, nos ônibus Padron, que possuem duas portas.
- *Total Dwell Time*: há duas opções: *Additive* e *Maximum*. Se as portas são exclusivas (unidirecionais), somente o tempo máximo total de embarque/desembarque será utilizado (*Maximum*), caso contrário, será utilizada a soma de ambos (*Additive*).
- *Clearance time*: corresponde ao tempo morto, ou seja, é o tempo necessário pra o veículo parar e abrir/fechar portas. Nesta opção, também foi somado o tempo de ponte, no cenário que considerou o uso deste dispositivo.
- *Capacity*: capacidade total do veículo, ou seja, ao número total de passageiros que ele pode transportar. Quando a capacidade é atingida, ao receber embarques nas paradas anteriores, não é permitido o embarque de mais passageiros nas paradas seguintes.

Além destes, foi necessário inserir os seguintes dados:

- *Occupancy*: ocupação inicial de cada ônibus, corresponde ao número de passageiros que estão no veículo quando este entra na rede, e pode ser atribuída individualmente para cada uma das viagens previstas no quadro de horários da linha.
- Fluxo de passageiros em cada parada;
- Percentual de desembarque ignorando opção “passar direto pelo ponto” (*skip possible*) na janela de dados da parada.
- Velocidade dos veículos em fluxo livre: resulta de uma distribuição de velocidades desejadas (*desired speed distribution*) previamente definida com os valores de velocidade mínima e máxima.
- Funções aceleração/desaceleração.

As funções de aceleração e desaceleração são definidas como um conjunto de pontos que estão ligados linearmente entre si para calcular a aceleração/desaceleração do veículo. Para cada tipo de veículo, existem duas funções de aceleração e duas de desaceleração. São estas:

- Aceleração máxima – Máxima aceleração tecnicamente viável. Considerada apenas se uma aceleração superior à desejada é necessária para manter a velocidade em aclives;
- Aceleração desejada – Usada para qualquer outra situação;
- Desaceleração máxima – Máxima desaceleração tecnicamente viável. Ajustada em aclives em $0,1\text{m/s}^2$ para cada por cento de gradiente positivo e $-0,1\text{m/s}^2$; para cada por cento de gradiente negativo.
- Desaceleração desejada – Se é menor do que a desaceleração máxima, a desaceleração desejada é usada como o máximo de desaceleração.

A partir da interpretação do manual do VISSIM, concluiu-se que os gráficos devem ser inseridos em aceleração e desaceleração desejada. Quando necessário, o próprio *software* ajusta os gráficos de valor máximo com base nas funções inseridas e na declividade da pista. Para refletir a distribuição estocástica dos valores de aceleração e desaceleração, cada gráfico contém três curvas, representando os valores mínimo, médio e máximo, sendo que cada uma pode ser editada individualmente (PTV, 2012), como exemplifica a Figura A.3.

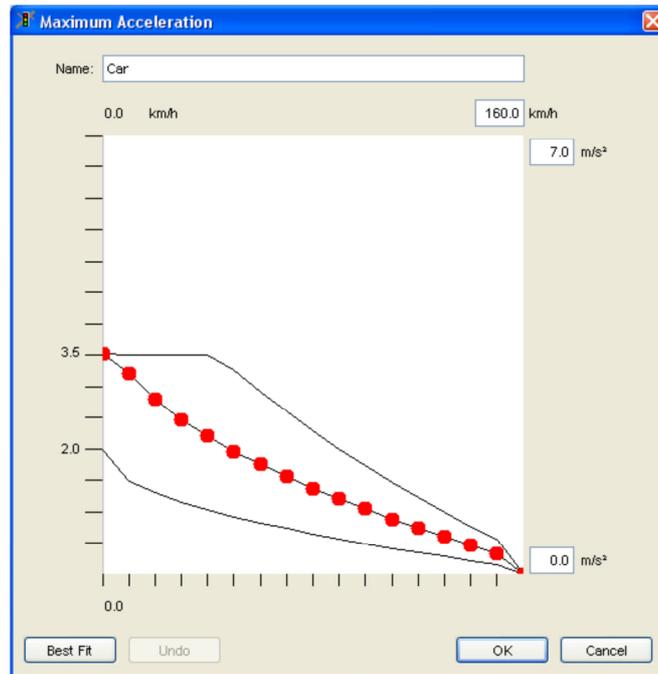


Figura A.3 – Exemplo de gráfico de aceleração máxima do VISSIM (PTV, 2012)

As funções pré-definidas de aceleração são embasadas nos dados fornecidos pelo departamento de transportes da cidade de Karlsruhe (Alemanha), onde o *software* foi criado. Para inserir os valores pesquisados, essas funções foram ajustadas, através do menu *Base Data – Functions*, para os tipos de veículo criados para representar os ônibus usados no sistema. Os valores máximo e mínimo de cada ponto foram calculados somando-se e subtraindo-se o desvio-padrão da média.

No VISSIM, a configuração da simulação do embarque e desembarque de passageiros nas estações e, conseqüentemente, do tempo de parada dos veículos na estação, ocorre por três métodos:

- Por distribuição de tempos de parada, com média e desvio-padrão;
- Por um modelo avançado de geração de passageiros (*Advanced passenger model*);
- Pela simulação microscópica de pedestres, através do módulo VISWALK.

Nesta ordem, cresce o nível de detalhamento e, conseqüentemente, o trabalho de calibração dos parâmetros. Os dois últimos foram adotados, pelo maior detalhamento, compatível com o presente estudo.

O modelo avançado de passageiros foi adotado nos cenários em que a falta da simulação de pedestres não compromete significativamente o resultado, como para a avaliação da capacidade da pista. Esse modelo calcula o tempo de parada da seguinte forma:

- Determina o número de desembarques a partir da porcentagem de passageiros a bordo que desembarcam;
- Determina o número de embarques, representados por todos os passageiros que aguardam para embarcar na linha, até o limite da capacidade máxima do veículo;
- Calcula o tempo requerido para os desembarques multiplicando o número de passageiros pelo tempo médio de desembarque;
- Calcula o tempo requerido para os embarques multiplicando o número de passageiros pelo tempo médio de embarque;
- Calcula o tempo total de parada somando os tempos de embarque, desembarque e o tempo de limpeza (tempo morto).

Já o módulo VISWALK realiza a simulação microscópica dos pedestres, com base na geração dos pedestres nas suas origens, que são os ônibus e as áreas de geração. É necessária para a simulação microscópica de pedestres a definição dos seguintes elementos de rede:

- Áreas de pedestres para uso por transporte coletivo;
- Distribuições de localização dos passageiros próximos às portas;
- Composição de pedestres.

De acordo com o manual, o módulo VISWALK possui maior capacidade de se aproximar da realidade e possibilitaria testar a maior parte dos parâmetros abordados neste estudo, principalmente para avaliação de elementos como a plataforma, os acessos e as catracas.

O tempo total de parada pode ser calculado pelo método de adição (embarques mais desembarques) ou pelo método do máximo (portas exclusivas para entrada ou saída). Se as portas são unidirecionais, então somente o valor máximo do tempo de embarques ou de desembarques é usado; para portas bidirecionais, é usada a soma de ambos os tempos. Além desses, o VISSIM calcula o tempo de parada do ônibus na estação a partir de outros parâmetros, como a ocupação inicial de cada veículo, o fluxo de passageiros em cada parada e

a porcentagem de passageiros a bordo, em relação à ocupação total do veículo, que desembarcam em cada parada.

As plataformas da estação precisam ser compostas por áreas de espera (*waiting areas*) e bordas de plataforma (*platform edge*). As primeiras são onde os passageiros aguardam para embarcar no seu ônibus, e devem ser colocadas em frente a cada parada dos veículos (*PT Stop*), determinando a interface passageiro embarcando-veículo. As últimas são aquelas que definem a interface inversa, ou seja, veículo-passageiro desembarcando. Analogamente, estas devem ser colocadas em frente às paradas dos ônibus, e vão conter a informação de destino dos pedestres, através das rotas. Além destas, foi inserida uma área de pedestres que cobre toda a área real da estação, para conectar as anteriores ao acesso da estação, pois todo o percurso de caminhada do pedestre deve ser coberto por elementos de modelagem de pedestres, como áreas de pedestres, rampas e escadas. São configuradas através de áreas de pedestres.

O caminhar dos pedestres é definido por rotas de pedestres. Estas rotas, que podem ser totais ou parciais, estáticas ou com potencial dinâmico, são traçadas utilizando pontos: os pontos de origem, dos quais inicia o caminhar dos pedestres; os pontos parciais, que servem para incluir áreas intermediárias na rota total ou definir origem das rotas parciais, e: os pontos de destino final. As origens e destinos dessas rotas são as bordas de plataforma, as áreas de espera, o interior do campus e a calçada oposta a este. Cada pedestre que desembarca do ônibus, caminha até a borda de plataforma mais próxima, a partir da posição que ele ocupa no veículo. Caso não exista uma rota que inclua a borda de plataforma, os passageiros são removidos da rede.

Na sobreposição dos *links* das faixas de travessia de pedestres com os *links* das pistas, são formadas automaticamente áreas de conflito entre veículos e pedestres. Nestas áreas, haviam sido estabelecidas regras de prioridades, na rede original, através do elemento de rede *conflict areas*. Inicialmente, deu-se prioridade para os ônibus sobre os pedestres. No entanto, a simulação tornou-se irreal, pois, ao se formarem filas de ônibus sobre a faixa de pedestres, houve acumulação de pedestres, nos passeios e canteiros separadores das pistas, aguardando os ônibus passarem para poder atravessar. As regras de prioridade (*priority rules*) foram alteradas, mas não se obteve êxito. Decidiu-se então manter apenas as regras de prioridade *default* do VISSIM. Desse modo, começaram a ocorrer superposição de pedestres e veículos

no mesmo espaço, isto é, ao abrir o semáforo para os pedestres, mesmo quando havia ônibus sobre a faixa, eles atravessavam normalmente a pista, como se o veículo não existisse. Apesar da visualização não condizer com a realidade, esta configuração mostrou-se mais adequada, já que, em condições normais, quando um veículo para sobre a faixa, é comum os pedestres o contornarem e seguirem seu destino.

Para cada linha e cada veículo que para, é necessário definir o percentual de passageiros que desembarcam. Além disso, deve ser selecionada, na janela de informações do ponto de parada, uma composição de pedestres para os passageiros desembarcando. Esta composição determina os tipos de pedestres que serão criados dentro do veículo (homem, mulher), a distribuição de velocidades desejadas e a quantidade relativa de cada tipo. Para a demanda de embarque com o modelo avançado de pedestres, a definição do perfil da demanda de passageiros para cada linha que opera na parada é feita na janela “*passengers...*”. Este perfil é formado pelo volume de passageiros por hora, pelo intervalo de tempo em que os passageiros são gerados e pelas linhas que estes passageiros usam. Pelo VISWALK, com base nos dados de embarque da estação, são selecionadas em quais linhas os passageiros devem embarcar. Se um veículo de uma dessas linhas chega à estação, os passageiros caminharão diretamente até a porta mais próxima. Assim que todos os passageiros tenham desembarcado, os que estão aguardando embarcam. Isso ocorre em uma área de espera da estação. Para que uma área de espera possa ser acessada pelos pedestres, ela deve receber um ponto de destino de uma rota.

Tanto para passageiros embarcando como desembarcando, deve ser definida a distribuição dos passageiros por portas. Esta definição é feita nas áreas de pedestres para os embarques, e nas paradas para os desembarques.

O ônibus parte da estação somente quando o horário de partida é atingido, e nenhum usuário tenha embarcado durante os últimos três segundos. O horário de partida resulta dos tempos de parada predefinidos. É possível configurar o simulador para reproduzir o atraso da partida em função do fluxo de embarques e desembarques. O veículo só parte se o fluxo de embarques cessar ou se for atingida a sua capacidade, considerando a soma dos passageiros já embarcados e os que embarcam naquela estação. Se um pedestre não conseguir embarcar, por falta de capacidade, ele retorna à área de espera.

Há cinco distribuições de localização pré-definidas, referentes à concentração dos passageiros em relação às portas dos veículos em que vão desembarcar: uniformemente por todas as portas; pela porta central; pela porta dianteira; pela porta traseira e; pelas portas da dianteira e traseira (menor número de passageiros pela porta central). Diferentes distribuições podem ser criadas da forma que for conveniente. Esta distribuição foi alterada para calibrar o comportamento dos pedestres ao ocupar a plataforma, sem êxito.

É possível definir, para cada ponto, por qual lado os pedestres podem embarcar ou desembarcar, sendo permitido por qualquer um ou ambos os lados. O comportamento padrão não tem restrições: todas as portas podem ser usadas tanto para embarque quanto para desembarque.

Para possibilitar o comparativo dos cenários, foi adotado um único valor para o parâmetro *random seed*, que garante a geração do mesmo carregamento inicial, referente à entrada de veículos e pedestres na rede. Nestes também foram inseridos os mesmos valores para a resolução (passos/segundo de simulação) e velocidade (segundos de simulação/segundo). Os resultados foram extraídos somente a partir dos 15 minutos (900 segundos), correspondente ao período de *warm up* da rede, para garantir sua estabilização. Para gerar os relatórios de rede para as simulações, utilizou-se o comando *Evaluation - files*, selecionando-se os parâmetros que deveriam ser medidos e os tipos de relatórios criados. As medições são feitas pelos elementos de rede denominados *data collection points* ou *travel time sections*. O relatório é gerado automaticamente pelo próprio VISSIM após cada simulação, podendo ser importado para o Excel. Os relatórios utilizados estão listados abaixo, com os parâmetros incluídos em cada um:

- *Data collection* – contém o número do ponto de medida, os instantes de passagem do veículo pelo ponto, o número, tipo e a linha de cada veículo, a velocidade (em m/s) e a aceleração (em m/s²);
- *Travel time* – contém o instante da simulação, o número de identificação da seção de medição, o número de cada veículo, o tipo de veículo e o tempo de viagem de cada veículo, entre o início e o fim da seção de medição;
- *Vehicle record* – contém o número de cada veículo, o *link*, a velocidade (em m/s e em km/h), o instante da simulação e a linha de ônibus.