



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

MAURICIO RENATO PINA MOREIRA

GESTÃO DAS INFRAESTRUTURAS URBANAS E SISTEMAS DE TRANSPORTES
COLETIVOS: a necessidade de uma visão holística da interface entre BRT e
pavimentos

Recife
2021

MAURICIO RENATO PINA MOREIRA

**GESTÃO DAS INFRAESTRUTURAS URBANAS E SISTEMAS DE TRANSPORTES
COLETIVOS: a necessidade de uma visão holística da interface entre BRT e
pavimentos**

Tese apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Transportes e Gestão das Infraestruturas Urbanas.

Orientador: Prof. Dr. Anísio Brasileiro de Freitas Dourado.

Recife

2021

Catálogo na fonte
Biblioteca Margareth Malta, CRB-4 / 1198

M838a	Moreira, Mauricio Renato Pina. Gestão das infraestruturas urbanas e sistemas de transportes coletivos: a necessidade de uma visão holística da interface entre BRT e pavimentos / Mauricio Renato Pina Moreira. - 2021. 243 folhas, il., gráfs., tabs. Orientador: Prof. Dr. Anísio Brasileiro de Freitas Dourado. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2021. Inclui Referências e Apêndices. 1. Engenharia Civil. 2. BRT. 3. Faixas exclusivas. 4. Peso dos eixos. 5. Pavimento. 6. Retroanálise. I. Dourado, Anísio Brasileiro de Freitas (Orientador). II. Título UFPE 624 CDD (22. ed.) BCTG/2021-97
-------	--

MAURICIO RENATO PINA MOREIRA

**GESTÃO DAS INFRAESTRUTURAS URBANAS E SISTEMAS DE TRANSPORTES
COLETIVOS: a necessidade de uma visão holística da interface entre BRT e
pavimentos**

Tese apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil. Área de Concentração: Transportes e Gestão das Infraestruturas Urbanas.

Aprovada em: 22/02/2021.

BANCA EXAMINADORA

participação por videoconferência

Prof. Dr. Anísio Brasileiro de Freitas Dourado (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

participação por videoconferência

Prof. Dr. Ricardo Almeida de Melo (Examinador Externo)
Universidade Federal da Paraíba

participação por videoconferência

Prof. Dr. José Orlando Vieira Filho (Examinador Externo)
Universidade de Pernambuco

participação por videoconferência

Prof. Dr. Roberto Quental Coutinho (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

participação por videoconferência

Prof. Dr. Maurício Oliveira de Andrade (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico este trabalho às memórias do meu pai e da minha mãe, que não mediram esforços nem sacrifícios para proporcionar a mim e aos meus irmãos a educação que nos permitiu vencer na vida e souberam nos mostrar exemplos inesquecíveis de padrões de ética, honradez e dignidade. A eles, não tenho palavras para expressar a minha imensurável gratidão.

AGRADECIMENTOS

A Deus, Senhor Supremo do Universo, que generosamente me concedeu as condições para chegar até onde cheguei.

A Nilza, esposa e companheira de todas as horas, aos meus filhos Renata, Marília Gabriela e Sérgio Maurício, aos genros e nora Frederico, Kleber e Fernanda, os sinceros agradecimentos por toda a compreensão demonstrada e por entenderem e atenuarem os meus momentos de isolamento para desenvolver esta tese.

Aos meus netos Arthur, Gabriel, Manuela, Aline, Daniel e Rafael, pelas alegrias que me dão por ser avô. Só quem é avô entende bem esse sentimento.

Agradeço com muita ênfase ao Prof. Dr. Anísio Brasileiro de Freitas Dourado, meu ex-aluno e colega de magistério no Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, pela entusiasmada, dedicada e competente orientação que deu ao desenvolvimento desta tese.

Devo também registrar a minha gratidão ao Prof. Dr. Maurício Oliveira de Andrade, também meu ex-aluno e colega de magistério no Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, pelo apoio, incentivo e disponibilidade para a troca de ideias no desenvolvimento desta tese.

Agradeço ao Prof. Dr. Fabiano Pereira Cavalcante, pela inestimável ajuda prestada no processamento dos programas computacionais da retroanálise dos pavimentos e na interpretação dos seus resultados.

Registro a minha gratidão ao Engenheiro Philippe Beno por ter cedido os equipamentos (FWD e GPR) utilizados na pesquisa e à equipe técnica da RINCENT BTP Brasil, na pessoa dos Engenheiros Victor Pessoa e Pedro Dantas, pela inestimável colaboração prestada por ocasião dos levantamentos de campo realizados com o FWD e o GPR.

Agradeço ao Presidente Erivaldo Coutinho e a todos os meus colegas da Diretoria de Planejamento do Grande Recife Consórcio de Transporte, pelo constante apoio.

Manifesto-me especialmente grato a Eduardo Jorge Soares, meu assessor na Diretoria de Planejamento do Grande Recife Consórcio de Transporte, pela ajuda na coleta atualizada de informações sobre o Sistema de Transporte Público de Passageiros da Região Metropolitana do Recife.

Agradeço ao empresário Alfredo Bezerra Leite, da concessionária Conorte, que permitiu utilizar a balança para a pesagem dos ônibus nas instalações da sua empresa no município de Abreu e Lima e ainda os veículos utilizados na pesquisa. Da mesma forma, registro os meus agradecimentos à empresária Andréa Chaves, da concessionária Mobibrasil, que cedeu um ônibus para pesagem na garagem da concessionária Conorte.

Devo também manifestar os meus agradecimentos à CTTU - Autarquia de Trânsito e Transporte Urbano do Recife, na pessoa da sua presidente Taciana Ferreira e do seu diretor Fabiano Ferraz, pela prestimosa ajuda que deram na realização dos levantamentos de campo (FWD, GPR e sondagens), por terem autorizado, a meu pedido, o deslocamento de uma viatura com agentes para orientar e desviar o trânsito por ocasião dos trabalhos, garantindo a necessária segurança viária.

Por fim, agradeço a todos os meus alunos ao longo desses mais de 46 anos de magistério, pelo que manifestaram de interesse no aprendizado da Engenharia Civil e que me fizeram estudar sempre e sempre mais, no intuito de poder a eles transmitir, da forma mais atualizada possível, as práticas corretas e adequadas da nossa tão sublime profissão.

A todos, a minha gratidão!

RESUMO

O processo acelerado de urbanização ocorrido no Brasil a partir da década de 1950 e o estímulo ao uso do transporte individual provocaram sérios problemas de mobilidade nas cidades brasileiras. Medidas voltadas à melhoria do transporte coletivo de passageiros passaram a receber, mais recentemente, a atenção dos governantes. O sistema conhecido como BRT (*Bus Rapid Transit*), em especial pelo seu menor custo e prazo de implantação, foi adotado como uma solução adequada por muitas cidades ao redor do mundo. Ocorre que o BRT é um veículo muito mais pesado que um ônibus convencional. As elevadas cargas por eixo e a alta frequência nos corredores provocaram o aparecimento precoce de defeitos nos pavimentos das faixas exclusivas por onde o BRT opera. Esta tese trata da metodologia e dos resultados de pesquisa realizada em duas vias integrantes do corredor de transporte Leste-Oeste na Região Metropolitana do Recife, com o objetivo de analisar a influência dessas cargas pesadas sobre o pavimento das suas faixas exclusivas. A partir da pesagem inicial dos eixos de ônibus BRT que operam no corredor, foram realizados levantamentos deflectométricos com o uso do FWD (*Falling Weight Deflectometer*), a aplicação do Euradar, que é um tipo de GPR (*Ground Penetrating Radar*) e a retroanálise do pavimento existente. A retroanálise foi realizada com base no Método da *American Association of State Highway and Transportation Officials* - AASHTO (1993), do BAKFAA 2.0 da *Federal Aviation Administration* - FAA e ainda do programa BackMeDiNa para permitir a obtenção dos módulos de resiliência das camadas do pavimento. Os resultados obtidos e detalhados no corpo desta tese demonstram a necessidade de se ter uma visão holística na implantação de um projeto complexo como o BRT, com a interação entre as diversas engenharias que atuam no processo: a do veículo, a da operação e a do pavimento.

Palavras-chave: BRT; faixas exclusivas; peso dos eixos; pavimento; retroanálise.

ABSTRACT

The accelerated urbanization process in Brazil since the 1950s and the encouragement of the use of individual transport caused serious mobility problems in Brazilian cities. Measures for improving public passenger transport have, more recently, received the attention of government officials. The system known as BRT (Bus Rapid Transit), especially due to its lower cost and implementation time, was adopted as an adequate solution by many cities around the world. However, the BRT is a much heavier vehicle than a conventional bus. The high axle loads and the high frequency in the corridors caused the early appearance of defects in the pavements of the exclusive lanes where the BRT operates. This thesis deals with the methodology and the results of a research carried on two component avenues of the East-West transport corridor in Metropolitan Region of Recife, with the aim of analysing the influence of these heavy loads on the pavement of its exclusive lanes. From the initial weighing of the BRT bus axles operating in the corridor, deflectionmetric surveys were carried out using the FWD (Falling Weight Deflectometer), the application of Euradar, a type of GPR (Ground Penetrating Radar) and the retroanalysis of the existing pavement. The retroanalysis was performed based on the Method of the American Association of State Highway and Transportation Officials - AASHTO (1993), of BAKFAA 2.0 of the Federal Aviation Administration - FAA and also of the BackMeDiNa program to allow obtaining the resilience modules of the pavement layers. The results demonstrate the need to have a holistic view in the implementation of a complex project such as BRT, with the interaction between the various engineering that operate in the process: the vehicle, the operation and the pavement one.

Keywords: BRT; exclusive lanes; axles weight; pavement; retroanalysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Variação da participação da população rural e da população urbana em relação à população total do Brasil (1960 a 2010).....	24
Figura 2 - Variação da demanda catracada do Sistema de Transporte Público de Passageiros da Região Metropolitana do Recife (2007 a 2018).....	29
Figura 3 - Fatores que intervêm na deficiência da mobilidade urbana.....	30
Figura 4 - Principais características do sistema BRT.....	32
Figura 5 - Estimativa do crescimento da população e da propriedade e uso de veículos automotores desde 1950 em países em desenvolvimento.....	45
Figura 6 - Acréscimo anual da frota de veículos em Pernambuco, na RMR e no Recife (2011 a 2019).....	47
Figura 7 - Taxas de crescimento da frota de veículos registrados (Recife e RMR) (2007 a 2019).....	48
Figura 8 - Taxa de motorização em diversos países (2006 a 2015).....	50
Figura 9 - Taxa de motorização nas dez cidades brasileiras mais populosas (julho/agosto de 2020).....	52
Figura 10 - Taxa de motorização nos municípios da RMR (julho e agosto de 2020).....	53
Figura 11 - Consumos relativos do ônibus, da moto e do automóvel.....	55
Figura 12 - Índice de emissões de CO ₂ por passageiro quilômetro (Brasil).....	56
Figura 13 - Redução da praça de Parnamirim para ampliar o espaço dos automóveis.....	59
Figura 14 - A infraestrutura física do SEI.....	63
Figura 15 - O ônibus Phileas.....	65
Figura 16 - O O-Bahn em operação na cidade de Adelaide, Austrália.....	66
Figura 17 - Comparação do desempenho de dez dos principais sistemas de transporte do mundo.....	73
Figura 18 - Distribuição pelos continentes das cidades com sistema BRT em fevereiro/2021.....	78
Figura 19 - Distribuição dos países que possuem, pelo menos, 3 cidades com sistema BRT em fevereiro/2021.....	78
Figura 20 - Traçado do Corredor Eixo Sul (BRT de Brasília).....	81

Figura 21 - Vista geral do corredor do BRT de Brasília em implantação ao longo do canteiro central da rodovia BR-040.....	82
Figura 22 - Pistas do BRT em pavimento de concreto de cimento Portland na ligação das cidades-satélite do Gama e de Santa Maria ao Plano Piloto de Brasília.....	82
Figura 23 - Detalhe da plataforma baixa do BRT na ligação das cidades-satélite do Gama e de Santa Maria ao Plano Piloto de Brasília.....	83
Figura 24 - Ônibus do sistema BRT em operação no Corredor Norte-Sul da RMR.....	84
Figura 25 - Estação de BRT na área central da cidade do Recife (Estação Praça da República).....	84
Figura 26 - Danos causados ao pavimento da faixa exclusiva do BRT do Corredor da PE-15 (Norte-Sul), no Município de Olinda (Região Metropolitana do Recife).....	88
Figura 27 - Danos causados ao pavimento da faixa exclusiva do BRT do Corredor Transoeste (Rio de Janeiro).....	88
Figura 28 - Ônibus do sistema BRT utilizado no corredor da avenida Almirante Barroso (Belém/PA).....	89
Figura 29 - Vista geral do corredor de BRT implantado ao longo da avenida Almirante Barroso (Belém/PA).....	89
Figura 30 - Noticiário sobre a interdição da pista do corredor de BRT da avenida Almirante Barroso, em Belém/PA.....	90
Figura 31 - Danos causados ao pavimento da pista exclusiva do BRT na cidade de Bogotá, Colômbia (Sistema TransMilenio).....	91
Figura 32 - Pavimento recuperado da pista exclusiva do BRT na cidade de Bogotá, Colômbia (Sistema TransMilenio).....	91
Figura 33 - Pavimento recuperado da pista exclusiva do BRT na cidade de Bogotá, Colômbia (Sistema TransMilenio).....	92
Figura 34 - Serviço de recuperação do pavimento da faixa exclusiva da avenida Caxangá (Corredor do BRT Leste-Oeste).....	92
Figura 35 - Deformação permanente (afundamento em trilha de roda) em uma faixa exclusiva de BRT na África do Sul.....	94
Figura 36 - Ônibus do sistema BRT avaliados no estado de Nevada (EUA): (a)	96

Double Decker; (b) Irisbus; e (c) New Flyer.....	
Figura 37 - Visão geral da Yonge Street, podendo-se observar as fissuras na superfície do pavimento então existente.....	97
Figura 38 - Trecho da Highway 7, observando-se problemas típicos na superfície do pavimento então existente, como fissuras transversais, longitudinais e na borda do pavimento, desagregação e afundamento na trilha de roda.....	98
Figura 39 - Divisão de peso do ônibus.....	102
Figura 40 - Efeito da carga sobre o pavimento.....	104
Figura 41 - Fases da vida de um pavimento.....	104
Figura 42 - Comparação entre as deflexões de pavimento rígido e flexível na avenida Caxangá, Recife.....	106
Figura 43 - Viga Benkelman em operação.....	107
Figura 44 - Bacia de deformação ou bacia de deflexões do pavimento.....	108
Figura 45 - FWD (<i>Falling Weight Deflectometer</i>).....	109
Figura 46 - Fatores de equivalência de carga da AASHTO e do USACE para eixo simples.....	115
Figura 47 - Fatores de equivalência de carga da AASHTO e do USACE para eixo tandem duplo.....	116
Figura 48 - Fatores de equivalência de carga da AASHTO e do USACE para eixo tandem triplo.....	116
Figura 49 - Peso dos eixos e peso total do veículo (especificações do fabricante).....	117
Figura 50 - Ilustração dos dados necessários para uma retroanálise do pavimento.....	120
Figura 51 - Fluxograma da metodologia utilizada na pesquisa.....	121
Figura 52 - Avenida Caxangá, com cerca de 6 km de extensão.....	122
Figura 53 - Avenida Conde da Boa Vista, com cerca de 1,6 km de extensão.....	123
Figura 54 - Avenida Caxangá, com as suas duas pistas na configuração atual (foto de 1969).....	124
Figura 55 - Avenida Conde da Boa Vista e o seu pavimento de concreto (foto da década de 1950).....	125
Figura 56 - Configuração de eixos dos ônibus articulados que operam no	126

Corredor Leste-Oeste do sistema BRT da RMR.....	
Figura 57 - <i>Layout</i> do ônibus BRT do Corredor Norte-Sul da RMR.....	127
Figura 58 - Plataforma da balança de pesagem de eixos de veículos.....	129
Figura 59 - Balança utilizada para a pesagem de eixos de veículos.....	130
Figura 60 - O autor desta tese explica aos seus alunos o objetivo da pesquisa e a metodologia da pesagem.....	130
Figura 61 - Pesagem geral dos 107 alunos sobre a plataforma da balança.....	131
Figura 62 - Pesagem do ônibus BRT com os 107 alunos no seu interior.....	131
Figura 63 - Ônibus do corredor Leste/Oeste posicionado sobre o prato da balança para a pesagem.....	132
Figura 64 - Posição dos geofones do FWD utilizado.....	133
Figura 65 - O FWD em operação na faixa exclusiva de ônibus da avenida Caxangá.....	134
Figura 66 - O FWD em operação na faixa exclusiva de ônibus da avenida Conde da Boa Vista.....	134
Figura 67 - Desenho esquemático do princípio de funcionamento do Euradar (1).....	135
Figura 68 - Desenho esquemático do princípio de funcionamento do Euradar (2).....	136
Figura 69 - Aplicação do Euradar na avenida Caxangá.....	136
Figura 70 - Aplicação do Euradar na avenida Conde da Boa Vista.....	137
Figura 71 - Execução de sondagem rotativa na avenida Caxangá para a calibragem do Euradar (pavimento asfáltico na pista no sentido cidade-subúrbio).....	138
Figura 72 - Execução de sondagem rotativa na avenida Caxangá para a calibragem do Euradar (pavimento de concreto na pista no sentido subúrbio-cidade).....	138
Figura 73 - Gráfico das deflexões na avenida Conde da Boa Vista, sentido cidade-subúrbio.....	143
Figura 74 - Testemunho extraído do revestimento asfáltico da avenida Caxangá por meio de sondagem rotativa.....	144
Figura 75 - Material granular das camadas de base e sub-base do revestimento asfáltico da avenida Caxangá, extraído por meio de sondagem a	144

trado.....	
Figura 76 - Testemunho extraído de placa de concreto de cimento Portland da avenida Caxangá por meio de sondagem rotativa.....	145
Figura 77 - Material granular da camada de sub-base e do subleito do pavimento de concreto de cimento Portland da avenida Caxangá, extraído por meio de sondagem a trado.....	145
Figura 78 - Espessuras das camadas do pavimento na avenida Caxangá, obtidas após calibragem das leituras com o Euradar na pista no sentido cidade-subúrbio (pavimento asfáltico).....	146
Figura 79 - Espessuras das camadas do pavimento na avenida Caxangá, obtidas após calibragem das leituras com o Euradar na pista no sentido subúrbio-cidade (pavimento de concreto).....	146
Figura 80 - Espessuras das camadas do pavimento na avenida Conde da Boa Vista, obtidas após calibragem das leituras com o Euradar na pista no sentido subúrbio-cidade.....	147
Figura 81 - Espessuras das camadas do pavimento na avenida Conde da Boa Vista, obtidas após calibragem das leituras com o Euradar na pista no sentido cidade-subúrbio.....	147
Figura 82 - Seções ilustrativas das estruturas consideradas na retroanálise.....	151
Figura 83 - Relação entre o índice de suporte Califórnia (CBR) e o módulo de reação do subleito (k).....	156
Figura 84 - Bacias deflectométricas características dos corredores de BRT analisados.....	159
Figura 85 - Parâmetros obtidos da bacia de deflexão para a detecção de vazios.	161
Figura 86 - Informações da retroanálise dos módulos da avenida Caxangá no sentido leste.....	163
Figura 87 - Gráfico do modelo composto de resiliência de camada de Brita Graduada Simples - BGS.....	165
Figura 88 - Informações da retroanálise dos módulos da avenida Conde da Boa Vista, sentido leste.....	166
Figura 89 - Informações da retroanálise dos módulos da avenida Conde da Boa Vista, sentido oeste.....	167
Figura 90 - Informações da retroanálise dos módulos da avenida Caxangá,	170

sentido oeste.....	
Figura 91 - Fotos de alguns dos defeitos característicos na avenida Caxangá, sentido leste.....	180
Figura 92 - Verificação da fadiga considerando o reforço em CBUQ com o CAP 50/70.....	181
Figura 93 - Verificação da fadiga considerando o reforço em CBUQ com CAP modificado 55/75-E.....	182
Figura 94 - Fotos de defeitos característicos na faixa exclusiva do BRT na avenida Caxangá.....	183
Figura 95 - Tipo do veículo BRT considerado na modelagem.....	185
Figura 96 - Dimensões adotadas para o ESRD para a estimativa de tensões pelo EverFE 2.24.....	185
Figura 97 - Tensão máxima de tração para o carregamento no centro da placa..	188
Figura 98 - Tensão máxima de tração na placa para o carregamento na junta longitudinal.....	189
Figura 99 - Tensão máxima de tração na placa para o carregamento na junta transversal.....	190
Figura 100 - Tensão máxima de tração para o carregamento no centro da placa.....	191
Figura 101 - Tensão máxima de tração na placa para o carregamento na junta longitudinal.....	192
Figura 102 - Tensão máxima de tração na placa para o carregamento na junta transversal.....	193
Figura 103 - Tensão máxima de tração para o carregamento no centro da placa.....	194
Figura 104 - Tensão máxima de tração na placa para o carregamento na junta longitudinal.....	195
Figura 105 - Tensão máxima de tração na placa para o carregamento na junta transversal.....	196

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Taxa de urbanização e número de cidades. 1950/1960 Brasil e regiões.....	25
Tabela 2 - Declínio do uso do transporte público por ônibus no Brasil (1990 a 1993).....	29
Tabela 3 - População, densidade demográfica e participação da população da capital em relação à população total da Região Metropolitana (RM) ou da Região Integrada de Desenvolvimento Econômico (RIDE).....	42
Tabela 4 - Taxa de motorização (habitantes por veículo) em diversos países (2006 a 2015).	50
Tabela 5 - População estimada em 01/07/2020, frota registrada em agosto / 2020 e taxa de motorização (em veículos por 1.000 habitantes) nas dez cidades brasileiras mais populosas.	52
Tabela 6 - Taxa de motorização nos municípios da RMR (julho e agosto de 2020).	53
Tabela 7 - Ganhos de velocidade com a faixa exclusiva.....	58
Tabela 8 - Distribuição de BRT e corredores de ônibus em janeiro de 2011.....	75
Tabela 9 - Demanda diária, número de cidades e extensão de corredores de BRT em todo o mundo (dezembro/2020).....	76
Tabela 10 - Relação das cidades em todo o mundo com sistema BRT e respectivos continentes (fevereiro/2021).....	77
Tabela 11 - BRT: quantidade de corredores, extensão total e demanda horária de pico em treze cidades brasileiras (2012).....	79
Tabela 12 - Valor do investimento nos corredores de BRT em treze cidades brasileiras.....	80
Tabela 13 - Comparação entre pavimento de concreto e pavimento asfáltico.....	87
Tabela 14 - Cargas por eixo dos ônibus do sistema BRT da África do Sul.....	94
Tabela 15 - Fatores de Equivalência de Carga da AASHTO.....	114
Tabela 16 - Fatores de Equivalência de Carga do USACE.....	114
Tabela 17 - Fator de Equivalência de Carga (metodologia da AASHTO) referente ao veículo cujas especificações constam da Figura 49.....	118
Tabela 18 - Fator de Equivalência de Carga (metodologia do USACE)	118

referente ao veículo cujas especificações constam da Figura 49.....	
Tabela 19 - Características operacionais dos corredores escolhidos para a pesquisa.....	122
Tabela 20 - Peso dos eixos de um dos veículos do sistema BRT do Corredor Norte-Sul (motor central) - ÔNIBUS VAZIO.....	140
Tabela 21 - Peso dos eixos de um dos veículos do sistema BRT do Corredor Leste-Oeste (motor traseiro) - ÔNIBUS VAZIO.....	140
Tabela 22 - Peso dos eixos dos veículos do sistema BRT que operam no Corredor Norte-Sul (motor central).....	141
Tabela 23 - Peso dos eixos dos veículos do sistema BRT que operam no Corredor Leste-Oeste (motor traseiro).....	141
Tabela 24 - Resultados das sondagens rotativa e a trado na avenida Caxangá (sentido cidade-subúrbio).....	143
Tabela 25 - Resultados das sondagens rotativa e a trado na avenida Caxangá (sentido subúrbio-cidade).....	143
Tabela 26 - Valores de desvio padrão em função do número de amostras.....	149
Tabela 27 - Bacias características obtidas após o tratamento estatístico (deflexões em μm).....	150
Tabela 28 - Valores de referência do parâmetro AREA.....	153
Tabela 29 - Determinação do parâmetro AREA para as faixas exclusivas com pavimento em concreto de cimento Portland.....	154
Tabela 30 - Raio de rigidez relativa.....	155
Tabela 31 - Resultados de Q e M.....	162
Tabela 32 - Faixas de módulos sugeridas.....	171
Tabela 33 - Vida útil remanescente para o pavimento da pista exclusiva da avenida Caxangá, no sentido subúrbio-cidade (pavimento de concreto de cimento Portland).....	172
Tabela 34 - Vida útil remanescente para o pavimento da pista exclusiva da avenida Caxangá, no sentido cidade-subúrbio (pavimento asfáltico).....	172
Tabela 35 - Vida útil remanescente para o pavimento da pista exclusiva da avenida Conde da Boa Vista, no sentido subúrbio-cidade (pavimento de concreto de cimento Portland).....	173

Tabela 36 - Vida útil remanescente para o pavimento da pista exclusiva da avenida Conde da Boa Vista, no sentido cidade-subúrbio (pavimento de concreto de cimento Portland).....	173
Tabela 37 - Correlação entre o CBR e o k.....	174
Tabela 38 - Frequência de repetições de carga (trecho mais carregado da avenida Caxangá).....	175
Tabela 39 - Frequência de repetições agrupada por intervalo de carga por eixo (trecho mais carregado da avenida Caxangá).....	175
Tabela 40 - Frequência de repetições de carga (trecho mais carregado da avenida Conde da Boa Vista).....	176
Tabela 41 - Frequência de repetições agrupada por intervalo de carga por eixo (trecho mais carregado da avenida Conde da Boa Vista).....	176
Tabela 42 - Verificação do pavimento da avenida Caxangá pelo Método da PCA/84.....	177
Tabela 43 - Verificação do pavimento da avenida Conde da Boa Vista pelo Método da PCA/84.....	178
Tabela 44 - Equações para a representação da curva de fadiga.....	186
Tabela 45 - Estimativa das tensões de tração na avenida Caxangá, sentido leste.....	187
Tabela 46 - Estimativa das tensões de tração na avenida Conde da Boa Vista, sentido leste.....	190
Tabela 47 - Estimativa das tensões de tração na avenida Conde da Boa Vista, sentido oeste.....	193

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEMC	Análise Elástica de Múltiplas Camadas
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
ANTP	Associação Nacional de Transportes Públicos
APTA	<i>American Public Transportation Association</i>
BGS	Brita Graduada Simples
BHLS	<i>Buses with High Level of Service</i>
BRT	<i>Bus Rapid Transit</i> ou Transporte Rápido por Ônibus (TRO)
BT	Barra de Transferência
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CBR	<i>California Bearing Ratio</i>
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CCT	Câmara de Compensação Tarifária
CLATPU	<i>Congreso Latinoamericano de Transporte Público y Urbano</i>
CMT	Capacidade Máxima de Tração
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia
CTM	Consórcio de Transporte Metropolitano
CTTU	Autarquia de Trânsito e Transporte Urbano do Recife
CTU	Companhia de Transportes Urbanos
CVC	Combinações de Veículos de Carga
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
DER-PE	Departamento de Estradas de Rodagem de Pernambuco
DETERPE	Departamento de Terminais Rodoviários de Pernambuco
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EBTU	Empresa Brasileira de Transportes Urbanos
EMTU	Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos
ESRD	Eixo Simples de Rodas Duplas
EUA	Estados Unidos da América
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
FIDEM	Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife
FTA	<i>Federal Transit Administration</i>
FUNDERM	Fundo de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife
FWD	<i>Falling Weight Deflectometer</i>
GAWR	<i>Gross Axle Weight Rating</i>
GEE	Gases de Efeito Estufa
GEIPOT	Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes
GPR	<i>Ground Penetrating Radar</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GVW	<i>Gross Vehicle Weight</i>
HC	Hidrocarbonetos
HCM	<i>Highway Capacity Manual</i>
HWD	<i>Heavy Weight Deflectometer</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
IPR	Instituto de Pesquisas Rodoviárias
ITDP	<i>Institute for Transportation and Development Policy</i>
ITS	<i>Intelligent Transportation Systems</i>
LEF	Load Equivalency Factor
LRT	<i>Light Rail Transit</i> ou Transporte Rápido sobre Trilhos
ME	Método de Ensaio
MeDiNa	Método de Dimensionamento Nacional de pavimentos
MP	Material Particulado
MRT	<i>Mass Rapid Transit</i>
NBR	Norma Brasileira

NO _x	Óxidos de Nitrogênio
NTU	Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos
PBT	Peso Bruto Total
PBTC	Peso Bruto Total Combinado
PCA	<i>Portland Cement Association</i>
PDM	Plano de Desenvolvimento Metropolitano
PDTU	Plano Diretor de Transportes Urbanos
PIB	Produto Interno Bruto
PMI	<i>Project Management Institute</i>
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
POT	Plano de Organização Territorial
PVP	Presença de Vazios sob as Placas
RBM	<i>Rich Bottom Mix</i>
RIDE	Região Integrada de Desenvolvimento Econômico
RM	Região Metropolitana
RMR	Região Metropolitana do Recife
RMS	<i>Root Mean Square</i>
SEI	Sistema Estrutural Integrado
SIC	Sistema Complementar
STI	Sistemas de Transporte Inteligentes
STPP	Sistema de Transporte Público de Passageiros
SUDENE	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
TIP	Terminal Integrado de Passageiros
TRO	Transporte Rápido por Ônibus ou <i>Bus Rapid Transit</i> (BRT)
TSCE	Teoria de Sistema das Camadas Elásticas
TUE	Trem-Unidade Elétrico
UCP	Unidades de Carros de Passeio
URBS	Urbanização de Curitiba S/A
USACE	<i>United States Army Corps of Engineers</i>
VLT	Veículo Leve sobre Trilhos
WASHO	<i>Western Association of State Highway Officials</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	24
1.1	Contextualização e importância do problema	24
1.2	Síntese do objetivo da tese	30
1.3	Apresentação da tese	33
2	TRANSPORTE E DESENVOLVIMENTO URBANO	37
2.1	Alguns tópicos relevantes sobre o transporte urbano no Brasil e na Região Metropolitana do Recife	37
2.2	O Sistema Estrutural Integrado - SEI.....	60
3	A TECNOLOGIA BRT (<i>BUS RAPID TRANSIT</i>) E A INFRAESTRUTURA VIÁRIA	64
3.1	Histórico e conceitos	64
3.2	Vantagens e desvantagens dos sistemas BRT	69
3.3	Panorama do BRT pelo mundo.....	75
3.4	Panorama do BRT no Brasil	79
3.5	Enfoques complementares relevantes sobre o BRT	85
3.6	A infraestrutura viária dos sistemas BRT	86
3.6.1	Caso de pavimentos de sistemas BRT na África do Sul	93
3.6.2	Caso de pavimentos de sistemas BRT em Nevada (EUA).....	95
3.6.3	Caso de pavimentos de sistemas BRT em Ontário (Canadá).....	97
3.6.4	Caso de pavimentos destinados a ônibus de um modo geral nos Estados Unidos...	100
4	A QUESTÃO DA INFRAESTRUTURA DA VIA (O PAVIMENTO) E O EFEITO DAS CARGAS TRANSMITIDAS PELO TRÁFEGO	103
4.1	O comportamento da estrutura do pavimento	103
4.2	A avaliação estrutural e as deformações elásticas do pavimento.....	106
4.3	Cargas máximas permitidas para os veículos que circulem nas vias terrestres brasileiras	110
4.4	A influência do peso dos eixos dos veículos sobre a vida útil do pavimento	114
4.5	A retroanálise de pavimentos	118
5	A METODOLOGIA DA PESQUISA.....	120
5.1	Seleção dos corredores de transporte para a pesquisa	121
5.2	Caracterização do peso dos eixos dos ônibus do sistema BRT.....	125
5.3	Determinação das deflexões do pavimento com o FWD	132

5.4	Aplicação do radar (GPR)	135
5.5	Sondagens para a calibração do radar (GPR)	137
5.6	Retroanálise dos pavimentos das faixas exclusivas das vias pesquisadas	139
6	OS RESULTADOS DA PESQUISA.....	140
6.1	Caracterização do peso dos eixos dos ônibus do sistema BRT	140
6.1.1	Ônibus vazio (sem passageiros e sem motorista)	140
6.1.2	Ônibus carregado.....	141
6.2	Determinação das deflexões do pavimento com o FWD	142
6.3	Sondagens para a calibração do radar (GPR)	143
6.4	Aplicação do radar (GPR)	146
6.5	Avaliação estrutural e retroanálise do pavimento das faixas exclusivas das vias pesquisadas.....	148
6.5.1	Bacias deflectométricas características	148
6.5.2	Estrutura dos pavimentos das faixas exclusivas.....	150
6.5.3	Retroanálise dos módulos de resiliência do pavimento e do subleito	151
6.5.4	Verificação do pavimento de concreto existente pelo método da PCA/84	173
6.5.5	Verificação do pavimento asfáltico existente pelo método MeDiNa.....	180
6.5.6	Modelagem numérica do pavimento de concreto com o Programa EverFE 2.24....	183
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	197
	REFERÊNCIAS	199
	APÊNDICE A - LEITURA DAS DEFLEXÕES COM O FWD NA AVENIDA CAXANGÁ (SENTIDO LESTE OU SUBÚRBIO-CIDADE).....	209
	APÊNDICE B - LEITURA DAS DEFLEXÕES COM O FWD NA AVENIDA CAXANGÁ (SENTIDO OESTE OU CIDADE-SUBÚRBIO)	211
	APÊNDICE C - LEITURA DAS DEFLEXÕES COM O FWD NA AVENIDA CONDE DA BOA VISTA (SENTIDO LESTE OU SUBÚRBIO-CIDADE).....	212
	APÊNDICE D - LEITURA DAS DEFLEXÕES COM O FWD NA AVENIDA CONDE DA BOA VISTA (SENTIDO OESTE OU CIDADE-SUBÚRBIO)	213
	APÊNDICE E - RETROANÁLISE DO PAVIMENTO DA AVENIDA CAXANGÁ PELO PRIMAX (SENTIDO SUBÚRBIO-CIDADE).....	218
	APÊNDICE F - RETROANÁLISE DO PAVIMENTO DA AVENIDA CAXANGÁ PELO PRIMAX (SENTIDO CIDADE-SUBÚRBIO).....	222
	APÊNDICE G - RETROANÁLISE DO PAVIMENTO DA AVENIDA CONDE DA BOA VISTA PELO PRIMAX (SENTIDO SUBÚRBIO-CIDADE).....	226

APÊNDICE H - RETROANÁLISE DO PAVIMENTO DA AVENIDA CONDE DA BOA VISTA PELO PRIMAX (SENTIDO CIDADE-SUBÚRBIO)	230
APÊNDICE I - ESTUDOS DE TRÁFEGO AVENIDA CAXANGÁ - PAVIMENTO ASFÁLTICO (PISTA NO SENTIDO OESTE).....	234
APÊNDICE J - ESTUDOS DE TRÁFEGO AVENIDA CAXANGÁ - PAVIMENTO DE CONCRETO (PISTA NO SENTIDO LESTE)	239
APÊNDICE K - ESTUDOS DE TRÁFEGO AVENIDA CONDE DA BOA VISTA PAVIMENTO DE CONCRETO (AMBAS AS PISTAS)	241

1 INTRODUÇÃO

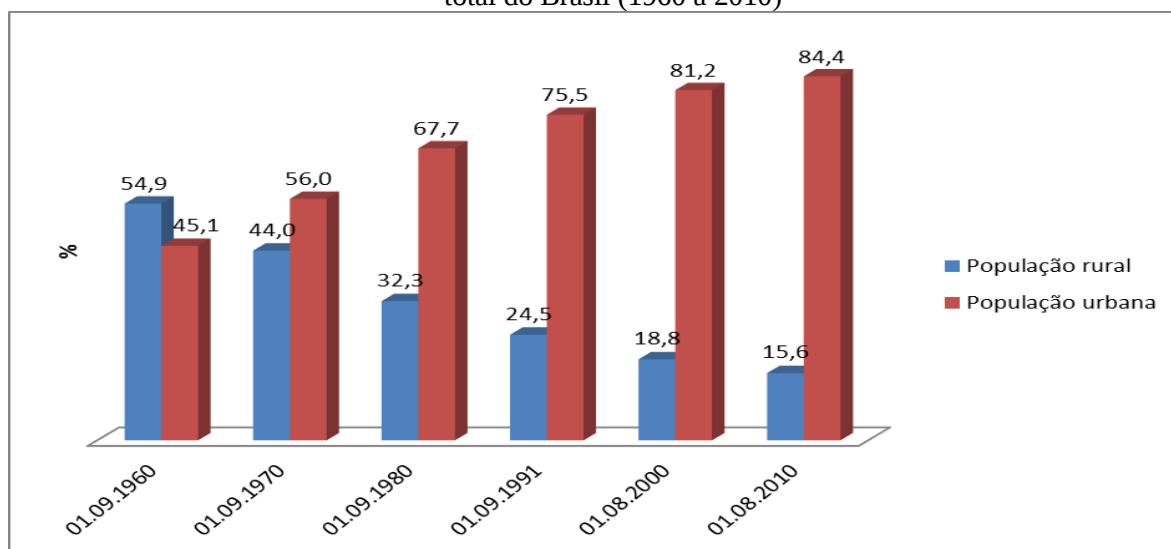
“O que é a cidade senão seu povo?”

(William Shakespeare)

1.1 Contextualização e importância do problema

O processo de urbanização verificado no Brasil durante a segunda metade do século passado ocorreu de forma acentuada e acelerada. Conforme o Censo Demográfico de 2010 (IBGE, 2011), o Brasil atingiu naquele ano uma população, em números redondos, de 190.756.000 habitantes, cerca de 12,3% superior à registrada no censo anterior realizado no ano de 2000. Um aspecto que chama a atenção nos resultados do Censo Demográfico de 2010 é a elevada participação da população urbana, que passou a representar aproximadamente 84,4% da população total. Essa tendência tem sido observada desde a década de 50 do século passado, ocasião em que o Brasil era um país eminentemente rural, e deverá ser reafirmada com o Censo Demográfico de 2020. A Figura 1 ilustra a variação da participação da população rural e da população urbana em relação à população total nos censos realizados no Brasil nas últimas décadas (Moreira e Dourado, 2013).

Figura 1 - Variação da participação da população rural e da população urbana em relação à população total do Brasil (1960 a 2010)



Fonte: Moreira; Dourado (2013).

A Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios - PNAD 2015 (IBGE, 2016) registra que a participação da população urbana já havia alcançado, naquele ano, 84,7% da população total

brasileira. As estimativas apontam, para o ano de 2020, que, cerca de 86 de cada 100 habitantes do Brasil estão vivendo nas cidades.

A população urbana aumentou no Brasil cerca de 9,4 vezes desde 1950, crescimento do qual não se tem registro em qualquer outro país em todo o mundo (BACHA et al., 2019).

Para que se entenda como ocorreu esse processo de êxodo rural, é necessário percorrer uma volta no tempo.

No ano de 1950, as três cidades brasileiras mais populosas eram o Rio de Janeiro, então capital nacional (com cerca de 2,4 milhões de habitantes), São Paulo (com 2,2 milhões) e o Recife (com 500 mil). Naquela ocasião, 36,2% da população brasileira viviam em cidades, com 21,5% nas 96 cidades com mais de 200 mil habitantes (Schiffer, 1999).

A velocidade com que se iniciou esse processo de urbanização na década de 1950 é bem expressa na Tabela 1, que apresenta a comparação entre o número de cidades brasileiras por região e a respectiva taxa de urbanização, a qual expressa a relação percentual entre a população urbana e a população total, entre os anos de 1950 e 1960 (Schiffer, 1999).

Tabela 1 - Taxa de urbanização e número de cidades. 1950/1960
Brasil e regiões *

REGIÃO	1950		1960	
	NÚMERO DE CIDADES	TAXA DE URBANIZAÇÃO	NÚMERO DE CIDADES	TAXA DE URBANIZAÇÃO
Norte	98	31,5	120	37,4
Nordeste	608	26,4	902	33,9
Sudeste	845	47,5	1.083	57,0
Sul	224	29,5	414	37,1
Centro-Oeste	112	24,5	244	34,2
Brasil	1.887	36,2	2.763	44,7

Fonte: Davidovich & Fredrich (1988, p. 27); FIBGE (1987) apud Schiffer (1999).

* Divisão Regional de 1985.

Observa-se que há uma pequena diferença na taxa de urbanização no ano de 1960 (45,1% contra 44,7%) entre os dados do IBGE (Figura 1) e os apresentados na Tabela 1.

Constata-se que naquela ocasião iniciava-se o processo de concentração da população nas regiões metropolitanas brasileiras, embora elas só tenham sido oficialmente criadas no ano de

1973. Assim, as então nove regiões metropolitanas (Belém, Fortaleza, Recife, Salvador, Belo Horizonte, Rio de Janeiro, São Paulo, Curitiba e Porto Alegre) já detinham, no ano de 1960, 21,9% da população residente nacional, cabendo às de São Paulo e do Rio de Janeiro respectivamente 6,9% e 7,3% do total do país (Schiffer, 1999).

Durante as décadas de 1960 e 1970, manteve-se a tendência de crescente concentração populacional nas metrópoles. Schiffer (1999) destaca que as nove regiões metropolitanas já citadas detinham em conjunto cerca de 25,5% da população brasileira em 1970 e 29,0% em 1980. Souza (1999) menciona que, durante os anos de 1940 a 1970, a população urbana brasileira quase triplicou. O crescimento entre os anos de 1950 a 1960 foi de 60% e de 65% entre 1960 e 1970.

A população rural brasileira no ano de 1960 era de cerca de 38,5 milhões de habitantes, enquanto no ano de 2010 era de aproximadamente 29,8 milhões, ou seja, foi reduzida em 22,6%. Enquanto isso, durante o mesmo período, a população urbana brasileira passou de 31,6 para 161,0 milhões de habitantes, experimentando, portanto, um acréscimo de cerca de 409,5%.

Durante as décadas de 1970 e 1980, o processo de urbanização continuou de maneira acelerada. Souza (1999) menciona o fato de que, de 1970 a 1980, as cidades brasileiras com mais de 20 mil habitantes tiveram as suas populações aumentadas de 37.398.842 para 60.745.403 habitantes, isto é, um aumento superior a 60%, além do que a população de dez cidades com mais de 250 mil até 2 milhões de habitantes correspondia a 44% da população urbana. Essas cidades com população entre 250 mil e 2 milhões de habitantes foram as que sofreram maior crescimento populacional, superior mesmo às aquelas com mais de 2 milhões de habitantes.

O processo migratório, influenciado pela mecanização da agricultura, pelos investimentos econômicos e a consequente oferta de empregos nas cidades, teve um importante papel no fenômeno da urbanização verificado no Brasil.

Que fator explica a urbanização crescente no Brasil nas últimas seis a sete décadas: seria um processo crescente de atração das cidades pela variedade de oportunidades que passaram a

oferecer ou um processo de “repulsão do campo”? Tal processo já se inicia na segunda metade do século XIX, com a nova relação de trabalho (assalariado) e o crescente processo de industrialização (Deák e Schiffer, 1999).

As consequências do elevado processo de urbanização são evidentes, ressaltando entre elas a insuficiência da infraestrutura das cidades. Assim, o déficit habitacional, os problemas de saneamento básico, de sistema viário e de mobilidade urbana são alguns dos principais problemas enfrentados pelos moradores das cidades brasileiras.

De todos os problemas relacionados à infraestrutura das cidades, surge de forma recorrente a deficiência da mobilidade urbana. Durante décadas, as políticas públicas estiveram voltadas a privilegiar o transporte individual. Na ausência de políticas públicas voltadas à priorização ao transporte público de passageiros, foram observados expressivos acréscimos na quantidade de automóveis circulando nas cidades. A falta de opções razoáveis para os deslocamentos das pessoas, uma conjuntura econômica favorável em alguns anos e a implantação de políticas públicas que passaram a estimular a compra de automóveis (mediante renúncia fiscal para a indústria automobilística e facilidades de crédito) fizeram com que o problema fosse agravado continuamente.

Como a base da produção industrial e de serviços do país está localizada nas grandes cidades e a tendência é de que essa importância das metrópoles aumente cada vez mais diante dos novos requisitos de eficiência e competitividade exigidos pela nova ordem econômica mundial, é evidente que o desempenho da economia brasileira muito depende da melhoria das condições da mobilidade urbana (ANTP, 1998).

Em decorrência do acelerado processo de urbanização, o planejamento urbano, como assim denominado, passou a receber uma maior atenção governamental no Brasil na década de 1960 e início da de 1970. Entendeu-se, já à época, que o acelerado processo de urbanização se constituía em uma das transformações fundamentais da sociedade brasileira e requeria uma intervenção estatal, tanto na sua concepção quanto na sua implementação. No entanto, a implantação de melhorias nos sistemas de transportes urbanos caracterizou-se por um ritmo lento e incompatível com o crescimento das cidades, ilustrado pelo caso do metrô de São Paulo, cuja rede se expandiu apenas cerca de 2 km por ano. Para alterar esse quadro, seria

necessário aumentar em muito a quantidade de investimentos requeridos para o setor (Deák e Schiffer, 1999).

Procurou-se até agora nesta abordagem mostrar o sério problema da mobilidade urbana, que se constitui em um grande desafio da atualidade nas cidades de grande e de médio porte. Durante muitos anos, imaginou-se que esse problema poderia ser resolvido simplesmente com intervenções no sistema viário, envolvendo a abertura ou o alargamento de ruas e avenidas ou a construção e o alargamento de viadutos, afetando o patrimônio histórico e ambiental da cidade. Essa política vigorou em várias cidades do mundo, não tendo sido a cidade do Recife uma exceção.

Os engenheiros de tráfego das décadas de 1960 e 1970 realizavam seus estudos com o objetivo exclusivo de melhorar a circulação dos veículos, não considerando a circulação das pessoas. As versões iniciais do *Highway Capacity Manual* - HCM, considerado a referência da Engenharia de Tráfego, não faziam menção a pessoas ou pedestres. Os ônibus eram tratados nos estudos apenas como coeficientes de “unidades de carros de passeio” (UCP). Assim sendo, conforme afirma Hull (2008), as cidades foram planejadas durante décadas para os automóveis e o setor viário urbano prosperou com o alargamento de avenidas, a pavimentação de ruas e a construção de viadutos e pistas elevadas.

O crescente e descontrolado uso do automóvel nas cidades proporcionou o surgimento de problemas relacionados ao que se convencionou chamar de deseconomias urbanas, representadas i) pelos congestionamentos, com o consequente aumento dos tempos de viagem; ii) pela poluição ambiental, em função da emissão de gases do efeito estufa e iii) pela ocorrência de acidentes de trânsito.

Por sua vez, passou a acontecer um fenômeno em várias cidades brasileiras desde a década de 1990: a diminuição da demanda pelo transporte público. Essa redução conduz a um círculo vicioso: a queda da demanda leva a uma redução da oferta de serviço que, por sua vez, afasta os usuários, acarretando um aumento da precariedade do serviço, o que produz novas diminuições da demanda. Esses ciclos de retroalimentação, sem que haja a interferência de um ou mais fatores externos, agravam continuamente o problema.

Não é de hoje que a questão preocupa. Já de algum tempo, vem sendo observado um declínio no uso do transporte público por ônibus, conforme mostra a Tabela 2, abrangendo informações de 15 capitais e 16 cidades de porte médio no Brasil (ANTP, 1998). Já naquela época, durante os anos de 1990 e 1993, foi verificada uma redução no uso do transporte público por ônibus nas capitais e nas cidades de porte médio no Brasil de respectivamente 8,4% e 6,3%.

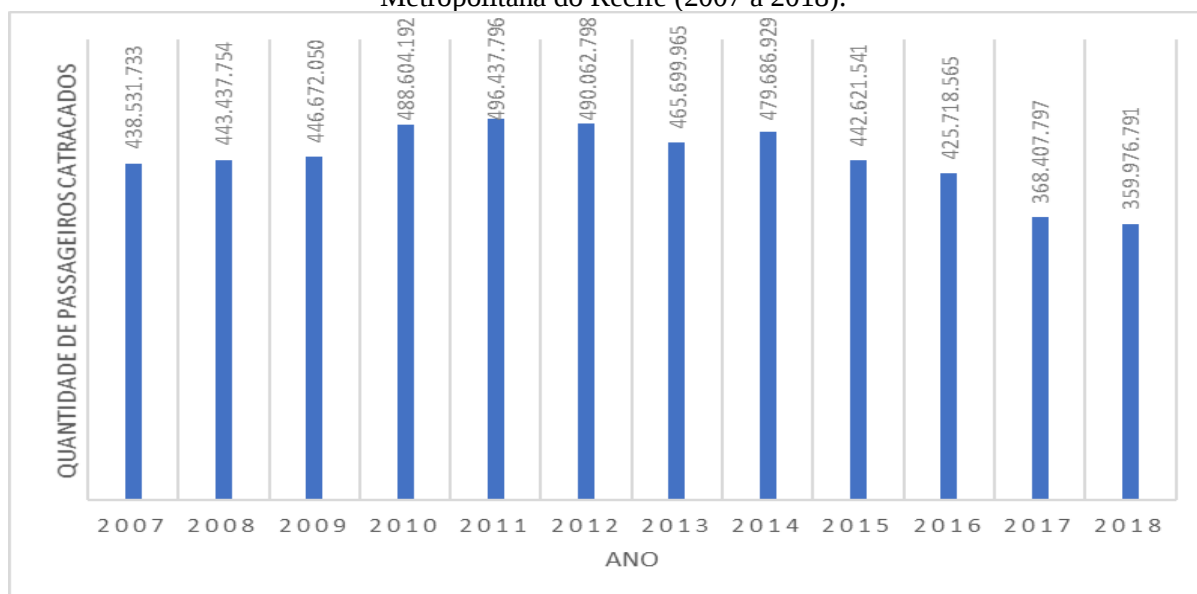
Tabela 2 - Declínio do uso do transporte público por ônibus no Brasil (1990 a 1993)

TIPO DE CIDADE	PASSAGEIROS POR ANO 1990 (milhões)	PASSAGEIROS POR ANO 1993 (milhões)	REDUÇÃO (%)
Capitais	5.300	4.857	8,4
Cidades de Porte Médio	962	901	6,3

Fonte: ANTP (1995).

Desde o início da década de 2000, observa-se o mesmo fenômeno. O sistema de transporte coletivo por ônibus na RMR, que chegou a apresentar uma demanda catracada de 496,4 milhões de passageiros no ano de 2011, sofreu uma significativa redução na sua demanda, com apenas cerca de 360,0 milhões no ano de 2018, conforme mostra a Figura 2. Ou seja, em sete anos, “sumiram” do sistema 136,5 milhões de passageiros por ano (cerca de 27,5% da demanda verificada no ano de 2011), o que corresponde à demanda de cerca de aproximadamente 3 meses e 9 dias do ano de 2011 (CTM, 2007 a 2018).

Figura 2 - Variação da demanda catracada do Sistema de Transporte Público de Passageiros da Região Metropolitana do Recife (2007 a 2018).



Fonte primária: Anuários Estatísticos do Consórcio de Transporte Metropolitano - CTM (2007 a 2018).

Vários fatores podem ter causado essa queda, entre os quais a forte crise econômica que o País atravessa, a ampliação do sistema integrado e a facilidade creditícia para a aquisição de automóveis e motos.

A Figura 3 ilustra, por meio de um fluxograma, os fatores que têm causado a deficiência da mobilidade urbana.

Figura 3 - Fatores que intervêm na deficiência da mobilidade urbana.



Fonte: autoria própria.

1.2 Síntese do objetivo da tese

Todo o texto desenvolvido até o presente permitiu, por meio de uma abordagem fática, formular as seguintes questões:

- a) a questão da mobilidade urbana é um dos principais desafios da sociedade contemporânea, por afetar fortemente a qualidade de vida das pessoas;
- b) a solução do problema da mobilidade urbana passa necessariamente pela oferta de um transporte público de qualidade, que reúna condições satisfatórias de rapidez, conforto, segurança, confiabilidade e modicidade da tarifa e requer, entre outras medidas, a aplicação de investimentos voltados à melhoria do transporte coletivo e ao estímulo das formas de transporte não motorizadas;
- c) há um passivo de décadas nas quais as políticas públicas estiveram voltadas a priorizar o transporte individual;

- d) quando há uma reversão nesse processo e as obras que passarão a beneficiar o transporte coletivo são iniciadas, é criada uma expectativa positiva na população usuária.

A melhoria dos sistemas de transporte público de passageiros passou a ser então uma preocupação dos governantes e gestores. A implantação de sistemas de alta capacidade sobre trilhos, aplicável a alguns corredores, esbarra em duas dificuldades: o elevado custo de implantação e o longo tempo necessário para o início da sua operação.

Considerando que, em muitas cidades, a adoção de sistemas de transporte de média capacidade atende satisfatoriamente às demandas de alguns dos principais corredores, houve uma procura para a implantação do BRT (*Bus Rapid Transit*), não apenas em várias cidades brasileiras mas também ao longo de todo o mundo, a partir das experiências bem sucedidas de Curitiba e Bogotá.

Com efeito, o sistema BRT atende aos requisitos da mobilidade urbana sustentável e é uma opção satisfatória para muitos dos corredores de várias cidades brasileiras. Há de se entender, contudo, que o BRT é um sistema complexo, que requer o atendimento de diversos requisitos de engenharia, tais como o projeto adequado do veículo, o plano operacional, o projeto do sistema viário e das estações e a tecnologia da informação envolvida.

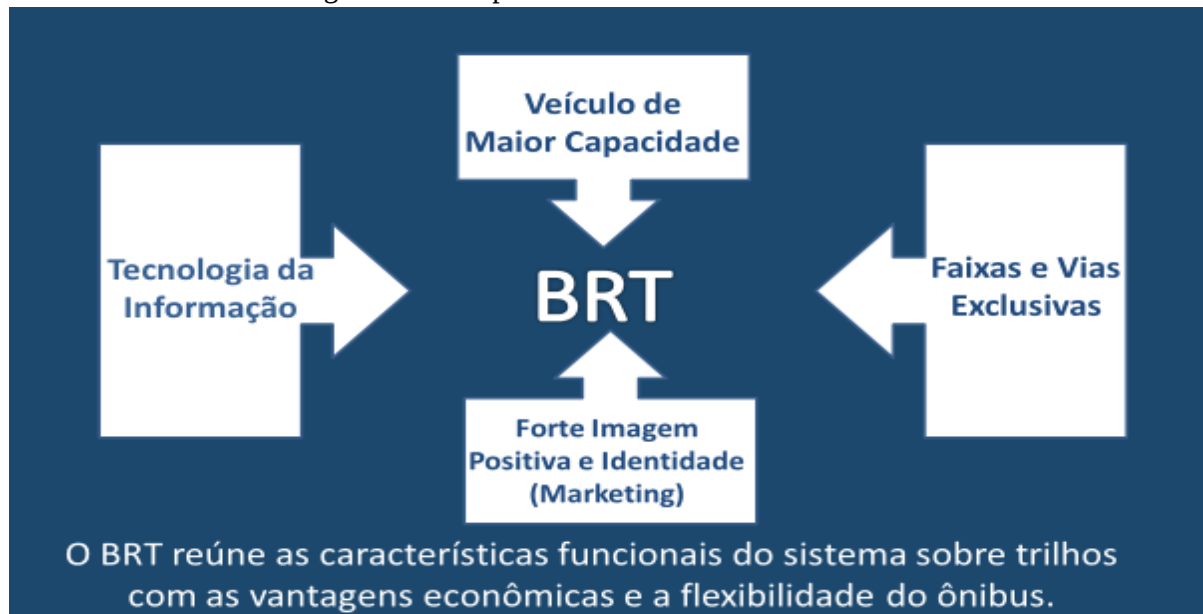
Na maioria das cidades, o BRT foi implantado sobre o sistema viário existente e, pelo fato de ser um veículo pesado (mais que o dobro do peso de um ônibus convencional), tem provocado danos precoces ao pavimento das faixas ou vias por onde circula. Fica assim caracterizada a questão central da tese: as diversas engenharias relacionadas à complexidade de um sistema BRT, envolvendo em especial o projeto do veículo, o plano operacional, o projeto e a execução das obras viárias necessárias, não se comunicam adequadamente como deveriam.

Esta constatação vem se constituir na questão central da tese, intrinsecamente ligada à gestão das infraestruturas urbanas e que pode ser assim sintetizada: há quem cuide do planejamento e da operação do sistema de transporte público de passageiros, a quem compete especificar as características do veículo e as suas condições de operação. Por outro lado, há quem cuide da via a ser utilizada, cabendo-lhe projetar, executar e conservar o pavimento. Mas essas partes,

de um modo geral, não se comunicam de forma adequada. Como já abordado, reforça-se aqui a constatação da complexidade envolvida na implantação do projeto de um sistema BRT com os seus vários componentes.

A Figura 4 mostra o resumo das principais características do sistema BRT.

Figura 4 - Principais características do sistema BRT.



Fonte: autoria própria.

Em diversas cidades brasileiras, a exemplo do Recife, de Belém e do Rio de Janeiro, os pavimentos das faixas exclusivas de ônibus passaram a apresentar defeitos precoces em decorrência do peso dos eixos dos ônibus BRT. Torna-se evidente que, se a interação entre a operação do transporte coletivo e o pavimento não for tratada da forma adequada, este último terá a sua vida útil precocemente encerrada.

Este é, pois, o tema central da tese: enxergar a necessidade de uma visão holística de todo o processo. O Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa define holismo como a abordagem, no campo das ciências humanas e naturais, que prioriza o entendimento integral dos fenômenos, em oposição ao procedimento analítico em que seus componentes são tomados isoladamente (por exemplo, a abordagem sociológica que parte da sociedade global e não do indivíduo). Portanto, uma visão holística é aquela que busca um entendimento integral dos fenômenos ou, como diz uma expressão inglesa, “*Sometimes, the trees do not let us see the forest*”, ou seja, “Às vezes, as árvores não nos deixam ver a floresta”.

Hajj (2016) destacou que uma revisão da literatura mostrou poucos estudos recentes que tenham estimado o impacto do peso dos eixos dos ônibus sobre o pavimento. Há, de fato, uma vasta e abrangente bibliografia sobre cada um dos aspectos do problema, a saber, as questões relacionadas ao planejamento e à operação de um sistema de transporte público de passageiros, as referentes ao projeto de equipamentos de transporte e as pertinentes à infraestrutura viária. No entanto, são raras as publicações que tratam transversalmente desses temas. Este foi um fator, de um lado limitador, mas de outro, desafiador, para o desenvolvimento desta tese.

A hipótese formulada na tese é a de que a implantação de um projeto complexo como o BRT, envolvendo diversos componentes aparentemente independentes mas fortemente relacionados entre si, exige uma visão holística de todo o processo e que, em especial, torna-se essencial a interação entre o planejamento e a operação de um sistema de transporte coletivo e a infraestrutura representada pelo pavimento da via. Ou seja e em resumo, trata-se de um típico problema de gestão das infraestruturas urbanas.

É, portanto, um assunto de gestão da infraestrutura urbana que, se não conveniente tratado, voltará a causar novos transtornos à população para a recuperação dos pavimentos, após um período de inconvenientes causados pela execução das obras. Daí, a relevância do tema o justifica.

A metodologia descrita no Capítulo 5 mostra os experimentos realizados para comprovar (ou não) a hipótese formulada na Tese. Foram diversas pesquisas de campo desenvolvidas pelo autor, compreendendo pesagens de veículos do sistema BRT (vazio e com passageiros), levantamentos deflectométricos e aplicação de equipamento de radar baseado em princípios da impulsão eletromagnética nas faixas exclusivas de ônibus em duas vias utilizadas pelo BRT na RMR, realização de sondagens para a calibração do radar e utilização de programas computacionais para a retroanálise dos pavimentos.

1.3 Apresentação da tese

Sob o título **GESTÃO DAS INFRAESTRUTURAS URBANAS E SISTEMAS DE TRANSPORTES COLETIVOS: A NECESSIDADE DE UMA VISÃO HOLÍSTICA DA**

INTERFACE ENTRE BRT E PAVIMENTOS, esta tese está estruturada da maneira descrita a seguir.

Este Capítulo 1, sob o título Introdução, trata da apresentação da tese e do seu objetivo e mostra inicialmente o contexto da questão da mobilidade urbana, situando a gravidade do problema. Aborda assim o contexto do acelerado processo de urbanização verificado no Brasil a partir dos anos 1950; as suas consequências sobre as infraestruturas urbanas, com ênfase nos problemas relacionados à mobilidade nas cidades; as diversas questões relacionadas ao transporte público de passageiros nas metrópoles e cidades de médio porte brasileiras; as consequências do crescente e descontrolado uso do automóvel nas cidades; as deseconomias urbanas provocadas pelo transporte individual, representadas por congestionamentos, poluição e acidentes; e a redução no uso do transporte público. Em seguida, ao sintetizar o objetivo da tese, este capítulo versa sobre as razões da escolha dos sistemas BRT (*Bus Rapid Transit*) em várias cidades do mundo, basicamente pelas seguintes vantagens em comparação aos sistemas sobre trilhos: menor custo e menor prazo para a sua implantação. O BRT é um sistema de média capacidade e que apresenta condições adequadas de operação para muitos corredores de transporte. Ao contrário dos sistemas sobre trilhos (Veículo Leve sobre Trilhos - VLT, metrô), não se costuma considerar a infraestrutura viária no caso dos sistemas sobre pneus, nem com relação aos custos de implantação e manutenção nem com relação à sua capacidade de suporte. O fato é que o elevado peso dos eixos dos veículos do Sistema BRT tem provocado danos precoces aos pavimentos das faixas exclusivas por onde circula e este é o objetivo central da tese.

O Capítulo 2, sob o título “Transporte e Desenvolvimento Urbano” aprofunda os aspectos envolvidos no tema escolhido. São assim analisados aspectos institucionais e urbanísticos relevantes, que incluem um breve histórico sobre alguns importantes órgãos de planejamento ou de gestão do transporte urbano criados no Brasil e em Pernambuco durante as décadas de 1960 a 1980; as tentativas institucionais no sentido de solucionar o problema da mobilidade urbana e o atual cenário; as legislações mais recentes que tratam do assunto (a saber e em ordem cronológica, a Lei Nacional da Mobilidade Urbana e o Estatuto da Metrópole); e a redução da demanda por transporte público. É também desenvolvida uma abordagem sobre o crescimento da frota de veículos no Município do Recife e na sua Região Metropolitana, indicando as tendências de crescimento ultimamente verificadas; a taxa de motorização nas

cidades brasileiras e em outros países e os seus reflexos sobre a questão da mobilidade urbana; o desempenho comparativo dos modos de transporte ônibus, automóvel e moto; a prioridade da cidade voltada para o transporte individual, com as evidências históricas desse processo; as deseconomias urbanas associadas ao uso crescente e desenfreado do transporte individual e a adoção de medidas no sentido de priorizar o transporte público de passageiros. Em resumo, o objetivo deste capítulo é demonstrar que políticas públicas estiveram voltadas durante décadas a priorizar o transporte individual e o passivo que tal situação representa para a solução da questão da mobilidade urbana. É abordado em seguida o Sistema Estrutural Integrado - SEI, concebido na década de 1980 e ainda hoje base do planejamento do sistema de transporte público de passageiros na Região Metropolitana do Recife - RMR.

O Capítulo 3 é dedicado ao BRT, destacando que se trata de uma tentativa de solução para a melhoria do transporte público de passageiros, invertendo o histórico processo de conferir prioridade ao transporte individual e em consonância com diretrizes traçadas de planejamento. Demonstra ainda que a adoção do sistema BRT tem sido uma posição tecnicamente correta para muitos dos corredores de transporte em várias metrópoles brasileiras, entre as quais a RMR.

O Capítulo 4 é voltado à questão da infraestrutura da via (o pavimento) e o efeito das cargas transmitidas pelo tráfego, sendo desenvolvida uma abordagem sobre a influência do excesso de carga na vida útil dos pavimentos. Como o veículo do sistema BRT apresenta uma configuração de cargas por eixo com peso elevado, o objetivo deste capítulo é demonstrar a necessidade de adequação dos pavimentos do sistema viário por ele utilizado. Juntamente com as abordagens dos capítulos precedentes, procura-se tratar da questão central da tese, ou seja, a necessidade de uma visão holística para tratar de um sistema complexo, com inúmeros componentes, como é o caso do BRT. Trata-se de uma questão relacionada à gestão das infraestruturas urbanas e que deve ser aprofundada para explicar aspectos, por exemplo, sobre financiamento, projeto, implantação e manutenção dessas mesmas infraestruturas e que muitas vezes não são vistos de forma integrada e harmônica.

O Capítulo 5 é dedicado a explicitar a metodologia utilizada para as pesquisas que foram idealizadas e realizadas com o único propósito de embasar esta tese, quais sejam, a pesagem dos eixos dos ônibus do sistema BRT da RMR; a determinação das deflexões do pavimento

nas faixas exclusivas das avenidas Caxangá e Conde da Boa Vista com a utilização do FWD (*Falling Weight Deflectometer*); a aplicação do Euradar, que é um tipo de GPR (*Ground Penetrating Radar*) para fins de conhecer a estrutura do pavimento das faixas exclusivas utilizadas pelo BRT e as sondagens executadas para fins da calibração das leituras do Euradar.

O Capítulo 6 apresenta os resultados obtidos com a metodologia desenvolvida e, com base em todas as informações coletadas, a retroanálise do pavimento das faixas exclusivas das vias pesquisadas, utilizando, nos casos dos pavimentos de concreto de cimento Portland, o método da AASHTO (1993) e o programa BAKFAA e, para o pavimento com revestimento asfáltico, o programa BackMeDiNa. Para ambos os pavimentos, foi também realizada a retroanálise pelo programa PRIMAX. Efetuou-se ainda o dimensionamento dos pavimentos de concreto pelo método da *Portland Cement Association* - PCA/84 e a verificação do pavimento asfáltico pelo método MeDiNa. Por fim, foi feita a modelagem numérica do pavimento de concreto com o Programa EverFE 2.24.

O Capítulo 7 trata das conclusões do trabalho e indica as recomendações pertinentes.

Por fim, são relacionadas todas as referências bibliográficas utilizadas para o desenvolvimento desta Tese.

2 TRANSPORTE E DESENVOLVIMENTO URBANO

As cidades não são estruturas; as cidades são pessoas.
Acima de tudo, devemos nos libertar de nossa tendência
de ver as cidades como sendo suas edificações e lembrar que
a cidade real é constituída de gente e não de concreto. (Edward Glaeser)

2.1 Alguns tópicos relevantes sobre o transporte urbano no Brasil e na Região Metropolitana do Recife

Alguns marcos importantes na história do transporte urbano no Brasil são retratados por Meira (2013) ao analisar as políticas públicas com foco na mobilidade sustentável a partir da década de 1970. Até o início da década anterior, como já visto, a população rural superava a população urbana. Tal situação, contudo, foi invertida e o início da década de 1970 já retratava a nova realidade da migração da população do campo para as cidades. O agravamento do processo de urbanização passou então a exigir uma nova postura governamental voltada ao planejamento de políticas públicas de mobilidade urbana. Registra-se, então, a criação e o funcionamento de alguns importantes órgãos de planejamento ou de gestão do transporte urbano no Brasil e em Pernambuco, a saber na ordem cronológica, em termos nacionais, a Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes - GEIPOT e a Empresa Brasileira de Transportes Urbanos - EBTU e, em termos locais da Região Metropolitana do Recife, a Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife - FIDEM e a Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos - EMTU. Torna-se também importante registrar, a partir da década de 1960, o papel desempenhado pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE que, com o seu Departamento de Transportes, desenvolveu diversos estudos importantes sobre os transportes na região, incluindo o transporte urbano, a exemplo do Estudo de Transportes do Grande Recife.

O GEIPOT desempenhou também um importante papel na capacitação de técnicos para o setor, com a oferta de cursos de extensão e de especialização (com a participação das universidades locais) em diversas cidades brasileiras. Não obstante toda a relevância do trabalho desenvolvido pelo GEIPOT, o mesmo sucumbiu à profunda crise econômica que atingiu o Brasil na década de 1980 (“a década perdida”) e, em decorrência da ausência de recursos para investimentos e da pouca visão quanto à relevância do processo de planejamento, entrou em processo de liquidação pelo Decreto nº 4.135, de 20 de fevereiro de

2002 e veio a ser extinto pela Medida Provisória nº 427, de 09 de maio de 2008, convertida na Lei nº 11.772/2008.

No ano de 1976, foi instituída a EBTU, que prestou enorme contribuição ao desenvolvimento dos transportes urbanos no Brasil, em especial pelo apoio técnico e financeiro e pela capacitação de pessoal dos órgãos gestores nas cidades de médio e grande porte. A principal função da EBTU consistia em promover a política nacional de transportes urbanos. Sob a alegação de que a Constituição Federal em seu artigo 30, inciso V, definira a competência dos Municípios para organizar e prestar, diretamente ou sob regime de concessão ou permissão, os serviços públicos de interesse local, incluído o de transporte coletivo (classificado como de caráter essencial), o Governo Federal resolveu se afastar das questões relacionadas ao transporte urbano. Assim, a Lei nº 8.029, de 12 de abril de 1990, dispôs sobre a extinção e dissolução de várias entidades da administração pública federal, tendo autorizado o Poder Executivo a dissolver a EBTU. Por meio do Decreto Federal nº 230, de 15 de outubro de 1991, a EBTU veio a ser extinta.

São abordadas em seguida experiências exitosas de dois órgãos na Região Metropolitana do Recife, um de planejamento metropolitano e o outro de gestão do transporte público de passageiros. Para que seja possível entender o processo de criação desses órgãos, torna-se necessário abordar antes a questão da Região Metropolitana do Recife.

Coube ao urbanista pernambucano Antônio Baltar a identificação do fenômeno metropolitano no Recife ao caracterizar, já em meados do século XX, o Recife, município sede e núcleo da região, como cidade transmunicipal, conurbada ou metropolitana, denominando de Grande Recife a área que abrangia, além da capital, os municípios de Olinda, Jaboatão (atual Jaboatão dos Guararapes), São Lourenço da Mata (que inclui o atual Município de Camaragibe, então Distrito de São Lourenço da Mata) e Cabo de Santo Agostinho (Baltar, 1951; Observatório das Metrópoles, 2006). A palavra conurbação foi criada pelo sociólogo britânico Patrick Geddes em seu livro “Cidades em Evolução” (Geddes, 1915) para denominar os agrupamentos contínuos das cidades já então observados na Inglaterra.

Por meio da Lei Complementar nº 14, de 08 de junho de 1973, foram estabelecidas as Regiões Metropolitanas de São Paulo, Belo Horizonte, Porto Alegre, Recife, Salvador, Curitiba,

Belém e Fortaleza, devendo haver, em cada uma delas, um Conselho Deliberativo e um Conselho Consultivo, criados por lei estadual. O artigo 5º da mesma Lei Complementar definiu como de interesse metropolitano os seguintes serviços comuns aos municípios que integram a região: o planejamento integrado do desenvolvimento econômico e social; o saneamento básico, notadamente abastecimento de água, rede de esgotos e serviço de limpeza pública; o uso do solo metropolitano; os transportes e o sistema viário; a produção e distribuição de gás combustível canalizado; o aproveitamento dos recursos hídricos e o controle da poluição ambiental, na forma que dispusesse a lei federal e outros serviços incluídos na área de competência do Conselho Deliberativo por lei federal. A Região Metropolitana do Rio de Janeiro veio a ser estabelecida posteriormente, pela Lei Complementar nº 20, de 01 de julho de 1974, após a fusão, pela mesma lei, dos antigos Estados do Rio de Janeiro e da Guanabara, que uniu as então regiões metropolitanas do Grande Rio Fluminense e da Grande Niterói.

A RMR era originalmente constituída por 9 municípios, a saber, Recife, Cabo (atual Cabo de Santo Agostinho), Igarassu (que incluía os então distritos de Itapissuma e Araçoiaba, atualmente municípios), Itamaracá (atual Ilha de Itamaracá), Jaboatão (atual Jaboatão dos Guararapes), Moreno, Olinda, Paulista (que incluía o então distrito de Abreu e Lima, atualmente município) e São Lourenço da Mata (que incluía o então distrito de Camaragibe, atualmente município). Em termos da sua área territorial, a RMR teve apenas a inclusão do Município de Ipojuca, por meio da Lei Complementar Estadual nº 10, de 06 de janeiro de 1994 e, posteriormente, o de Goiana (que se encontra em processo de saída da RMR, a depender do resultado de um plebiscito que deverá ser realizado com a população local).

Nesse contexto de agravamento das questões urbanas, a FIDEM teve um importante papel no planejamento das ações metropolitanas. Foi institucionalizada pela Lei Estadual nº 6.708, de 03 de julho de 1975, como órgão de apoio técnico ao planejamento físico-territorial, cabendo-lhe, entre outras atribuições, a execução do planejamento integrado do desenvolvimento metropolitano, a programação e a coordenação das intervenções, a articulação dos organismos governamentais, a modernização da administração dos municípios integrantes da região metropolitana e o apoio técnico e administrativo aos Conselhos Deliberativo e Consultivo da RMR. Coube também à FIDEM gerir o Fundo de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife - FUNDERM, instituído pela Lei Estadual nº 3.003, de 02 de dezembro de 1975.

Nas décadas de 1970 e 1980, a FIDEM participou da coordenação e da elaboração de alguns importantes instrumentos de planejamento na RMR, entre os quais o Plano de Desenvolvimento Integrado (1976), o Plano de Organização Territorial - POT (em 1982) e o Plano de Desenvolvimento Metropolitano - PDM (em 1983), além de ter colaborado no desenvolvimento do Plano Diretor de Transportes Urbanos - PDTU (em 1982).

Um fato extremamente significativo ocorrido em 1980 foi a implantação, em 1º de março, da Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos - EMTU/Recife, cuja criação já havia sido autorizada por meio da Lei Estadual nº 7.832, de 06 de abril de 1979. A Lei Estadual nº 8.043, de 19 de novembro de 1979, instituiu o Sistema de Transporte Público de Passageiros da Região Metropolitana do Recife - STPP/RMR e atribuiu funções à EMTU/Recife. Criada como uma empresa pública de direito privado, coube à EMTU/Recife a atribuição de estruturar, gerenciar e fiscalizar o Sistema de Transporte Público de Passageiros da Região Metropolitana do Recife - STPP/RMR, compreendendo as linhas intermunicipais metropolitanas e as linhas intramunicipais do município do Recife. O STPP/RMR foi legalmente definido, além da modalidade de transporte por ônibus, também por táxi, por via fixa e por hidrovia, bem como seus respectivos terminais e pátios de estacionamento.

Os fatos narrados neste item 2.1 decorrem da experiência vivida pelo autor desta Tese, que os vivenciou amplamente. Brasileiro et al. (1999) destacam que:

“Recife foi, talvez, a cidade que pôs em prática, de maneira mais fiel, o modelo de planejamento de transportes urbanos preconizado pela União, baseado na EBTU e nos organismos metropolitanos. Em 1979, a EMTU é legalmente instituída, nascendo já como força técnica e política, pois sua criação resulta de um amplo processo de concertação entre os atores técnicos, políticos e sociais locais (e nacionais).”

A Companhia de Transportes Urbanos - CTU, até então gestora das linhas intramunicipais do Município do Recife e que também operava algumas linhas, passou então a ser uma empresa apenas operadora, na condição de permissionária de linhas operadas por ônibus a diesel, juntamente com as demais empresas privadas. No que tange ao sistema trólebus, também gerido pela EMTU/Recife, a CTU passou a ser a sua concessionária exclusiva. As linhas intermunicipais da RMR eram, antes da criação da EMTU/Recife, de responsabilidade do

Departamento de Terminais Rodoviários de Pernambuco - DETERPE, autarquia estadual, cujas atribuições se estendiam além da RMR, abrangendo todo o Estado de Pernambuco.

Foi esse caos institucional então existente e outras causas estruturais e circunstanciais que levaram o sistema de transporte coletivo metropolitano a uma situação de inteiro colapso no final da década de 70, o que ensejou a criação da EMTU/Recife, visando unificar a gestão do transporte público de passageiros na RMR, o que se constituiu em uma singular experiência no País de gestão metropolitana do Sistema de Transporte Público de Passageiros.

Logo após a sua implantação, a EMTU/Recife adotou mudanças estruturais no STPP/RMR e medidas de racionalização da operação do serviço. Os usuários, em sua maioria beneficiários dessas ações, tardaram a reconhecer o trabalho desenvolvido e, durante os primeiros anos de sua implantação, a EMTU/Recife foi alvo de uma rejeição sistemática por parte da população, em especial devido a uma campanha orquestrada por uma parte da imprensa local, em face de interesses contrariados.

Algumas das ações desenvolvidas pela EMTU/Recife ao longo da sua história são dignas de registro: o zoneamento da operação das linhas (1980), a implantação do vale-transporte em caráter pioneiro no País (1982), a concepção do Sistema Estrutural Integrado - SEI (1984), a criação da Câmara de Compensação Tarifária - CCT (1985), a aprovação do atual Regulamento e do Manual de Operação do STPP/RMR (1991) e a realização da Pesquisa de Origem e Destino (1997).

Após a vigência da Lei Federal nº 11.107, de 06 de abril de 2005, que dispõe sobre normas gerais para a constituição de consórcios públicos para a realização de objetivos de interesse comum por parte da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, foi criado formalmente, no dia 08 de setembro de 2008, o Grande Recife Consórcio de Transporte - CTM, como sucedâneo da EMTU/Recife, que veio então a ser extinta. O CTM é a primeira experiência brasileira de consórcio no setor de transporte de passageiros em todo o País.

Entre as razões para a longevidade da FIDEM e da EMTU/Recife (atual CTM) para atuarem respectivamente no planejamento metropolitano e na gestão do transporte público de passageiros, pode-se destacar o fato de que, no caso da RMR, a participação da população do

município sede (a capital) em relação à população total metropolitana é de apenas 40,4%, conforme é mostrado na Tabela 3, que retrata a situação vigente no ano de 2016. Das dez maiores aglomerações urbanas do País, apenas a de Porto Alegre e de Campinas apresentam percentual inferior. Isto significa dizer que, no caso da RMR, o enfoque metropolitano prepondera sobre o enfoque estritamente municipal. A densidade demográfica da RMR, por sua vez, é a terceira entre as dez maiores aglomerações do País, abaixo apenas das RMs de São Paulo e do Rio de Janeiro, por sinal as três únicas em que esse parâmetro é superior a 1.000 habitantes por km².

Tabela 3: População, densidade demográfica e participação da população da capital em relação à população total da Região Metropolitana (RM) ou da Região Integrada de Desenvolvimento Econômico (RIDE).

RM ou RIDE	POPULAÇÃO (MILHÕES DE HABITANTES)	DENSIDADE DEMOGRÁFICA (HABITANTE POR km ²)	PARTICIPAÇÃO DA POPULAÇÃO DA CAPITAL EM RELAÇÃO À POPULAÇÃO DA RM OU DA RIDE (%)
RM de São Paulo	21,2	2.714,4	56,4
RM do Rio de Janeiro	12,3	1.928,3	51,4
RM de Belo Horizonte	5,9	561,2	47,1
RIDE do Distrito Federal e Entorno	4,3	78,4	68,5
RM de Porto Alegre	4,3	417,3	34,6
RM do Recife	4,0	1.260,7	40,4
RM de Fortaleza	4,0	547,7	64,9
RM de Salvador	4,0	918,8	73,6
RM de Curitiba	3,5	227,2	53,5
RM de Campinas	3,1	850,4	37,0

RM: Região Metropolitana; RIDE: Região Integrada de Desenvolvimento.

Fonte: IBGE (2016).

Dentro do contexto que está sendo abordado, deve-se ainda registrar a implantação do metrô do Recife, cuja operação foi iniciada em março de 1985 com a Linha Centro, ligando a estação central do Recife a Coqueiral e os ramais Coqueiral - Jaboatão e Coqueiral - TIP. Posteriormente, o sistema foi ampliado, com a construção do trecho TIP - Timbi (Camaragibe) na Linha Centro e o trecho Recife - Cajueiro Seco, que corresponde à Linha Sul. Entre as estações do Cabo e de Cajueiro Seco, opera um VLT movido a diesel, que integra com o metrô nesta última estação. A extensão total do sistema eletrificado do metrô é

de 39,4 km, sendo 25,4 km na linha centro e 14,0 km na linha sul, abrangendo um total de 28 estações e 25 Trens-Unidade Elétricos (TUEs).

Em termos de legislação, um marco importante foi a Lei nº 12.587, de 03 de janeiro de 2012, que instituiu as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana, um instrumento da política de desenvolvimento urbano previsto constitucionalmente, objetivando a integração entre os diferentes modos de transporte e a melhoria da acessibilidade e mobilidade das pessoas e cargas no território do município. Os principais pontos dessa lei estão a seguir sintetizados:

- a prioridade dos modos de transporte não motorizados sobre os motorizados e dos serviços de transporte público coletivo sobre o transporte individual motorizado;
- o estabelecimento de padrão de emissão de poluentes;
- uma nova gestão sobre as tarifas de transporte e a integração de políticas de desenvolvimento urbano.

O artigo 24 da Lei nº 12.587/12 trata da exigência dos Planos de Mobilidade Urbana para os municípios com população superior a 20.000 habitantes (a Lei se refere equivocadamente à população total e não à população urbana) e para todos os demais obrigados, na forma da lei, à elaboração dos respectivos Planos Diretores. O Brasil possui 5.570 municípios, dos quais 1.719 (30,9%) com mais de 20.000 habitantes. Quanto ao Estado de Pernambuco, existem 184 municípios mais o Distrito Estadual de Fernando de Noronha, dos quais 106 (57,3%) com mais de 20.000 habitantes (IBGE, 2016).

Um ponto também digno de registro é o Estatuto da Metrópole, instituído pela Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015, que estabeleceu diretrizes gerais para o planejamento, a gestão e a execução das funções públicas de interesse comum em regiões metropolitanas e em aglomerações urbanas instituídas pelos Estados, normas gerais sobre o plano de desenvolvimento urbano integrado e outros instrumentos de governança interfederativa, e critérios para o apoio da União a ações que envolvam governança interfederativa no campo do desenvolvimento urbano. O Estatuto da Metrópole estabelece, entre seus aspectos mais relevantes, que as regiões metropolitanas e as aglomerações urbanas deverão contar com plano de desenvolvimento urbano integrado, aprovado mediante lei estadual (artigo 10), revista pelo menos a cada dez anos (artigo 11), admitindo-se o apoio da União para a

elaboração e a revisão do mesmo (artigo 14, § 2º). O plano de desenvolvimento urbano integrado é o instrumento que estabelece, com base em processo permanente de planejamento, as diretrizes para o desenvolvimento urbano da região metropolitana ou da aglomeração urbana (artigo 2º, V).

As cidades brasileiras têm enfrentado, em especial nos últimos anos, sérios problemas relacionados à circulação de veículos e que se refletem nas precárias condições de mobilidade da população, afetando substancialmente a qualidade de vida das pessoas.

Quantidade considerável de tempo é despendida diariamente nos deslocamentos dentro das cidades, reduzindo de forma substancial o tempo dedicado a atividades produtivas e de lazer. Mantidas as tendências observadas na última década, as perspectivas são ainda mais preocupantes, indicando tempos de viagem cada vez mais crescentes. O problema afeta indistintamente toda a população e gera consequências indesejáveis, que vão desde a perda de compromissos pessoais e profissionais até aspectos de maior gravidade como, por exemplo, a circulação de ambulâncias conduzindo pessoas acidentadas ou com problemas de saúde e que necessitam de um atendimento urgente. Não raro, essas pessoas são levadas a óbito ou têm o seu estado de saúde agravado pela demora no seu deslocamento até um hospital ou uma unidade de saúde.

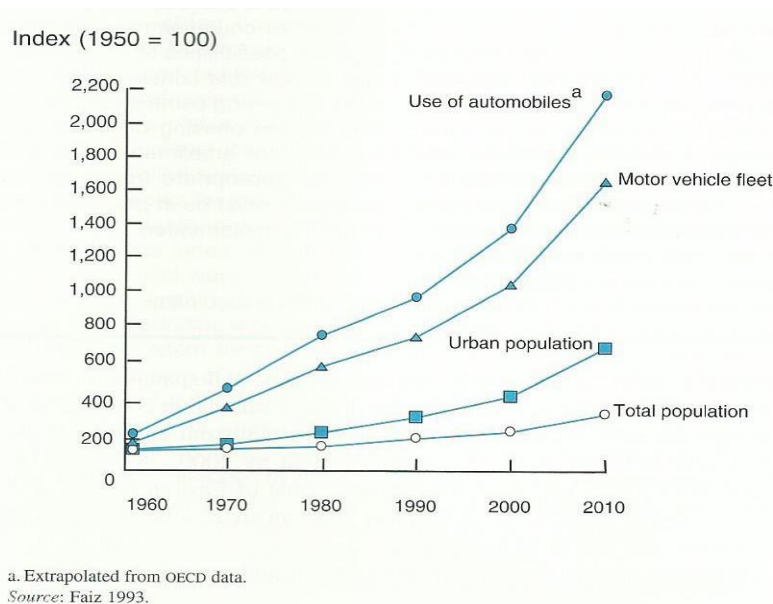
Já considerando a gravidade da questão da mobilidade urbana, o IBGE aperfeiçoou no Censo Demográfico 2010 alguns aspectos da metodologia do censo anterior: a) a pergunta sobre deslocamento foi desmembrada em deslocamento para estudo e deslocamento para trabalho; b) foi incluída uma pergunta sobre o tempo gasto no deslocamento para o trabalho; c) foi incluída uma pergunta sobre o retorno diário para a residência.

Rodrigues (2013) destaca que, de acordo com dados do Censo 2010, cerca de 24,2 milhões de pessoas nas quinze principais metrópoles brasileiras se deslocam diariamente em movimentos pendulares casa - trabalho, das quais cerca de 7% gastam até 5 minutos no trajeto da casa ao trabalho, 39% entre cinco minutos e meia hora, 33% entre meia hora e uma hora e 21% despendem mais de uma hora nesse deslocamento.

Pereira e Schwanen (2013) demonstraram que ocorreu um aumento no tempo médio de deslocamento casa - trabalho entre os anos de 1992 e 2009 em todas as principais regiões metropolitanas brasileiras.

A questão da intensificação da urbanização, da propriedade e do uso do transporte individual em países em desenvolvimento mereceu estudos aprofundados do Banco Mundial (The World Bank, 1999). Conforme mostra a Figura 5, tomando-se por base o ano de 1950, para o qual foi atribuído o índice igual a 100 para todos os parâmetros, no ano de 2010 as estimativas do índice da população, do índice da população urbana, do índice da frota de veículos automotores (que representa a propriedade de veículo individual) e do índice referente ao uso de automóveis seriam de cerca de 380, 680, 1.620 e 2.120, respectivamente. Ou seja, o acréscimo desses índices ao longo de 60 anos seria de 280% para a população, de 580% para a população urbana, de 1.520% para a frota de veículos automotores e de 2.020% para o uso de automóveis.

Figura 5 - Estimativa do crescimento da população e da propriedade e uso de veículos automotores desde 1950 em países em desenvolvimento.



Fonte: The World Bank, 1999.

No caso específico do Brasil, ao aumento do poder aquisitivo da população tem correspondido um agravamento do problema da mobilidade urbana, na medida em que, desesperançadas pelo precário serviço oferecido pelo transporte coletivo, algumas pessoas optam, sempre que as suas condições econômicas passam a permitir, pelo transporte

individual, o que tem contribuído para agravar cada vez mais o problema da mobilidade urbana.

A indústria automobilística tem correspondido a esse anseio das pessoas, ofertando novos modelos e facilitando as condições de pagamento dos veículos. Não é possível deixar de reconhecer a importância desse segmento industrial, responsável pela geração de um elevado número de empregos e de arrecadação de tributos, tendo ainda uma participação expressiva na formação do Produto Interno Bruto (PIB) do País.

No ano de 2009 e durante o período de 2012 a 2014, foram verificados elevados acréscimos na produção e na venda de veículos, em decorrência de renúncia fiscal praticada pelo governo, por meio da redução do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI).

Esse fenômeno de crescimento desenfreado da frota de automóveis e, em particular, o elevado uso que se faz desse modo de transporte em decorrência das razões já apontadas conduzem a sérios problemas de custos externos causados pelo transporte ou deseconomias urbanas relacionadas aos aspectos de congestionamentos, poluição e acidentes. Tais questões mostram-se ainda mais preocupantes nos países em desenvolvimento, tendo em vista a baixa capacidade de absorver a demanda resultante das elevadas taxas de crescimento da frota de veículos, o que gera os impactos mais significativos em diversas áreas (Lopes, 2005).

Trata-se, pois, de uma questão complexa, tendo em vista que o exíguo espaço viário nas cidades se mostra incompatível com os elevados níveis de crescimento da demanda, esta representada pelo uso intensivo e crescente do transporte individual.

O fascínio exercido pelo automóvel como sonho de consumo dos habitantes das cidades é uma realidade. Deparando-se com sistemas de transporte público deficientes, o(a) cidadão(ã) imagina que a solução do problema passa pelo transporte individual, o que contribui para agravar cada vez mais o caos instaurado nessas cidades.

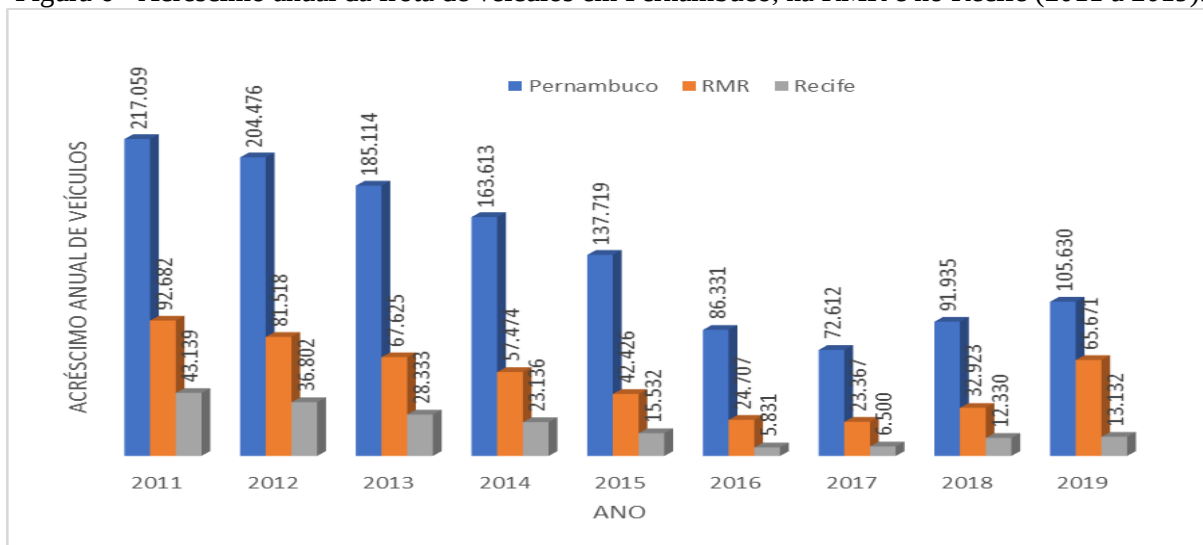
Lopes (2005) ainda destaca, entre os motivos de estímulo ao transporte individual, o sentimento de demonstração de superioridade, poder e prestígio social que a posse do bem proporciona.

Illich (1974), ao abordar o processo de degradação da cidade pelo uso do automóvel destaca:

O homem norte-americano típico dedica mais de 1.500 horas anuais a seu automóvel: sentado dentro dele, em movimento ou parado, trabalhando para pagá-lo, para pagar a gasolina, os pneus, os impostos, os seguros, as multas, a construção de novas estradas e estacionamentos. Consagra ao carro quatro horas diárias das que se serve dele ou trabalha para ele, sem contar o tempo que fica em hospitais, tribunais, oficinas mecânicas e até mesmo assistindo a publicidades dos novos modelos na televisão. Estas 1.500 horas somente servem para percorrer 10 mil km, quer dizer, 6 km por hora. Exatamente a mesma velocidade que alcançam os homens nos países que não têm indústria do transporte.

De outro lado, a grave crise econômica que o País atravessa tem deixado ao menos um atenuante para o problema da mobilidade. Do ano de 2011 ao ano de 2017, foi observada uma redução no acréscimo anual da frota no Estado de Pernambuco, no Recife e na RMR, conforme mostra a Figura 6. No caso da RMR, o acréscimo anual no ano de 2011 foi de 92.682 veículos, enquanto no ano de 2017 alcançou apenas 23.367 veículos (25,2%). Quanto ao Município do Recife, os acréscimos da frota nos anos de 2011 e 2017 foram de respectivamente 43.139 e 6.500 (15,1%). Nos anos de 2018 e 2019, contudo, já foi possível observar acréscimos anuais crescentes. Na RMR, passou de 23.367 veículos em 2017 a 65.671 veículos em 2019, enquanto no Município do Recife passou de 6.500 a 13.132 durante o mesmo período.

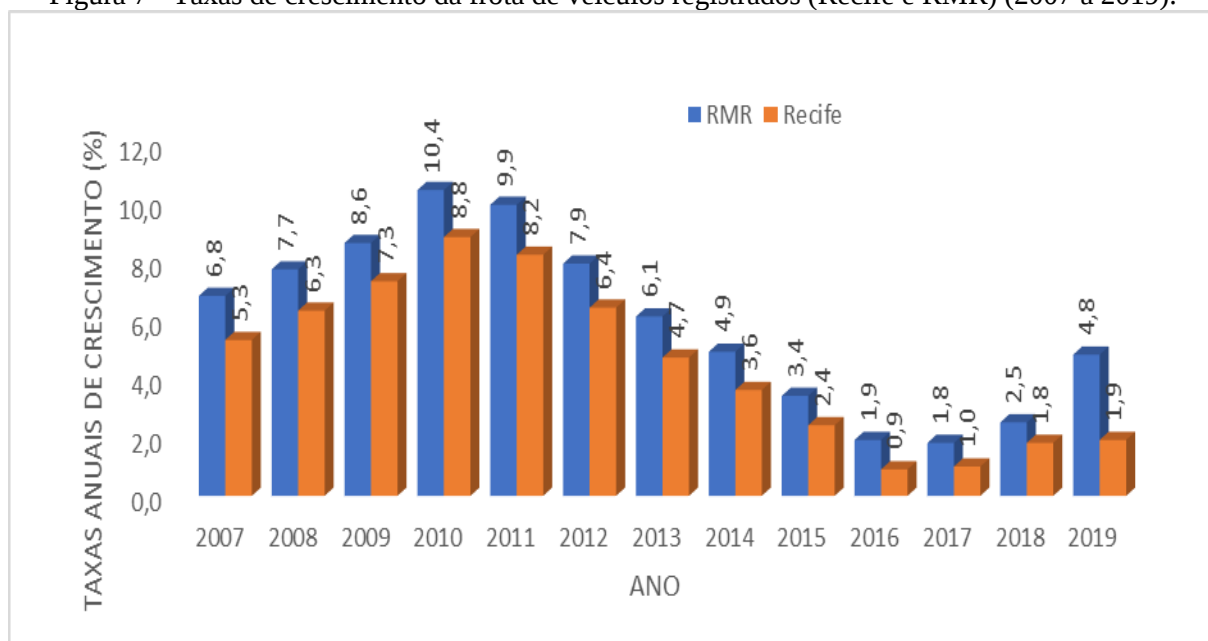
Figura 6 - Acréscimo anual da frota de veículos em Pernambuco, na RMR e no Recife (2011 a 2019).



Fonte primária dos dados: DETRAN-PE (2020).

As taxas médias anuais de crescimento da frota na RMR e no Recife durante o período de 2007 a 2019 ocorreram conforme é mostrado na Figura 7. No ano de 2010, essa taxa no Recife chegou a alcançar 8,8% ao ano, enquanto no ano de 2016 foi de apenas 0,9% ao ano. Na RMR, essas taxas foram de respectivamente 10,4% e 1,9% ao ano, nos mesmos anos. No caso do Município do Recife, se a taxa de 8,8% ao ano tivesse sido mantida a partir de 2010, a frota total teria alcançado 952.587 veículos ao final do ano de 2017, enquanto a quantidade real foi de 687.113 veículos (265.474 veículos a menos). Já para a Região Metropolitana do Recife, caso a taxa de 10,4% ao ano tivesse sido mantida a partir de 2010, a frota total ao final de 2017 teria sido de 1.868.701 veículos, enquanto a quantidade real foi de 1.324.680 veículos (544.021 veículos a menos). Chama também a atenção nessa abordagem a taxa de crescimento na RMR no ano de 2019 (4,8%), muito elevada em comparação com a do Município do Recife (1,9%), denotando possivelmente uma mais deficiente qualidade do serviço de transporte coletivo nos municípios fora da capital.

Figura 7 - Taxas de crescimento da frota de veículos registrados (Recife e RMR) (2007 a 2019).



Fonte primária dos dados: DETRAN-PE (2020).

Durante muitos anos, ocorreu o fenômeno do crescimento desenfreado da frota de automóveis em várias cidades brasileiras. Este fato, associado em especial ao elevado uso que se faz do transporte individual, em decorrência das razões já apontadas, conduzem a sérios problemas de custos externos causados pelo transporte ou deseconomias urbanas relacionadas aos aspectos de congestionamentos, poluição e acidentes. Tais questões mostram-se ainda mais preocupantes nos países em desenvolvimento, tendo em vista a baixa capacidade de absorver

a demanda resultante de elevadas taxas de crescimento da frota de veículos, o que gera os impactos mais significativos em diversas áreas (Lopes, 2005).

A taxa de motorização representa a relação entre a quantidade de veículos e a população, sendo habitualmente expressa em veículos por 1.000 habitantes. Pode também ser indicada pela relação inversa, ou seja, habitantes por veículo. A taxa de motorização é um indicador útil para avaliar a influência da quantidade e da disponibilidade de veículos automotores nas características dos sistemas de transporte de determinada região (Lopes, 2005).

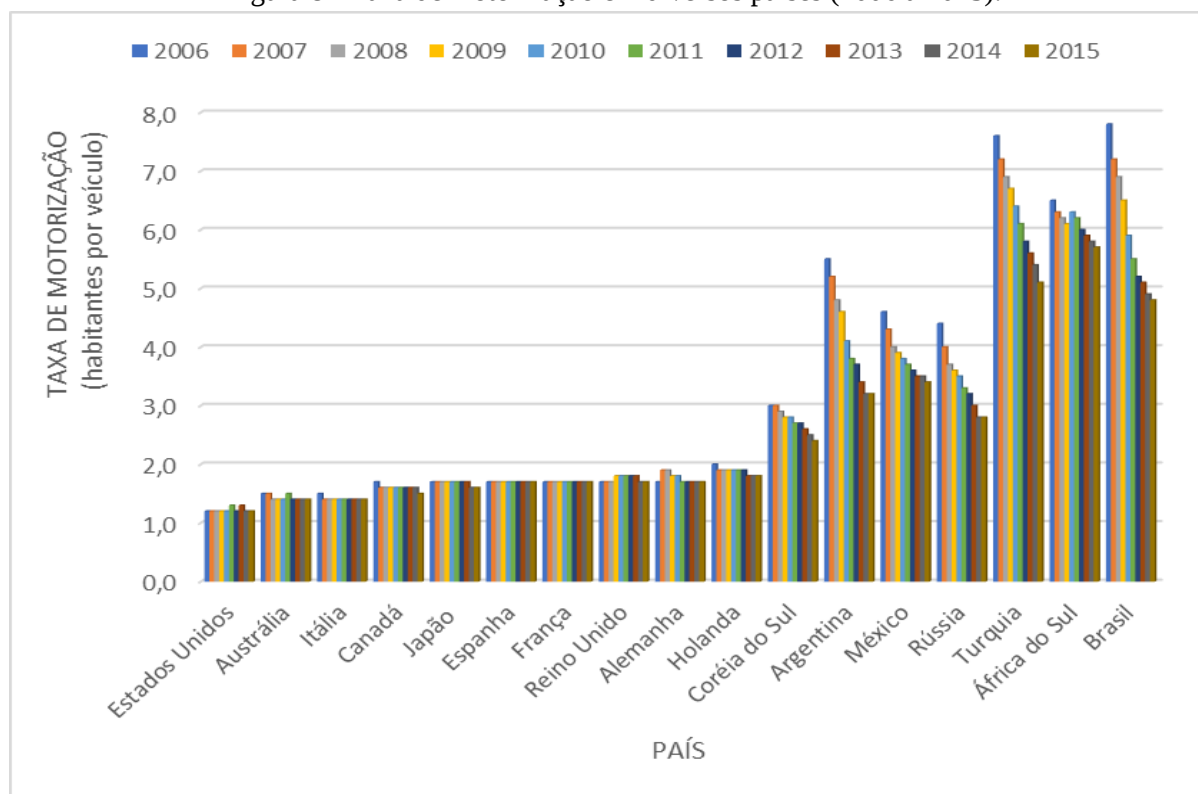
A taxa de motorização em diversos países, expressa em habitantes por veículo, durante os anos de 2006 a 2015 é mostrada na Tabela 4 e na Figura 8, com base em informações extraídas do Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2020, elaborado pela ANFAVEA (ANFAVEA, 2020). As informações apresentadas a seguir abrangem 17 países de cinco continentes. Observa-se que 10 desses países apresentaram índice de, no máximo, dois habitantes por veículo e valores praticamente estáveis, o que caracteriza uma saturação da frota. Os sete países restantes (Coreia do Sul, Argentina, México, Rússia, Turquia, África do Sul e Brasil) apresentaram expressiva redução desse índice no período de 2001 a 2014: redução de 20,0% para a Coreia do Sul (de 3,0 para 2,4 habitantes por veículo), de 41,8% para a Argentina (de 5,5 para 3,2 habitantes por veículo), de 26,1% para o México (de 4,6 para 3,4 habitantes por veículo), de 36,4% para a Rússia (de 4,4 para 2,8 habitantes por veículo), de 32,9% para a Turquia (de 7,6 para 5,1 habitantes por veículo), de 12,3% para a África do Sul (de 6,5 para 5,7 habitantes por veículo) e de 38,5% para o Brasil (de 7,8 para 4,8 habitantes por veículo), o que indica um expressivo aumento da frota nesses países.

Tabela 4 - Taxa de motorização (habitantes por veículo) em diversos países (2006 a 2015).

PAÍS	ANO									
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Estados Unidos	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,2	1,3	1,2	1,2
Austrália	1,5	1,5	1,4	1,4	1,4	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4
Itália	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
Canadá	1,7	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5
Japão	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6
Espanha	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
França	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
Reino Unido	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7
Alemanha	1,7	1,9	1,9	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
Holanda	2,0	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8
Coreia do Sul	3,0	3,0	2,9	2,8	2,8	2,7	2,7	2,6	2,5	2,4
Argentina	5,5	5,2	4,8	4,6	4,1	3,8	3,7	3,4	3,2	3,2
México	4,6	4,3	4,0	3,9	3,8	3,7	3,6	3,5	3,5	3,4
Rússia	4,4	4,0	3,7	3,6	3,5	3,3	3,2	3,0	2,8	2,8
Turquia	7,6	7,2	6,9	6,7	6,4	6,1	5,8	5,6	5,4	5,1
África do Sul	6,5	6,3	6,2	6,1	6,3	6,2	6,0	5,9	5,8	5,7
Brasil	7,8	7,2	6,9	6,5	5,9	5,5	5,2	5,1	4,9	4,8

Fonte: ANFAVEA (2020).

Figura 8 - Taxa de motorização em diversos países (2006 a 2015).



Fonte: ANFAVEA (2020).

Na segunda metade da década de 1950, o Brasil ingressou na fase da “industrialização pesada”, com incentivos à produção de bens de consumo e de produção e tendo como um dos seus esteios a indústria automobilística (Schiffer, 1999).

No ano de 2011, o Brasil produziu cerca de 3.408.000 veículos, sendo o 7º maior produtor mundial, superado apenas pela China (18.419.000 veículos), Estados Unidos (8.654.000 veículos), Japão (8.399.000 veículos), Alemanha (6.311.000 veículos), Coreia do Sul (4.657.000 veículos) e Índia (3.936.000 veículos) (ANFAVEA, 2012). Meira (2013) destaca que a produção de automóveis no Brasil correspondia a 23% do PIB industrial e a 5% do PIB total do País, gerando 1,5 milhão de postos de trabalho. No ano de 2018, o Brasil passou a ser o 8º maior produtor mundial com aproximadamente 2.881.000 veículos, tendo a China na liderança com 27.809 mil unidades, seguida dos Estados Unidos (11.315 mil unidades), Japão (9.729 mil unidades), Índia (5.175 mil unidades), Alemanha (5.120 mil unidades), México (4.101 mil unidades) e Coreia do Sul (4.029 mil unidades) (ANFAVEA, 2020).

Para a análise das taxas de motorização no Brasil no presente estudo, foram escolhidas as dez cidades brasileiras mais populosas, as quais representavam, em julho de 2020, 37.580.834 habitantes, correspondentes a cerca de 17,7% da população total brasileira, com base nas estimativas da população para o mês de julho de 2020, feitas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (www.ibge.gov.br). Do total de 5.573 municípios brasileiros, apenas essas dez cidades possuíam uma frota registrada, no mesmo mês de agosto de 2020, de aproximadamente 20,9% da frota total do País (www.denatran.gov.br).

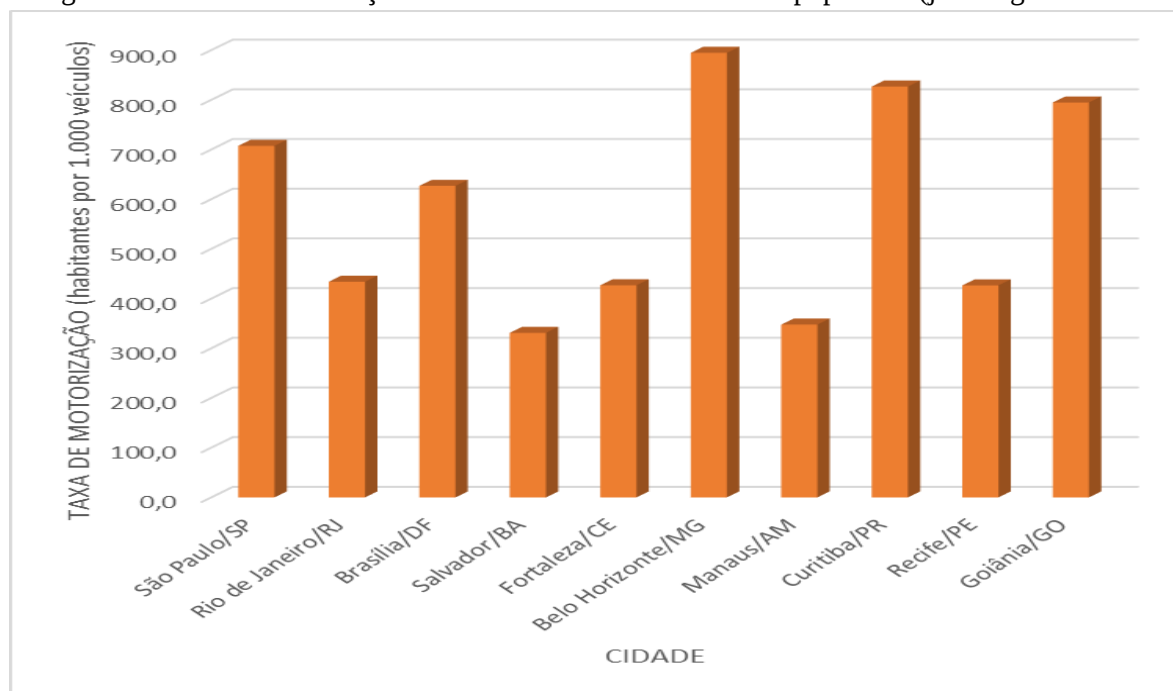
Foram então calculadas as taxas de motorização das dez cidades brasileiras mais populosas, conforme é mostrado na Tabela 5 e na Figura 9.

Tabela 5 - População estimada em 01/07/2020, frota registrada em agosto/2020 e taxa de motorização (em veículos por 1.000 habitantes) nas dez cidades brasileiras mais populosas.

MUNICÍPIO/DISTRITO	POPULAÇÃO ESTIMADA EM 01/07/2020	FROTA REGISTRADA EM AGOSTO/2020	TAXA DE MOTORIZAÇÃO (veículos por 1.000 habitantes)
São Paulo/SP	12.325.232	8.720.566	707,5
Rio de Janeiro/RJ	6.747.815	2.928.978	434,1
Brasília/DF	3.055.149	1.915.733	627,1
Salvador/BA	2.886.698	956.026	331,2
Fortaleza/CE	2.686.612	1.147.194	427,0
Belo Horizonte/MG	2.521.564	2.256.185	894,8
Manaus/AM	2.219.580	771.976	347,8
Curitiba/PR	1.948.626	1.611.284	826,9
Recife/PE	1.653.461	705.613	426,7
Goiânia/GO	1.536.097	1.220.805	794,7
TOTAL	37.580.834	22.234.360	591,6

Fontes primárias dos dados: IBGE (2020b) e DENATRAN (2020).

Figura 9 - Taxa de motorização nas dez cidades brasileiras mais populosas (julho/agosto de 2020).



Fontes primárias dos dados: IBGE (2020b) e DENATRAN (2020).

Observa-se um aspecto paradoxal na análise desses resultados: a cidade de Curitiba é a que apresenta a segunda maior taxa de motorização (826,9 veículos por 1.000 habitantes), no entanto é a que reconhecidamente oferece o melhor sistema de transporte público do País, com o seu modelo sendo exportado para outras cidades brasileiras e para o exterior.

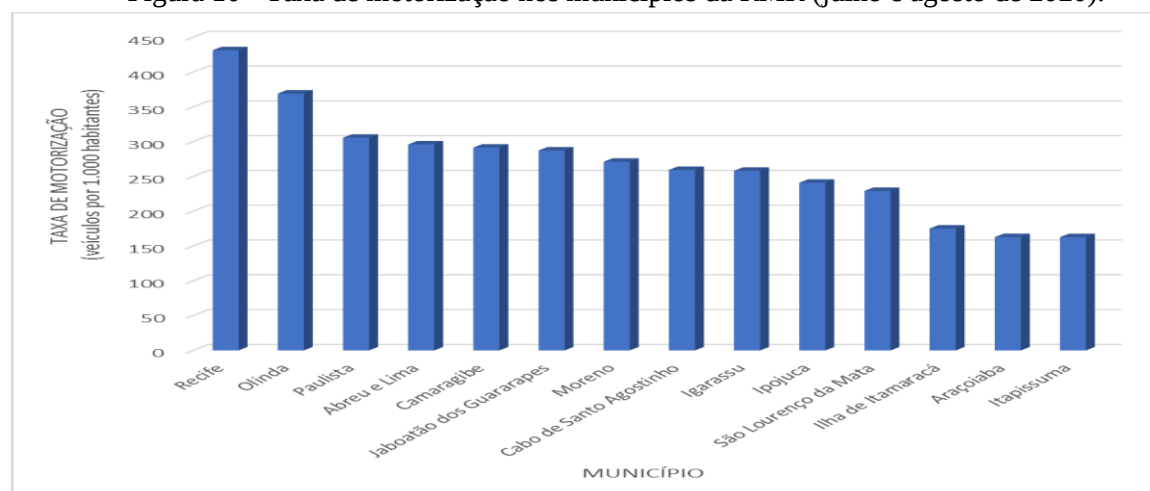
A taxa de motorização na RMR, no mês de julho de 2020, variou de 162,8 (Município de Itapissuma) a 431,5 habitantes por 1.000 veículos (Município do Recife), conforme é mostrado na Tabela 6 e na Figura 10. Os municípios mais próximos à capital e, portanto, com maior adensamento urbano são os que também apresentam maior taxa de motorização.

Tabela 6 - Taxa de Motorização nos municípios da RMR (julho e agosto de 2020).

MUNICÍPIO	POPULAÇÃO ESTIMADA EM 01/07/2020	FROTA REGISTRADA EM AGOSTO/2020	TAXA DE MOTORIZAÇÃO (veículos por 1.000 habitantes)
Recife	1.653.461	713.462	431,5
Olinda	393.115	145.154	369,2
Paulista	334.376	102.209	305,7
Abreu e Lima	100.346	29.713	296,1
Camaragibe	158.899	46.321	291,5
Jaboatão dos Guararapes	706.867	203.172	287,4
Moreno	63.294	17.165	271,2
Cabo de Santo Agostinho	208.944	54.197	259,4
Igarassu	118.370	30.568	258,2
Ipojuca	97.669	23.536	241,0
São Lourenço da Mata	114.079	26.154	229,3
Ilha de Itamaracá	26.672	4.674	175,2
Araçoiaba	20.733	3.377	162,9
Itapissuma	26.900	4.379	162,8
TOTAL	4.023.725	1.404.081	349,0

Fontes primárias dos dados: IBGE (2020b) e DETRAN (2020).

Figura 10 - Taxa de motorização nos municípios da RMR (julho e agosto de 2020).



Fontes primárias dos dados: IBGE (2020b) e DETRAN-PE (2020).

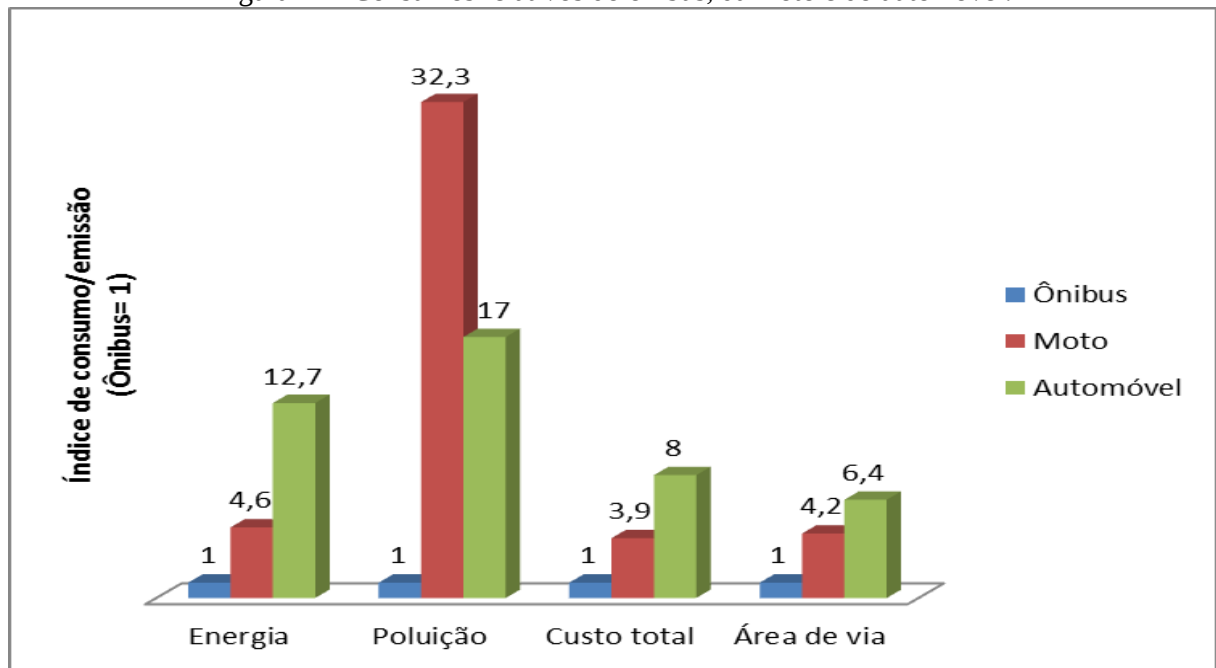
Carvalho (2011) refere-se com propriedade ao grande paradigma dos governos, pois, se de um lado medidas de proteção à indústria automobilística são importantes pela geração de empregos e pela arrecadação tributária, de outro promovem diversas externalidades à sociedade, representadas por poluição, congestionamentos e acidentes de trânsito.

Lopes (2005), após ressaltar a importância da indústria automobilística para a economia do País, demonstra, em face dos elevados acréscimos que vinham ocorrendo nas taxas de motorização nas cidades brasileiras, a necessidade de minimizar os impactos decorrentes, por meio de investimentos em infraestrutura, da adoção de medidas restritivas ao uso do transporte individual e de incentivo ao uso do transporte público, sem, no entanto, tolher o legítimo direito à propriedade do veículo. Lopes (2005) ainda analisou a relação entre a taxa de motorização e o desenvolvimento econômico, este representado por meio de indicadores como o Produto Interno Bruto (PIB), o consumo de energia elétrica e de combustíveis fósseis e ainda por meio de dados de renda média familiar.

Estudos desenvolvidos pela Associação Nacional de Transportes Públicos - ANTP permitiram comparar o desempenho dos modos ônibus, motos e automóveis, sob a ótica do consumo de energia, da poluição (emissão de poluentes), do custo total e da área de via ocupada (Vasconcellos, 2008). Os resultados são apresentados na Figura 11 e refletem as condições médias brasileiras no ano de 2003 por passageiro transportado. Em todas as quatro situações, adotou-se para o ônibus o índice igual a 1.

Pode-se observar que, sob o aspecto de energia, em comparação com um passageiro transportado por ônibus, um passageiro transportado por automóvel e um passageiro transportado por moto consumiam, à época da pesquisa, respectivamente 12,7 e 4,6 vezes mais. No que diz respeito à poluição, o automóvel emitia 17 vezes mais poluentes por passageiro que o ônibus, enquanto a moto, 32,3 vezes mais também em relação ao ônibus. O custo total por passageiro do automóvel era 8 vezes maior que o do ônibus e o da moto, 3,9 vezes. Sobre a área de via ocupada por passageiro, um passageiro de automóvel e um passageiro de moto ocupavam um espaço viário respectivamente 6,4 e 4,2 vezes mais que o ocupado por um passageiro de ônibus.

Figura 11 - Consumos relativos do ônibus, da moto e do automóvel.



Fonte: Vasconcellos (2008).

As emissões de poluentes pelos veículos automotores nos centros urbanos têm sido objeto de estudos e preocupações quanto à sustentabilidade das políticas de mobilidade urbana.

Carvalho (2011) chama atenção para um aspecto interessante quanto à percepção das pessoas a respeito da relação entre a poluição nas cidades e a circulação de veículos. Pensa-se, geralmente, que são os veículos grandes e velhos os maiores responsáveis pela poluição, pelo fato de que eles emitem mais fumaça preta que os demais. É comum se escutar comentários de pessoas culpando os ônibus e os caminhões pela poluição nas cidades e essa percepção é motivada pelo aspecto de que a fumaça preta é o poluente mais visível no ambiente urbano.

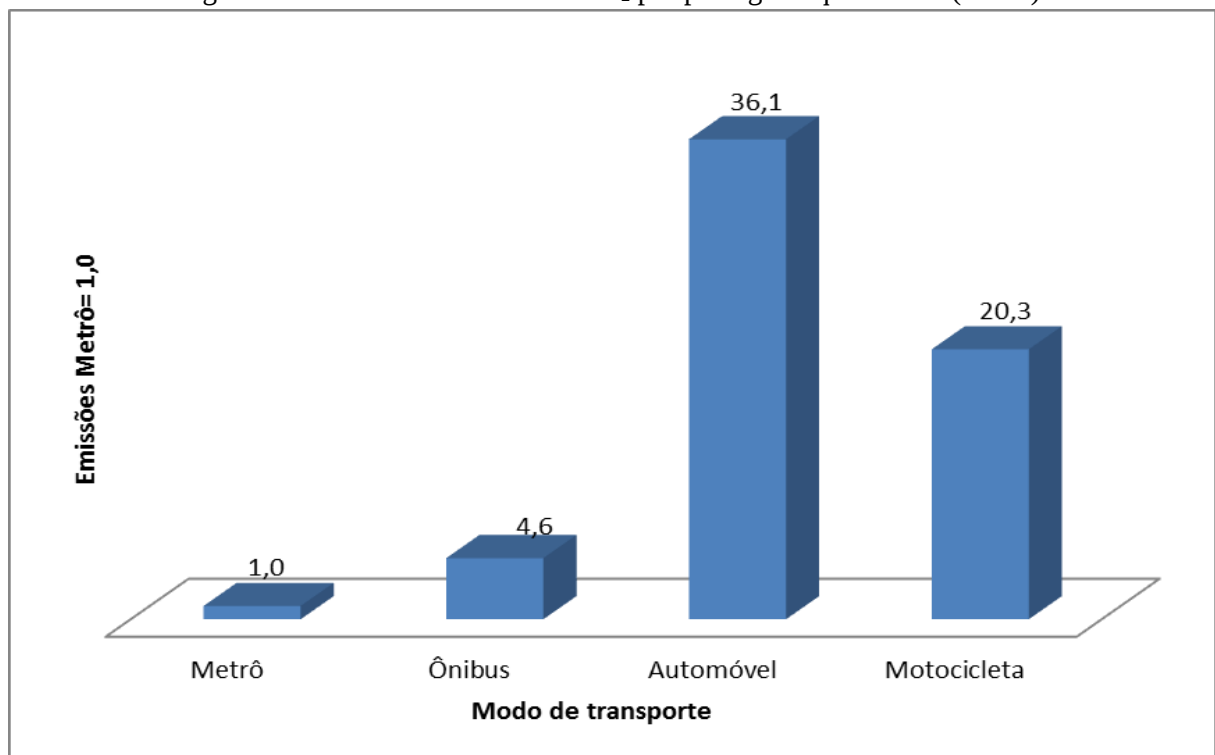
Em sua abordagem, Carvalho (2011) demonstra que as pessoas consideram apenas um tipo de poluente, o material particulado (MP) visível e desconsideram a capacidade e a produtividade dos veículos. Assim, um ônibus que transporta 70 pessoas equivale a quase 50 automóveis transportando em média 1,5 pessoa por veículo. É, portanto, evidente que o transporte coletivo gera uma poluição por passageiro muito menor que a do transporte individual.

Os poluentes produzidos pelos veículos motorizados podem ser divididos em duas categorias. O primeiro tipo corresponde aos poluentes locais, que causam impactos apenas no entorno do

local onde circulam os veículos, a exemplo dos ruídos provocados pelos motores e a fuligem expelida pelo escapamento dos veículos. O segundo tipo diz respeito aos poluentes globais, responsáveis pelo aquecimento global e que correspondem aos gases de efeito estufa (GEE). Entre os poluentes emitidos pelos veículos automotores, destaca-se o dióxido de carbono (CO₂), que se caracteriza como um GEE, responsável por uma parcela significativa do aquecimento global.

Carvalho (2011) analisou os índices de emissão de CO₂ por passageiro quilômetro para as condições brasileiras e obteve os índices indicados na Figura 12. Observa-se que, em comparação com o metrô, esse índice para o ônibus é 4,6 vezes maior; o do automóvel, 36,1 vezes maior e o da motocicleta, 20,3 vezes maior.

Figura 12 - Índice de emissões de CO₂ por passageiro quilômetro (Brasil).



Fonte: Carvalho (2011).

Os sistemas de ônibus no Brasil são responsáveis por mais de 60% dos deslocamentos urbanos e mais de 95% dos deslocamentos intermunicipais e respondem por apenas 7% das emissões totais de CO₂, enquanto que aos automóveis e comerciais leves, cuja participação no total de viagens realizadas é inferior a 30%, pode-se atribuir metade das emissões daquele poluente (Carvalho, 2011).

Um alentado estudo desenvolvido pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA (IPEA, 1998), que trata das deseconomias relacionadas ao congestionamento, foi iniciado em 1997 e abrangeu dez cidades brasileiras, a saber, Belo Horizonte, Brasília, Campinas, Curitiba, João Pessoa, Juiz de Fora, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro e São Paulo. Foram analisadas as emissões de poluentes relacionadas à velocidade de operação dos veículos, com o intuito de verificar como as condições de congestionamento afetam a questão ambiental. Quatro poluentes prejudiciais à saúde, todos emitidos por veículos automotores movidos a gasolina ou a diesel, fizeram parte do estudo. Foram eles o monóxido de carbono (CO), os hidrocarbonetos (HC), os óxidos de nitrogênio (NO_x) e o material particulado (MP).

Portanto, sob a ótica ambiental, a situação que vem ocorrendo em muitas cidades, com o crescimento vertiginoso do transporte individual em detrimento do transporte coletivo, terá de ser revertida e toda política ambiental nas cidades deverá considerar essa mudança de paradigma.

No ano de 1998, época em que foi publicado o já mencionado estudo conduzido pelo IPEA (IPEA, 1998), a frota brasileira era de 24.361.347 veículos, que corresponde a cerca de 22,9% da frota registrada em agosto de 2020 (106.589.438 veículos) (www.denatran.gov.br). Mesmo assim, as condições gerais de trânsito dos automóveis, representadas pelos índices globais de desempenho e por dados de velocidade e nível de serviço nas dez cidades brasileiras analisadas (Belo Horizonte, Brasília, Campinas, Curitiba, João Pessoa, Juiz de Fora, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro e São Paulo) eram consideradas boas apenas nas cidades de Brasília e Juiz de Fora, piores na cidade de São Paulo e intermediárias nas demais.

A questão fundamental que envolve os prejuízos ou as deseconomias causadas pelos congestionamentos tem no aspecto ambiental um forte componente. A poluição causada pelos veículos parados em congestionamentos é muito superior à de quando eles se encontram em circulação. Portanto, além de possibilitarem redução nos tempos de viagem, algumas medidas, como a coordenação de semáforos atuados pelo tráfego, a regulação de estacionamento e a implantação de vias exclusivas para veículos que tenham uma maior capacidade de transporte de passageiros (*High Occupance Vehicle Priority*), podem contribuir significativamente para a redução das emissões de poluentes na atmosfera (Dalkmann e Brannigan, 2007; Vasconcellos, 2006; Barczak e Duarte, 2012). Ou seja, as medidas de gerenciamento da

mobilidade devem enfocar o incentivo ao transporte coletivo, visando diminuir a quantidade de veículos em circulação e tornar mais eficiente o uso do exíguo espaço viário, com a consequente melhoria das condições de tráfego (Barczak e Duarte, 2012).

Muito se fala sobre a necessidade de se definir e implantar medidas de prioridade ao transporte público de passageiros. No entanto, os resultados mostram-se ainda muito aquém do desejado. Na RMR, o sistema viário utilizado pela frota de ônibus do STPP apresenta uma extensão total de cerca de 1.360 km, dos quais apenas 70,37 km (5,2%) dispõem de algum tipo de tecnologia que priorize a circulação dos ônibus e apenas cerca de 24,2 km (1,8%) correspondem a vias com faixas segregadas fisicamente. Nesta última situação, estão o corredor radial formado pelas rodovias BR-101 Norte e PE-015 com uma extensão total de 22,2 km de pista exclusiva para ônibus e um trecho da Avenida Sul, com uma extensão aproximada de 2,0 km. Os restantes 3,4% de vias que não apresentam segregação física correspondem a 46,17 km, compreendendo a avenida Caxangá (5,8 km), avenida Joaquim Ribeiro (1,8 km), avenida Cruz Cabugá (1,0 km), rua São Miguel (0,3 km), avenida Presidente Kennedy (4,3 km, cujas obras ainda não foram totalmente concluídas até o presente), avenida Conde da Boa Vista (1,6 km), rua Benfica (0,5 km), rua Cosme Viana (1,60 km), avenidas Herculano Bandeira e Domingos Ferreira (6,00 km), avenida Marechal Mascarenhas de Moraes (8,42 km), rua Real da Torre (1,45 km), avenida Conselheiro Aguiar (5,80 km), avenida Recife (3,60 km) e avenida Agamenon Magalhães (4,0 km) (informações obtidas junto ao Grande Recife Consórcio de Transporte e à CTTU em fevereiro de 2021). Pode-se, portanto, concluir que, apesar dos esforços ultimamente desenvolvidos, ainda há uma distância entre o discurso da prioridade ao transporte público e a prática.

Mesmo assim, são expressivos os ganhos de velocidade obtidos nos corredores onde a faixa exclusiva foi implantada, conforme é mostrado na Tabela 7.

Tabela 7 - Ganhos de velocidade com a faixa exclusiva.

CORREDOR	MÊS DA IMPLANTAÇÃO	VELOCIDADE (km/h)		GANHO (%)
		ANTES	DEPOIS	
Rua Cosme Viana	Dezembro/2013	18,0	25,0	38,9
Avenida Mascarenhas de Moraes	Janeiro/2014	21,0	35,4	68,6
Avenida Herculano Bandeira	Junho/2014	11,0	16,0	45,5
Avenida Domingos Ferreira	Junho/2014	10,0	21,8	118,0
Rua Real da Torre	Agosto/2015	NI	NI	-
Avenida Conselheiro Aguiar	Janeiro/2016	13,1	19,5	48,9

NI: Não Informado.

Fontes: CTTU e Grande Recife Consórcio de Transporte.

No caso da cidade do Recife, pode-se apontar alguns exemplos, de diferentes épocas e de diferentes matizes ideológicos de seus governantes, dessa lógica voltada ao transporte individual e que, por várias décadas, foi a tônica prevalecente nas intervenções urbanas.

Essa cultura ainda esteve presente em um passado recente, quando a praça de Parnamirim foi recuada para dar mais espaço para os automóveis (Figura 13). A cidade perdeu mais um espaço de convivência, sem que os problemas do trânsito tenham sido resolvidos. Os congestionamentos continuam no mesmo local.

Figura 13: Redução da praça de Parnamirim para ampliar o espaço dos automóveis.



Fonte: Jornal do Commercio, edição do dia 10/05/2012.

2.2 O Sistema Estrutural Integrado - SEI

Não obstante as medidas tomadas pela EMTU/Recife a partir de 1980 visando a melhoria do Sistema de Transporte Público de Passageiros da RMR, a situação em 1983 era preocupante. De um lado, havia o chamado impasse tarifário, tendo em vista os custos crescentes do sistema (em decorrência de uma inflação fora de controle) e o baixo poder aquisitivo da população usuária. De outro lado, existia a dificuldade do órgão gestor com relação às crescentes necessidades da demanda, tendo em vista a impossibilidade de atendimento a todas as linhas de desejo dos usuários. Por exemplo, usuários de bairros afastados pediam a criação de uma linha de ônibus para a Cidade Universitária ou o Shopping Center, porém a reduzida demanda inviabilizava a solicitação. Havia ainda um nível de serviço deficiente, caracterizado por excessos de lotação nos ônibus e longos tempos de espera nas paradas.

O Sistema Estrutural Integrado - SEI veio então a ser concebido no ano de 1984, com o intuito de superar os problemas apontados. Com esse propósito, foi formado um grupo de trabalho com a participação de cerca de 30 técnicos de órgãos federais, estaduais e municipais, do qual resultou a concepção do SEI.

Em termos viários, foram definidos seis corredores radiais (corredores em direção ao centro do Recife) operados por equipamentos de maior capacidade (sendo dois deles sobre trilhos) e quatro corredores perimetrais (que se interceptam com os corredores radiais) como estruturadores do SEI, com o objetivo de garantir amplas condições de acessibilidade e mobilidade à população da RMR, todos com características de eixos de transporte de massa.

Mediante a utilização de vias estruturais e de terminais de integração fechados, estrategicamente localizados nas interseções dos corredores radiais e perimetrais, o sistema foi concebido de modo que o usuário possa se deslocar entre dois pontos quaisquer no espaço metropolitano com o pagamento de uma única tarifa, efetuando a integração entre os diversos modos de transporte. Deixaria de haver, pois, a preocupação em atender ligações pontuais, já que o SEI foi idealizado de modo a permitir, através do uso adequado das linhas e dos terminais, quaisquer deslocamentos dentro da RMR. As linhas alimentadoras ligam as diversas localidades nos subúrbios, inclusive as áreas de morros, aos terminais de integração. As linhas troncais radiais ligam os terminais ao centro da cidade. As linhas troncais

perimetrais circulam ao longo dos corredores perimetrais e integram com as linhas radiais nos pontos de interseção do sistema.

O SEI foi assim concebido como um sistema com integração plena, a saber, física, operacional e tarifária. A integração física compreende a existência de terminais adequados para que o usuário possa efetuar, com segurança e conforto, a mudança do equipamento de transporte. A integração operacional diz respeito à compatibilização dos quadros de horários das linhas que integram no terminal, visando minimizar o tempo de espera do usuário. A integração tarifária significa que o usuário paga apenas uma tarifa em todo o seu deslocamento, com sensíveis ganhos em termos do seu desembolso. A concepção do SEI ainda estabelece a adoção de medidas de prioridade para o transporte coletivo em todos os corredores, como pistas ou faixas exclusivas para ônibus e utilização de veículos de maior capacidade nas linhas troncais.

Decorridos mais de 36 anos da sua concepção e mesmo considerando o seu consenso técnico e político, o SEI não foi ainda totalmente implantado, em face principalmente da não conclusão das vias perimetrais e dos terminais de integração previstos, embora atualmente a tecnologia já permita a integração temporal, sem a necessidade de terminais fechados. Também nem todos os eixos radiais tiveram implantados os equipamentos de transporte idealizados.

O Sistema de Transporte Público de Passageiros da RMR é então formado atualmente por dois sistemas: o SEI e o chamado Sistema Complementar (SIC), este último abrangendo as linhas que não compõem o SEI.

Atualmente, existem em operação 26 terminais de integração na RMR. Estão parcialmente implantados dois corredores, o Norte/Sul e o Leste/Oeste, para operação por ônibus do tipo BRT (*Bus Rapid Transit*), à semelhança dos sistemas implantados nas cidades de Curitiba (Brasil), Bogotá (Colômbia) e em várias cidades ao redor do mundo.

Nas áreas onde o SEI foi implantado, foram obtidos ganhos consideráveis em termos da melhoria da oferta do serviço à população, da racionalização da operação e da redução do

consumo de energia. Estima-se que uma parcela expressiva da demanda do Sistema de Transporte Público de Passageiros da RMR (cerca de 70%) seja atendida atualmente pelo SEI.

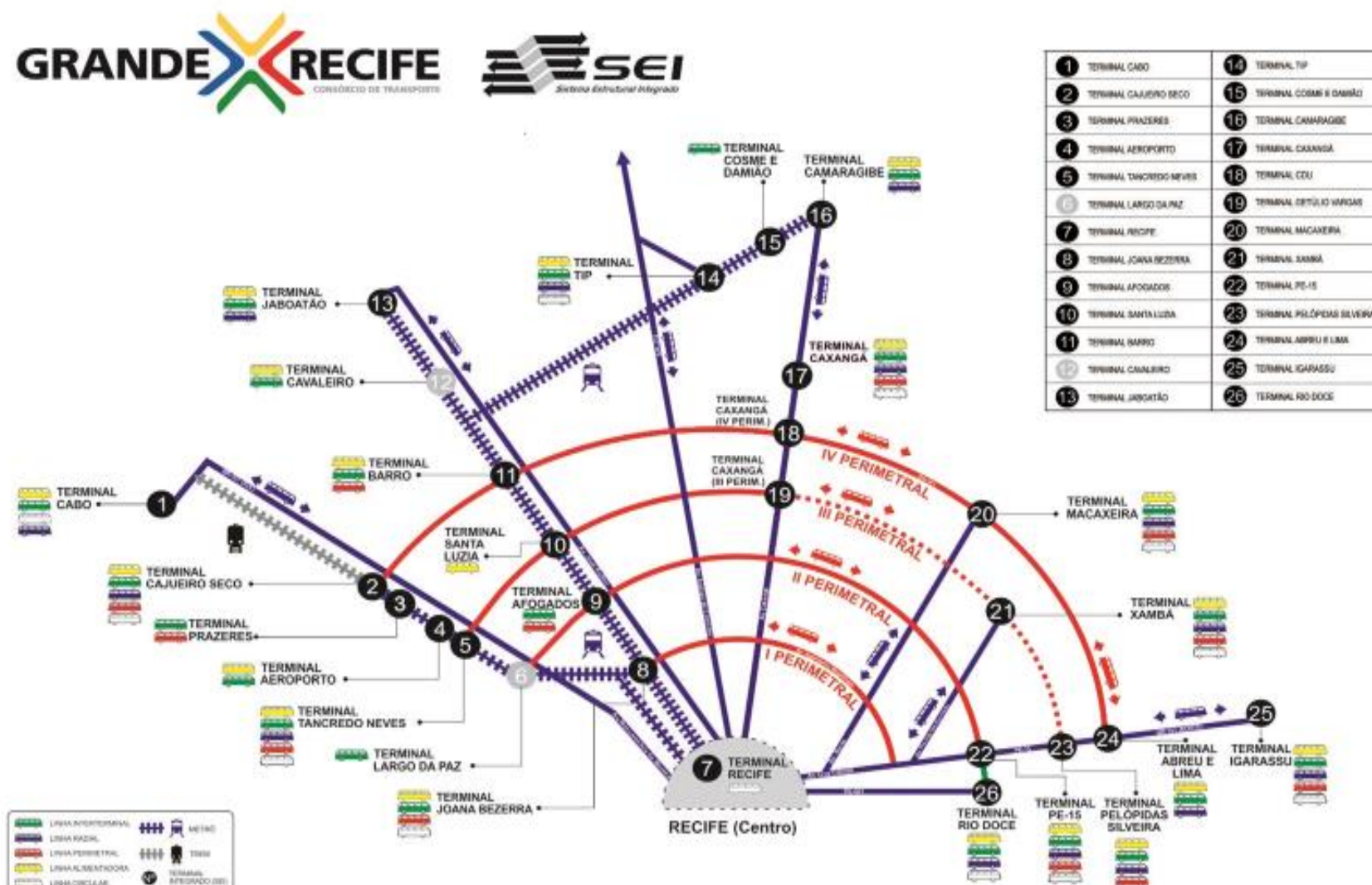
Os principais resultados já alcançados com a implantação, mesmo que parcial, do SEI permitem constatar uma maior oferta de transporte à população da RMR, uma racionalização na operação com uma consequente redução nos custos do sistema e uma expressiva redução no consumo total de energia.

Brasileiro et al. (1999) destacam a respeito do SEI:

“A concepção do SEI (1985) e sua posterior revisão (1994), bem como as ações atuais de construção dos terminais de integração, representam a coroação dos esforços de planejamento urbano e de transportes amadurecidos ao longo dos planos e estudos realizados no decorrer da história do Recife. Isso explica o entusiasmo com que a comunidade técnica local participou de sua elaboração e consolidação.”

A infraestrutura física do SEI é ilustrada na Figura 14.

Figura 14 - A infraestrutura física do SEI.



Fonte: Grande Recife Consórcio de Transporte.

3 A TECNOLOGIA BRT (*BUS RAPID TRANSIT*) E A INFRAESTRUTURA VIÁRIA

*“As cidades são o maior artefato já criado pelo homem.
Sempre foram objeto de desejos, desafios, oportunidades e sonhos.”*

(Leite, C. e Awad, J. in *Cidades Sustentáveis, Cidades Inteligentes:
Desenvolvimento Sustentável num Planeta Urbano*)

3.1 Histórico e conceitos

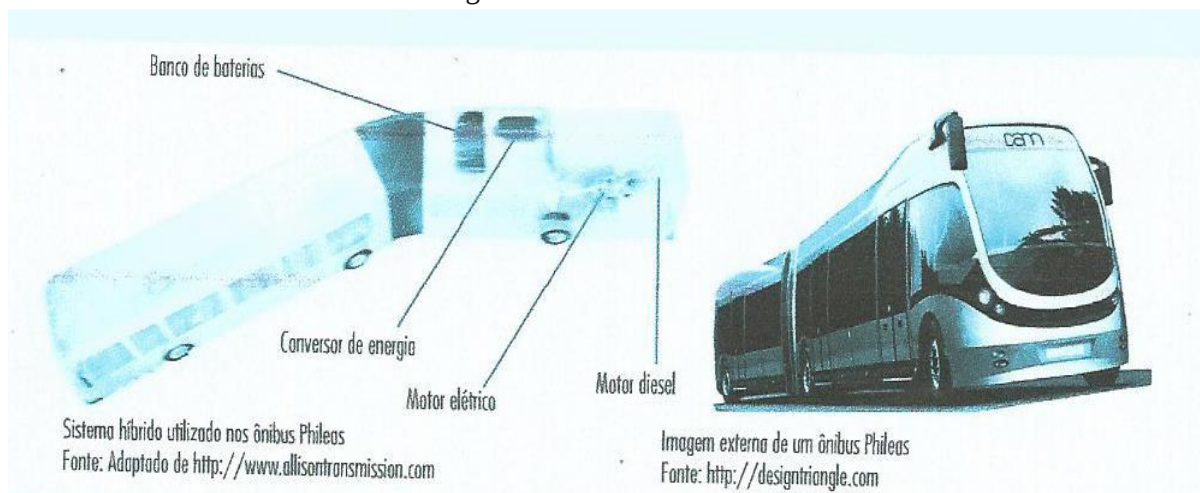
Procurou-se abordar até o presente nesta tese os problemas causados em áreas urbanas pelo intenso e crescente uso do automóvel. Além dos congestionamentos, que representam perda significativa de qualidade de vida para as pessoas pelo tempo desperdiçado que poderia ser utilizado de forma mais aprazível em atividades de lazer ou mesmo produtivas, ao automóvel estão associados os graves problemas dos acidentes de trânsito e da poluição ambiental produzida pela emissão de gases poluentes. O uso do automóvel também consome significativo espaço urbano, tanto para as vias de circulação quanto para áreas de estacionamento.

Assim, para fazer com que os usuários do transporte individual migrem para o transporte coletivo, objetivando reduzir as deseconomias provocadas pelo uso intenso do automóvel, recomenda-se a reestruturação das cidades, o planejamento da infraestrutura e a garantia da qualidade dos serviços de transporte público. Para que o transporte público se torne atrativo, acessível, confiável e eficiente, torna-se fundamental a extensão da cobertura geográfica da rede de transportes, a expansão e a melhoria da operação dos serviços ao usuário, a integração modal e a opção por sistemas de transporte rápidos de alta capacidade (*Mass Rapid Transit* - MRT ou *Bus Rapid Transit* - BRT) (Dalkmann e Brannigan, 2007).

O BRT (*Bus Rapid Transit*) ou TRO (Transporte Rápido por Ônibus) é um termo que se aplica a sistemas de ônibus de características próprias, de média e alta capacidade, e que opera por meio de guias em via fixa ou, de forma parcial ou total, em vias ou faixas exclusivas. São exemplos de sistemas BRT o *Phileas Bus System*, o O-Bahn e o BRT propriamente dito desenvolvido em Curitiba.

O *Phileas Bus System* é um sistema de ônibus de alta capacidade que utiliza uma guia magnética, a qual mantém a trajetória do veículo constante, caracterizando-se, portanto, como um sistema de ônibus guiado. Devido à inovação tecnológica, a sua denominação é uma referência a Phileas Fogg, personagem do romance *A Volta ao Mundo em 80 Dias*, de autoria de Júlio Verne. Esse sistema encontra-se em funcionamento nas cidades de Eindhoven (Holanda), Istambul (Turquia), Douai (França) e Haifa (Israel). Além de um design arrojado, os ônibus Phileas são fabricados com motores híbridos diesel/elétrico e apresentam uma redução de 40% no seu peso, em função da utilização de materiais mais leves como o alumínio em substituição ao aço (Barczak e Duarte, 2012).

Figura 15 - O ônibus Phileas.



Fonte: Barczak e Duarte (2012).

O conceito do O-Bahn foi desenvolvido na cidade de Essen, na Alemanha, na década de 1970, com o objetivo de fazer com que os ônibus pudessem compartilhar os trilhos com os trens. Trata-se, pois, de um sistema no qual o ônibus se desloca guiado lateralmente por trilhos. Foi em seguida implantado na década de 1980 na cidade de Adelaide, na Austrália, utilizando trilhos pré-moldados de concreto (Cervero, 1998).

Figura 16 - O O-Bahn em operação na cidade de Adelaide, Austrália.



Fonte: TRB, sem data.

Um sistema do tipo BRT foi proposto pela primeira vez em Chicago em 1937, quando três linhas sobre trilhos foram transformadas em vias de ônibus. Sobre medidas para dar prioridade aos ônibus, há o registro quanto à sua implantação em 1963 na área metropolitana de Nova Iorque, em 1964 em Paris e, em 1966, as primeiras faixas exclusivas foram criadas em St. Louis (EUA) e Liege (Bélgica) no centro da via. Na América do Sul, a primeira faixa exclusiva foi implantada em 1972 em Lima, no Peru (Maezo-González e Péres-Céron, 2014).

Porém, a concepção plena do BRT veio a ser implantada pela primeira vez na cidade de Curitiba no ano de 1973, com a “estação tubo”, a implantação de faixas e vias exclusivas para ônibus (as canaletas) e a utilização de veículos de maior capacidade (os ônibus articulados). A princípio, a administração municipal intencionava implantar um sistema sobre trilhos para melhorar o sistema de transporte coletivo da cidade, porém a falta dos recursos necessários provocou o surgimento do sistema BRT. A experiência exitosa de Curitiba ensejou então um modelo de referência para várias cidades brasileiras e ao redor do mundo. No Brasil, esse modelo foi em seguida implantado nas cidades de São Paulo (1975), Goiânia (1976), Porto Alegre (1977) e Belo Horizonte (1981). No ano de 2000, existiam seis corredores radiais de BRT em Curitiba (Meirelles, 2000).

No ano de 2020, o BRT de Curitiba foi eleito, pelo *Project Management Institute* (PMI), como um 50 projetos mais influentes no mundo nos últimos 50 anos. Atualmente, nos mesmos seis Corredores (Norte, Sul, Boqueirão, Leste, Oeste e Linha Verde), o Sistema BRT de Curitiba transporta diariamente cerca de 720.000 passageiros (demanda de dias úteis) (Fonte: URBS).

Em Bogotá, na Colômbia, o projeto do BRT, denominado Transmilenio, iniciou a operação no ano de 2000 e apresenta cerca de 130 km de vias exclusivas para ônibus de alta capacidade, transportando diariamente mais de 1,6 milhão de passageiros (Barczak e Duarte, 2012; Maeso-González e Pérez-Cerón, 2014). A experiência de Bogotá, cidade com população superior a 7 milhões de habitantes, foi importante por demonstrar que o sistema BRT pode atender satisfatoriamente em cidades mais populosas.

Destacam ainda Levinson et al. (2003) que a expressão BRT foi usada inicialmente em um estudo desenvolvido por *William Smith and Associates* para a *American Automobiles Association* no ano de 1966.

Há várias definições sobre o sistema BRT, conforme Maeso-González e Pérez-Céron (2014), ao abordarem alguns dos outros autores referidos a seguir. Segundo Thomas (2001), trata-se de “um modo de transporte rápido que pode combinar a qualidade do transporte sobre trilhos e a flexibilidade dos ônibus”. Por sua vez, Levinson et al. (2003) definem o sistema BRT como “um modo flexível de transporte rápido sobre pneus, que combina estações, veículos, modo de operação, pistas de circulação e tecnologias da informação dentro de um sistema integrado com uma forte imagem positiva e identidade”. Hook e Wright (2007) enfocam o aspecto econômico, com a seguinte definição: “BRT é um modo de transporte de alta qualidade, orientado para o usuário, que torna a mobilidade urbana rápida, confortável e de custo eficaz”. Já o *Institute for Transportation and Development Policy* - ITDP (Hook e Wright, 2007) assim conceitua o sistema BRT: “um sistema de transporte por ônibus de alta qualidade que torna a mobilidade urbana rápida, confortável e de custo eficaz por meio da provisão de infraestrutura prioritária segregada, operações rápidas e frequentes, e excelência em marketing e serviço ao usuário”. Ou seja, introduz o conceito do uso da faixa exclusiva (infraestrutura prioritária segregada) como uma característica intrínseca do sistema BRT.

Maeso-González e Pérez-Céron (2014) definem então um sistema BRT como um meio coletivo de transporte terrestre baseado nas características funcionais do LRT (*Light Rail Transit* - Transporte Rápido sobre Trilhos) que se beneficia das vantagens econômicas e flexibilidade do ônibus. Assim, ele pode oferecer um serviço coletivo de transporte terrestre de um modo confortável, rápido e funcional por veículos sobre pneus. Significa uma importante redução de custos em comparação com outros modos de serviço no mesmo nível. Segundo os mesmos autores, a principal diferença entre o BRT e os sistemas urbanos sobre trilhos é que o BRT pode oferecer, com serviços de alta qualidade, transporte de uma grande quantidade de pessoas a um custo muito menor, cujo preço para a cidade seria entre 4 a 20 vezes menor que um sistema LRT e entre 10 e 100 vezes que um sistema tipo metrô (GTZ, 2006).

A partir de informações do *China BRT Database*, *Bus Rapid Transit Policy Center* e *Institute for Transportation and Development Policy*, Maeso-González e Pérez-Céron (2014) elaboraram um comparativo qualitativo e quantitativo de 48 sistemas de BRT em vários países. As características mais comuns de um sistema BRT nas cidades pesquisadas foram:

- operação em faixa exclusiva;
- prioridade nos cruzamentos (por meio de controle semafórico);
- venda de bilhetes fora do veículo (o que assegura um aumento da velocidade comercial em consequência da maior celeridade no embarque);
- embarque em nível com a construção de estações com plataforma na mesma altura do piso do ônibus (o que também assegura um aumento da velocidade comercial em consequência da maior celeridade no embarque, além de melhores condições de conforto);
- uso de tecnologias de baixa emissão de poluentes;
- informação em tempo real obtida por meio de sistemas ITS (por exemplo, informação para o usuário sobre o tempo de espera para o próximo veículo);
- estações intermodais;
- identidade e imagem do sistema (marketing).

A existência de faixa exclusiva mostra-se essencial para a operação dos sistemas BRT, embora em algumas cidades existam trechos com faixas não exclusivas.

Para fins do estudo, Maeso-González e Pérez-Céron (2014) dividiram em dois grupos os países onde o BRT já operava, em função da sua localização: o Grupo 1 era constituído por Estados Unidos, Canadá e países da Europa e Oceania e o Grupo 2 por países da Ásia, América do Sul e África. Para as cidades do Grupo 1, a velocidade média do BRT na hora de pico (entende-se velocidade comercial, ou seja, aquela que inclui os tempos do veículo parado em congestionamentos, semáforos (quando houver) e pontos de parada) foi de 32,0 km/h e para as cidades do Grupo 2, de 20,3 km/h. Observou-se ainda que a venda externa de bilhetes é muito menor nos países mais desenvolvidos (Grupo 1) devido ao uso de cartões inteligentes (*intelligent cards*) com o seu sistema de validação no interior do veículo. Aos países do Grupo 1, correspondem os sistemas de BRT tecnologicamente mais avançados e mais rápidos, que permitiria definí-los como um “BRT completo” (*full BRT*), porém com menor extensão, menos estações e menor quantidade de linhas.

Ainda segundo Maeso-González e Pérez-Céron (2014), os sistemas BRT são mais consolidados entre a população e mais desenvolvidos em termos de serviço nos países do Grupo 2, que corresponde aos menos desenvolvidos, possivelmente em decorrência do fato de que, no caso de áreas desenvolvidas, os BRTs representam um complemento aos outros meios de transporte público, enquanto no restante eles são considerados as artérias principais do transporte. Citam ainda aqueles autores que o menor custo de infraestrutura é uma razão para facilitar a implantação do BRT em países da Ásia e da América do Sul.

3.2 Vantagens e desvantagens dos sistemas BRT

O “*Bus Rapid Transit Planning Guide*” enfatiza as principais vantagens da tecnologia dos sistemas de transportes com operação exclusiva em corredores de ônibus (Sistema BRT): alta qualidade, rapidez, conforto e eficiência, com a redução de custos operacionais na infraestrutura de mobilidade e acessibilidade urbana, podendo ser de duas a 20 vezes mais barato do que a de sistemas com capacidade semelhante, como os veículos leves sobre trilhos (VLT) e cerca de 100 vezes mais econômicos do que as tecnologias metroviárias (ITDP, 2008).

Assim, as vantagens dos sistemas BRT, que os tornam uma opção interessante de transporte, podem ser assim sintetizadas:

- o projeto adequado dos veículos (Kittelton e Levinson, 2008);

- o meio rápido de validação dos Sistemas de Transporte Inteligentes - STI (*Intelligent Transportation Systems* - ITS) (Kittelson e Levinson, 2008);
- a disponibilidade de pistas prioritárias que proporcionam um serviço de alta frequência durante o dia inteiro (Kittelson e Levinson, 2008);
- a flexibilidade de operação, permitindo a sua circulação em todo tipo de via (mesmo nas áreas centrais das cidades) e ainda o estabelecimento de itinerários alternativos em decorrência de trabalhos eventuais ou acidentes na via (Kittelson e Levinson, 2008); (Maeso-González, E. e Pérez-Céron, P., 2014);
- a possibilidade de operar com veículos de maior ou menor capacidade (ônibus articulados, padrões ou pequenos), em função das variações sazonais da demanda das linhas (Maeso-González, E. e Pérez-Céron, P., 2014);
- a sua habilidade para ser implantado de forma rápida (Kittelson e Levinson, 2008);
- a sua habilidade para ser construído gradualmente, de modo a distribuir ao longo do tempo o custo de investimento da construção de estações e linhas e o custo de manutenção (Kittelson e Levinson, 2008); (Maeso-González, E. e Pérez-Cerón, P., 2014)
- a sua habilidade para juntar-se facilmente com outros sistemas de transporte, tanto locais como expressos (Kittelson e Levinson, 2008);
- o seu baixo custo de implantação em comparação com trem ou metrô, não obstante os benefícios sejam similares (Kittelson e Levinson, 2008);
- o aumento do valor das propriedades em torno dos quais ele opera, contribuindo assim para a revitalização e promoção de áreas altamente habitadas (Mojica, C.H. e Rodriguez, D., 2009); (Muñoz-Raskin, R., 2010);
- por permitir um uso mais eficiente do espaço viário urbano pelo aumento da capacidade para transportar pessoas, o BRT fornece conectividade acessível e serviços rápidos e confiáveis para uma gama de requisitos (Fouracre, Dunkerley e Gardner, 2003; Lash, Koch e Lindau, 2012; Muñoz e Hidalgo, 2013; UN-HABITAT, 2013; Lindau et al., 2014);
- benefícios diretos ao meio ambiente (redução da emissão de poluentes na atmosfera), em decorrência da otimização na operação das linhas com as seguintes consequências: redução do volume de ônibus em circulação, redução dos tempos de viagem, redução do consumo de combustível e a possibilidade de migração dos usuários do transporte individual para o coletivo (NTU, 2012).

Além das vantagens acima relacionadas, pode-se ainda apontar a melhoria da tecnologia veicular pela nova concepção do veículo, um maior conforto térmico (considerando que, em muitos dos sistemas BRT, os veículos são climatizados), um menor tempo de implantação em relação a outros modos de transporte e a adoção de uma solução compatível com a realidade econômica e social do Brasil e dos demais países emergentes.

Hajj et al.(2016) destacam que os sistemas BRT, pela sua qualidade, atraem passageiros e fornecem benefícios claros à população, por melhorarem as condições de mobilidade e o meio ambiente, podendo atingir elevada demanda em áreas densamente povoadas.

Deve-se observar, contudo, as desvantagens que os sistemas BRT apresentam em comparação com outros modos de transporte público, em especial os sistemas sobre trilhos:

- a capacidade dos ônibus é normalmente menor do que a dos sistemas LRT ou metrô (Maeso-González, E. e Pérez-Céron, P., 2014);
- o BRT é mais desvantajoso em relação a ruídos, à poluição e à imagem negativa, que são aspectos associados com mais frequência aos sistemas de ônibus (Rodríguez et al., 2020);
- a capacidade do BRT de fomentar o desenvolvimento econômico em suas áreas de influência é menor do que nos sistemas sobre trilhos (Rodríguez et al., 2020);
- em determinadas situações, o sistema BRT pode necessitar operar em faixas que não sejam exclusivas para ônibus, o que reduz significativamente os ganhos resultantes do aumento da velocidade comercial e da consequente redução nos tempos de viagem (Maeso-González, E. e Pérez-Céron, P., 2014);
- devido à menor distância entre as paradas e também aos procedimentos estabelecidos para serem observados nos cruzamentos, o BRT será sempre mais lento do que o metrô (Maeso-González, E. e Pérez-Céron, P., 2014).

Quanto à operação do BRT em faixas não exclusivas, nas quais o veículo compartilha o exíguo espaço viário com outros veículos, deve ser registrado que o fato ocorre em diversas cidades. No caso da RMR, existem tais situações em alguns segmentos, tanto no Corredor Norte-Sul quanto no Corredor Leste-Oeste.

Além desses aspectos, Lindau et al. (2014) mencionam a existência de barreiras de ordem institucional, financeira, legal e política relacionadas ao planejamento e à implantação de

sistemas BRT e a outras de natureza mais geral. Em termos de planejamento, são citadas as seguintes questões: (i) as complexidades institucionais e a falta de capacidade técnica; (ii) a falta de alinhamento ou de entendimento entre as partes interessadas; (iii) a forte promoção de modos concorrentes; (iv) a percepção do BRT como um modo de qualidade inferior, decorrente da percepção equivocada do ônibus como um modo de baixa qualidade (Hensher, 2007); (v) o viés tradicional com respeito à prioridade ao transporte individual; (vi) a oposição de operadores de ônibus existentes; (vii) as campanhas de mídia, opositores políticos, empresas, proprietários de terra e defensores do transporte não motorizado; e (viii) a perda de participação da comunidade.

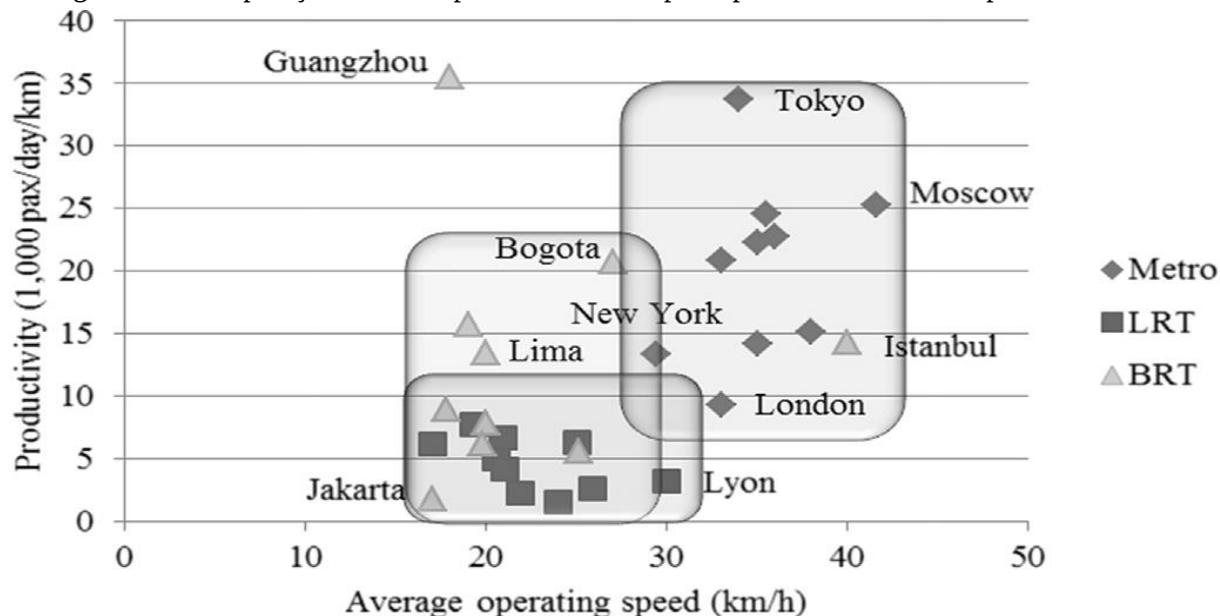
Há, de fato, uma questão cultural na sociedade, decorrente de um conceito arraigado e distorcido das pessoas de que o ônibus é um modo destinado ao transporte de pessoas de menor poder aquisitivo. Esse imaginário faz com que muitos usuários do transporte individual aceitem, com possibilidade de migração, o VLT e não o BRT. A esse respeito, Lindau et al. (2014) abordam a forte influência que a imagem física de sistemas de transporte tem sobre a formação das preferências dos usuários e não usuários. Mesmo para condições similares com relação a tempos de espera, tempos de viagem e custos, os veículos sobre trilhos são habitualmente preferidos aos ônibus por uma parcela significativa da população (Hensher & Mulley, 2015). Além disso, Ramos Barcelos (2013) destacam o fato de que, normalmente desconhecendo os desafios de implantação e custos, os meios de comunicação demonstram predileção pelos sistemas de metrô.

Diversos autores (COST, 2011; Finn et al., 2011; Hodgson et al., 2013) destacam o uso exitoso em muitas cidades de países desenvolvidos dos “*Buses with High Level of Service*” (BHLS) ou Ônibus com Alto Nível de Serviço como uma alternativa à adoção de sistemas de transporte sobre trilhos de custos mais elevados.

A esse respeito, registra-se uma comparação interessante entre dez dos principais sistemas de transporte do mundo, conforme estudo relatado por Petzhold (2012). Quatro desses sistemas (Londres, Moscou, Tóquio e Nova Iorque) operam com metrô; um (Lyon) com VLT e cinco (Istambul, Bogotá, Lima, Guangzhou e Jacarta) com BRT. A Figura 17 mostra a comparação desses sistemas, considerando a velocidade média de operação (em km/h) e a produtividade, expressa em 1.000 passageiros por dia por km. Observa-se que o BRT de Guangzhou

transporta mais passageiros por quilômetro do que o metrô de Tóquio e que a velocidade de operação dos BRTs de Istambul e Bogotá é comparável à dos metrôs analisados.

Figura 17 - Comparação do desempenho de dez dos principais sistemas de transporte do mundo.



Fonte: Petzhold, 2012.

Quanto às barreiras para a implantação do BRT, Lindau et al. (2014) mencionam: (i) a subestimativa do esforço de implantação, isto é, viés de otimismo; (ii) as discontinuidades devido a ciclos políticos; (iii) a falta de políticas nacionais de apoio ao desenvolvimento do BRT; (iv) o financiamento insuficiente para a implantação adequada; (v) a inauguração apressada.

Um exemplo bem ilustrativo foi apresentado por Mallqui e Pojani (2017), que relataram um estudo comparativo de implantação de sistemas BRT nas cidades de Brisbane (Austrália) e Lima (Peru) e concluíram que, não obstante os muitos casos de sucesso em todo o mundo, persistem barreiras para o seu planejamento e a sua implantação. Os autores destacam que o BRT segue o desempenho e as comodidades dos modernos sistemas de transporte ferroviário e apresentam custos de construção muito mais baixos, curtos períodos de implantação (um a três anos após a concepção) e flexibilidade para alterações de itinerário, entre outras vantagens.

Há evidentes diferenças entre as duas cidades (contexto, tamanho e nível de desenvolvimento). Brisbane, com 1,2 milhão de habitantes em 2016 (dois milhões na sua área

metropolitana), é uma típica cidade ocidental, voltada para o automóvel e inviável para a construção de novos sistemas sobre trilhos devido aos seus custos proibitivos. Já Lima, com 1,7 milhão de habitantes na área central e mais 9,7 milhões na sua área metropolitana (2016), é uma típica megacidade em desenvolvimento, com recursos financeiros escassos e com uma dependência grande da maioria da população com relação ao transporte público. Ambas as cidades implantaram, com sucesso, sistemas BRT na última década (28 km e 26 km, respectivamente) e tencionam expandí-los devido à boa aceitação da população, mas enfrentam barreiras de vários tipos. Em Brisbane, as principais barreiras são a forte concorrência do automóvel particular e o custo mais elevado de construção devido aos maiores valores do terreno e da mão de obra. Em Lima, as principais barreiras são a fragmentação da política institucional e de transporte público, a falta de coordenação (vários órgãos atuam no processo) com a consequente ausência de integração entre os modos de transporte, a politização do setor, a concorrência do sistema de transporte público restante e a restrição de espaço urbano para a ampliação do sistema. Não obstante todas as dificuldades, o BRT de Lima opera em um padrão de melhor qualidade do que o de Brisbane (Mallqui e Pojani, 2017). Nenhuma referência é feita, contudo, com relação à infraestrutura viária utilizada pelo sistema BRT.

Rodríguez et al.(2020) abordam que o desenvolvimento urbano voltado ao BRT concentra a demanda nos corredores, equilibra o fluxo de passageiros, revitaliza bairros e cria oportunidades para viagens multimodais. Assim sendo, é uma estratégia que *“complementa e fortalece o sistema BRT, fomenta o uso de diferentes modos alternativos de transporte, fortalece o uso eficiente do solo urbano e contribui para a redução de gases do efeito estufa e de outros materiais contaminantes.”* Os autores fazem referência a um estudo sobre o TransMilenio de Bogotá desenvolvido por Estupiñan e Rodríguez (2008), pelo qual se demonstrou que as áreas situadas no entorno das estações do BRT apresentam maiores densidades e diversificação do uso do solo, mais infraestrutura para pedestres e mais usuários no sistema de transporte público.

A justificativa da utilização do sistema BRT em várias cidades ao redor do mundo está bem sintetizada por Jan Gehl (Gehl, 2015):

Há algumas décadas, inúmeras cidades implantaram novos metrô, trens e veículos leves sobre trilhos. Entretanto, estes sistemas exigem investimentos pesados e, em geral, levam anos para ser implantados. Então, várias cidades voltaram-se para o BRT, bus rapid transport (transporte rápido por ônibus). Essas soluções, conhecidas

como “metrô com rodas de borracha”, são interessantes pelo fato de serem econômicas, de fácil implantação e transportam grande número de passageiros de forma rápida e confortável, por toda a cidade.

3.3 Panorama do BRT pelo mundo

A partir das experiências exitosas de Curitiba e Bogotá, outras cidades também passaram a implantar os seus sistemas BRT, como Seul (2004) e Beijing (2005) (Maeso-González e Pérez-Cerón, 2014). Hidalgo e Gutiérrez (2013), com base em pesquisas realizadas pela EMBARQ sobre BRT e BHLS, registravam a existência, no mês de julho de 2011, de cerca de 120 cidades com sistemas BRT e BHLS ao redor do mundo, abrangendo 280 corredores, 4.300 km de vias ou faixas exclusivas para ônibus, 6.700 estações e uma frota de 30.000 ônibus, atendendo a aproximadamente 28 milhões de passageiros por dia. Dessas 120 cidades, 99 (ou seja, 82,5%) haviam entrado na lista nos 12 anos anteriores. Destacam ainda aqueles autores que, a partir de julho de 2011, cerca de 49 outras cidades estavam implantando sistemas BRT, 16 estavam expandindo seus corredores e 31 estavam planejando a sua implantação.

Talvez pela própria dinâmica do processo, os números sobre as cidades com sistemas BRT não convergem exatamente. Assim, Global BRT Data (2014), Hidalgo (2011) e Lindau et al. (2014) indicavam que, no ano de 2011, o sistema BRT já era utilizado em 168 cidades de 39 países dos cinco continentes, tanto emergentes quanto desenvolvidos, ao redor do mundo.

O fato é que os sistemas BRT e BHLS estão presentes em todos os continentes, conforme é mostrado na Tabela 8, traduzida de Hidalgo e Gutiérrez (2013).

Tabela 8 - Distribuição de BRT e corredores de ônibus em janeiro de 2011.

	Cidades	Corredores	Km	Estações	Ônibus	Passageiros por dia
África	3	3	62	93	463	390.000
Ásia	33	85	1.306	1.658	6.590	6.289.531
Europa	25	32	291	609	781	629.369
Europa/Ásia	1	2	43	33	300	700.000
América Latina e Caribe	33	91	1.345	2.717	19.239	17.691.945
Oceania	5	12	324	142	1.411	345.800
EUA e Canadá	20	57	993	1.485	1.993	1.013.901

Total	120	282	4.364	6.737	30.777	27.060.546
-------	-----	-----	-------	-------	--------	------------

Fonte: EMBARQ BRT / Bus Corridors Database (EMBARQ, 2011).

GLOBAL BRT DATA (2020) indica a situação mais atualizada, conforme mostra a Tabela 9, que mostra, no mês de dezembro de 2020, uma demanda diária superior a 34 milhões de passageiros transportados diariamente em cerca de 5.300 km de corredores de BRT em 176 cidades ao redor do mundo.

Tabela 9 - Demanda diária, número de cidades e extensão de corredores de BRT em todo o mundo (dezembro/2020).

CONTINENTE	DEMANDA DIÁRIA	NÚMERO DE CIDADES	EXTENSÃO (km)
África	491.578	5	131
América do Norte	988.683	21	683
América Latina	20.909.541	56	1.863
Ásia	9.561.593	45	1.647
Europa	1.613.580	44	875
Oceania	436.200	5	109
TOTAL	34.001.175	176	5.308

Fonte: Global BRT Data (2020).

Levantamento ainda mais atualizado junto ao GLOBAL BRT DATA (2021) permitiu obter a relação de todas as 177 cidades em todo o mundo (em fevereiro de 2021) que utilizam o Sistema BRT. Os resultados são apresentados na Tabela 10. Com inspiração em uma relação apresentada em Nikitas e Karlsson(2015), as informações foram então atualizadas, sendo ainda representados os continentes correspondentes a cada cidade.

Tabela 10 - Relação das cidades em todo o mundo com sistema BRT e respectivos continentes (fevereiro/2021).

Acapulco	Caracas	Granada	Lagos	Nîmes	Stockholm
Adelaide	Cartagena	Greater Manchester	Lahore	Niterói	Strasbourg
Ahmedabad	Castellón	Guadalajara	Lanzhou	Nouméa	Subang Jaya
Albuquerque	Châlon-sur-Saône	Guadalupe	Las Vegas	Oberhausen	Sumaré
Alexandria – Arlington	Changde	Guanzhou	Le Mans	Orlando	Surat
Almere	Chagzhou	Guarulhos	León de los Aldama	Ottawa	Swansea
Amritsar	Chengdu	Guatemala	Lianyungang	Pachuca	Sidney – MA
Amsterdam	Chiayi	Guayaquil	Liège	Panamá	Tabriz
Auckland	Chihuahua	Haifa	Lille	Paris	Taichung
Bangkok	Chongqing	Hangzhou	Lima	Pereira	Taipei
Barquisimeto	Cleveland	Hanoi	Londrina	Pittsburgh	Tehran
Barranquilla	Concepción	Hartford County	Lorient	Port of Spain – Arima	Teresina
Beijing	Córdoba	Hefei	Los Angeles	Porto Alegre	Tijuana
Belém	Criciúma	Helsinki	Luton	Pretoria	Toulouse
Belfort	Curitiba	Huballi-Dharwad	Lyon	Puebla	Uberaba
Belo Horizonte	Dalian	Indore	Maubeuge	Pune-Primp-Chinchwad	Uberlândia
Bhopal	Dar es Salaam	Isfahan	Medellín	Quebec	Urumqi
Bogotá	Douai	Islamabad - Rawalpindi	Merida	Quito	Utrecht
Brasília	Eindhoven	Istanbul Istanbul	Metz	Rajkot	Winnipeg
Brisbane	Enschede	Jaipur	Mexico City	Recife	Xiamen
Bucaramanga	Essen	Jakarta	Mexico City – MA	Richmond	Yancheng
Buenos Aires	Eugene	Jinan	Miami	Rio de Janeiro	Yichang
Buenos Aires-MA	Evry	Johannesburg	Mississauga	Rouen	Yinchuan
Caen	Fareham-Gosport	Jonkoping	Monterrey	Runcorn	York
Calgary	Fort Collins	Juárez	Montevideo	Saint-Nazaire	Zaozhuang
Cali	Fortaleza	Juiz de Fora	Nagoya	San Bernardino	Zhengzhou
Cambridge	Gatineau	Kent	Nancy	Santiago	Zurich
Campinas	Goiânia	Kesennuma – Tome	Nantes	São Paulo	
Cannes	Gothenburg	Kunming	Natal	São Paulo – MA	
Cape Town	Gran San Salvador	La Rochelle	New York	Seoul	

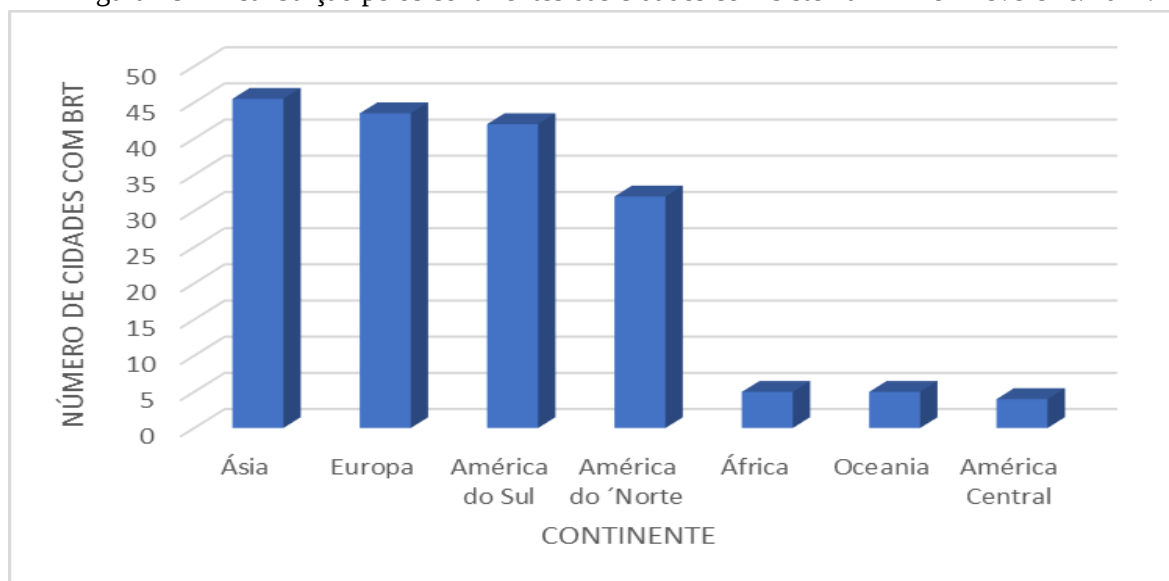
MA=Metropolitan Area.

América do Sul	América Central	América do Norte	Europa	África
Ásia	Oceania			

Fonte primária: GLOBAL BRT DATA (2021); autoria própria.

A Figura 18 mostra, com base nas informações apresentadas na Tabela 10, a distribuição pelos continentes das 177 cidades que dispõem de sistema BRT no mês de fevereiro de 2021. Observa-se que a Ásia e a Europa têm mais cidades com sistemas BRT que a América do Sul, em especial pela elevada participação da China e da França, respectivamente.

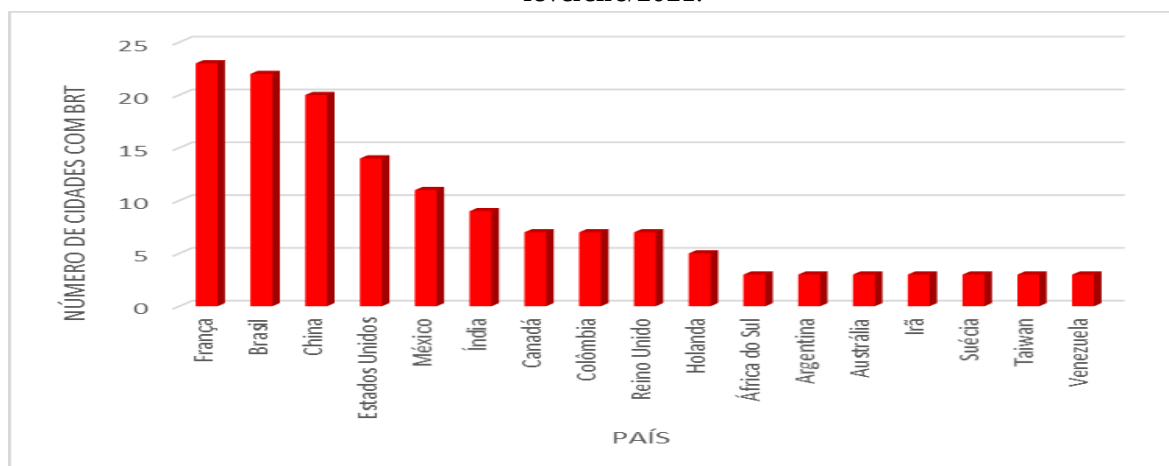
Figura 18 - Distribuição pelos continentes das cidades com sistema BRT em fevereiro/2021.



Fonte primária: GLOBAL BRT DATA (2021); autoria própria.

Desagregando as informações por país e considerando apenas aqueles que possuem, pelo menos, 3 cidades com sistema BRT, obtém-se o gráfico indicado na Figura 19.

Figura 19 - Distribuição dos países que possuem, pelo menos, 3 cidades com sistema BRT em fevereiro/2021.



Fonte primária: GLOBAL BRT DATA (2021); autoria própria.

Observa-se que a França, o Brasil e a China lideram a estatística com relação à utilização do sistema BRT, com respectivamente 23, 22 e 20 cidades (em fevereiro de 2021).

3.4 Panorama do BRT no Brasil

No Brasil, a Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos - NTU apresentou um levantamento da situação de treze cidades brasileiras com projetos de sistemas BRT (NTU, 2012) então em andamento. Os corredores onde operam ou ainda operarão esses sistemas BRT são eixos estruturantes propostos no planejamento da cidade ou região metropolitana, a saber, planos municipais ou metropolitanos de transportes ou de desenvolvimento urbano. A Tabela 11 apresenta, para cada uma das treze cidades, a quantidade de corredores de BRT então em implantação, a sua extensão total e a demanda horária de pico.

Observa-se que, naquela ocasião (2012), estavam sendo implantados, nas treze cidades (nove das quais, capitais de unidades federativas), 29 corredores de BRT, com uma extensão total de 589,8 km.

Tabela 11 - BRT: quantidade de corredores, extensão total e demanda horária de pico em treze cidades brasileiras (2012).

CIDADE	QUANTIDADE DE CORREDORES	EXTENSÃO TOTAL (km)	DEMANDA HORÁRIA DE PICO (1.000 PASSAGEIROS)
Belo Horizonte/MG	4	33,9	12 a 31
Brasília/DF	1	43,7	20
Campo Grande/MS	3	46,5	31
Cascavel/PR	1	24,5	9
Curitiba/PR	1	22,0	NI
Goiânia/GO	1	27,0	11,8
Maringá/PR	3	11,0	25
Porto Alegre/RS	5	28,3	NI
Recife/PE	3	51,9	27,1
Rio de Janeiro/RJ	4	140,0	210
Salvador/BA	1	78,0	80
Uberlândia/MG	1	52,0	3,6
Vitória/ES	1	31,0	16
TOTAL	29	589,8	-

NI: Não Informado.

Fonte: NTU (2012).

Com relação aos custos estimados para a implantação desses corredores BRT, a Tabela 12 apresenta o valor do investimento em obras viárias e terminais, excluindo os custos relacionados a projetos, desapropriações, equipamentos de controle, bilhetagem eletrônica e aquisição de frota (os veículos BRT).

Tabela 12 - Valor do investimento nos corredores de BRT em treze cidades brasileiras.

CIDADE	VALOR DO INVESTIMENTO NOS CORREDORES DE BRT (R\$ 10 ⁶ milhões)
Belo Horizonte/MG	932,5
Brasília/DF	760,0
Campo Grande/MS	252,0
Cascavel/PR	78,4
Curitiba/PR	18,8
Goiânia/GO	229,0
Maringá/PR	18,0
Porto Alegre/RS	200,0
Recife/PE	455,0
Rio de Janeiro/RJ	3.370,0
Salvador/BA	3.400,0
Uberlândia/MG	NI
Vitória/ES	663,0
TOTAL	10.376,7 (*)

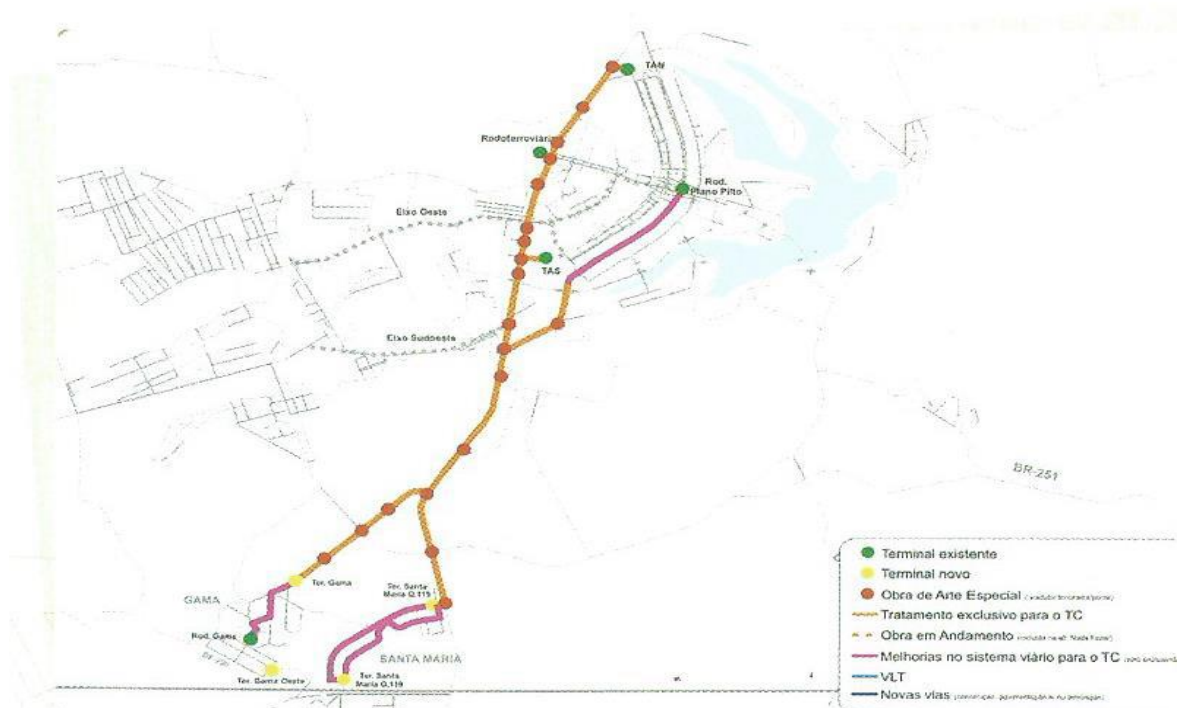
(*) Excluindo Uberlândia/MG, cujo valor do investimento não foi informado.

Fonte: NTU (2012).

Pode-se verificar que, mesmo sem considerar a cidade de Uberlândia/MG, cujo valor de investimento não foi informado, o total dos investimentos previstos nas doze cidades restantes alcançava cerca de R\$ 10,38 bilhões apenas para a execução de obras viárias e terminais,

Em Brasília, o BRT corresponde ao Corredor Eixo Sul, ligando o Plano Piloto às cidades-satélite (regiões administrativas) do Gama e Santa Maria, atendendo a aproximadamente 600 mil pessoas, incluindo a população residente no Entorno Sul do Distrito Federal e municípios do Estado de Goiás. Seu traçado, em uma extensão total de 43,7 km, foi desenvolvido ao longo do canteiro central das rodovias BR-040, DF-065, DF-480 e a Estrada Parque Indústria e Abastecimento - EPIA, espinha dorsal do sistema viário do Distrito Federal (Figura 20).

Figura 20 - Traçado do Corredor Eixo Sul (BRT de Brasília).



Fonte: NTU, 2012.

Esta menção ao BRT de Brasília é relevante por duas razões: primeira, ele apresenta uma característica peculiar, que é o ônibus baixo (diferente dos demais BRTs), em decorrência do tombamento do Plano Piloto, que impede a elevação da plataforma da Rodoviária de Brasília, situada em frente ao Eixo Monumental. Segunda, nos trechos do corredor em pavimento de concreto de cimento Portland, este já foi dimensionado para suportar as cargas transmitidas pelo ônibus BRT. É o caso do trecho da BR-040, ilustrado nas fotos indicadas nas Figuras 21 a 23.

Figura 21 - Vista geral do corredor do BRT de Brasília em implantação ao longo do canteiro central da rodovia BR-040.



Foto de autoria própria em outubro de 2013.

Figura 22 - Pistas do BRT em pavimento de concreto de cimento Portland na ligação das cidades-satélite do Gama e de Santa Maria ao Plano Piloto de Brasília.



Foto de autoria própria em outubro de 2013.

Figura 23 - Detalhe da plataforma baixa do BRT na ligação das cidades-satélite do Gama e de Santa Maria ao Plano Piloto de Brasília.



Foto tirada em outubro de 2013.

No caso da Região Metropolitana do Recife, o projeto do BRT contemplaria três corredores: o Norte-Sul, o Leste-Oeste e o Ramal Cidade da Copa, com extensões respectivas de 33,0 km, 12,5 km e 6,4 km, totalizando 51,9 km. As obras foram iniciadas em novembro de 2011 e com previsão inicial de término para maio de 2013. No entanto, não foram ainda totalmente concluídas. Foram estimadas as demandas horárias de pico em 14,5 mil e 12,6 mil, respectivamente para os Corredores Norte-Sul e Leste-Oeste. O Ramal Cidade da Copa não chegou a ser construído.

Os corredores de BRT da RMR foram projetados com base nas diretrizes do Plano Diretor de Transportes Urbanos - PDTU 2008. Assim, os corredores se constituirão, juntamente com o corredor metroviário, nos principais eixos estruturadores de transporte da RMR. Por aproveitarem vias já existentes, foram mantidos os pavimentos sem alterações estruturais, salvo nas pistas dos trechos das estações. Assim, os corredores de BRT têm pavimento de concreto de cimento Portland nas avenidas Caxangá (pista leste, no sentido subúrbio-cidade) e Conde da Boa Vista para o Corredor Leste-Oeste e na avenida Martin Luther King para o

Corredor Norte-Sul. Nos demais trechos dos dois corredores, o pavimento apresenta revestimento asfáltico.

Figura 24 - Ônibus do sistema BRT em operação no Corredor Norte-Sul da RMR.



Foto de autoria própria.

Figura 25 - Estação de BRT na área central da cidade do Recife (Estação Praça da República).



Foto de autoria própria.

3.5 Enfoques complementares relevantes sobre o BRT

Com o intuito de enfatizar a presente abordagem do BRT e entender a cadeia lógica de todo o até agora exposto, torna-se necessário entender o conceito de mobilidade sustentável. Campos e Ramos (2005) definem mobilidade sustentável como uma forma de mobilidade que promove uma igualdade de possibilidades de deslocamentos, com facilidades de acesso às diversas atividades de uma região, promovendo uma redução no consumo de energia associada aos meios de transporte e buscando, assim, uma redução da poluição ambiental e uma melhoria na eficiência dos recursos aplicados no transporte. Por sua vez, em BRASIL (2004), a mobilidade urbana sustentável é definida conceitualmente como o resultado de um conjunto de políticas de transporte e circulação que visam proporcionar o acesso amplo e democrático ao espaço urbano, através da priorização dos modos de transporte coletivo e não motorizados, de forma efetiva, socialmente inclusiva e ecologicamente sustentável.

Lindau et al. (2014) destacam que os governos nacionais, ao enfocarem apenas as finanças nacionais e o desenvolvimento industrial, tendiam a favorecer o automóvel e a motocicleta, jogando para as administrações municipais o ônus dos congestionamentos viários que atingem também os ônibus que operam em condições de tráfego misto. Além do agravamento do trânsito nas cidades, lembra-se que, como já aqui abordado, outras deseconomias são produzidas pela prioridade ao transporte individual, a saber, os acidentes de trânsito e a poluição ambiental.

Não há, portanto, receita mágica para resolver o sério problema da mobilidade urbana, que não passe, entre outros requisitos, por tornar os sistemas de transporte coletivo confiáveis, eficientes, eficazes, confortáveis, seguros e ambientalmente corretos, de modo a preservar os princípios da mobilidade urbana sustentável. Assim, a implantação de sistemas do tipo BRT nas cidades reforça o entendimento quanto à necessidade de se dedicar espaços viários para o transporte coletivo, de disponibilizar estações e terminais com conforto e segurança, de ofertar veículos modernos e com capacidade compatível com a demanda de passageiros, de melhorar a operação dos serviços e o atendimento aos usuários com a implantação de sistemas de informações e controle.

O BRT, contudo, é um projeto complexo, que lida com diversos aspectos da engenharia: infraestrutura viária, infraestrutura das estações e terminais, especificações do veículo, detalhamento dos sistemas de informações e controle e ainda o plano operacional. Há a necessidade de uma visão holística de todo o processo ou, como no dizer de Lindau et al. (2014), o projeto de um sistema BRT exige uma compreensão abrangente dos seus múltiplos componentes e de suas interfaces.

3.6 A infraestrutura viária dos sistemas BRT

O *Institute for Transportation & Development Policy* (ITDP) conceitua em seu *BRT Planning Guide* (ITDP, 2017) a respeito da infraestrutura necessária à operação do sistema BRT:

“O projeto de infraestrutura deve abranger uma ampla gama de sistemas componentes, incluindo vias de ônibus, estações, estações intermediárias de transferências, benfeitorias de integração, utilidades públicas e paisagismo. A escolha entre asfalto e concreto como material do leito acarreta consequências de longo alcance para o desempenho e para o custo de manutenção. Em geral, o pavimento de concreto é necessário na via das estações para garantir que a altura da plataforma das estações e a dos ônibus sejam niveladas.”

Mais adiante, no mesmo documento, o ITDP enfatiza a importância do peso por eixo dos veículos do BRT como o principal fator determinante para a escolha do tipo de pavimento e que *“engenheiros de pavimentos locais devem fazer parte da equipe de tomada de decisão”*. Quando se trata de ônibus articulados normais com 18,50 m de comprimento, os veículos são muito pesados e podem exigir, a depender da sua frequência no corredor, até a reconstrução do pavimento para poder suportar essas cargas. No caso do sistema TransMilenio de Bogotá, com um elevado volume de tráfego de ônibus no corredor, o peso total do veículo articulado é de aproximadamente 30 toneladas e a carga máxima por eixo alcança cerca de 12,5 toneladas. No local das estações, somam-se às cargas verticais dos eixos dos ônibus, os esforços horizontais resultantes da frenagem e da aceleração dos veículos. Se ocorrerem afundamentos no pavimento no local das estações, poderá haver um desnivelamento entre o ônibus e a plataforma, com a formação de um degrau (ITDP, 2017), descumprindo assim um dos requisitos fundamentais do sistema, que é o embarque e o desembarque dos usuários no mesmo nível entre o veículo e a plataforma.

Quanto às vias utilizadas pelo BRT nas cidades brasileiras, adotou-se pavimento de concreto de cimento Portland nas cidades de Belo Horizonte, Goiânia, Porto Alegre, Salvador e Vitória. Já nas cidades de Brasília, Campo Grande, Recife, Rio de Janeiro e Uberlândia, há trechos em pavimento asfáltico e outros em pavimento de concreto de cimento Portland. Na cidade de Curitiba, utilizou-se uma base em concreto sob o revestimento asfáltico, devido às condições especiais do solo local (NTU, 2012). Mesmo nas cidades nas quais não se utilizou pavimento de concreto de cimento Portland nas vias do BRT, ele foi adotado ao lado das estações devido aos esforços horizontais concentrados, resultantes de frenagens e acelerações dos veículos.

A respeito da comparação entre o pavimento rígido (concreto) e o pavimento flexível (asfalto) para a faixa, pista ou via exclusiva do BRT, Ebels (2016) aponta vantagens e desvantagens de cada um, conforme é resumido na Tabela 13.

Tabela 13 - Comparação entre pavimento de concreto e pavimento asfáltico (Ebels, 2016).

TIPO DE PAVIMENTO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Concreto de cimento Portland	Maior vida útil Menos necessidade de manutenção Maior capacidade final de carga	Maior investimento inicial. Período de construção mais longo. Menor facilidade de construção. Menor facilidade de restauração.
Asfáltico	Menor investimento inicial. Período de construção mais curto. Maior facilidade de construção. Maior facilidade de restauração.	Menor vida útil Mais necessidade de manutenção Menor capacidade final de carga

Fonte: Ebels (2016).

No final, Ebels (2016) aponta para o fato de que os pavimentos de concreto são ideais para faixas, pistas ou vias exclusivas de BRT, pois estas devem ter capacidade para suportar grandes volumes de tráfego pesado de ônibus.

Como ainda destaca Ebels (2016), durante a fase de planejamento, uma maior demanda prevista de passageiros beneficia a viabilidade econômica para a implantação de um projeto BRT. A alta frequência oferecida no corredor e um nível elevado de ocupação de pessoas no interior dos ônibus resultam em um custo mais elevado da infraestrutura e, em especial, do pavimento, o que, por sua vez, reduz a viabilidade econômica do projeto. Portanto, enfatiza Ebels (2016), “*é importante que no estágio inicial do projeto, ou seja, no estágio de*

planejamento, os planejadores de transporte e os engenheiros de projeto trabalhem intimamente juntos para se alcançar o equilíbrio ideal de capacidade do sistema”.

A necessidade dessa visão mais ampla é o tema central desta tese. Em decorrência do peso maior dos ônibus do tipo BRT, têm sido observados danos prematuros aos pavimentos das faixas utilizadas por aqueles veículos que, em grande parte dos casos, não foram adequadamente dimensionados para suportar os esforços resultantes. As Figuras 26 e 27 ilustram a constatação dos danos observados em corredores de BRT na RMR e na cidade do Rio de Janeiro causados por diversos fatores, entre eles o excesso de peso dos eixos dos veículos.

Figura 26 - Danos causados ao pavimento da faixa exclusiva do BRT do Corredor da PE-15 (Norte-Sul), no Município de Olinda (Região Metropolitana do Recife).



Foto: Jennifer Thalís, publicada na edição do Jornal do Commercio/Recife do dia 28/02/2018.

Figura 27 - Danos causados ao pavimento da faixa exclusiva do BRT do Corredor Transoeste (Rio de Janeiro).



Foto: Domingos Peixoto, publicada no jornal O Globo do dia 13/06/2016.

Na cidade de Belém/PA, foi implantado um corredor de BRT na avenida Almirante Barroso, com extensão aproximada de 12 km, cujo pavimento das pistas, em concreto de cimento Portland, foi executado no ano de 2013.

Figura 28 - Ônibus do sistema BRT utilizado no corredor da avenida Almirante Barroso (Belém/PA).



Foto disponível no sítio da Prefeitura de Belém na internet.

Figura 29 - Vista geral do corredor de BRT implantado ao longo da avenida Almirante Barroso (Belém/PA).



Foto publicada no Jornal O Liberal, 29/11/2020.

Há registro de que os primeiros defeitos no pavimento surgiram muito prematuramente e foram se agravando, conforme mostra, a título de exemplo, a matéria publicada no Diário do Transporte do dia 18/03/2019, que aborda a interdição da pista do BRT para a realização de reparos em um trecho da avenida Almirante Barroso.

Figura 30 -Noticiário sobre a interdição da pista do corredor de BRT da avenida Almirante Barroso, em Belém/PA.



Pista do BRT de Belém (PA) é interditada para reparos até o fim de março

Publicado em: 18 de março de 2019



As obras ocorrem no pavimento rígido da pista, entre as avenidas Tavares Bastos e Júlio César. Foto: Reprodução.

Trechos da Almirante Barroso ficam interditados a partir desta segunda-feira

JESSICA MARQUES

A pista do BRT da Almirante Barroso, em Belém, no Pará, vai ficar interditada até o fim de março para a realização de reparos. Segundo informações da Prefeitura, a previsão é de que os serviços terminem no dia 30.

A interdição teve início nesta segunda-feira, 18 de março de 2019. As obras ocorrem no pavimento rígido da pista, entre as avenidas Tavares Bastos e Júlio César, sentido Entroncamento/São Brás e nas travessas Lomas Valentinas e Perebebuli, sentido São Brás/Entroncamento.

Durante os reparos, os ônibus expressos e do BRT continuarão fazendo viagem normalmente e atendendo os passageiros nos mesmos pontos de parada, de acordo com a administração municipal.

O que muda neste período é que os veículos vão sair da canaleta para a pista de trânsito mais próxima aos trechos interditados e depois retornarão ao corredor.

A Prefeitura informou, em nota, que agentes da Superintendência Executiva de Mobilidade Urbana de Belém darão apoio no ordenamento do trânsito e nos desvios dos coletivos.

Fonte: Diário do Transporte, 18/03/2019.

Não obstante os defeitos mostrados nas fotos apresentadas possam ter outras causas, tais como o dimensionamento da mistura asfáltica, o tipo e o teor do ligante asfáltico ou problemas de drenagem, o fato é que o excesso de peso contribuiu sem dúvida para o aparecimento dessas patologias.

Nesse mesmo diapasão, as Figuras 31 a 33 mostram defeitos observados em pista exclusiva do BRT na cidade de Bogotá (Colômbia), onde foi implantado o Sistema TransMilenio.

Figura 31 - Danos causados ao pavimento da pista exclusiva do BRT na cidade de Bogotá, Colômbia (Sistema TransMilenio).



Foto de autoria própria em julho de 2018.

Figura 32 - Pavimento recuperado da pista exclusiva do BRT na cidade de Bogotá, Colômbia (Sistema TransMilenio).



Foto de autoria própria em julho de 2018.

Figura 33 - Pavimento recuperado da pista exclusiva do BRT na cidade de Bogotá, Colômbia (Sistema TransMilenio).



Foto de autoria própria em julho de 2018.

A Figura 34 mostra duas fotos do serviço de recuperação do pavimento em placas de concreto de cimento Portland na faixa exclusiva da avenida Caxangá, integrante do Corredor Leste-Oeste da RMR (BRT), com a demolição da placa danificada e a execução de uma nova estrutura de pavimento, em decorrência do peso excessivo dos eixos dos ônibus do sistema BRT.

Figura 34 - Serviço de recuperação do pavimento da faixa exclusiva da avenida Caxangá (Corredor do BRT Leste-Oeste).



Fotos gentilmente cedidas por Glauber Carvalho.

3.6.1 Caso de pavimentos de sistemas BRT na África do Sul

Ebels (2016) aborda a questão do pavimento das faixas exclusivas de sistemas BRT em pelo menos 13 metrópoles e municípios maiores na África do Sul e destaca a atenção específica que o projeto requer pelo fato de que as cargas por eixo transmitidas pelos ônibus projetados para uso em rotas troncais de BRT são superiores à carga legal por eixo permitida em vias públicas na África do Sul (10,2 t para eixo simples de rodas duplas de ônibus), alcançando até 12 t. A elevada frequência oferecida nas linhas troncais com os ônibus totalmente carregados agrava o problema. Assim, quando totalmente carregado, um ônibus articulado apresenta um fator de equivalência por eixo de até 9 vezes a carga do eixo padrão equivalente de 8,2 t ou 80 kN. Em seu artigo, Ebels (2016) trata de pavimentos flexíveis (asfálticos com e sem modificação de aglomerante) e rígidos (pavimentos de concreto continuamente reforçado).

O BRT possui características muito assemelhadas a um sistema sobre trilhos. Embora não seja um ônibus guiado, são mínimos os deslocamentos laterais das rodas do veículo devido às faixas, pistas ou vias exclusivas e à necessidade de um encaixe preciso nas estações, o que faz com que as cargas das rodas sejam aplicadas de uma maneira “canalizada”. Essa condição e as altas cargas por eixo tornam absolutamente necessária uma abordagem de projeto de pavimentação específico para o sistema BRT, com o objetivo de evitar o aparecimento de deformações permanentes na sua estrutura (Ebels, 2016).

Figura 35 - Deformação permanente (afundamento em trilha de roda) em uma faixa exclusiva de BRT na África do Sul.



Foto extraída de Ebels (2016).

Por sua vez, os níveis de ocupação dos ônibus são fatores críticos na determinação das cargas transmitidas pelos eixos dos ônibus ao pavimento. A Tabela 14 apresenta as cargas dos eixos dos três tipos de ônibus utilizados no sistema BRT da África do Sul. Pode-se observar que os pesos dos ônibus dos tipos padrão e articulado excedem, quando da suas lotações máximas, as cargas máximas legais por eixo permitidas em vias públicas naquele país.

Tabela 14 - Cargas por eixo dos ônibus do sistema BRT da África do Sul

	ÔNIBUS PADRÃO	ARTICULADO	MICRO-ÔNIBUS
CARGA DO EIXO DIRECIONAL (t) (MÁXIMA/ÔNIBUS VAZIO)	(7,1/3,0)	(7,5/3,0)	(3,8/2,4)
CARGA DO EIXO MOTRIZ (t) (MÁXIMA/ÔNIBUS VAZIO)	(12,0/7,5)	(12,0/7,5)	(8,0/2,2)
CARGA DO EIXO REBOCADO (t) (MÁXIMA/ÔNIBUS VAZIO)	-	(10,5/7,5)	-

Fonte: Ebels (2016).

Obs.: no caso dos ônibus articulados, os eixos direcional, motriz e rebocado correspondem respectivamente aos eixos dianteiro, intermediário e traseiro do veículo.

3.6.2 Caso de pavimentos de sistemas BRT em Nevada (EUA)

Hajj et al. (2016) demonstraram que os danos causados ao pavimento por ônibus BRT no estado norte-americano de Nevada foram significativamente influenciados pela variabilidade das condições climáticas, estas representadas pela temperatura do pavimento, e do número de passageiros, este último fator afetando, por sua vez, o peso dos eixos do veículo, o qual excede em muitos casos os limites de carga legalmente definidos. A deterioração do pavimento, causada pelos veículos do sistema BRT com excesso de peso, é influenciada por diversos fatores, como a frequência dos ônibus, as características do carregamento de cada eixo e a condição do pavimento existente. A avaliação da vida útil do pavimento e a estimativa do seu custo de manutenção devem, pois, considerar os danos adicionais causados pelo excesso de peso dos veículos.

No estado norte-americano de Nevada, os ônibus BRT operam em pistas de pavimento asfáltico nas cidades de Reno e Las Vegas, situadas respectivamente ao norte e ao sul da capital (Carson City). O peso máximo permitido naquele estado para eixos simples e tandem é de 20.000 lb (9,1 t) e 34.000 lb (15,4 t), respectivamente. No entanto, alguns modelos de ônibus excedem os limites do peso do eixo até mesmo sem passageiros a bordo. No intuito de permitir a operação desses veículos, as autoridades de trânsito e transporte frequentemente estabelecem exceções ao peso bruto total (PBT) ou determinam políticas de peso do eixo dos ônibus, isentando os veículos utilizados no transporte público de massa daquelas limitações (Hajj et al., 2016). Destacam ainda aqueles autores que, não obstante os benefícios proporcionados pelo BRT e por outros sistemas de transporte público, os gestores governamentais devem estar cientes dessas cargas e capazes de avaliar os danos causados ao pavimento por esses veículos.

Os estudos desenvolvidos por Hajj et al.(2016) abrangeram os três tipos de ônibus do sistema BRT de Nevada: (a) Double Deck; b) Irisbus; c) New Flyer, dos quais o último (New Flyer) é um ônibus articulado que apresenta semelhança com os utilizados na maioria das cidades brasileiras. À época dos estudos, os dois primeiros operavam na cidade de Las Vegas e o terceiro na cidade de Reno.

Figura 36 - Ônibus do sistema BRT avaliados no estado de Nevada (EUA): (a) Double Decker; (b) Irisbus; e (c) New Flyer.

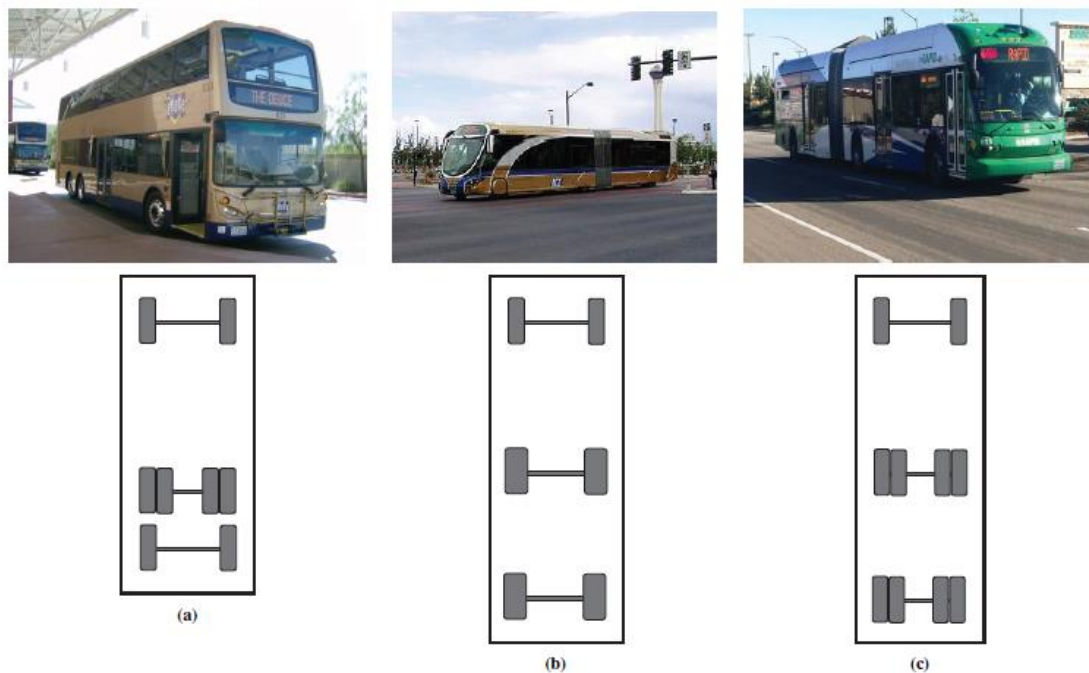


Figura extraída de Hajj et al. (2016).

As cargas totais por eixo dos ônibus foram obtidas considerando um peso de 150 libras (68 kg) por passageiro e com base em relatórios operacionais que indicam a quantidade de passageiros hora a hora (em Las Vegas) ou a média horária (em Reno). A carga total foi então distribuída para cada eixo proporcionalmente à carga GAWR (*Gross Axle Weight Rating*), que representa o peso máximo que pode ser suportado por cada eixo do ônibus. Foram assim determinados os fatores de equivalência de carga (*load equivalency factors* - LEFs) para as diversas situações.

Para a obtenção das respostas do pavimento sob os vários eixos de BRT, foi utilizado o software 3-D Move versão 2.1, com base nas temperaturas do pavimento e no carregamento do eixo em função do número de passageiros transportados durante diferentes períodos do ano.

Uma das principais conclusões do estudo é que os ônibus BRT podem contribuir significativamente para a deterioração dos pavimentos e que essa contribuição é ainda maior quando os ônibus estão funcionando em condições de excesso de peso, independentemente da época do ano.

3.6.3 Caso de pavimentos de sistemas BRT em Ontário (Canadá)

Balasundaram et al. (2011) relatam os pavimentos de duas vias utilizadas pelo BRT em York, um dos distritos de Toronto, na província canadense de Ontário. O propósito consistiu na adoção de pavimentos mais duradouros em uma seção da Yonge Street e na Highway 7.

Para atender às necessidades cada vez maiores de atendimento às pessoas pelo transporte de massa, estavam sendo construídas, à época, faixas exclusivas de BRT ao longo de três das vias mais movimentadas da região: a Yonge Street, a Highway 7 e a Davis Drive.

Figura 37 - Visão geral da Yonge Street, podendo-se observar as fissuras na superfície do pavimento então existente.



Foto extraída de Balasundaram et al. (2011).

Vários municípios na província de Ontário estão utilizando pavimentos mais duradouros, que não requerem qualquer grande reabilitação por um período de até 50 anos, sendo necessário apenas um rejuvenescimento periódico. Os objetivos da adoção dessa solução são reduzir as atividades de manutenção, eliminar os transtornos aos usuários pelo aumento do tempo de viagem em decorrência das obras e mitigar questões sociais associadas, como o aumento das emissões de dióxido de carbono, o ruído e o risco de acidentes.

A metodologia da pesquisa, a exemplo da desenvolvida para a presente tese, incluiu o levantamento por FWD e GPR nas duas vias selecionadas e acima citadas (Yonge Street e Highway 7), além da realização de sondagens. O FWD utilizado no levantamento

deflectométrico possuía sete sensores (geofones), posicionados a até 1,20 m do ponto de aplicação da carga.

Figura 38 - Trecho da Highway 7, observando-se problemas típicos na superfície do pavimento então existente, como fissuras transversais, longitudinais e na borda do pavimento, desagregação e afundamento na trilha de roda.



Foto extraída de Balasundaram et al. (2011).

Para o alargamento da Highway 7, foi projetado então um pavimento para uma vida útil de projeto de 40 anos, com a seguinte constituição:

- revestimento (nova mistura asfáltica a quente): 240 mm
- nova base granular: 200 mm
- nova sub-base granular: 600 mm
- espessura total do pavimento: 1.040 mm.

O revestimento foi composto de quatro camadas, a saber:

- camada de rolamento (Superpave 12.5 FC2): 40 mm
- camada superior de binder (Superpave 19.0): 50 mm

- camada intermediária de binder (Superpave 25.0): 75 mm
- camada inferior de binder (Rich Bottom Mix): 75 mm
- espessura total do revestimento: 240 mm

A camada de *Rich Bottom Mix* (RBM) é projetada para ser resistente à fadiga e à umidade. Tais condições são alcançadas pelo aumento do teor de cimento asfáltico e pela redução dos vazios de ar na mistura. Agregados com características especificadas e o uso de asfalto com polímeros são também necessários para aqueles fins.

Chamam a atenção nesse dimensionamento os seguintes aspectos:

- a) a longa vida útil de projeto considerada (40 anos), muito superior à que se utiliza no Brasil, tendo em vista a preocupação de eliminar ou atenuar os transtornos causados aos usuários da via e outros aspectos ambientais já citados, decorrentes de obras de manutenção e de recuperação do pavimento;
- b) a elevada espessura, não apenas do pavimento (1,04 m), como também da camada de revestimento (24 cm), este com a camada de rolamento e três camadas de ligação (binder).

Um aspecto interessante tratado no artigo de Balasundaram et al. (2011) diz respeito aos estudos para a utilização de pavimento colorido nas faixas exclusivas de BRT, com o objetivo de fazer com que o público as distinga visualmente das faixas adjacentes usadas pelo tráfego geral. Para esse fim, estavam sendo realizados testes em uma extensão de 800 metros da via.

Entre as conclusões dos estudos de Balasundaram et al. (2011), merece destaque a importância da utilização do GPR e do FWD na avaliação do pavimento existente, o primeiro, como afirmam os autores, por oferecer um perfil contínuo da via, o que permite identificar as áreas com deficiências potenciais; o segundo, para identificar as áreas onde o pavimento se apresenta com menor resistência. Conforme destacam os autores, “*As investigações realizadas na Yonge Street e Highway 7 mostram que o uso de técnicas como GPR e FWD podem melhorar significativamente a qualidade das informações disponíveis e reduzir os riscos quando se desenvolver estratégias de reabilitação de pavimento adequadas para as principais vias arteriais, especialmente quando forem reformadas para uso de BRT.*”

3.6.4 Caso de pavimentos destinados a ônibus de um modo geral nos Estados Unidos

Relatório elaborado pela MORR Transportation Consulting (2014) para a *American Public Transportation Association* - APTA analisa os problemas de peso do eixo dos ônibus de transporte público (não apenas os ônibus dos sistemas BRT) que evoluíram nas últimas décadas com mudanças nos regulamentos, projeto e construção de ônibus e operações. O relatório procura identificar opções para reduzir o peso do ônibus, mitigar os impactos negativos de ônibus que excedem os limites de peso e abordam regulamentos concorrentes nesta área. Essas opções, que poderiam ser implementadas individualmente ou em combinação, incluiriam várias mudanças em (1) projeto e fabricação dos ônibus de transporte público, (2) operações de transporte público, (3) projeto e engenharia do pavimento e (4) regulamentos.

A pesquisa revisou os achados da literatura e outras documentações publicadas e reuniu o conhecimento atual sobre:

- 1) as leis e os regulamentos nacionais e estaduais relevantes sobre o peso dos ônibus utilizados no transporte público;
- 2) o peso dos ônibus em serviço;
- 3) os impactos dos ônibus sobre o pavimento; e
- 4) as opções para mitigar impactos negativos sobre o pavimento, os sistemas de trânsito e as comunidades.

Conforme destacam os autores, os ônibus utilizados no transporte público necessitam atender às políticas e programas federais e estaduais, aos regulamentos referentes ao uso de energia (exemplo: ônibus elétricos ou movidos a gás natural), emissão de poluentes (exemplo: combustíveis menos poluentes), acessibilidade de passageiros (exemplo: elevadores de cadeiras de rodas), que exigem componentes adicionais e resultam assim em alterações no projeto e afetam o peso transmitido ao pavimento. Algumas comodidades de serviço a bordo, tais como ar condicionado, porta-bicicletas, sistemas de informação e equipamentos de vigilância, também afetam o peso transmitido aos pavimentos. A obrigatoriedade de uma vida útil mínima de 12 anos para o ônibus utilizado no transporte público nos Estados Unidos exige, por sua vez, o uso de alguns componentes veiculares mais pesados. Assim sendo, passou a ser cada vez mais difícil o cumprimento dos limites de peso para os ônibus. No início dos anos 1990, uma lei federal norte-americana isentou os ônibus do cumprimento das

exigências de limites de peso e, em 2012, essas exigências foram estendidas indefinidamente. Destaca ainda o relatório da MORR (2014) que 14 estados norte-americanos haviam estabelecido limites diferenciados para os ônibus com o objetivo de resolver o problema. No entanto, é evidente que os efeitos da sobrecarga aos pavimentos não foram resolvidos.

O relatório da MORR (2014) analisou os diferentes tipos de ônibus existentes nos Estados Unidos:

“Enquanto uma variedade de configurações de ônibus existem, atualmente os sistemas de transporte nos Estados Unidos consistem predominantemente dos seguintes tipos de ônibus:

- Ônibus de dois eixos e 40 pés (12,2 m) compreendem aproximadamente dois terços da frota de ônibus de transporte público nos Estados Unidos. Os pesos limitados para esses ônibus (vazios) variam entre aproximadamente 20.000 libras (9,1 t) e 33.000 libras (15,0 t) e os pesos totalmente carregados variam de aproximadamente 30.000 libras (13,6 t) a 44.000 libras (20,0 t). Como tal, os passageiros compreendem cerca de um terço do peso bruto do veículo (Gross Vehicle Weight ou GVW) de um ônibus de transporte público de 40 pés (12,2 m) totalmente carregado.*
- Ônibus articulados de 60 pés (18,3 m) de três eixos são o próximo tipo de ônibus mais comum em serviço, compreendendo cerca de 10% da frota. As limitações dos pesos para esses ônibus (vazios) variam atualmente entre aproximadamente 38.000 libras (17,2 t) e 50.000 libras (22,7 t) e os pesos totalmente carregados variam de aproximadamente 56.000 libras (25,4 t) a 65.000 libras (29,5 t).”*

As observações entre parênteses no texto acima, extraído do relatório da MORR, são do autor da presente Tese.

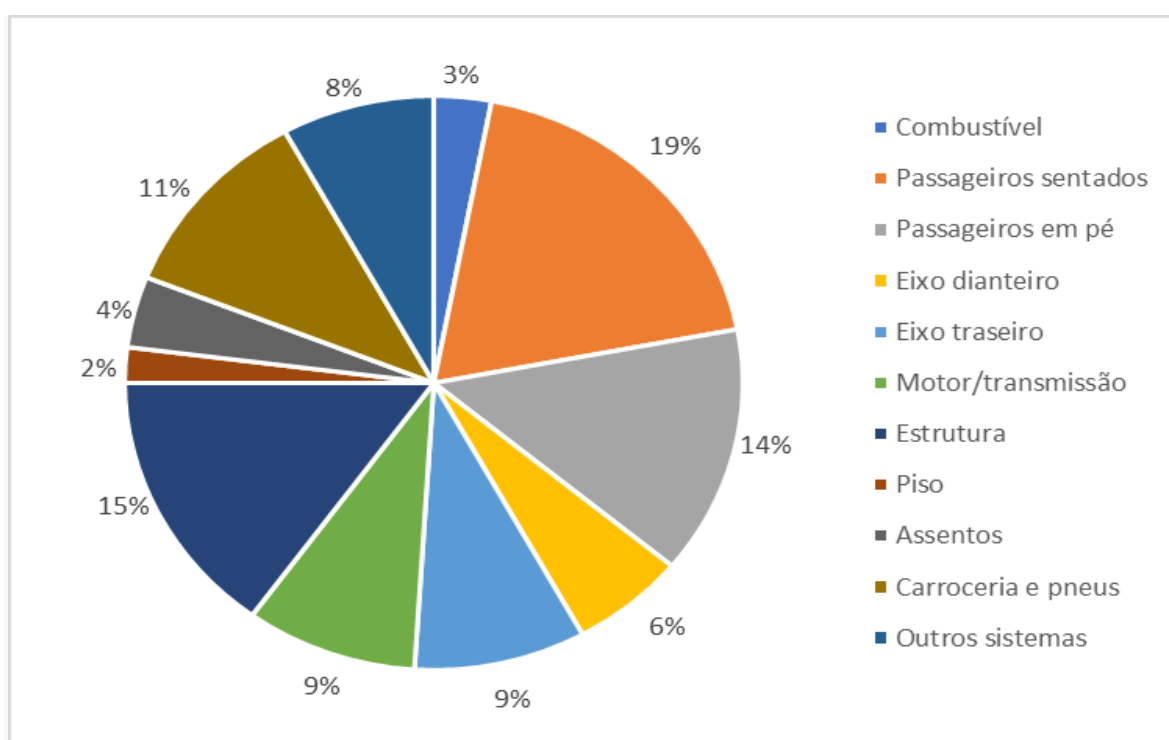
O relatório da MORR (2014) ainda afirma que menos da metade de todos os modelos de ônibus nos Estados Unidos apresentam peso do eixo simples de até 20.000 libras (9,1 t) com o veículo vazio e quase todos os eixos traseiros dos ônibus com mais de 35 pés (10,7 m) excedem 24.000 libras (10,9 t).

Com o objetivo de reduzir o peso dos ônibus, os fabricantes dos veículos têm desenvolvido pesquisas que incluem a utilização de materiais mais leves, técnicas alternativas de fabricação e inclusão de mais eixos para melhor distribuir a carga transmitida ao pavimento. De outro lado, com relação à infraestrutura viária, o uso de materiais de pavimentação de alta

qualidade, mudanças no projeto e nas práticas de gestão dos pavimentos contribuem para melhorar a sua capacidade de suportar as cargas que lhes são transmitidas pelos eixos dos veículos (MORR, 2014).

Relatório produzido pela FTA (2003) apresenta a divisão, em vários componentes, do peso de um ônibus produzido por uma fabricante norte-americana, com a sua lotação completa (45 passageiros sentados e 34 em pé, cada um pesando 150 lb, ou seja, 68,0 kg), conforme mostra a Figura 39. Observa-se, mais uma vez que, na condição de lotação plena, o peso dos passageiros corresponde a cerca de 1/3 do peso total do ônibus.

Figura 39: Divisão de peso do ônibus.



Autoria própria, adaptada de FTA (2003).

Considerando o excesso de peso dos eixos dos ônibus utilizados no transporte público de passageiros nos Estados Unidos, a FTA (2003) apontou opções de políticas distintas classificadas em seis áreas amplas: a) ajustes nos limites de peso do eixo; b) projeto do ônibus e requisitos operacionais; c) subsídios para produzir, comprar e operar ônibus mais leves; d) mudanças de procedimentos federais; e) mudanças nas vias utilizadas pelos ônibus; f) políticas que utilizam mecanismos semelhantes aos de mercado para internalizar custos.

4 A QUESTÃO DA INFRAESTRUTURA DA VIA (O PAVIMENTO) E O EFEITO DAS CARGAS TRANSMITIDAS PELO TRÁFEGO

Na fase de planejamento, não são conhecidas, de um modo geral, informações detalhadas sobre as características operacionais das linhas que compõem o sistema e, assim, tornar-se-á necessário ao engenheiro que dimensionará a estrutura do pavimento a formulação de hipóteses sobre o carregamento das linhas para fins da definição das cargas por eixo. Como as cargas por eixo são muito diferentes na situação do ônibus vazio e do ônibus parcial ou totalmente com a lotação plena, as hipóteses quanto ao planejamento operacional das linhas devem ser formuladas com a melhor estimativa possível.

4.1 O comportamento da estrutura do pavimento

Um pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas, destinado a suportar a ação do tráfego e a resistir à ação das intempéries.

Segundo Suzuki et al. (1998), um pavimento é definido por um modelo estrutural caracterizado por um sistema elástico de múltiplas camadas que, quando submetido à ação de uma carga, deforma-se, apresentando uma bacia de deformação ou de deflexão decrescente com o aumento do afastamento medido a partir do centro de aplicação da carga.

Assim, ao ser submetido à ação de uma carga, o pavimento, como qualquer outra estrutura de engenharia, sofre uma deformação, a princípio de natureza elástica (Figura 40). Ou seja, com a retirada da carga, o pavimento volta à sua posição original. A essa deformação elástica ou recuperável, dá-se o nome de deflexão.

Essa deflexão é imperceptível a olho nu e costuma ser expressa nas unidades μm (micrômetro), 1/100 mm (centésimo de milímetro) ou 1/1000" (milésimo de polegada).

Figura 40 - Efeito da carga sobre o pavimento.

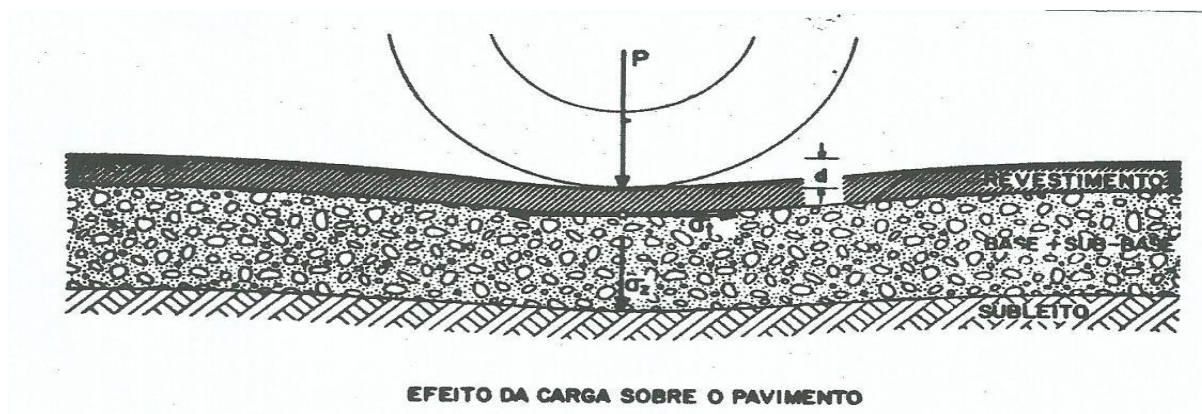
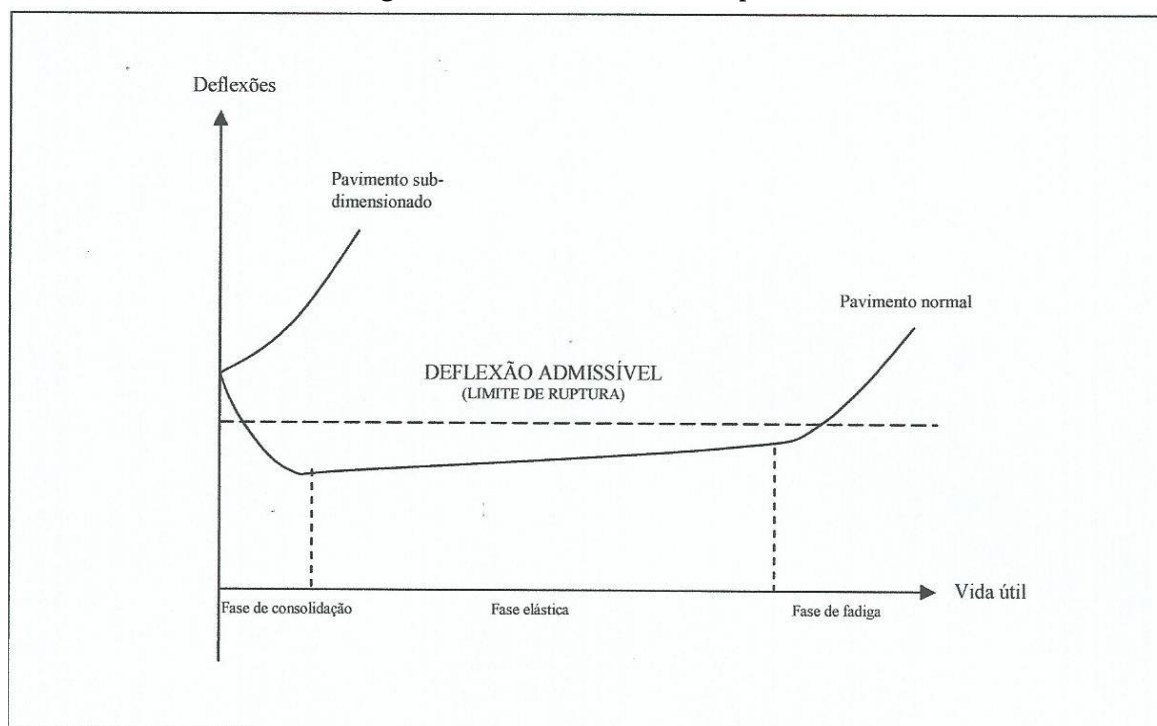


Figura extraída da Norma DNER-PRO 010/79.

A Norma DNER-PRO 010/79 do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT, intitulada Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis, conceitua as três fases da vida de um pavimento em função da evolução do seu nível de deflexão durante a exposição às cargas e aos agentes do intemperismo, conforme é mostrado na Figura 41 e nas definições a seguir.

Figura 41 - Fases da vida de um pavimento.



Fonte: Norma DNER-PRO 010/79 e Macêdo (2003).

A primeira fase, denominada Fase de Consolidação, é a que sucede imediatamente à construção, sendo caracterizada por um decréscimo acelerado do valor da deflexão,

decorrente da consolidação adicional proporcionada pelo tráfego nas diversas camadas do pavimento. Ao fim desta fase, como pode ser observado na Figura 41, o valor da deflexão tende a se estabilizar.

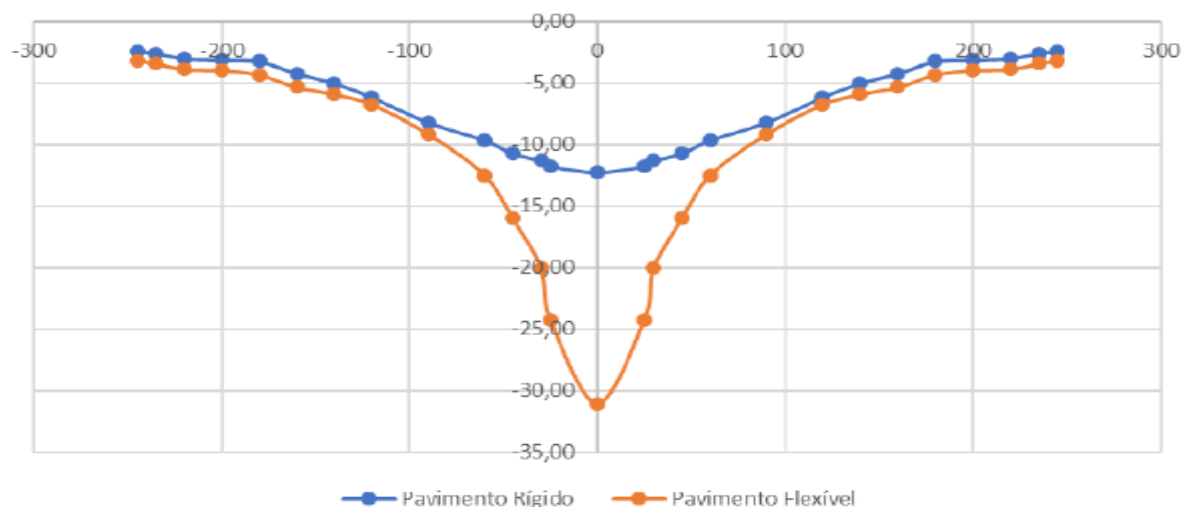
Em seguida à consolidação, vem a segunda fase, conhecida como Fase Elástica, ao longo da qual o valor da deflexão se mantém aproximadamente constante ou cresce ligeiramente, na pior das hipóteses, se não houver influências sazonais. É justamente esta fase que define a vida útil do pavimento, tendendo a se alongar na medida da diferença verificada entre a deflexão admissível e a deflexão suportada pelo pavimento.

A fase que sucede a elástica é a chamada Fase da Fadiga, que se caracteriza por um crescimento acelerado do nível de deflexão do pavimento, na medida em que a estrutura começa a exteriorizar os efeitos da fadiga, representados por fissuras, trincas e acúmulos de deformações permanentes sob cargas repetidas. A Norma DNER-PRO 010/79 chama a atenção quanto à necessidade de que sejam tomadas, em tempo hábil, medidas para a recuperação do pavimento, sob pena de haver, nesta fase, uma aceleração marcante do processo de degradação.

A duração da fase elástica depende, entre outros fatores, das cargas atuantes sobre a estrutura do pavimento, representadas pelo tráfego e pelo clima. A respeito do tráfego, o peso das cargas dos eixos que circulam na via tem forte influência sobre a vida útil do pavimento.

A comparação das deformações elásticas em pavimentos flexíveis e rígidos pode ser evidenciada pela Figura 42, que mostra os resultados obtidos nos levantamentos deflectométricos, como parte integrante da pesquisa específica para a presente tese, realizados na avenida Caxangá, integrante do Corredor Leste-Oeste, que apresenta uma pista (no sentido subúrbio-cidade) em pavimento rígido de concreto de cimento Portland e a outra (no sentido cidade-subúrbio) em pavimento flexível asfáltico (Barbosa, 2018).

Figura 42 - Comparação entre as deflexões de pavimento rígido e flexível na avenida Caxangá, Recife.



Fonte: Barbosa, 2018.

4.2 A avaliação estrutural e as deformações elásticas do pavimento

A avaliação estrutural de pavimentos é o processo pelo qual se deseja obter uma série de informações quanto às características mecânicas da estrutura do pavimento e do subleito, com a finalidade de prever o seu comportamento durante a sua vida útil, considerando a sua estrutura sujeita às solicitações do tráfego e aos efeitos do clima.

A avaliação estrutural se divide em métodos destrutivos e não destrutivos. Os primeiros estão relacionados com a atividade de coleta de amostras para a realização de ensaios de laboratório. Já os segundos correspondem a ensaios de carga que simulam os efeitos dinâmicos do tráfego. Os equipamentos mais utilizados para a avaliação estrutural não destrutiva são a viga Benkelman e o *Falling Weight Deflectometer* (FWD).

A avaliação estrutural do pavimento depende, não apenas do conhecimento da deflexão elástica ou recuperável, mas também da forma da bacia de deformação, em especial do raio de curvatura dessa mesma bacia (Moreira, 1977; Ceratti et al., 2000).

No ano de 1953, o engenheiro norte-americano A. C. Benkelman desenvolveu um procedimento para a medição da deformabilidade da estrutura do pavimento na pista experimental da WASHO (Medina, 1997). O equipamento desenvolvido para essa medição passou a ser denominado Viga Benkelman, em referência ao seu idealizador. Largamente

utilizada no Brasil desde aproximadamente 1960 e em todo o mundo, a Viga Benkelman permite a realização de um ensaio não destrutivo para a avaliação estrutural de pavimentos, com carregamento estático. A Norma DNER ME 24/78 trata da determinação das deflexões com a utilização da Viga Benkelman, utilizando um caminhão com uma carga de 8,2 toneladas no seu eixo traseiro simples de rodas duplas.

Figura 43 - Viga Benkelman em operação.



Foto gentilmente cedida pela SPT.

O objetivo do ensaio consiste em determinar a deflexão máxima no ponto de aplicação da carga e as leituras das deflexões em vários outros pontos, de modo a obter a bacia de deformação ou a bacia de deflexão do pavimento (Figura 44). Uma variável importante para a avaliação estrutural do pavimento é o raio de curvatura da bacia de deformação, conforme estudo desenvolvido por Moreira (1977).

O raio de curvatura da bacia de deformação é calculado por meio da seguinte equação:

$R = 6.250 / 2(D_0 - D_{25})$, onde:

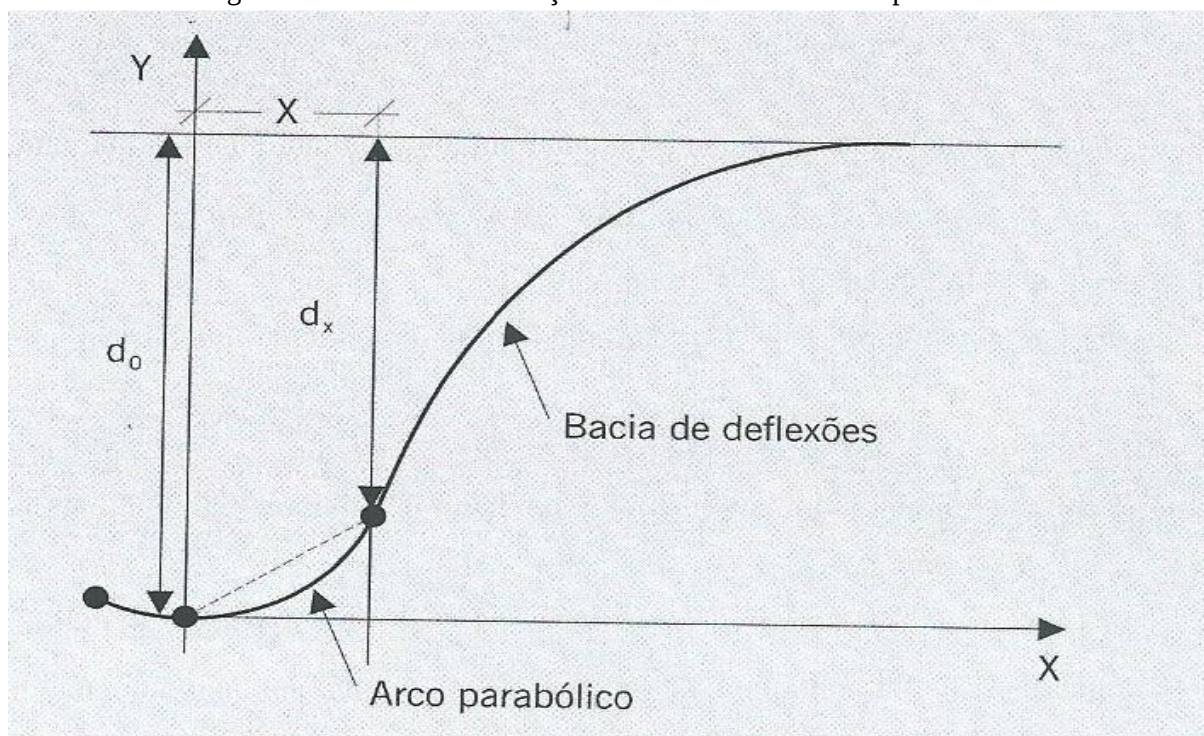
R= raio de curvatura da bacia de deformação, em m;

D₀= deflexão máxima (no local de aplicação da carga), em 1/100 mm;

D₂₅= deflexão a 25 cm do local de aplicação da carga, em 1/100 mm.

Quanto maior for o raio de curvatura da bacia de deformação, melhor será a condição estrutural do pavimento, demonstrando a maior capacidade da estrutura para receber, absorver e transmitir os esforços às camadas subjacentes (Moreira, 1977).

Figura 44 - Bacia de deformação ou bacia de deflexões do pavimento.



Fonte: Bernucci et al., 2008.

Outros equipamentos para a leitura das deflexões foram desenvolvidos a partir da Viga Benkelman, como o defletógrafo móvel da Califórnia e o Lacroix. Uma segunda linha de equipamentos de ensaios não destrutivos para a medição das deflexões corresponde aos de carregamento dinâmico em regime permanente, que consiste na aplicação de uma carga harmônica sobreposta a uma carga estática aplicada por uma placa apoiada no pavimento (Medina, 1997).

A terceira linha de equipamentos corresponde aos deflectômetros de impacto, para os quais o carregamento é dinâmico, resultante da queda de pesos metálicos. O já citado FWD e uma sua variante, o HWD (*Heavy Weight Deflectometer*), são deflectômetros de impacto. O FWD é utilizado em pistas de rodovias, vias urbanas e aeroportos (Figura 45), enquanto o HWD é usado em pistas de aeroportos. O FWD foi criado na década de 1980 e vem sendo utilizado no Brasil desde o ano de 1994. É um equipamento destinado a avaliar a capacidade estrutural de

um pavimento por meio da medição da sua resposta a uma carga vertical de impacto. Este equipamento permite a realização de ensaios não destrutivos simulando as ações induzidas pela passagem dos veículos (60 a 80 km/h) e mede a resposta do pavimento daí resultante relativamente às deflexões (Antunes, 1993). A força de impacto do ensaio é gerada pela queda de uma massa de uma determinada altura sobre um conjunto de amortecedores. A massa, a altura de queda e o número de amortecedores podem ser ajustados para cada ensaio. As deflexões são medidas por sensores (ou transdutores) no local onde é aplicada a carga de impacto e em pontos distribuídos por uma viga, em que a quantidade de sensores e os seus afastamentos são variáveis de acordo com os objetivos definidos para o ensaio e as características do pavimento em estudo (ASTM D 4694-96, 2003).

Figura 45 - FWD (*Falling Weight Deflectometer*).



Foto cedida pela RINCENT BRT Brasil.

As distâncias dos geofones (transdutores) ao centro da placa de carga são fixadas visando maximizar a acurácia em função da estrutura do pavimento ensaiado, procurando-se posicioná-los de forma que as deflexões neles registradas reflitam a contribuição das diversas camadas na deformabilidade total do pavimento e definam completamente a geometria da bacia. Os deslocamentos recuperáveis gerados na superfície do pavimento (bacia de deflexões) são medidos pelos geofones instalados na placa de carga e ao longo de uma barra

metálica. Todas as informações são coletadas, armazenadas e transmitidas para o computador através de uma unidade de processamento de sinal.

Os deflectômetros de impacto tipo FWD estão sendo cada vez mais utilizados nas avaliações estruturais de pavimentos flexíveis e de concreto, de pistas de aeroportos e de rodovias (MEDINA et. al., 2005). O ensaio tem, entre as suas finalidades, subsidiar a análise estrutural em projetos de pavimento através das bacias de deformações, interpretadas por meio da retroanálise dos módulos de resiliência.

4.3 Cargas máximas permitidas para os veículos que circulem nas vias terrestres brasileiras

O peso dos eixos dos veículos exerce uma forte influência sobre a vida útil do pavimento. Apresenta-se neste item as cargas máximas permitidas no Brasil por eixo de veículo rodoviário, por Peso Bruto Total - PBT e/ou por PBTC - Peso Bruto Total Combinado e/ou pela Capacidade Máxima de Tração - CMT. O PBT corresponde ao peso máximo que o veículo transmite ao pavimento, considerando a tara mais a lotação (carga máxima útil). O PBTC e/ou CMT, por sua vez, é o peso máximo transmitido ao pavimento pela combinação de um caminhão trator mais seu semi-reboque ou seu reboque.

Moreira (2005) realizou um exaustivo levantamento sobre a legislação brasileira acerca dos limites máximos de carga dos eixos e dos veículos rodoviários. Assim, o primeiro dispositivo legal adotado no Brasil sobre o assunto foi o Decreto nº 50.903, de 03 de julho de 1961, conhecido como Lei da Balança, que estabeleceu o peso máximo permissível dos eixos dos veículos para a circulação nas vias públicas. As legislações que se seguiram estão a seguir relacionadas:

- a Lei nº 5.108, de 21 de setembro de 1966, que instituiu o Código Nacional de Trânsito;
- o Decreto-Lei nº 117, de 31 de janeiro de 1967, que, entre outras providências, regulou o limite máximo de carga por eixo, para o tráfego nas vias públicas, de veículos ou combinações de veículos;
- o Decreto nº 62.127, de 16 de janeiro de 1968, que aprovou o regulamento do Código Nacional de Trânsito;

- a Lei nº 7.408, de 25 de novembro de 1985, que permitiu a tolerância de 5% ao limite de Peso Bruto Total - PBT e Peso Bruto Total Combinado - PBTC na pesagem de carga em veículos de transporte;
- a Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997, que instituiu o Código de Trânsito Brasileiro;
- a Resolução nº 12, de 6 de fevereiro de 1998, do CONTRAN, que estabeleceu os limites de peso e dimensões para veículos que transitem por vias terrestres;
- a Resolução nº 102, de 31 de agosto de 1999, do CONTRAN, que dispôs sobre a tolerância máxima de peso bruto de veículos;
- a Resolução nº 104, de 21 de dezembro de 1999, do CONTRAN, que dispôs sobre a tolerância máxima de peso bruto de veículos.

Outras legislações se seguiram, entre as quais a seguir listadas (DNIT, 2007 e www.contran.gov.br).

- a Resolução nº 210, de 13 de novembro de 2006, do CONTRAN, que estabeleceu os limites de peso e dimensões para veículos que transitem por vias terrestres;
- a Resolução nº 211, de 13 de novembro de 2006, do CONTRAN, que definiu os requisitos necessários à circulação de Combinações de Veículos de Carga - CVC;
- a Portaria nº 86, de 20 de dezembro de 2006, do DENATRAN, que homologou os veículos e as combinações de veículos de transporte de carga, com seus respectivos limites de comprimento, PBT e PBTC;
- a Resolução nº 284, de 01 de julho de 2008, do CONTRAN, que liberou da exigência de eixo auto-direcional os semi-reboques com apenas dois eixos distanciados;
- a Resolução nº 326, de 17 de julho de 2009, do CONTRAN, que alterou os artigos 11 e 12 da Resolução nº 210/2006, passando a obrigar que as Combinações de Veículos de Carga - CVC de 57 t sejam dotadas de tração dupla do tipo 6 x 4 (seis por quatro);
- a Resolução nº 502, de 23 de setembro de 2014, do CONTRAN, que acrescentou o artigo 2-A à Resolução nº 210/2006, estabelecendo que os veículos de característica rodoviária para transporte coletivo de passageiros, fabricados a partir de 01 de janeiro de 2012, passassem a ter os seguintes limites máximos de PBT e peso bruto transmitido por eixo nas superfícies das vias públicas (não se aplicam tais disposições, conforme parágrafo único do mesmo artigo acrescido, aos veículos de característica urbana para transporte coletivo de passageiros):

I. Peso bruto por eixo:

- a) Eixo simples dotado de 2 pneumáticos = 7 t;
- b) Eixo simples dotado de 4 pneumáticos = 11t;
- c) Eixo duplo dotado de 6 pneumáticos = 14,5 t;
- d) Eixo duplo dotado de 8 pneumáticos = 18 t;
- e) Dois eixos direcionais, com distância entre eixos de, no mínimo, 1,20 m, dotados de 2 pneumáticos cada = 13 t.

II. Peso bruto total (PBT) = somatório dos limites individuais dos eixos descritos no inciso I.

- a Resolução nº 577, de 24 de fevereiro de 2016, do CONTRAN, que alterou o parágrafo 4º do artigo 2º da Resolução nº 210/2006, definindo que o peso bruto por conjunto de dois eixos direcionais, com distância entre eixos de no mínimo 1,20 m, dotados de dois pneumáticos cada, de 12 t, passe a ser independente da distância do primeiro eixo traseiro;
- a Resolução nº 608, de 24 de maio de 2016, do CONTRAN, que acrescentou o artigo 12-A e parágrafo único à Resolução nº 210/2006, passando a não excluir a competência dos demais órgãos e entidades executivos rodoviários para fixarem valores mais restritivos nas vias sob sua circunscrição, com relação ao peso e às dimensões máximas dos veículos;
- a Resolução nº 625, de 19 de outubro de 2016, do CONTRAN, que alterou o caput do artigo 2-A da Resolução nº 210/2006, com a redação dada pela Resolução nº 502/2014, eliminando as palavras “fabricados a partir de 01 de janeiro de 2012”;
- a Resolução nº 628, de 30 de novembro de 2016, do CONTRAN, que alterou a Resolução nº 210/2006, acrescentando o item “b1” ao inciso III do artigo 1º (que trata de dimensões autorizadas para veículos) e altera o artigo 11, estabelecendo que, a partir de 01/01/2011, as CVC de 57 t e serão dotadas obrigatoriamente de tração dupla 6 x 4, podendo suspender um dos eixos tratores somente quando a CVC estiver descarregada, passando a operar na configuração 4 x 2;
- a Resolução nº 1, de 06 de janeiro de 2020, do DNIT, que regulamentou o uso de rodovias federais por veículos ou combinações de veículos e equipamentos destinados ao transporte de cargas indivisíveis e excedentes em peso ou dimensões ao limite estabelecido nas legislações vigentes para o conjunto de veículo e carga transportada, assim como por veículos especiais;

- a Resolução nº 803, de 22 de outubro de 2020, do CONTRAN, que consolidou as normas sobre infrações de trânsito relativas ao trânsito de veículos com excesso de peso ou excedendo a capacidade máxima de tração, definindo, entre outras providências, as tolerâncias de 5% sobre os limites de PBT e PBTC e de 10% sobre os limites de peso regulamentares por eixo de veículo transmitidos à superfície das vias públicas.

Com base na legislação brasileira em vigor, os limites máximos de peso bruto total e de peso bruto transmitido por eixo de veículo, nas superfícies das vias públicas (exclusive as tolerâncias), são os seguintes:

- I - peso bruto total por unidade ou combinações de veículos com comprimento até 17,50 m: 45 t;
- II - peso bruto total por unidade ou combinações de veículos com comprimento igual ou superior a 17,50 m: 57 t;
- III - peso bruto por eixo isolado com 2 pneus: 6 t;
- IV - conjunto de 2 eixos direcionais com 2 pneus cada: 12 t;
- V - peso bruto por eixo isolado com 4 pneus: 10 t;
- VI - peso bruto por conjunto de dois eixos em tandem, com 4 pneus por eixo, quando a distância entre os dois planos verticais que contenham os centros das rodas, for superior a 1,20 m e inferior ou igual a 2,40 m: 17 t;
- VII - peso bruto por conjunto de dois eixos não em tandem, quando a distância entre os dois planos verticais que contenham os centros das rodas, for superior a 1,20 m e inferior ou igual a 2,40 m: 15 t;
- VIII - peso bruto por conjunto de três eixos em tandem, com 4 pneus por eixo, quando a distância entre os três planos verticais, que contenham os centros das rodas, for superior a 1,20 m e inferior ou igual a 2,40 m: 25,5 t;
- IX - peso bruto por conjunto de dois eixos, sendo um dotado de quatro pneumáticos e outro de dois pneumáticos interligados por suspensão especial, quando a distância entre os dois planos verticais que contenham os centros das rodas for:
 - a) inferior ou igual a 1,20 m: 9 t;
 - b) superior a 1,20 m e inferior ou igual a 2,40 m: 13,5 t.

4.4 A influência do peso dos eixos dos veículos sobre a vida útil do pavimento

O efeito das cargas transmitidas pela ação do tráfego sobre a estrutura do pavimento tem sido objeto de diversos estudos. A *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) desenvolveu pesquisas em pistas experimentais para determinar os Fatores de Equivalência de Carga para cada tipo de eixo (Queiroz, 1982; DNIT, 2006), conforme é mostrado na Tabela 15. Esses fatores da AASHTO são baseados na perda de serventia e variam com o tipo do pavimento (flexível ou rígido), o índice de serventia terminal e a resistência do pavimento.

Tabela 15 - Fatores de Equivalência de Carga da AASHTO.

TIPO DE EIXO	FATOR DE EQUIVALÊNCIA DE CARGA DA AASHTO
Simples de rodagem simples	$FC = (P/7,77)^{4,32}$
Simples de rodagem dupla	$FC = (P/8,17)^{4,32}$
Tandem duplo (rodagem dupla)	$FC = (P/15,08)^{4,14}$
Tandem triplo (rodagem dupla)	$FC = (P/22,95)^{4,22}$

P= peso bruto total sobre o eixo (t).

Fonte: DNIT (2006).

O *United States Army Corps of Engineers* (USACE), com base em outra metodologia, avaliou os efeitos do carregamento na deformação permanente (afundamento nas trilhas de roda) e obteve os Fatores de Equivalência de Carga para cada tipo de eixo (DNIT, 2006) indicados na Tabela 16.

Tabela 16 - Fatores de Equivalência de Carga do USACE.

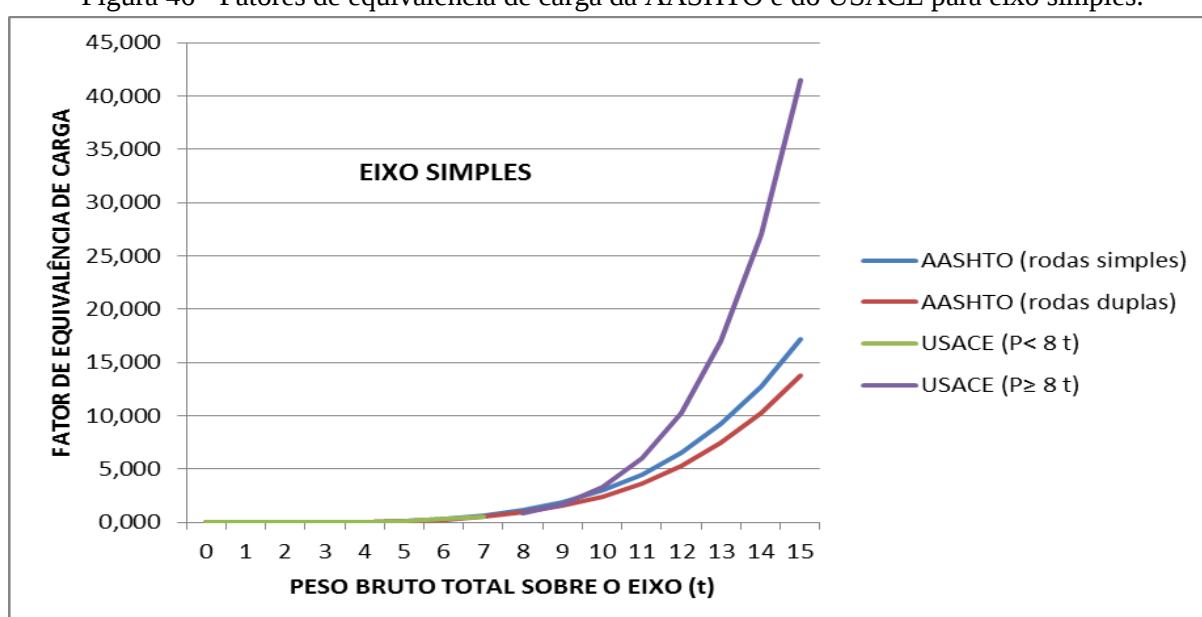
TIPO DE EIXO	CARGA (t)	FATOR DE EQUIVALÊNCIA DE CARGA DO USACE
Simples de rodas simples ou duplas	< 8	$FC = 2,0782 \times 10^{-4} \times P^{4,0175}$
	≥ 8	$FC = 1,8320 \times 10^{-6} \times P^{6,2542}$
Tandem duplo	< 11	$FC = 1,5920 \times 10^{-4} \times P^{3,472}$
	≥ 11	$FC = 1,5280 \times 10^{-6} \times P^{5,484}$
Tandem triplo	< 18	$FC = 8,0359 \times 10^{-5} \times P^{3,3549}$
	≥ 18	$FC = 1,3229 \times 10^{-7} \times P^{5,5789}$

P= peso bruto total sobre o eixo (t).

Fonte: DNIT (2006).

A comparação entre as metodologias da AASHTO e do USACE é apresentada nas Figuras 46, 47 e 48, respectivamente para eixo simples, eixo tandem duplo e eixo tandem triplo. Pela Figura 46, observa-se que, para o peso bruto total por eixo simples de até cerca de 9 toneladas, os resultados das duas metodologias se equivalem. A partir desse peso, o fator de equivalência de carga do USACE aumenta muito em relação ao da metodologia da AASHTO. Para um peso bruto total de 15 toneladas, por exemplo, o fator de equivalência de carga do USACE é cerca de 2,4 vezes superior ao da metodologia da AASHTO para eixos simples de rodas simples.

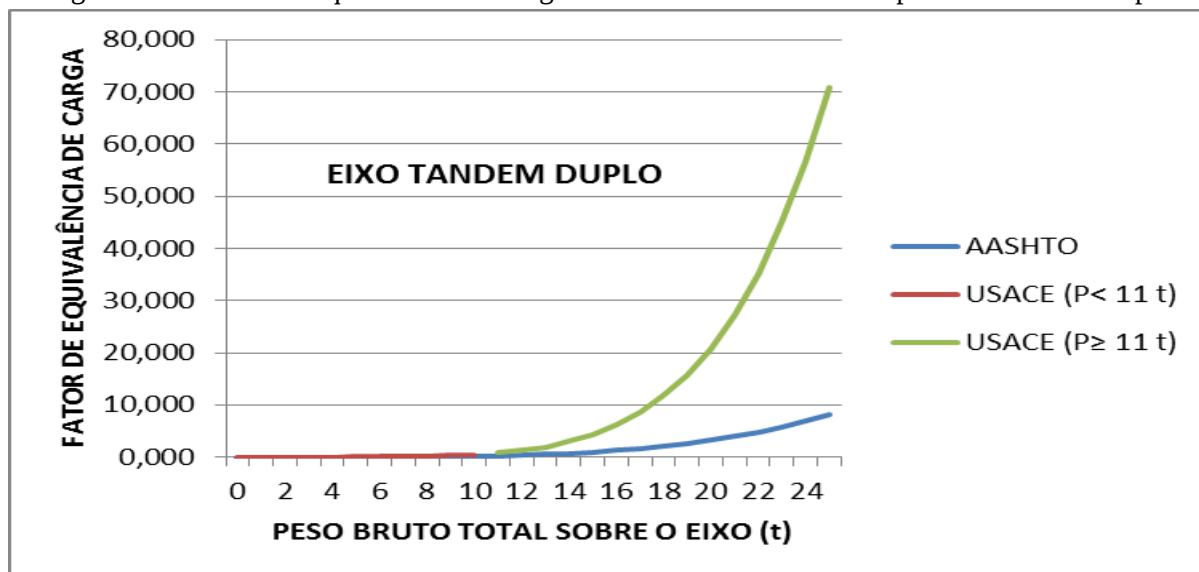
Figura 46 - Fatores de equivalência de carga da AASHTO e do USACE para eixo simples.



Fonte: autoria própria.

Pela Figura 47, observa-se que, para o peso bruto total por eixo tandem duplo de até cerca de 12 toneladas, os resultados das duas metodologias se equivalem. A partir desse peso, o fator de equivalência de carga do USACE aumenta muito em relação ao da metodologia da AASHTO. Para um peso bruto total de 25 toneladas, por exemplo, o fator de equivalência de carga do USACE é cerca de 8,7 vezes superior ao da metodologia da AASHTO.

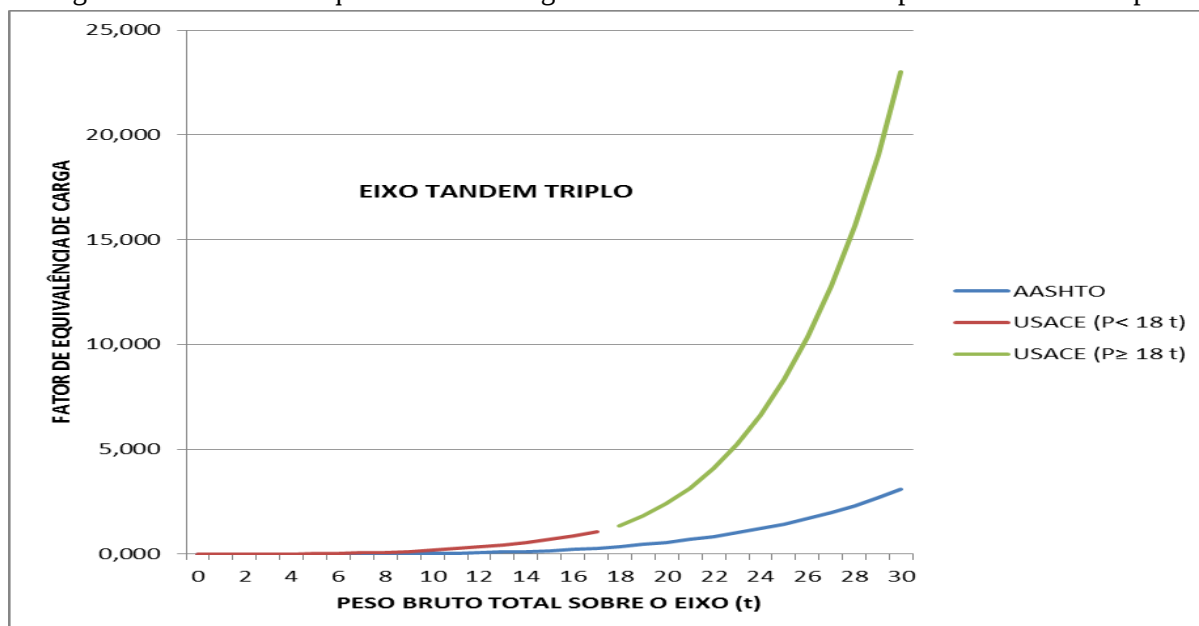
Figura 47 - Fatores de equivalência de carga da AASHTO e do USACE para eixo tandem duplo.



Fonte: autoria própria.

Pela Figura 48, observa-se que, para o peso bruto total por eixo tandem triplo de até cerca de 9 toneladas, os resultados das duas metodologias se equivalem. A partir desse peso, o fator de equivalência de carga do USACE aumenta muito em relação ao da metodologia da AASHTO. Para um peso bruto total de 30 toneladas, por exemplo, o fator de equivalência de carga do USACE é cerca de 7,4 vezes superior ao da metodologia da AASHTO.

Figura 48 - Fatores de equivalência de carga da AASHTO e do USACE para eixo tandem triplo.



Fonte: autoria própria.

O aspecto preponderante e preocupante com relação às equações apresentadas é que a relação entre o fator de equivalência de carga e o peso do eixo é exponencial, com expoentes elevados (no caso da AASHTO, os expoentes variam de 4,14 a 4,32, enquanto no do USACE, de 3,3549 a 6,2542). Como o fator de equivalência de carga representa consumo de vida útil do pavimento, conclui-se pelo devastador efeito de cargas pesadas sobre a redução do período de tempo em que esse mesmo pavimento ainda apresentará alguma serventia.

Em função das suas características, o BRT é um veículo pesado por vários motivos: i) é um veículo alto para permitir o embarque dos passageiros no mesmo nível da plataforma da estação; ii) a climatização do veículo aumenta o seu peso em função da incorporação dos equipamentos de ar condicionado; iii) por transportar uma maior quantidade de passageiros, exige um motor mais robusto e, portanto, mais pesado. A depender do arranjo (*layout*) interno do veículo, o ônibus poderá ficar ainda mais pesado (menos assentos significam mais peso com a lotação plena do veículo).

A título de exemplo, a especificação de um ônibus articulado, estabelecida pelo próprio fabricante, define o peso bruto total do veículo com a sua lotação plena em 37,0 toneladas (Figura 49). Apenas o chassi sem a carroceria pesa quase 11,0 toneladas (10.971 kg). O peso de 37,0 toneladas é distribuído em três eixos: o eixo dianteiro (1º eixo) é simples de rodas simples com carga de 7,1 toneladas; o eixo intermediário (2º eixo) é simples de rodas duplas com carga de 11,5 toneladas; o eixo traseiro (3º + 4º eixo) é tandem duplo com rodas simples e duplas com carga de 18,4 toneladas. O fabricante denomina esses pesos de “admissíveis tecnicamente”. Contudo, tais pesos excedem os limites legais, ou seja, os pesos admissíveis legalmente, que são, no caso, respectivamente de 6,0 toneladas, 10,0 toneladas e 13,5 toneladas.

Figura 49 - Peso dos eixos e peso total do veículo.

Pesos (kg)				
	1º eixo	2º eixo	3º + 4º eixo	Total
Em ordem de marcha ²	1.469	2.327	7.175	10.971
Admissíveis Tecnicamente - PBT	7.100	11.500	18.400	37.000
Admissíveis Legalmente	6.000	10.000	13.500	29.500

² Chassi sem carroceria, versão atualizada, com reservatório de combustível provisório de 20l cheio, caixa Volth, sem motorista, sem extintor, sem roda de reserva e sem caixa de ferramentas.

Fonte: especificações do fabricante.

Considerando as cargas “admissíveis tecnicamente” e as cargas admissíveis legalmente no País, as Tabelas 17 e 18 apresentam a memória de cálculo do efeito das cargas em excesso com base na metodologia da AASHTO e do USACE, respectivamente. Com relação à AASHTO, observa-se um acréscimo de 119,1% no Fator de Equivalência de Carga geral do veículo, em função do descumprimento das cargas máximas legalmente admissíveis. No caso do USACE, esse acréscimo alcança 261,5%. Isto significa dizer que, caso todos os veículos circulassem com as cargas “admissíveis tecnicamente” e o pavimento, com base nas cargas legalmente admissíveis, tivesse sido dimensionado para uma vida útil de 10 anos, esta teria sido alcançada com 4,6 anos e 2,8 anos, respectivamente pelas metodologias da AASHTO e do USACE.

Tabela 17 - Fator de Equivalência de Carga (metodologia da AASHTO) referente ao veículo cujas especificações constam da Figura 49.

EIXO	CARGA (t)		FATOR DE EQUIVALÊNCIA DE CARGA (AASHTO)		
	Adm. Tec.	Adm. Leg.	Adm. Tec. (AT)	Adm. Leg. (AL)	% $100 \times (AT-AL)/(AL)$
Dianteiro	7,1	6,0	0,68	0,33	106,1
Intermediário	11,5	10,0	4,38	2,39	83,3
Traseiro	18,4	13,5	2,28	0,63	261,9
SOMA	37,0	29,5	7,34	3,35	119,1

Fonte: autoria própria.

Tabela 18 - Fator de Equivalência de Carga (metodologia do USACE) referente ao veículo cujas especificações constam da Figura 49.

EIXO	CARGA (t)		FATOR DE EQUIVALÊNCIA DE CARGA (USACE)		
	Adm. Tec.	Adm. Leg.	Adm. Tec. (AT)	Adm. Leg. (AL)	% $100 \times (AT-AL)/(AL)$
Dianteiro	7,1	6,0	0,55	0,28	96,4
Intermediário	11,5	10,0	7,88	3,29	139,5
Traseiro	18,4	13,5	13,19	2,41	447,3
SOMA	37,0	29,5	21,62	5,98	261,5

Fonte: autoria própria.

4.5 A retroanálise de pavimentos

A retroanálise de pavimentos é um método que permite inferir os módulos de elasticidade das camadas do pavimento e do subleito por interpretação das bacias de deformação (Bernucci et

al., 2008), estas obtidas em ensaios, por exemplo, com a Viga Benkelman ou com o FWD. A avaliação estrutural de todas as camadas do pavimento e do subleito é realizada de forma mais adequada com a utilização dos princípios da mecânica dos pavimentos (Medina e Motta, 2005).

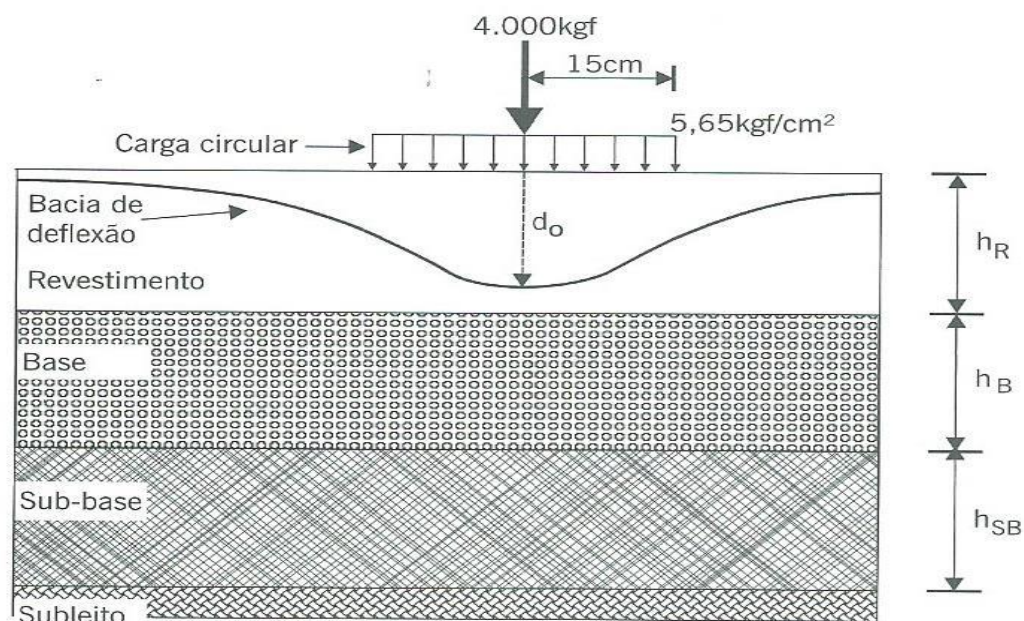
O processo de retroanálise permite a avaliação estrutural do pavimento, tanto para fins de gerência de malha, quanto para o dimensionamento do reforço da estrutura ou ainda para fins de determinação da vida útil remanescente (Pereira, J. M. B., 2007).

Segundo Macêdo (2003), o comportamento mecânico do pavimento é determinado pela rigidez do subleito e das diversas camadas que o constituem. Pode-se determinar as tensões e deformações de tração na fibra inferior do revestimento e as tensões de compressão atuantes no subleito a partir do conhecimento do módulo de elasticidade das camadas. Utilizando-se modelos de fadiga e conhecidas as tensões e deformações de tração do revestimento, torna-se possível prever a vida útil do pavimento e, em especial, a sua vida útil remanescente, por meio da retroanálise do pavimento.

Sendo o pavimento uma estrutura de múltiplas camadas, cada uma com um módulo de elasticidade próprio, o que a retroanálise do pavimento procura obter é um módulo equivalente da estrutura, para fazer coincidir a bacia teórica calculada com a bacia de deformação obtida no levantamento com a Viga Benkelman ou com o FWD.

Para alimentar o processo de retroanálise do pavimento, são necessários os seguintes dados de entrada, ilustrados na Figura 50: a configuração do carregamento, a bacia de deflexão, a seção tipo do pavimento com a definição do material e da espessura de cada uma das camadas, os coeficientes de Poisson (que expressam a relação entre a deformação transversal relativa e a deformação longitudinal relativa) e as faixas de valores modulares para cada camada da estrutura (Bernucci et al., 2008).

Figura 50 - Ilustração dos dados necessários para uma retroanálise do pavimento.



Fonte: Nóbrega (2003) apud Bernucci et al. (2008).

Os primeiros métodos de retroanálise de pavimentos surgiram na década de 1970 e, com o avanço e o desenvolvimento de modelos computacionais, existem atualmente diversas versões de softwares (Bernucci et al., 2008), podendo-se citar como exemplos os programas ELMOD, ELSYM5, AASHTO, SISPAV, RETRAN2CL e PRIMAX, entre outros.

5 A METODOLOGIA DA PESQUISA

“Nem os urbanistas, nem os planejadores de tráfego colocaram (durante muito tempo) o espaço urbano e a vida nas cidades no topo de suas agendas e, por muitos anos, havia pouco conhecimento sobre como as estruturas físicas influenciam o comportamento humano.”

Jan Gehl

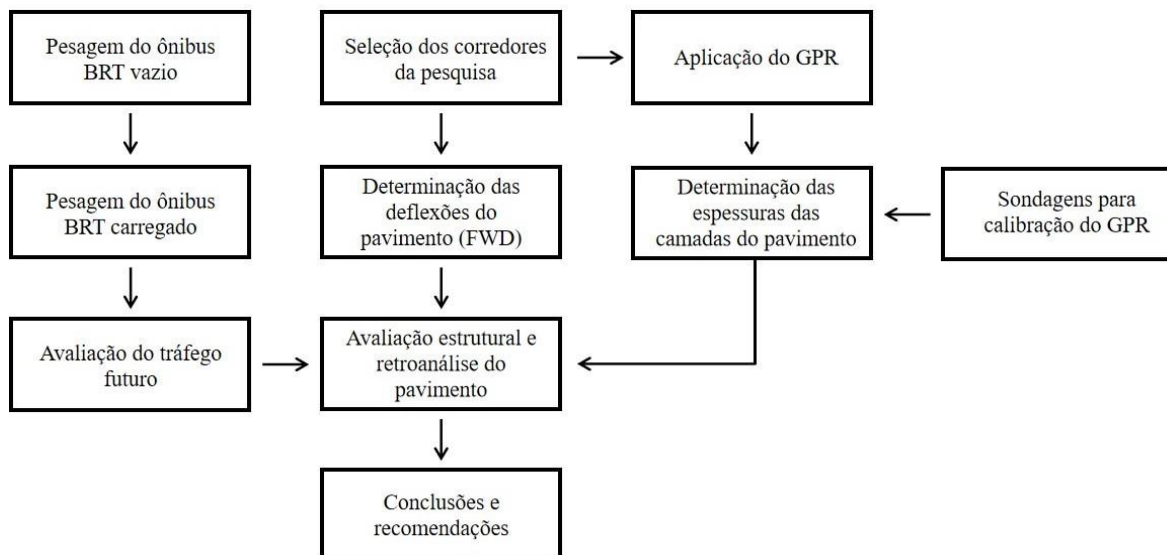
O método científico é, no entendimento de Silva e Menezes (2001), o conjunto de processos ou operações mentais que se devem empregar na investigação científica, ou seja, é a linha de raciocínio adotada no processo de pesquisa. Para a obtenção das bases lógicas à investigação, os métodos podem ser classificados em: dedutivo, indutivo, hipotético-dedutivo, dialético e fenomenológico. A princípio, o método a ser adotado nesta tese foi o indutivo, para o qual o conhecimento é fundamentado na experiência, não considerando princípios preestabelecidos e

que, portanto, a generalização deriva de observações de casos da realidade concreta (Gil, 1999; Lakatos; Marconi, 1993 apud Silva e Menezes, 2001).

A metodologia para o desenvolvimento da pesquisa que embasou o tema da presente tese consistiu nas seguintes etapas: i) seleção dos corredores de transporte; ii) determinação do peso (veículo vazio e com passageiros) transmitido pelos eixos dos veículos do sistema BRT utilizados na RMR, que são basicamente de dois tipos: de motor central e de motor traseiro; iii) determinação das deformações elásticas do pavimento por meio do *Falling Weight Deflectometer* (FWD); iv) aplicação do Euradar (*Ground Penetrating Radar* - GPR), com o objetivo de conhecer a estrutura do pavimento existente; v) avaliação estrutural e aplicação de métodos computacionais para o processo de retroanálise do pavimento. Todas as etapas acima relacionadas foram destinadas exclusivamente ao desenvolvimento desta tese.

O fluxograma apresentado na Figura 51 ilustra a metodologia utilizada.

Figura 51 - Fluxograma da metodologia utilizada na pesquisa.



Fonte: autoria própria.

5.1 Seleção dos corredores de transporte para a pesquisa

Foram escolhidas duas das mais importantes vias do Sistema de Transporte Público de Passageiros da Região Metropolitana do Recife e que integram o Corredor Leste-Oeste: a avenida Conde da Boa Vista (toda em pavimento de concreto de cimento Portland) e a avenida Caxangá, esta última apresentando a particularidade de possuir uma pista em

pavimento asfáltico (com revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente - CBUQ) e a outra em pavimento de concreto de cimento Portland. Trata-se de dois corredores com elevada demanda, conforme é mostrado na Tabela 19, que indica o número de viagens de ônibus e a demanda diária das linhas que têm itinerário pelas duas vias, separadamente para dias úteis, sábados e domingos (inclusive feriados).

Tabela 19 - Características operacionais dos corredores escolhidos para a pesquisa.

CORREDOR	NÚMERO DE VIAGENS			DEMANDA DIÁRIA		
	Dias úteis	Sábados	Domingos	Dias úteis	Sábados	Domingos
Av. Caxangá	2.386	1.783	1.357	158.780	63.689	54.543
Av. Conde da Boa Vista	3.598	2.756	2.116	205.320	116.647	97.503

Fonte: Grande Recife Consórcio de Transporte (dados da 1ª quinzena de setembro/2017).

Figura 52 - Avenida Caxangá, com cerca de 6 km de extensão.

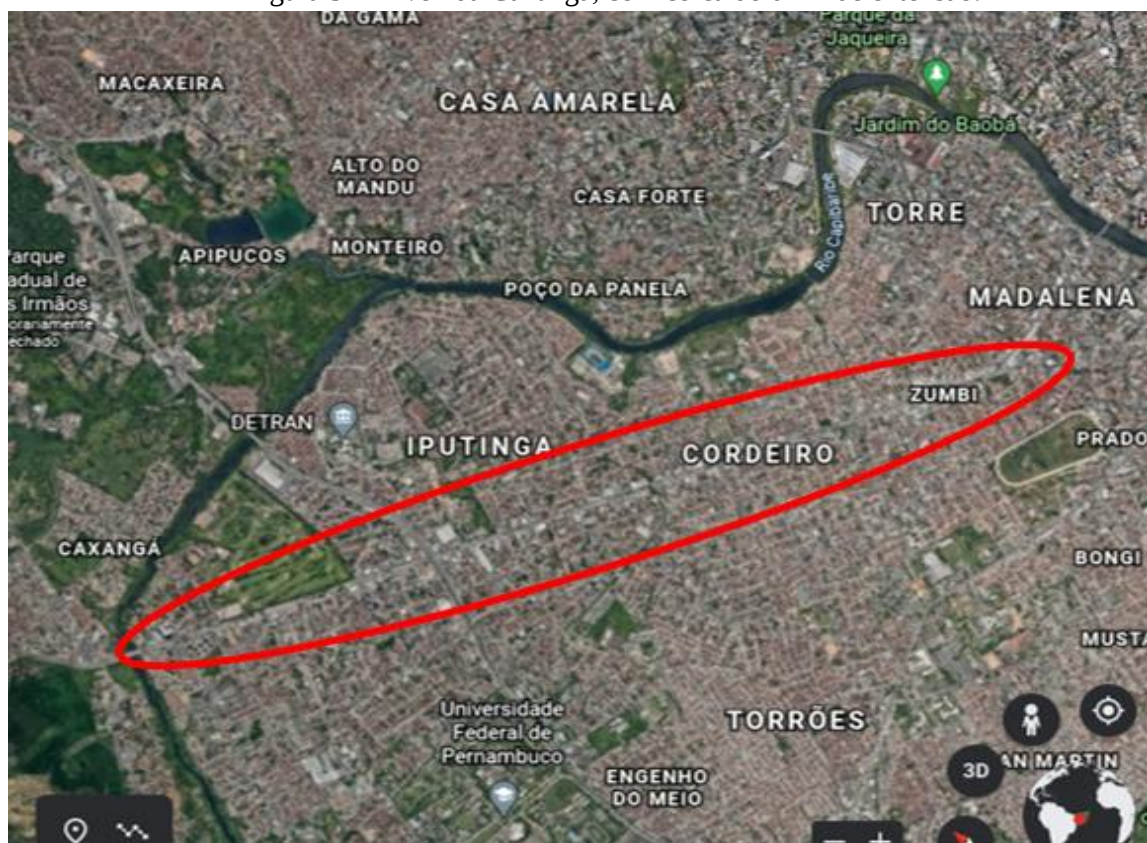


Foto do Google Earth.

Figura 53 - Avenida Conde da Boa Vista, com cerca de 1,6 km de extensão.

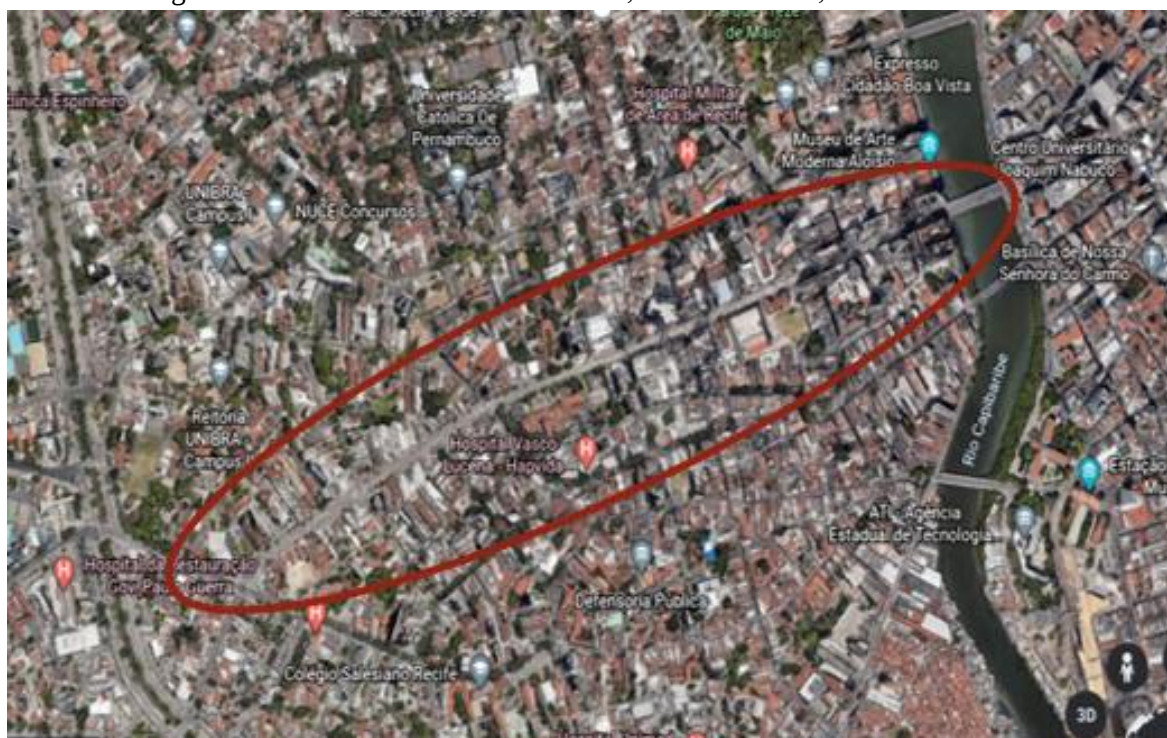


Foto do Google Earth.

A Figura 54 mostra uma foto da avenida Caxangá, datada de 1969, tirada das proximidades do Museu da Abolição, olhando para oeste, com a configuração atual das duas pistas. A pista da direita, no sentido cidade-subúrbio, foi executada com pavimento asfáltico e a da esquerda, no sentido subúrbio-cidade, em pavimento de concreto de cimento Portland. A pista mais nova, em concreto, foi inaugurada em 1966 (GASPAR, 2009), posteriormente à pista com pavimento asfáltico. A pista em pavimento asfáltico já recebeu diversos recapamentos em CBUQ. A pista em pavimento de concreto de cimento Portland também recebeu várias intervenções ao longo desse tempo, com a substituição de algumas placas danificadas (demolição e nova concretagem).

Figura 54 - Avenida Caxangá, com as suas duas pistas na configuração atual (foto de 1969)



Fonte: revista algomais, 06/06/2020.

A Figura 55, por sua vez, mostra uma foto da avenida Conde da Boa Vista da década de 1950 (cruzamento com a rua da Soledade), aparecendo, em primeiro plano, o pavimento de concreto. Muitas dessas placas originais, executadas durante o período de 1954 a 1959, ainda se encontram na via. Um levantamento realizado por Mafra (2018) avaliou todas as 616 placas de concreto existentes na faixa exclusiva dos ônibus da avenida Conde da Boa Vista, constatando que 84 (13,6%) eram ainda da década de 1950, 500 (81,2%) foram executadas durante a requalificação da via realizada no ano de 2007 e 32 (5,2%) correspondiam a um trabalho de recuperação que ocorreu no ano de 2017.

Figura 55 - Avenida Conde da Boa Vista e o seu pavimento de concreto (foto da década de 1950).



Foto disponível na internet (autor desconhecido).

5.2 Caracterização do peso dos eixos dos ônibus do sistema BRT

Como já mencionado, o sistema BRT na RMR iria contemplar três corredores, dos quais apenas dois foram, até o presente, parcialmente implantados: o Norte-Sul e o Leste-Oeste. Os veículos que operam nesses dois corredores apresentam características distintas: os do Corredor Norte-Sul possuem motor central, comprimento de 21 metros e capacidade nominal de 160 pessoas, com a seguinte distribuição: passageiros sentados - 46 (incluindo dois cadeirantes); passageiros em pé (6 por m^2) - 113; motorista - 1. Em alguns horários de pico, há registros de que esses ônibus chegam a comportar 180 passageiros. Os do corredor Leste-Oeste têm motor traseiro. Em ambos os casos, os veículos apresentam a seguinte configuração: o eixo dianteiro é simples de rodas simples, enquanto os eixos intermediário e traseiro são simples de rodas duplas.

A Figura 56 apresenta a configuração de eixos dos ônibus articulados que operam no Corredor Leste-Oeste do sistema BRT da RMR e a Figura 57 indica o *layout* dos que operam no Corredor Norte-Sul do mesmo sistema.

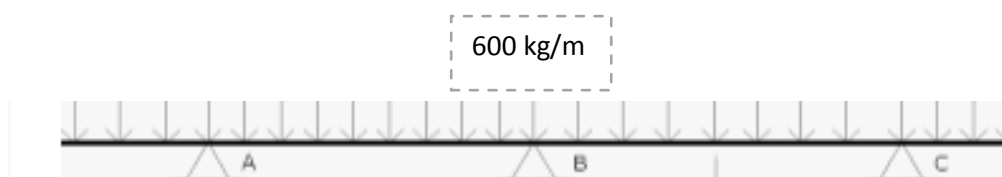
Figura 56 - Configuração de eixos dos ônibus articulados que operam no Corredor Leste-Oeste do sistema BRT da RMR.



Fonte: especificações do fabricante.

Partiu-se inicialmente para a pesagem de um ônibus vazio na balança rodoviária existente na garagem da empresa Conorte, concessionária do STPP/RMR, localizada no Município de Abreu e Lima/PE, gentilmente cedida para a pesquisa por aquela operadora. A pesagem foi realizada no dia 21 de outubro de 2016 e contemplou apenas um ônibus BRT vazio daquela empresa, que opera no Corredor Norte-Sul.

Imaginou-se a princípio que, ao peso dos eixos com o veículo vazio, pudesse ser acrescentado o peso dos passageiros como uma carga uniformemente distribuída, calculada da seguinte maneira: $180 \text{ passageiros} \times 70 \text{ kg/passageiro} / 21 \text{ metros} = 600 \text{ kg/m}$. Nesse cálculo, 180 passageiros correspondem à lotação prática máxima do veículo, 70 kg ao peso médio admitido por pessoa e 21 m ao comprimento do veículo. Seriam, então, calculadas as reações de apoio, considerando o ônibus como uma viga com dois balanços e três apoios, em função da sua configuração de eixos.



Contudo, a análise pormenorizada do *layout* do veículo afastou a possibilidade de ser considerada uma carga uniformemente distribuída, tendo em vista a distribuição dos assentos. A parte central dos ônibus do Corredor Norte/Sul, que já suporta o maior peso em função da localização do motor, é a que tende a concentrar mais passageiros, já que nela existem menos assentos. A metodologia foi então adaptada para uma nova pesagem, considerando o ônibus com passageiros.

Assim, no dia 19 de novembro de 2016, foram realizadas pesagens dos veículos que operam nos dois corredores, considerando as seguintes situações: o veículo vazio (sem passageiros) e o veículo com 107 passageiros (alunos convidados para a pesquisa). Os resultados das pesagens foram então extrapolados para 180 passageiros.

As Figuras 58 a 63 ilustram aspectos da pesagem. Os ônibus foram pesados da seguinte maneira: primeiro, foi obtido o peso total do ônibus P_{total} (o veículo cabe totalmente no prato

da balança); em seguida, foi pesado apenas o eixo traseiro ($P_{\text{eixo traseiro}}$) e, por fim, apenas o eixo dianteiro ($P_{\text{eixo dianteiro}}$). Por diferença, foi obtido o peso do eixo intermediário ($P_{\text{eixo intermediário}} = P_{\text{total}} - P_{\text{eixo traseiro}} - P_{\text{eixo dianteiro}}$).

A Figura 58 apresenta a plataforma da balança, a Figura 59 mostra a balança utilizada e a Figura 60 registra a explanação feita pelo autor desta tese aos seus alunos a respeito do objetivo da pesquisa e da metodologia utilizada para a pesagem. A Figura 61 mostra a pesagem geral dos 107 alunos sobre a plataforma da balança, a Figura 62 exhibe parte dos 107 alunos no interior do ônibus por ocasião da pesagem e a Figura 63 assinala o ônibus do corredor Leste-Oeste (da concessionária Mobibrasil) posicionado sobre o prato da balança para a pesagem.

Figura 58 - Plataforma da balança de pesagem de eixos de veículos.



Foto de autoria própria em 19/11/2016.

Figura 59 - Balança utilizada para a pesagem de eixos de veículos.



Foto de autoria própria em 19/11/2016.

Figura 60 - O autor desta tese explica aos seus alunos o objetivo da pesquisa e a metodologia da pesagem.



Foto tirada em 19/11/2016.

Figura 61 - Pesagem geral dos 107 alunos sobre a plataforma da balança.



Foto tirada em 19/11/2016.

Figura 62 - Pesagem do ônibus BRT com os 107 alunos no seu interior.



Foto tirada em 19/11/2016.

Figura 63 - Ônibus do corredor Leste/Oeste posicionado sobre o prato da balança para a pesagem.



Foto de autoria própria em 19/11/2016.

5.3 Determinação das deflexões do pavimento com o FWD

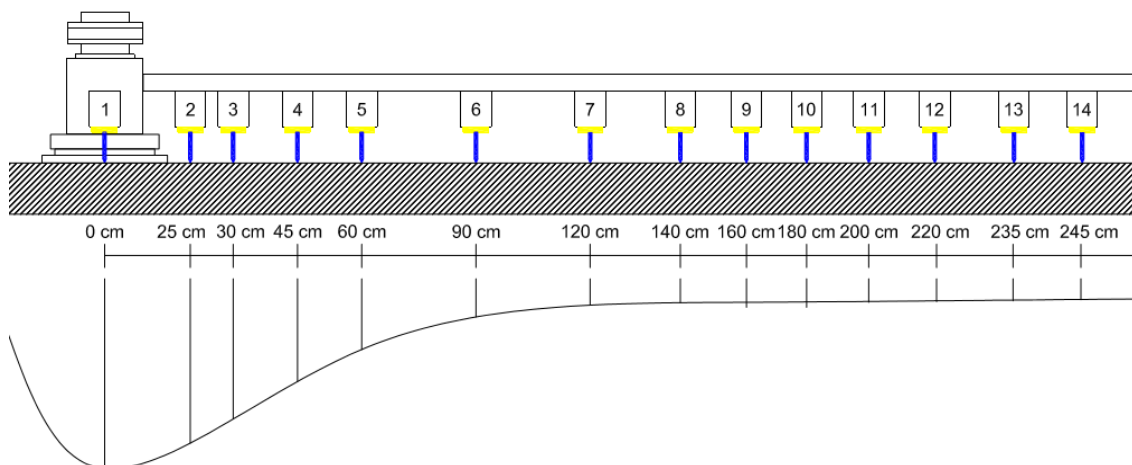
Foi efetuada a leitura das deflexões (deformações elásticas) do pavimento com o uso do FWD ao longo das faixas exclusivas das duas vias do Corredor Leste-Oeste selecionadas para a pesquisa (avenidas Caxangá e Conde da Boa Vista). Todo o levantamento deflectométrico foi realizado no dia 29 de dezembro de 2016.

Para a pesquisa específica visando ao desenvolvimento desta tese, foi utilizado o equipamento PRIMAX 1500 FD, gentilmente cedido pela empresa francesa RINCENT BTP BRASIL. Trata-se de um equipamento do tipo FWD, fabricado pela SWECO e composto basicamente por um trailer e um conjunto de pesos que é solto de uma determinada altura sobre uma plataforma com amortecedores de borracha e a carga de impacto (no caso, 41 kN) é transferida para o pavimento através de uma placa de carregamento com cerca de 300 mm de diâmetro. Apresenta ainda um sistema de geofones fixados em uma viga metálica para medição das deflexões do pavimento.

O equipamento utilizado dispõe de 14 geofones, cujas distâncias ao ponto de aplicação da carga variaram de 0 (zero) a 2,45 m, conforme mostra a Figura 64. A unidade utilizada para a

leitura das deflexões do FWD é o μm (micrometro, que corresponde à milésima parte do milímetro).

Figura 64 - Posição dos geofones do FWD utilizado.



Fonte: RINCENT BTP Brasil.

As leituras foram feitas nos centros das placas a cada 50 metros em segmentos com 500 metros de extensão ao longo da faixa exclusiva de ônibus de cada via e nos dois sentidos de circulação, seguindo o que preconiza a Norma DNER-PRO 273/96, intitulada “Determinação de deflexões utilizando deflectômetro de impacto tipo *Falling Weight Deflectometer* (FWD)”. Foram alternados segmentos de 500 metros com e sem medição.

Na avenida Caxangá, foram realizadas 145 leituras de deflexão, sendo 83 no sentido subúrbio-cidade e 62 no sentido cidade-subúrbio. Na avenida Conde da Boa Vista, foram 88 leituras, 44 em cada sentido.

As Figuras 65 e 66 apresentam o FWD em operação, respectivamente nas avenidas Caxangá e Conde da Boa Vista.

Figura 65 - O FWD em operação na faixa exclusiva de ônibus da avenida Caxangá.



Foto de autoria própria em 29/12/2016.

Figura 66 - O FWD em operação na faixa exclusiva de ônibus da avenida Conde da Boa Vista.



Foto de autoria própria em 29/12/2016.

5.4 Aplicação do radar (GPR)

Objetivando conhecer a estrutura do pavimento existente, foi realizado, no dia 20 de novembro de 2017, o levantamento por meio do Euradar, que é um tipo de *Ground Penetrating Radar* (GPR), desenvolvido pela empresa francesa RINCENT ND Technologies. O serviço abrangeu toda a extensão da avenida Caxangá (5,7 km) e toda a extensão da avenida Conde da Boa Vista (1,6 km), percorrendo a faixa exclusiva de ônibus em cada via nos dois sentidos. Trata-se de uma inspeção contínua e não-destrutiva do pavimento e o equipamento permite determinar as espessuras das diferentes camadas e também detectar quaisquer anomalias até a profundidade de 80 cm.

O GPR possibilita assim uma auscultação da estrutura do pavimento e tem o seu princípio baseado na impulsão eletromagnética. A cada estrutura atravessada, uma parte das ondas é refletida e captada pelo receptor nele existente, sendo realizada uma posterior interpretação dos sinais refletidos (Figuras 67 e 68). Trata-se de um equipamento de muita valia e de grande potencial para investigações geotécnicas por meio de técnicas não invasivas. Embora o objetivo da sua utilização nesta pesquisa tenha sido apenas o de identificar as espessuras das camadas dos pavimentos das faixas exclusivas utilizadas pelos ônibus BRT, deve ser registrado que o seu campo de atuação é vasto na detecção de vazios, presença de umidade, de tubulações e de quaisquer outras anomalias ao longo da profundidade por ele pesquisada.

O conhecimento das espessuras das diferentes camadas é requerido para fins da retroanálise do pavimento.

Figura 67 - Desenho esquemático do princípio de funcionamento do Euradar (1).

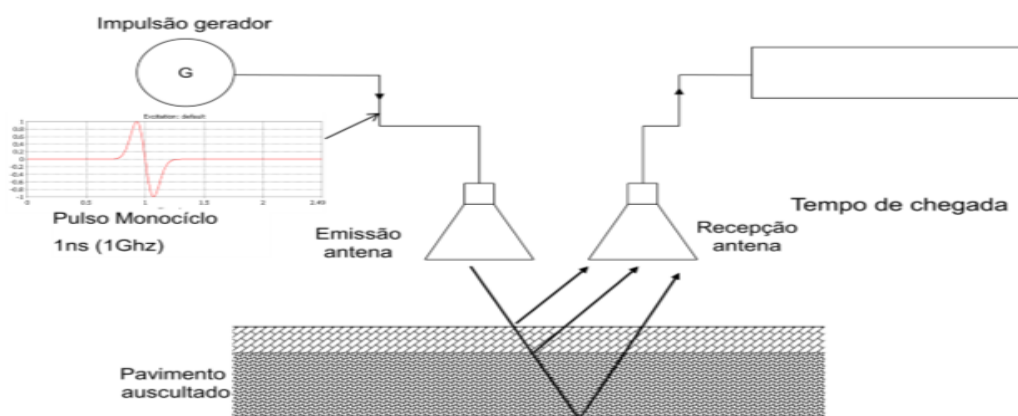


Ilustração gentilmente cedida pela RINCENT BTP Brasil.

Figura 68 - Desenho esquemático do princípio de funcionamento do Euradar (2).

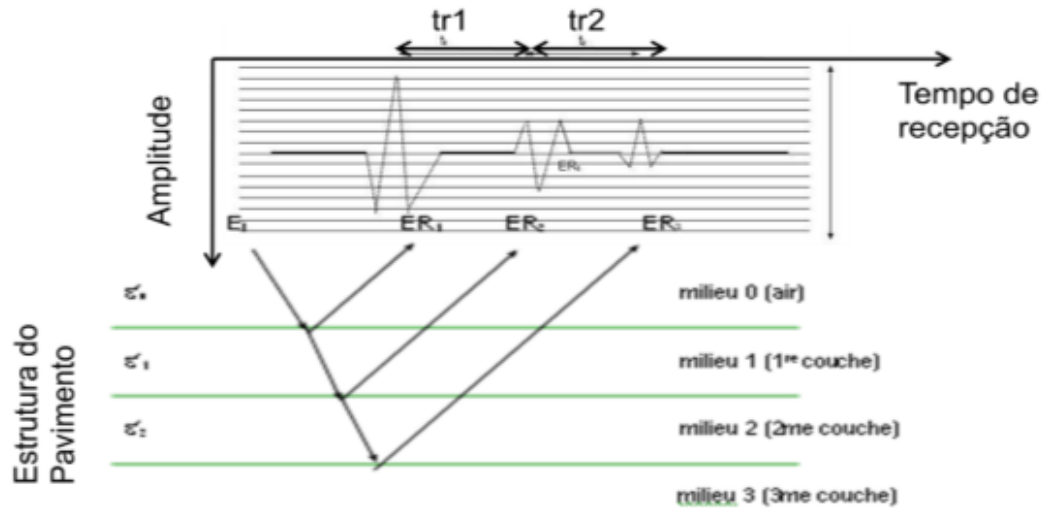


Ilustração gentilmente cedida pela RINCENT BTP Brasil.

As Figuras 69 e 70 mostram a aplicação do Euradar nas faixas exclusivas de ônibus das avenidas Caxangá e Conde da Boa Vista, respectivamente.

Figura 69 - Aplicação do Euradar na avenida Caxangá.



Foto de autoria própria em 20/11/2017.

Figura 70 - Aplicação do Euradar na avenida Conde da Boa Vista.



Foto de autoria própria em 20/11/2017.

5.5 Sondagens para a calibração do radar (GPR)

Para permitir a calibragem do Euradar, foram executados, no dia 27 de dezembro de 2017, dois furos de sondagem na avenida Caxangá (Figuras 71 e 72), um em cada pista (no sentido leste-oeste em pavimento asfáltico e no sentido oeste-leste em pavimento de concreto de cimento Portland). Para a extração da camada do revestimento (tanto asfáltico quanto de concreto de cimento Portland), foi utilizada sondagem rotativa e, em seguida, sondagem a trado. As sondagens foram executadas no início da avenida Caxangá, nas proximidades do Museu da Abolição.

No caso da avenida Conde da Boa Vista, não houve necessidade de execução dessas sondagens, tendo em vista ser conhecida a estrutura do pavimento.

O objetivo das sondagens consistiu exclusivamente na determinação da espessura de cada camada do pavimento para fins da retroanálise, não fazendo parte do escopo da pesquisa a realização de ensaios com as amostras coletadas.

Figura 71 - Execução de sondagem rotativa na avenida Caxangá para a calibragem do Euradar (pavimento asfáltico na pista no sentido cidade-subúrbio).



Foto de autoria própria em 27/12/2017.

Figura 72 - Execução de sondagem rotativa na avenida Caxangá para a calibragem do Euradar (pavimento de concreto na pista no sentido subúrbio-cidade).



Foto de autoria própria em 27/12/2017.

5.6 Retroanálise dos pavimentos das faixas exclusivas das vias pesquisadas

Para fins da avaliação estrutural dos pavimentos das faixas exclusivas das avenidas Caxangá e Conde da Boa Vista, foi efetuada a retroanálise com a utilização dos seguintes procedimentos:

- a) Pavimentos de concreto de cimento Portland

Método da AASHTO (1993)

Programa BAKFAA

- b) Pavimento com revestimento asfáltico (CBUQ)

Programa BackMeDiNa

Para ambos os pavimentos, foi também realizada a retroanálise pelo programa PRIMAX. Efetuou-se ainda o dimensionamento dos pavimentos de concreto pelo método da Portland Cement Association - PCA/84 e a verificação do pavimento asfáltico pelo método MeDiNa. Por fim, foi feita a modelagem numérica do pavimento de concreto com o Programa EverFE 2.24.

6 OS RESULTADOS DA PESQUISA

6.1 Caracterização do peso dos eixos dos ônibus do sistema BRT

6.1.1 Ônibus vazio (sem passageiros e sem motorista)

Os resultados da pesagem dos ônibus vazios estão apresentados nas Tabelas 20 e 21, respectivamente para os veículos que operam no Corredor Norte-Sul (motor central) e Leste-Oeste (motor traseiro).

Tabela 20 - Peso dos eixos de um dos veículos do sistema BRT do Corredor Norte-Sul (motor central) - ÔNIBUS VAZIO.

	PESO DO EIXO (t)			
	TRASEIRO	INTERMEDIÁRIO	DIANTEIRO	TOTAL
	6,73	8,56	5,26	20,55
DISTRIBUIÇÃO DAS CARGAS POR EIXO (%)	32,7	41,7	25,6	100,0

Fonte: autoria própria.

Observa-se que o eixo intermediário apresenta o maior peso, pelo fato de se tratar de um ônibus com motor central. Apenas para fins comparativos, foi efetuada a pesagem de um ônibus convencional na mesma ocasião (também vazio), tendo sido registrado um peso total aproximado de 10 toneladas (4 toneladas no eixo dianteiro e 6 toneladas no eixo traseiro). Constata-se então que o peso total de um ônibus BRT é um pouco mais que o dobro de um ônibus convencional, o que enfatiza a importância do tema escolhido para esta tese.

Tabela 21 - Peso dos eixos de um dos veículos do sistema BRT do Corredor Leste-Oeste (motor traseiro) - ÔNIBUS VAZIO.

	PESO DO EIXO (t)			
	TRASEIRO	INTERMEDIÁRIO	DIANTEIRO	TOTAL
A - ÔNIBUS VAZIO	10,110	5,020	6,135	21,265
DISTRIBUIÇÃO DAS CARGAS POR EIXO (ÔNIBUS VAZIO) (%)	47,5	23,6	28,9	100,0

Fonte: autoria própria.

Observa-se que o eixo traseiro é o que apresenta o maior carregamento, tendo em vista a localização do motor. Verifica-se ainda que o peso do eixo traseiro ultrapassa o limite máximo permitido pela legislação, mesmo o ônibus estando vazio.

6.1.2 Ônibus carregado

Os resultados das pesagens dos ônibus carregados estão apresentados nas Tabelas 22 e 23, respectivamente para os ônibus do Corredor Norte-Sul e do Corredor Leste-Oeste.

Tabela 22 - Peso dos eixos dos veículos do sistema BRT que operam no Corredor Norte-Sul (motor central).

	PESO DO EIXO (t)			
	TRASEIRO	INTERMEDIÁRIO	DIANTEIRO	TOTAL
A - ÔNIBUS VAZIO	6,73	8,56	5,26	20,55
DISTRIBUIÇÃO DAS CARGAS POR EIXO (ÔNIBUS VAZIO) (%)	32,7	41,7	25,6	100,0
B - ÔNIBUS CARREGADO (107 PASSAGEIROS)	9,14	12,19	6,74	28,07
DIFERENÇA (B – A)	2,41	3,63	1,48	7,52
DISTRIBUIÇÃO DAS CARGAS POR EIXO (ÔNIBUS COM 107 PASSAGEIROS) (%)	32,6	43,4	24,0	100,0
C - ÔNIBUS CARREGADO (180 PASSAGEIROS)	10,78	14,67	7,75	33,20
DIFERENÇA (C – A)	4,05	6,11	2,49	12,65
DISTRIBUIÇÃO DAS CARGAS POR EIXO (ÔNIBUS COM 180 PASSAGEIROS) (%)	32,5	44,2	23,3	100,0

Fonte: autoria própria.

Tabela 23 - Peso dos eixos dos veículos do sistema BRT que operam no Corredor Leste-Oeste (motor traseiro).

	PESO DO EIXO (t)			
	TRASEIRO	INTERMEDIÁRIO	DIANTEIRO	TOTAL
A - ÔNIBUS VAZIO	10,110	5,020	6,135	21,265
DISTRIBUIÇÃO DAS CARGAS POR EIXO (ÔNIBUS VAZIO) (%)	47,5	23,6	28,9	100,0
B - ÔNIBUS CARREGADO (107 PASSAGEIROS)	13,470	7,430	8,140	29,040
DIFERENÇA (B – A)	3,360	2,410	2,005	7,775
DISTRIBUIÇÃO DAS CARGAS POR EIXO (ÔNIBUS COM 107 PASSAGEIROS) (%)	46,4	25,6	28,0	100,0
C - ÔNIBUS CARREGADO (180 PASSAGEIROS)	15,762	9,074	9,508	34,344
DIFERENÇA (C – A)	5,652	4,054	3,373	13,079
DISTRIBUIÇÃO DAS CARGAS POR EIXO (ÔNIBUS COM 180 PASSAGEIROS) (%)	45,9	26,4	27,7	100,0

Fonte: autoria própria.

Observa-se, no caso do Corredor Norte-Sul, que o eixo intermediário, para 107 e 180 passageiros, já ultrapassa o peso máximo permitido pela legislação brasileira para esse tipo de eixo (10 toneladas com 5% de tolerância), o mesmo ocorrendo com o eixo dianteiro para 107 e 180 passageiros e com o eixo traseiro para 180 passageiros. No Corredor Leste-Oeste, a situação crítica acontece com o eixo traseiro para 107 e 180 passageiros (neste último caso, o peso chega a alcançar 57,62% além do máximo permitido) e com o eixo dianteiro para 107 e 180 passageiros.

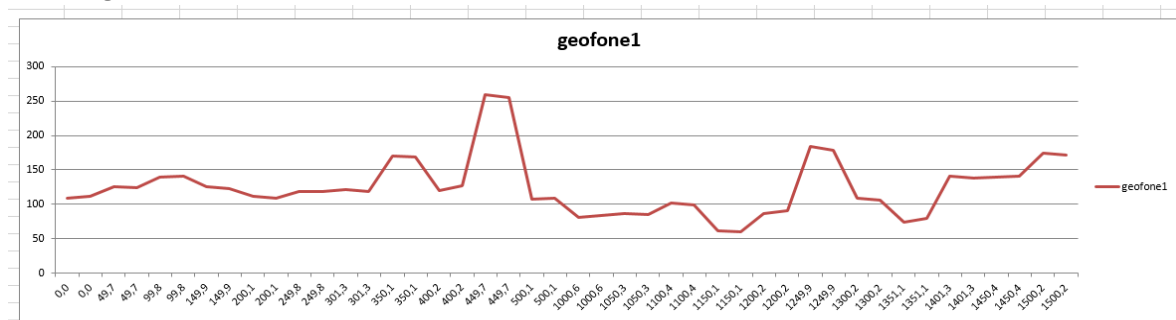
Quanto ao Peso Bruto Total (PBT), pode-se verificar, tanto para os ônibus do Corredor Norte-Sul quanto do Corredor Leste-Oeste, que a carga máxima permitida é de 26 toneladas (um eixo simples de rodas simples e dois eixos simples de rodas duplas), ou seja, $6\text{ t} + 2 \times 10\text{ t} = 26\text{ t}$. Constata-se, no entanto, que o PBT é excedido, em comparação com a legislação vigente, para o ônibus carregado com 107 passageiros e, evidentemente, com 180 passageiros, para os dois tipos de ônibus. Admitindo um peso médio por pessoa de 70 kg, o PBT ultrapassa o máximo permitido com 78 e 68 passageiros, respectivamente no Corredor Norte-Sul e no Corredor Leste-Oeste.

6.2 Determinação das deflexões do pavimento com o FWD

Os resultados das medições das deflexões estão apresentados nos Apêndices 1 a 4, os dois primeiros referentes à avenida Caxangá (sentido leste ou subúrbio-cidade e sentido oeste ou cidade-subúrbio, respectivamente) e os dois últimos à avenida Conde da Boa Vista (sentidos subúrbio-cidade e cidade-subúrbio, respectivamente). Para não aumentar desnecessariamente a quantidade de páginas desta tese, apenas no Apêndice 4 são apresentados os gráficos da deflexão em cada geofone e o gráfico geral, consolidando os resultados das deflexões de todos os geofones.

A título de exemplo, a Figura 73 apresenta o gráfico das deflexões na avenida Conde da Boa Vista, sentido cidade-subúrbio.

Figura 73 - Gráfico das deflexões na avenida Conde da Boa Vista, sentido cidade-subúrbio.



Fonte: autoria própria.

6.3 Sondagens para a calibração do radar (GPR)

No sentido cidade-subúrbio (pista em revestimento asfáltico) da avenida Caxangá, foram detectados os materiais indicados na Tabela 24 e, no sentido subúrbio-cidade (pista em concreto de cimento Portland), na Tabela 25. As profundidades das sondagens foram de 1,50 m e 1,80 m, respectivamente.

Tabela 24 - Resultados das sondagens rotativa e a trado na avenida Caxangá (sentido cidade-subúrbio).

CAMADA	PROFUNDIDADE (cm)		ESPESSURA (cm)	MATERIAL
	INÍCIO	FIM		
1	0,0	22,0	22,0	Revestimento asfáltico
2	22,0	32,0	10,0	Macadame
3	32,0	54,0	22,0	Material granular amarelo
4	54,0	104,0	50,0	Material granular escuro
5	104,0	150,0	46,0	Material granular marrom claro

Fonte: autoria própria.

Tabela 25 - Resultados das sondagens rotativa e a trado na avenida Caxangá (sentido subúrbio-cidade).

CAMADA	PROFUNDIDADE (cm)		ESPESSURA (cm)	MATERIAL
	INÍCIO	FIM		
1	0,0	18,0	18,0	Concreto
2	18,0	84,0	66,0	Areia argilosa amarela
3	84,0	115,0	31,0	Areia argilosa alaranjada
4	115,0	131,0	16,0	Areia argilosa marrom
5	131,0	180,0	49,0	Areia argilosa marrom claro

Fonte: autoria própria.

Os testemunhos extraídos das duas sondagens executadas na avenida Caxangá estão apresentados nas Figuras 74 a 77, as duas primeiras para a pista no sentido cidade-subúrbio e as duas últimas para a pista no sentido subúrbio-cidade.

Figura 74 - Testemunho extraído do revestimento asfáltico da avenida Caxangá por meio de sondagem rotativa.



Fonte: Barbosa (2018). Foto tirada em 27/12/2017.

Figura 75 - Material granular das camadas de base e sub-base do revestimento asfáltico da avenida Caxangá, extraído por meio de sondagem a trado.



Fonte: Barbosa (2018). Foto tirada em 27/12/2017.

Figura 76 - Testemunho extraído de placa de concreto de cimento Portland da avenida Caxangá por meio de sondagem rotativa.



Fonte: Barbosa (2018). Foto tirada em 27/12/2017.

Figura 77 - Material granular da camada de sub-base e do subleito do pavimento de concreto de cimento Portland da avenida Caxangá, extraído por meio de sondagem a trado.

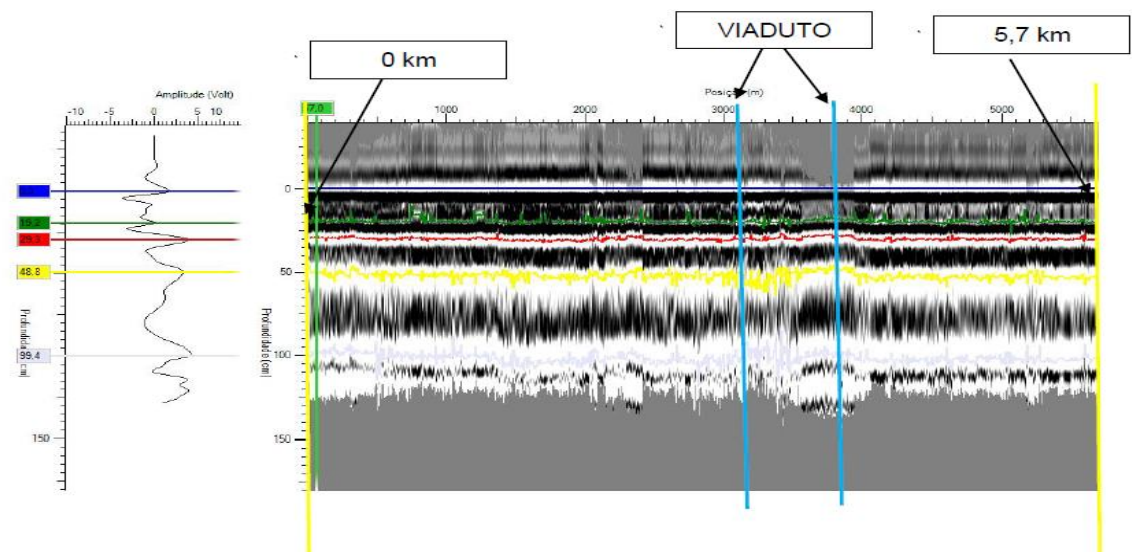


Fonte: Barbosa (2018). Foto tirada em 27/12/2017.

6.4 Aplicação do radar (GPR)

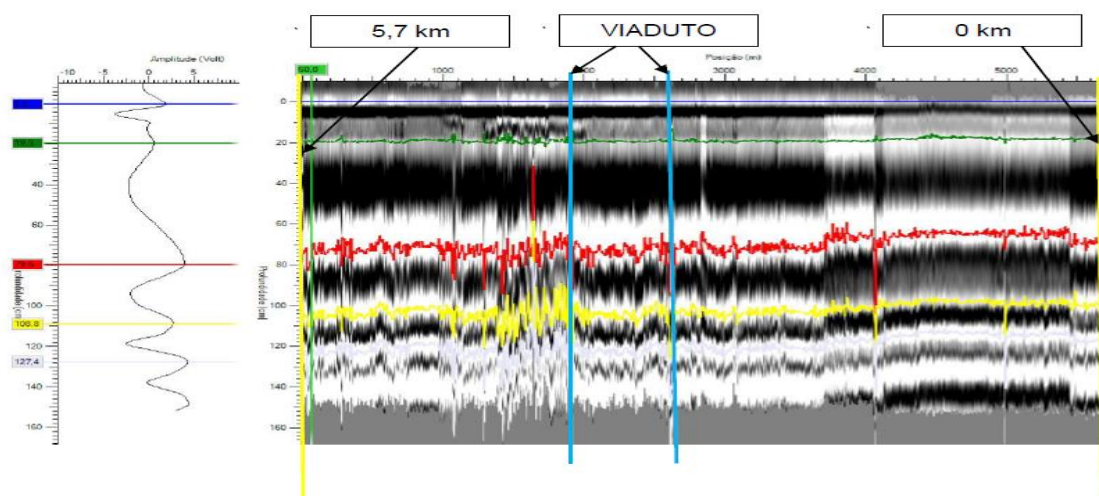
Os resultados da interpretação das leituras com o Euradar na avenida Caxangá estão apresentados nas Figuras 78 e 79, respectivamente para a pista no sentido cidade-subúrbio e subúrbio-cidade, possibilitando, assim, o conhecimento da espessura das diversas camadas do pavimento.

Figura 78 - Espessuras das camadas do pavimento na avenida Caxangá, obtidas após calibragem das leituras com o Euradar na pista no sentido cidade-subúrbio (pavimento asfáltico).



Fonte: RINCENT BTP Brasil.

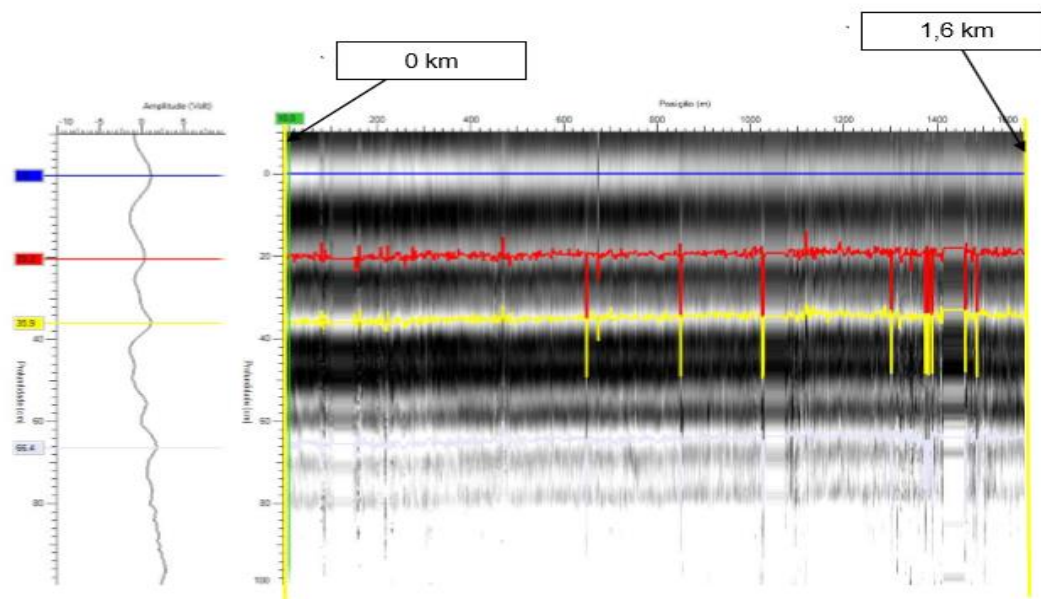
Figura 79 - Espessuras das camadas do pavimento na avenida Caxangá, obtidas após calibragem das leituras com o Euradar na pista no sentido subúrbio-cidade (pavimento de concreto).



Fonte: RINCENT BTP Brasil.

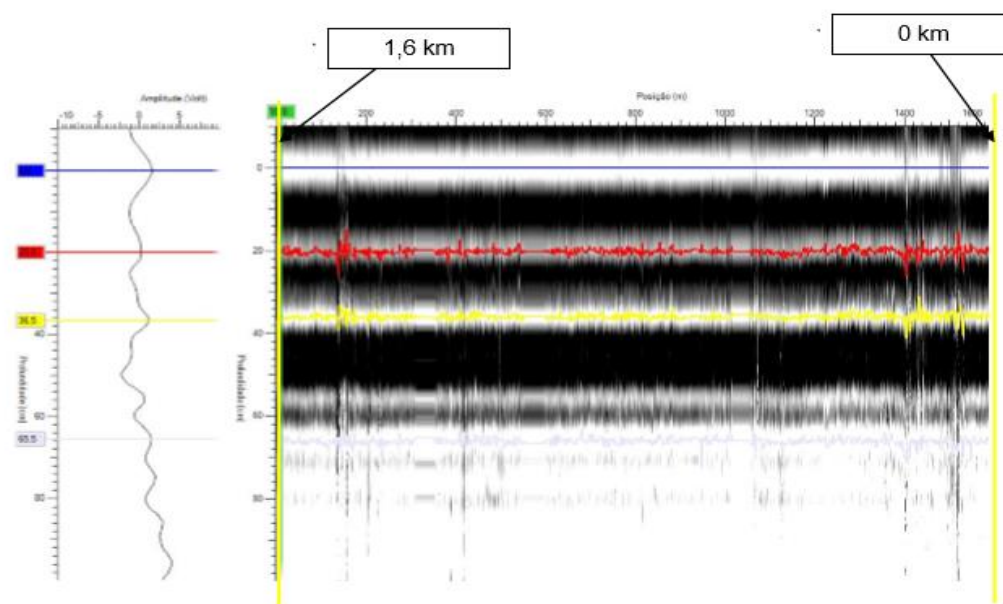
Os resultados da interpretação das leituras com o EURADAR na avenida Conde da Boa Vista estão apresentados nas Figuras 80 e 81, respectivamente para a pista no sentido subúrbio-cidade e cidade-subúrbio, possibilitando, assim, o conhecimento da espessura das diversas camadas do pavimento.

Figura 80 - Espessuras das camadas do pavimento na avenida Conde da Boa Vista, obtidas após calibragem das leituras com o Euradar na pista no sentido subúrbio-cidade.



Fonte: RINCENT BTP Brasil.

Figura 81 - Espessuras das camadas do pavimento na avenida Conde da Boa Vista, obtidas após calibragem das leituras com o Euradar na pista no sentido cidade-subúrbio.



Fonte: RINCENT BTP Brasil.

O relatório elaborado pela RINCENT BTP Brasil (RINCENT, 2018) para a pesquisa do Euradar, que integra com exclusividade esta tese, registra, como resumo e conclusões da aplicação daquele equipamento:

- na avenida Caxangá, sentido cidade-subúrbio, foi possível observar a presença de camadas bem definidas: a 1ª (primeira) variando entre 0,0 cm e 20,0 cm de profundidade; a 2ª (segunda) variando entre 20,0 e 30,0 cm de profundidade; a 3ª (terceira) variando entre 30,0 e 50,0 cm de profundidade e a 4ª (quarta) variando entre 50,0 e 100,0 cm de profundidade.
- na avenida Caxangá, sentido subúrbio-cidade, também foi possível observar a presença de camadas bem definidas: a 1ª (primeira) variando entre 0,0 cm e 18,0 cm de profundidade; a 2ª (segunda) variando entre 18,0 e 80,0 cm de profundidade; a 3ª (terceira) variando entre 80,0 e 110,0 cm de profundidade e a 4ª (quarta) variando entre 110,0 e 130,0 cm de profundidade.
- na avenida Conde da Boa Vista, sentido subúrbio-cidade, também foi possível observar a presença de camadas bem definidas: a 1ª (primeira) variando entre 0,0 cm e 20,0 cm de profundidade; a 2ª (segunda) variando entre 20,0 e 36,0 cm de profundidade e a 3ª (terceira) variando entre 36,0 e 66,0 cm de profundidade.
- na avenida Conde da Boa Vista, sentido cidade-subúrbio, também foi possível observar a presença de camadas bem definidas: a 1ª (primeira) variando entre 0,0 cm e 20,0 cm de profundidade; a 2ª (segunda) variando entre 20,0 e 37,0 cm de profundidade e a 3ª (terceira) variando entre 37,0 e 66,0 cm de profundidade.

6.5 Avaliação estrutural e retroanálise do pavimento das faixas exclusivas das vias pesquisadas

6.5.1 Bacias deflectométricas características

A retroanálise foi realizada com a utilização das bacias deflectométricas obtidas nas faixas destinadas ao tráfego dos ônibus BRT.

Primeiramente, foi realizada a normalização das bacias deflectométricas para a carga padrão de 41 kN. Faz-se importante essa correção, tanto para o revestimento em placas de concreto de cimento Portland quanto para em concreto asfáltico, pois, mesmo que a configuração de

carga seja efetuada para 41 kN, a rigidez da camada no momento do ensaio, devido à temperatura, afeta a aplicação da carga. Desse modo, procedeu-se a correção das deflexões por meio da equação (1), proposta por Ricci et al. (1985):

$$D_N = D_M \times \frac{Q_1}{Q_2} \quad (1)$$

sendo:

D_N = deflexão normalizada;

D_M = deflexão medida no ensaio;

Q_1 = carga padrão;

Q_2 = carga medida.

Após a normalização das bacias deflectométricas, foi realizado o tratamento estatístico com a eliminação de possíveis dados espúrios para, em seguida, ser determinada a bacia característica representativa de cada um dos corredores de BRT. O procedimento utilizado foi o contido na norma DNIT-PRO 011/79, intitulada “Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis - Procedimento B”.

A partir das bacias deflectométricas, foram então determinados os seguintes parâmetros:

- bacia deflectométrica média (D_m);
- desvio padrão (σ);
- coeficiente de variação (CV);
- deflexão mínima ($D_{\min.}$);
- deflexão máxima ($D_{\max.}$).

O intervalo de aceitação para os valores individuais foi definido pelos limites $D_m \pm Z \cdot \sigma$, onde Z foi estimado em função de n , mediante o critério indicado na Tabela 26.

Tabela 26 - Valores de desvio padrão em função do número de amostras.

N	Z
3	1
4	1,5
5 – 6	2
7 – 19	2,5
≥ 20	3

Obs.: os valores indicados nesta Tabela originam-se do *Highway Research Board* - Report 17.

Após a eliminação dos valores não contidos no intervalo de aceitação, foi determinada a bacia deflectométrica característica (D_c). Para cada geofone, a deflexão característica foi obtida por meio da equação $D_c = D_m + \sigma$. Na Tabela 27, constam as bacias deflectométricas características utilizadas para a análise do comportamento estrutural do pavimento.

Tabela 27 - Bacias características obtidas após o tratamento estatístico (deflexões em μm).

AVENIDA (SENTIDO) → DEFLEXÃO $D_n \downarrow$		Av. Caxangá (S/C)	Av. Caxangá (C/S)	Av. Conde da Boa Vista (S/C)	Av. Conde da Boa Vista (C/S)
DEFLEXÃO A “n” cm DO PONTO DE APLICAÇÃO DA CARGA	D0	238,06	430,46	159,57	170,40
	D25	219,53	341,87	154,00	163,43
	D30	207,70	279,66	148,13	155,65
	D45	195,47	223,48	141,44	145,49
	D60	177,91	171,41	130,75	130,91
	D90	152,06	117,51	114,55	110,45
	D120	124,05	80,88	93,29	88,27
	D140	107,79	66,65	81,60	76,35
	D150	101,07	56,06	76,79	71,72
	D160	94,35	57,89	71,99	67,09
	D180	79,40	45,67	60,49	55,41
	D200	68,81	41,60	52,48	45,11
	D220	60,91	40,58	48,25	40,01
	D235	52,65	35,08	42,14	39,00
	D245	46,89	32,90	38,16	35,33
TEMP. (°C)	SUP.	39,2	40,5	39,8	39,8
	AR	35,3	35,4	36,9	36,7
CARGA (kN)		41	41	41	41
REVESTIMENTO		CONCRETO	CBUQ	CONCRETO	CONCRETO

6.5.2 Estrutura dos pavimentos das faixas exclusivas

As características utilizadas para a retroanálise em termos das espessuras das camadas estão descritas na Figura 82. Para as faixas de BRT com placas de concreto, foram consideradas duas camadas, isto é, a placa de concreto e a camada de subleito. Essa modelagem do sistema, considerando a placa como se fosse apoiada diretamente sobre o subleito é uma simplificação comum quando existem bases granulares (BALBO, 2009; COLIM, 2009). Para a faixa constituída de revestimento em concreto asfáltico, foram consideradas 3 camadas, a saber, o revestimento, o conjunto das camadas base + sub-base e o subleito.

Figura 82 - Seções ilustrativas das estruturas consideradas na retroanálise.



6.5.3 Retroanálise dos módulos de resiliência do pavimento e do subleito

Nos itens seguintes, estão apresentados os resultados da retroanálise, considerando, inicialmente, o estudo dos corredores em placas de concreto de cimento Portland e, em seguida, a faixa de BRT da avenida Caxangá no sentido oeste, que é constituída de revestimento em concreto asfáltico.

a. Pavimentos de concreto de cimento Portland

Com o objetivo de analisar as condições de suporte das placas de concreto de cimento Portland e do subleito dos pavimentos em questão, foi realizada uma retroanálise dos módulos de resiliência pertencentes a cada uma das camadas do pavimento e do subleito. Foram utilizadas as leituras defletoométricas fornecidas pelo ensaio do FWD realizado no centro das placas. Dessa forma, foi possível diagnosticar, do ponto de vista da deformabilidade, o comportamento das camadas do sistema pavimento-subleito.

Os módulos estimados representam a resposta elástica do pavimento e do subleito ao carregamento aplicado, o qual mobiliza deslocamentos “reversíveis” ou elásticos na superfície. A deflexão total da estrutura é o somatório da contribuição individual de cada material que constitui o sistema pavimento-subleito.

Portanto, a retroanálise dos módulos de resiliência é profícua para a avaliação estrutural, uma vez que fornece as propriedades mecânicas das camadas da estrutura nas condições “in situ”, onde esses parâmetros são utilizados como dados de análise na manutenção e/ou restauração

das características aceitáveis do pavimento para o seu melhor desempenho ao longo de sua vida útil.

Os módulos foram retroanalizados aplicando o Método de “Soluções Fechadas” da AASHTO (1993) que permite obter parâmetros para avaliar as características estruturais das placas de concreto e também mediante a utilização do BAKFAA 2.0 da *Federal Aviation Administration* - FAA. O BAKFAA calcula os deslocamentos (deflexões) e os compara com as deflexões medidas, admitindo que as discrepâncias atendam a um RMS (*Root Mean Square*, valor quadrático médio, que corresponde à raiz quadrada das somas dos quadrados das diferenças entre as deformadas calculadas e medidas) pré-estabelecido dentro da tolerância de interações também informada pelo usuário. Os valores aceitos para o RMS e as interações são respectivamente 1% até no máximo 10%. O programa gera um arquivo de saída do tipo “out”, no qual constam informações referentes às características da via em estudo. Através dos módulos obtidos, pode-se calcular as tensões cisalhantes máximas em qualquer ponto e profundidade da estrutura do pavimento.

As medidas de deflexões realizadas no centro das placas de concreto permitem a avaliação do seu suporte e do subleito e também a verificação de presença de vazios sob as placas de concreto.

a.1 Retroanálise a partir do Método da AASHTO (1993)

O método da AASHTO (1993) permite a obtenção dos parâmetros A , l , k , E_{SL} e E_{CCP} , que subsidiam na análise estrutural das placas de concreto, os quais são descritos a seguir.

- parâmetro AREA (A)
- raio de rigidez relativa da fundação modelada como líquido denso (l);
- módulo de reação do subleito (k)
- módulo elástico do subleito (E_{SL});
- módulo elástico do concreto (E_{CCP});
- presença de vazios sob as placas (PVP).

i) Determinação do Parâmetro AREA (A)

O parâmetro AREA, desenvolvido por Hoffman e Thompson (1981), é determinado em função da localização dos sensores do deflectômetro e das suas respectivas leituras, sendo adotado no manual da AASHTO (1993) como forma de avaliar os pavimentos de concreto. O valor do módulo de reação do subleito e do módulo de elasticidade do concreto podem ser obtidos a partir de um ábaco em função do valor do parâmetro AREA e da deflexão no ponto de aplicação da carga (d_0) (Andrade, 2016; Ferri, 2013). Os valores de referência do parâmetro AREA para diferentes tipos de pavimentos constam na Tabela 28.

$$AREA = 6 \times \left[1 + 2 \times \left(\frac{d_{30}}{d_0} \right) + 2 \times \left(\frac{d_{60}}{d_0} \right) + \left(\frac{d_{90}}{d_0} \right) \right] \quad (2)$$

sendo:

d_0 = deflexão medida no centro da aplicação da carga;

d_{30} = deflexão medida a 30 cm do centro da aplicação da carga;

d_{60} = deflexão medida a 60 cm do centro da aplicação da carga;

d_{90} = deflexão medida a 90 cm do centro da aplicação da carga.

Pela construção da equação, as quatro deflexões (d_0 , d_{30} , d_{60} e d_{90}) deverão estar expressas em uma mesma unidade, qualquer que seja ela.

Tabela 28 - Valores de referência do parâmetro AREA.

PAVIMENTO	VALOR DO PARÂMETRO AREA	
	POLEGADA (in)	Mm
Pavimento rígido	24 - 33	610 – 840
Revestimento flexível espesso CBUQ ≥ 100 mm (4")	21 – 30	530 – 760
Revestimento flexível delgado CBUQ < 100 mm (4")	16 - 21	410 – 530
Tratamento superficial	15 – 17	380 – 430
Tratamento superficial “fraco”	12 - 15	300 – 380

Fonte: PAVEMENT INTERACTIVE (2021).

A partir da aplicação da Equação (2), os valores obtidos foram 29,3 in para a avenida Caxangá (no sentido leste), 31,3 in para a avenida Conde da Boa Vista (no sentido leste) e 30,1 in para a avenida Conde da Boa Vista (no sentido oeste). Os resultados do parâmetro AREA denotam características de pavimentos rígidos constituídos de placas de concreto de cimento Portland. Em destaque, para o maior valor de 31,3 in obtido para a avenida Conde da Boa Vista (no sentido leste ou subúrbio-cidade), o que, em uma análise particular, considerando apenas esse parâmetro, aponta uma melhor distribuição de cargas em relação aos demais corredores. No entanto, a avaliação estrutural deve ser realizada de uma forma

sistêmica, considerando diversos fatores envolvidos nas análises e alguns deles serão abordados nos itens subsequentes.

A planilha com o resumo dos resultados do parâmetro AREA, para cada uma das faixas exclusivas com pavimento em concreto de cimento Portland, é apresentada na Tabela 29.

Tabela 29 - Determinação do parâmetro AREA para as faixas exclusivas com pavimento em concreto de cimento Portland.

AVENIDA	SENTIDO	CARGA (kN)	BACIA DEFLECTOMÉTRICA CARACTERÍSTICA (μm)				AREA (in)
			d ₀	d ₃₀	d ₆₀	d ₉₀	
Caxangá	Leste	41	238,06	207,70	177,91	152,06	29,3
Conde da Boa Vista	Leste	41	159,57	148,13	130,75	114,55	31,3
Conde da Boa Vista	Oeste	41	170,40	155,65	130,91	110,45	30,1

Fonte: autoria própria.

ii) Determinação do raio de rigidez relativa da fundação modelada como líquido denso (l)

Segundo Balbo (2009), “quanto maior a rigidez da placa e menor o módulo de reação do subleito, maior será o raio de rigidez relativa da placa e, portanto, mais distante da carga encontrar-se-á o ponto de inflexão da deformada”. Assim, intui-se facilmente que, considerada uma placa que apresente determinado Módulo de Rigidez em Flexão, quanto mais deformável for o subleito sob ela, maior será o valor de l e mais distante da carga estará o ponto de inversão do momento fletor.

O raio de rigidez relativa pode ser estimado a partir do parâmetro AREA na Equação 3 para aferir o Módulo de Rigidez Relativa (l) da placa (Hall, 1991).

$$l = \left[\frac{\ln\left(\frac{36 - AREA}{1812,279133}\right)}{-2.55934} \right]^{4,387009} \quad (3)$$

sendo AREA em in e l em in.

Os resultados do parâmetro l estão apresentados na Tabela 30, sendo possível constatar que evidentemente o maior valor foi aquele relativo ao de maior AREA, já que, quando maior a área da bacia expressa em parâmetro AREA, maior será o l e, assim, mais distante da carga encontrar-se-á o ponto de inflexão da deformada, conforme pondera Balbo (2009).

Tabela 30 - Raio de rigidez relativa.

AVENIDA	CARGA (kN)	AREA (in)	l (in)
Av. Caxangá (sentido leste)	41	29,3	30,93
Av. Conde da Boa Vista (sentido leste)	41	31,3	40,50
Av. Conde da Boa Vista (sentido oeste)	41	30,1	34,11

Fonte: autoria própria.

iii) Determinação do Módulo de Reação do Subleito (k)

O Módulo de Reação do Subleito (k), em libras por polegada quadrada por polegada, foi estimado pela Equação 4, conforme Balbo (2009).

$$k = \frac{P}{8 \times d_0 \times l^2} \left\{ 1 + \left(\frac{1}{2\pi} \right) \left[\ln \left(\frac{a}{2 \times l} \right) - 0,67278436 \right] \times \left(\frac{a}{l} \right)^2 \right\} \quad (4)$$

sendo:

k = módulo de reação do subleito, em lb/in²/in;

P = carga aplicada no ensaio, em libras-força;

a = raio da placa do FWD, em in;

l = raio de rigidez relativa, em in.

Com a aplicação da Equação 4, foram obtidos os valores k elencados a seguir:

- Av. Caxangá (sentido leste) - k = 126,23 lb/in²/in;
- Av. Conde da Boa Vista (sentido leste) - k = 110,56 lb/in²/in;
- Av. Conde da Boa Vista (sentido oeste) - k = 145,37 lb/in²/in.

Um fato interessante é que, para a avenida Conde da Boa Vista (sentido leste), foram obtidos os maiores valores para AREA e l, porém para o k resultou no menor. Isso pode ser atribuído ao fato de que, nessa faixa (sentido subúrbio-cidade), a capacidade de reação da fundação do pavimento (subleito) apresenta menor capacidade em termos de resistência. Além disso, os parâmetros AREA e l estão mais relacionados com a rigidez da camada de revestimento, isto é, quanto mais rígida for a camada, maiores serão esses parâmetros.

Os baixos valores de k apontam para a presença de um subleito com baixa capacidade de suporte se esses valores são correlacionados com o índice de capacidade de suporte CBR por meio da Figura 83. Os materiais sob as placas de concreto são, essencialmente, granulares constituídos de material arenoso. No entanto, aponta Rocha Filho (1996) que esse coeficiente

de recalque é menor do que o que seria medido em uma prova de carga realizada diretamente sobre o sistema sub-base/subleito, uma vez que as dimensões da placa de concreto são bem maiores que as dimensões da placa de carga padrão ($\varnothing = 15''$). Obviamente, para uma maior precisão quanto aos valores de CBR, seriam necessárias a coleta e a realização de ensaios de laboratório. No entanto, a realização desses ensaios não fez parte do escopo da presente pesquisa.

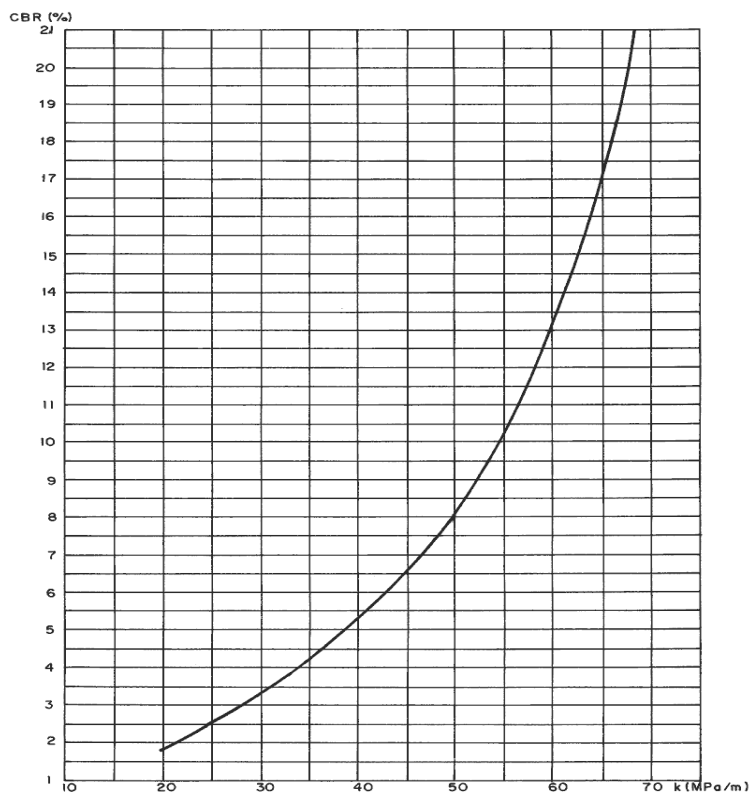
Assim, com base na correlação existente e amplamente conhecida no meio técnico e científico (ilustrada na já mencionada Figura 83) entre o CBR e o módulo de reação do subleito (k), ambos indicadores da capacidade de suporte do terreno de fundação, foram obtidos os valores apresentados a seguir.

Av. Caxangá (sentido leste) - CBR = 3,5%;

Av. Conde da Boa Vista (sentido leste) - CBR = 3,5%;

Av. Conde da Boa Vista (sentido oeste) - CBR = 5,0%.

Figura 83 - Relação entre o índice de suporte Califórnia (CBR) e o módulo de reação do subleito (k).



Fonte: Rodrigues e Cassaro (1998).

iv) Determinação do módulo elástico do subleito (E_{SL})

Segundo Rocha Filho e Rodrigues (1998), o módulo de reação do subleito equivalente ao que seria obtido por meio de um ensaio convencional (prova de carga sobre placa) pode ser estimado aplicando-se a correlação seguinte.

$$k_s = 6,04 \times \left(\frac{E_s}{1000} \right)^{0,865} \quad (5)$$

sendo:

k_s = módulo de reação do subleito, em kgf/cm²;

E_s = módulo de elasticidade do subleito, em kgf/cm².

Desse modo, realizando as devidas substituições na equação 5, são estimados os seguintes valores de módulo do subleito:

Av. Caxangá (sentido leste) – $E_s = 531,1$ kgf/cm²;

Av. Conde da Boa Vista (sentido leste) – $E_s = 455,6$ kgf/cm²;

Av. Conde da Boa Vista (sentido oeste) – $E_s = 625,3$ kgf/cm².

Observa-se que os valores de módulo do subleito obtidos foram significativamente baixos, indicando assim que o subleito é bastante resiliente. Assim, esse aspecto será melhor abordado no item de análise por meio de retroanálise dos módulos de resiliência.

v) Determinação do módulo elástico do concreto (E_{CCP}).

O valor teórico do Módulo de Elasticidade do Concreto (E_{CCP}) foi estimado pela Equação 6, que relaciona o coeficiente de Poisson (μ), o módulo de reação do subleito, o raio de rigidez (l) e a espessura da placa (h) (Crovetti, 1994 apud Balbo, 2009).

$$E_{CCP} = \frac{12 \times (1 - \mu^2) \times k \times l^4}{h^3} \quad (6)$$

sendo:

E_{CCP} = módulo de elasticidade do concreto, em lb/in²;

μ = coeficiente de Poisson;

k = módulo de reação do subleito, em lb/in²/in;

l = raio de rigidez relativa, em in.

Foram assim obtidos os valores do módulo de elasticidade do concreto indicados a seguir.

Av. Caxangá (sentido leste) - $E_{CCP} = 25.791,0$ MPa;

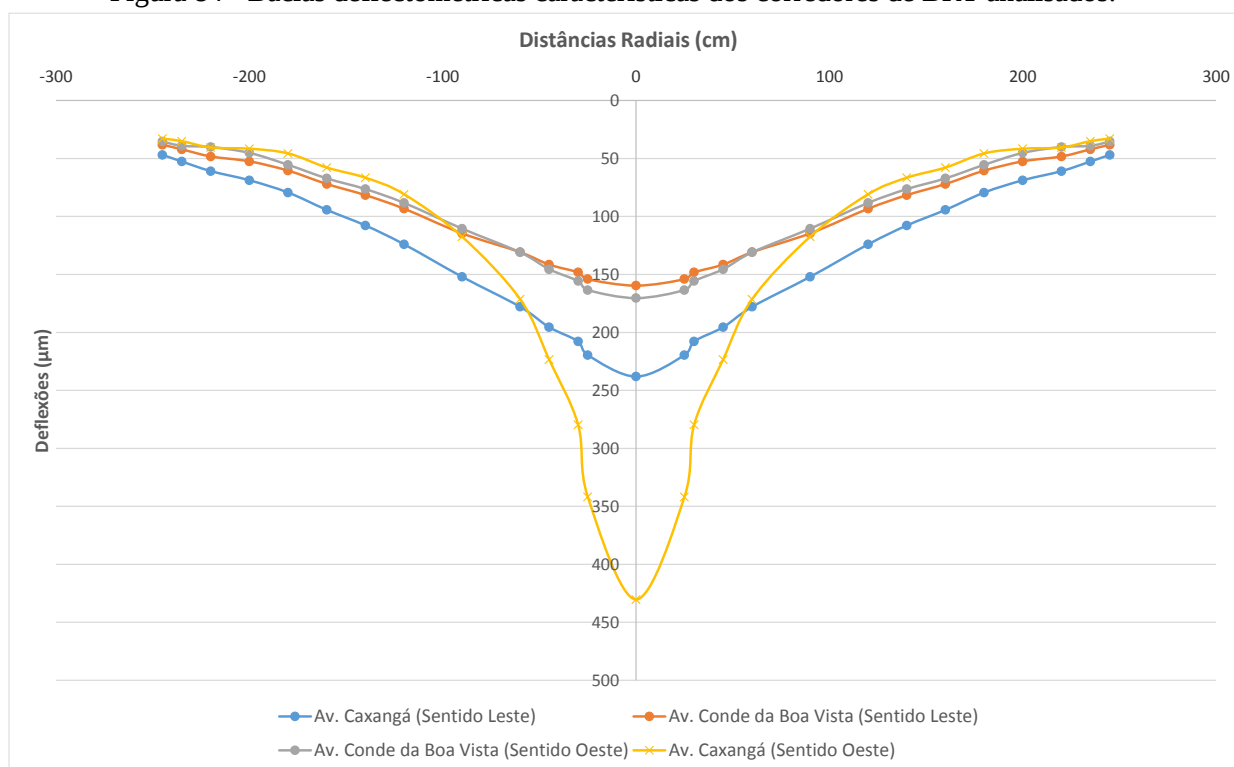
Av. Conde da Boa Vista (sentido leste) - $E_{CCP} = 48.398,1$ MPa;

Av. Conde da Boa Vista (sentido oeste) - $E_{CCP} = 32.033,9$ MPa.

Constata-se, dos valores do módulo de elasticidade estimados, que o menor valor foi aquele da avenida Caxangá (sentido leste) e o maior da avenida Conde da Boa Vista (sentido leste). O maior valor para a avenida Conde da Boa Vista (sentido leste) pode ser atribuído ao menor nível defletoométrico entre os corredores analisados.

Uma forma de ilustrar o menor nível defletoométrico da avenida Conde da Boa Vista em comparativo com a avenida Caxangá pode ser visualizada na Figura 84, denotando assim uma melhor distribuição do pavimento da avenida Conde da Boa Vista, em ambos os sentidos de tráfego. Com relação à avenida Caxangá (sentido oeste), com o revestimento em concreto asfáltico, observa-se caracteristicamente que a sua forma de distribuição de cargas ocorre de forma mais concentrada em comparação com as estruturas dos corredores com revestimento em placas de concreto.

Figura 84 - Bacias deflectométricas características dos corredores de BRT analisados.



Fonte: autoria própria.

O parâmetro AREA para a avenida Conde da Boa Vista (sentido leste) foi aproximadamente 7% maior que o da avenida Caxangá (sentido leste) e 4% maior que o da avenida Conde da Boa Vista (sentido oeste).

Já o módulo de elasticidade do concreto estimado, por sua vez, para a avenida Conde da Boa Vista (sentido leste) foi 87,6% maior que o da avenida Caxangá (sentido leste) e 51,1% maior que o da avenida Conde da Boa Vista (sentido oeste).

vi) Determinação da presença de vazios sob as placas (PVP)

As deficiências na fundação de um pavimento de concreto, decorrentes de execução deficiente, mau funcionamento, precária manutenção do material selante das juntas, da ação do tráfego e do meio ambiente, provocam defeitos no pavimento que, apesar de não comprometerem a integridade da estrutura, podem prejudicar a segurança do tráfego e, com o tempo, trazer a ruína do pavimento. Os defeitos mais comuns decorrentes da insuficiência da fundação são: bombeamento, assentamento, alçamento de placas, placa bailarina, desnível pavimento/acostamento, trinca de canto e quebra total (Macêdo, 1996). Tais defeitos têm sua

terminologia definida pela Norma DNIT 061/2004 - TER, intitulada “Pavimento rígido - Defeitos - Terminologia”.

Ainda aponta Macêdo (1996) que uma outra utilidade dos ensaios não destrutivos para a avaliação de pavimentos de concreto é a verificação da existência de vazios sob as juntas ou trincas. A partir de ensaio apropriado, pode-se estimar a dimensão dos vazios, informação considerada importante durante os trabalhos de selagem das placas em um programa de manutenção (sem reforço).

Sendo assim, a metodologia utilizada para este estudo é a descrita em Ricci et al. (1985), que possibilita serem utilizados os levantamentos efetuados no centro das placas para a detecção de vazios.

Mediante a análise do parâmetro Q, pode ser detectada a existência ou não de vazios sob a placa. Já o parâmetro M estaria relacionado ao tamanho dos vazios. Na pesquisa desenvolvida na Universidade do Texas, a análise dos resultados mostrou que valores de Q maiores que 18° estavam associados a vazios sob a placa. Já o parâmetro M, apesar de não indicar precisamente o tamanho do vazio, mostrou que, quanto menor seu valor, maiores seriam as dimensões dos vazios (Rocha Filho, 1996).

Segundo Rocha Filho (1996), o estudo desenvolvido por Ricci et al. (1985), na Universidade do Texas, pesquisou a inclinação da bacia de deflexões, concluindo que a forma da bacia pode ser utilizada na detecção da existência e na estimativa do tamanho dos vazios, por meio dos parâmetros Q e M calculados por meio das equações:

$$Q = \text{artg} \times \left[\frac{D_1 - D_7}{24} \right] \quad (7)$$

$$M = \text{artg} \times \left[\frac{6}{D_0 - D_1} \right] \quad (8)$$

sendo:

Q = ângulo formado entre a reta que liga D_1 a D_7 com a reta horizontal que intercepta D_7 ;

M = ângulo formado entre a reta que liga D_0 e D_1 com a reta vertical que intercepta D_1 ;

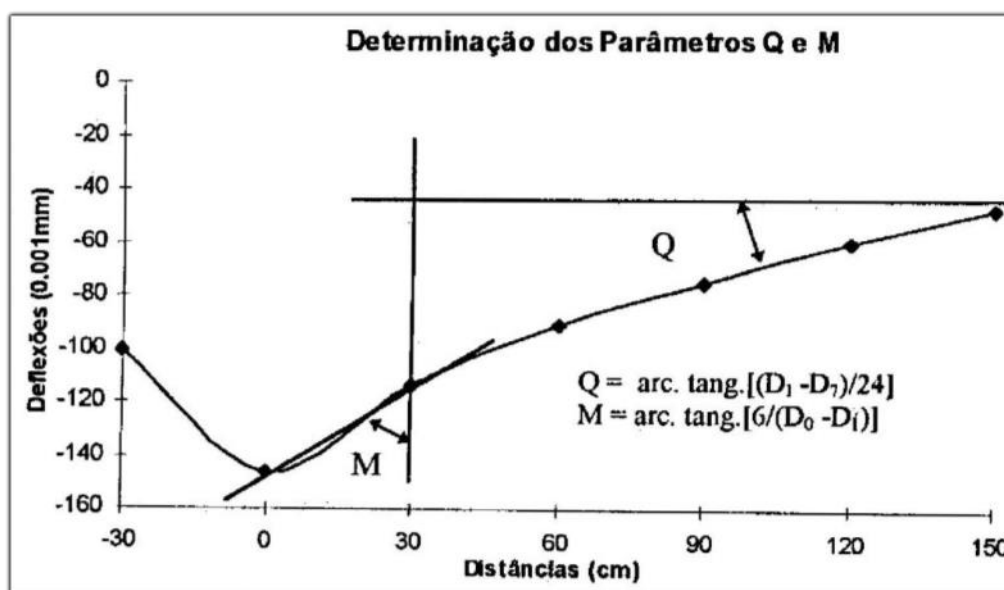
D_0 = deflexão máxima, em 10^{-3} in;

D_1 = deflexão do sensor 1 posicionado a 12" (30,48 cm) do centro do carregamento, em 10^{-3} in;

D_7 = deflexão do sensor 7 posicionado a 60" (152,4 cm) do centro do carregamento, em 10^{-3} in.

Para compatibilizar a ordem de grandeza dos ângulos, foi utilizado o fator de escala 6 para representar a distância horizontal entre D_0 e D_1 e 24 para representar a distância horizontal entre D_1 e D_7 . Na Figura 85, está esquematizada a obtenção dos parâmetros Q e M (Rocha Filho, 1996).

Figura 85 - Parâmetros obtidos da bacia de deflexão para a detecção de vazios.



Fonte: Rocha Filho (1996).

Foram considerados os sensores $D_0 = 0$, $D_1 = 30$ cm e $D_7 = 150$ cm, sendo que a distância da aplicação da carga de 150 cm foi obtida por interpolação entre as distâncias de 140 cm e 160 cm. Desse modo, foram consideradas as deflexões para o cálculo dos parâmetros Q e M . Na Tabela 31, constam os resultados dos parâmetros Q e M , em graus, sendo possível constatar que, em princípio, com base nessa metodologia, não há existência de vazios sob as placas de concreto, uma vez que, nas três pistas analisadas em pavimento de concreto, os valores de Q são inferiores a 18° .

Tabela 31 - Resultados de Q e M.

AVENIDA	DEFLEXÕES			Q (° C)	M (° C)
	D ₀	D ₁	D ₇		
	0 cm	30 cm	150 cm		
	(0,001 in)	(0,001 in)	(0,001 in)		
Avenida Caxangá (sentido leste)	94	82	40	9,9	78,7
Av. Conde da Boa Vista (sentido leste)	63	58	30	6,7	85,7
Av. Conde da Boa Vista (sentido oeste)	67	61	28	7,8	84,5

Fonte: autoria própria.

a.2 Retroanálise a partir do BAKFAA

Outra opção para a obtenção dos módulos das camadas do pavimento é com o auxílio de programas, a exemplo do BAKFAA, que foi desenvolvido pela *Federal Aviation Administration* - FAA e que, inicialmente, era utilizado para estudos de pistas de aeroportos, porém pode também ser utilizado em pavimentos rodoviários.

As deflexões teóricas para serem comparadas com aquelas medidas em campo são calculadas por sub-rotina utilizando o programa LEAF - FAA *layered elastic analysis*, juntamente com um algoritmo de minimização multidimensional (Vieira, 2020). Esta função minimizadora soma os quadrados das diferenças entre desvios de superfície de pavimentos, medidos com FWD (USDOT, 2011). Os parâmetros de entrada são as deflexões medidas em cada ponto de leitura, a intensidade da carga aplicada sobre o pavimento, bem como o raio de aplicação desse carregamento. Além disso, o processo de retroanálise só pode ser iniciado com a atribuição de valores iniciais de módulo de resiliência dos materiais, coeficientes de Poisson e respectivas espessuras de todas as camadas. O processo de minimização de erros também é o RMS, que é feito através da determinação dos valores das diferenças entre as deflexões medidas em campo com as deflexões calculadas pelo programa (FAA, 2017 apud VIEIRA, 2020).

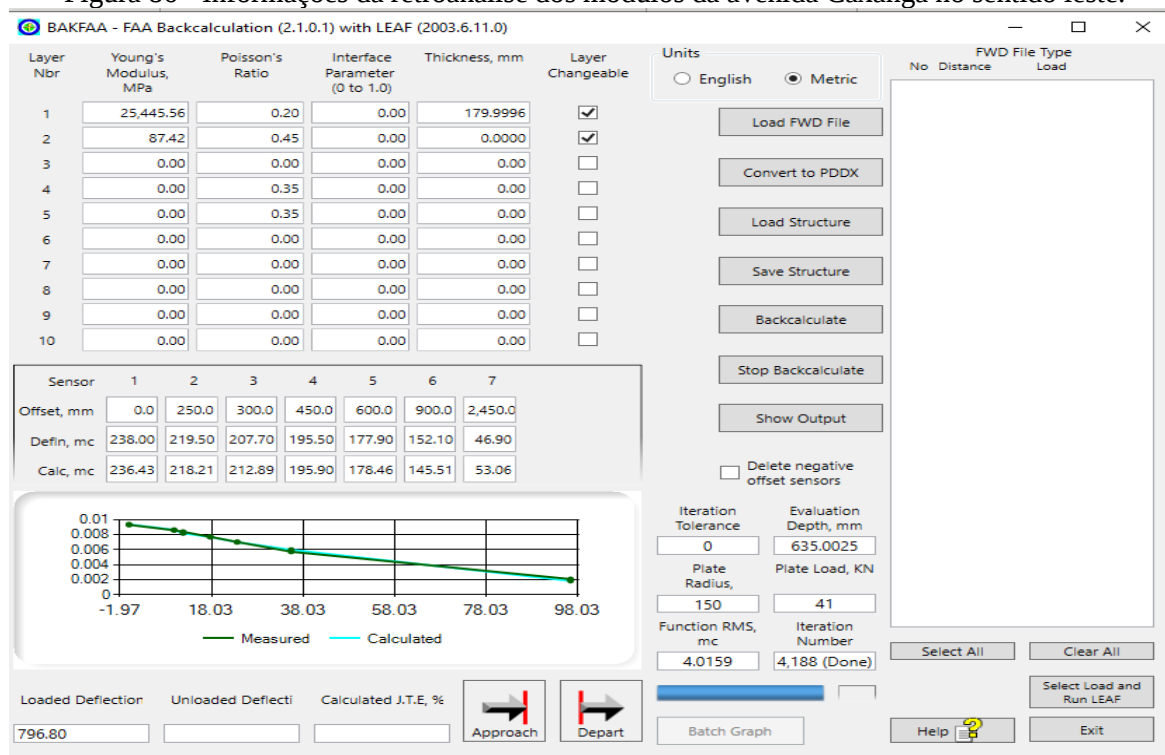
A utilização do BAKFAA para obtenção de módulos de estrutura de pavimento rígido é uma forma aproximada, considerando que a maioria dos programas de retroanálise inferem os módulos de resiliência dos materiais mediante aplicação da Teoria de Sistema das Camadas Elásticas - TSCE proposta por Burmister em 1945. Assim, algumas simplificações são consideradas conforme requer a TSCE. O pavimento constituído por placas de concreto de cimento Portland possui juntas longitudinais e transversais que o torna um elemento finito em termos de dimensões geométricas. Já na TSCE, as camadas são consideradas homogêneas e

infinitas. No entanto, o BAKFAA, conforme pesquisa realizada por Ellis (2008), obteve resultados aproximados de módulo em comparação com os obtidos em laboratório.

i) Retroanálise dos módulos da avenida Caxangá (sentido leste)

Na Figura 86, constam os resultados da retroanálise do pavimento da avenida Caxangá no sentido leste, ou seja, no sentido subúrbio-cidade, constituído de revestimento e base em placas de concreto de cimento Portland. O ajuste obtido foi bastante satisfatório, menor que 5%, denotando assim uma boa inferência dos módulos das camadas, que neste caso foi considerada apenas a placa apoiada diretamente no subleito. O módulo da placa de concreto foi de 25.445,6 MPa e do subleito 87,4 MPa, com $RMS = 4,0\%$. Para o E_{CCP} o valor está bem abaixo daquele típico de concreto, conforme Balbo (2009), que é de 35.000 MPa. Observa-se, também, que o valor foi muito próximo daquele obtido pelo método da AASHTO (1993), que resultou em 25.791,0 MPa, ou seja, apenas 1,3% menor.

Figura 86 - Informações da retroanálise dos módulos da avenida Caxangá no sentido leste.



Com relação ao subleito, o módulo foi expressivamente baixo, o que pode ser atribuído ao fato dos materiais do subleito serem essencialmente arenosos. Como se sabe, os materiais arenosos são significativamente dependentes da pressão confinante. Assim, quanto maior o confinamento da camada, maior será o seu módulo de resiliência.

Para o caso em questão, como a placa de concreto absorve a maior parcela das cargas, então o subleito é pouco mobilizado e com isso responde com o módulo baixo. Para melhor ilustrar esse comportamento dos materiais em função da tensão de confinamento, na Figura 87, adiante apresentada, consta o gráfico de um modelo composto do módulo de resiliência de camada de BGS. Igualmente, esse comportamento é verificado nas diversas opções de camadas granulares, sejam elas solo-brita, solo-areia, estabilizadas granulometricamente, macadame etc. Posto isso, constata-se, graficamente, que a dependência dos materiais granulares é significativamente relacionada com a pressão de confinamento e uma menor dependência da tensão desvio. Por este motivo, os módulos do subleito obtidos por retroanálise foram baixos.

A partir do módulo retroanalizado do concreto, foram estimadas a resistência à compressão simples e à tração na flexão, utilizando as equações contidas na NBR 6118 (2014) e apresentadas a seguir.

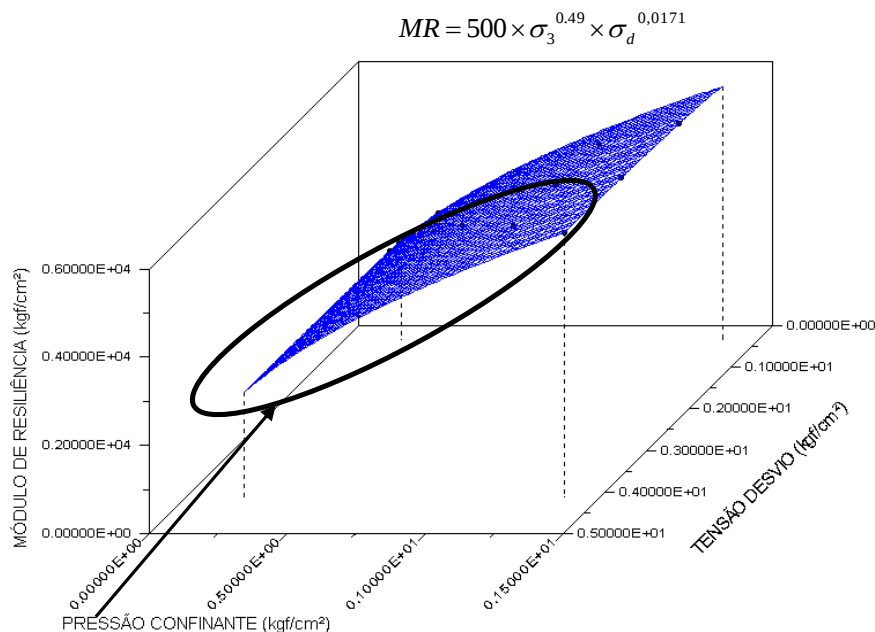
$$f_{ct,m} = 0,3 \times f_{ck}^{\frac{2}{3}} \qquad E_C = 5600 \times f_{ck}^{\frac{1}{2}}$$

Sendo assim, para $E_{CCP} = 25.445,6$ MPa, tem-se:

- $f_{ck} = 21,2$ MPa;
- $f_{ct,m} = 2,3$ MPa.

Os valores da resistência à compressão simples e à tração na flexão estão inferiores aos requeridos no dimensionamento de placas de concreto simples pelo método da *Portland Cement Association* - PCA/84, que são de 30 MPa e 4,5 MPa, respectivamente.

Figura 87 - Gráfico do modelo composto de resiliência de camada de Brita Graduada Simples - BGS.

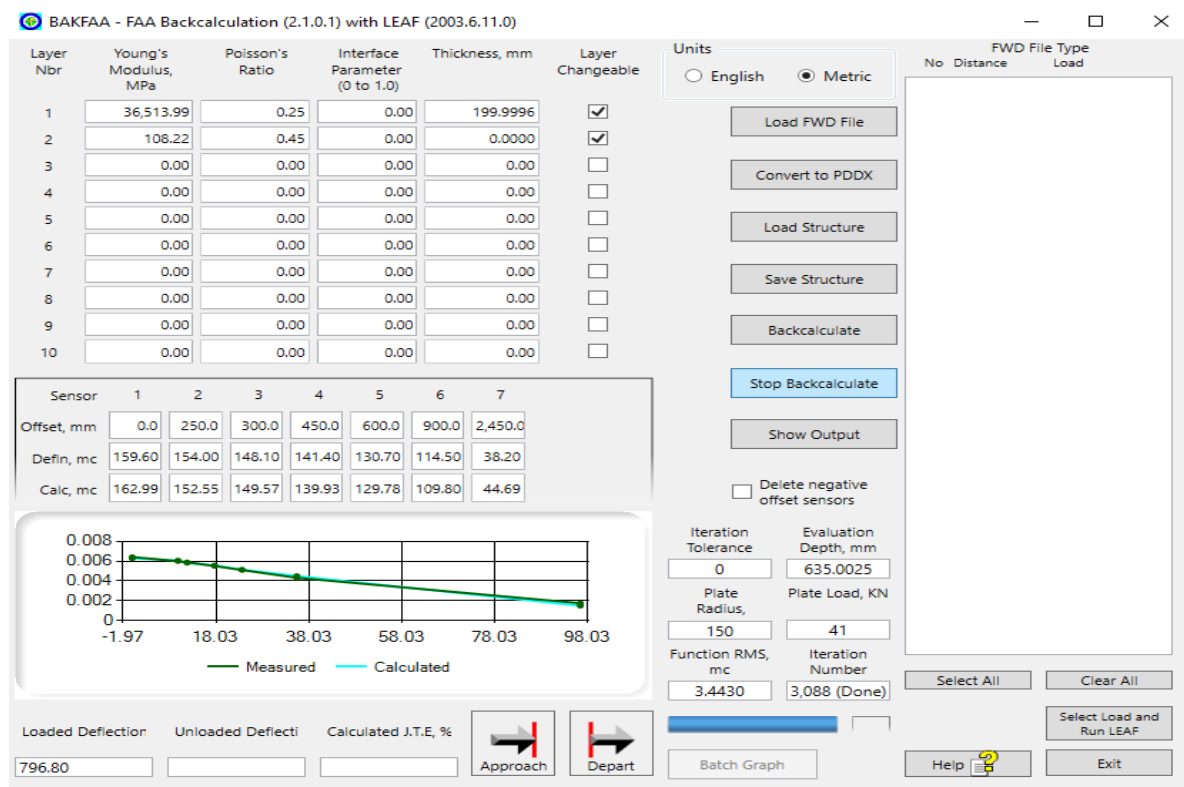


Fonte: Cavalcante (2005).

ii) Retroanálise dos módulos da avenida Conde da Boa Vista (sentido leste)

Na Figura 88, constam os resultados da retroanálise do pavimento da avenida Conde da Boa Vista no sentido leste, ou seja, subúrbio-cidade, constituído de revestimento e base em placas de concreto de cimento Portland. O ajuste obtido foi bastante satisfatório, menor que 5,0%, denotando assim uma boa inferência dos módulos das camadas, que neste caso foi considerada apenas a placa apoiada diretamente sobre o subleito. O módulo da placa de concreto foi de 36.514 MPa e do subleito 108,2 MPa, com RMS = 3,4%. Para o E_{CCP} , o valor obtido está coerente com o valor encontrado na literatura para concreto, conforme Balbo (2009), que é de 35.000 MPa, porém 24,6% menor que o encontrado por meio da metodologia AASHTO (1993), que foi de 48.398 MPa. Já a camada de subleito com $MR = 108,2$ MPa apresentou módulo 19% superior ao da avenida Caxangá, sentido leste.

Figura 88 - Informações da retroanálise dos módulos da avenida Conde da Boa Vista, sentido leste.



A partir dos módulos retroanalizados do concreto, foram estimadas a resistência à compressão simples e à tração na flexão, utilizando as equações contidas na NBR 6118 e apresentadas a seguir.

$$f_{ct,m} = 0,3 \times f_{ck}^{\frac{2}{3}} \quad E_C = 5600 \times f_{ck}^{\frac{1}{2}}$$

Sendo assim, para $E_{CCP} = 36.514$ MPa, têm-se:

- $f_{ck} = 42,5$ MPa;
- $f_{ct,m} = 3,7$ MPa.

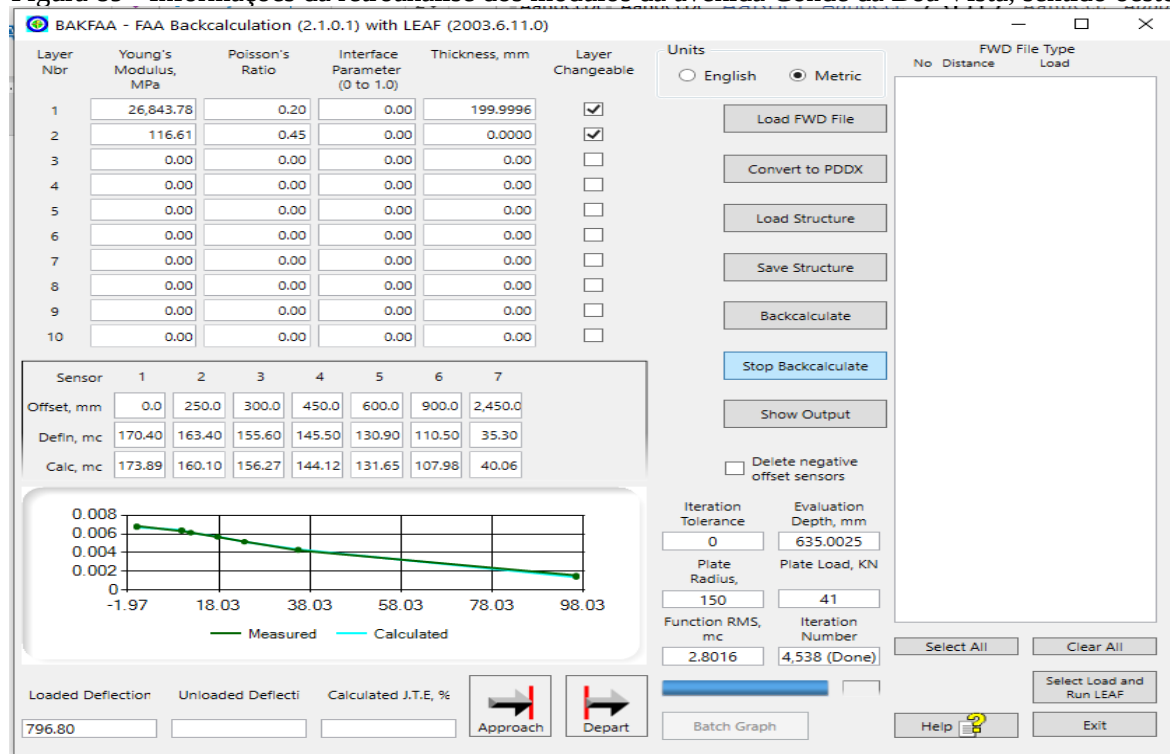
O valor da resistência à compressão simples está 41,7% superior ao requerido pelo método da PCA/84 e a resistência à tração na flexão, 17,8% menor.

iii) Retroanálise dos módulos da avenida Conde da Boa Vista (sentido oeste)

Na Figura 89, constam os resultados da retroanálise do pavimento da avenida Conde da Boa Vista no sentido oeste, ou seja, cidade-subúrbio, constituído de revestimento e base em placas

de concreto de cimento Portland. O ajuste obtido foi bastante satisfatório, menor que 5,0%, denotando assim uma boa inferência dos módulos das camadas, que neste caso foi considerada apenas a placa apoiada diretamente sobre o subleito. O módulo da placa de concreto foi de 26.843 MPa e do subleito 116,6 MPa, com RMS = 2,8%. Para o E_{CCP} , o valor obtido está inferior ao encontrado na literatura para concreto, conforme Balbo (2009), que é de 35.000 MPa, porém 16,2% menor que o encontrado por meio da metodologia AASHTO (1993), que foi de 32.033,9 MPa. Já o subleito com $MR = 116,6$ MPa apresentou módulo 33,4% superior ao da avenida Caxangá, sentido leste.

Figura 89 - Informações da retroanálise dos módulos da avenida Conde da Boa Vista, sentido oeste.



A partir dos módulos retroanalizados do concreto, foram estimadas a resistência à compressão simples e à tração na flexão, utilizando as equações contidas na NBR 6118 e apresentadas a seguir.

$$f_{ct,m} = 0,3 \times f_{ck}^{\frac{2}{3}} \quad E_C = 5600 \times f_{ck}^{\frac{1}{2}}$$

Sendo assim, para $E_{CCP} = 26.843,8$ MPa, tem-se:

- $f_{ck} = 23,0$ MPa;

- $f_{ct,m} = 2,4 \text{ MPa}$.

O valor da resistência à compressão simples está 23,3% menor que o requerido pela PCA/84 e a resistência à tração na flexão, 46,7% menor.

b. Pavimento com revestimento asfáltico (CBUQ)

b.1 Retroanálise a partir do programa BackMeDiNa

i) Retroanálise dos módulos da avenida Caxangá (sentido oeste)

Para a faixa do BRT da avenida Caxangá em pavimento com revestimento em concreto asfáltico, a retroanálise foi realizada considerando três camadas e não quatro, conforme já ilustrado na Figura 82. Como as camadas de base e sub-base, obtidas no poço de sondagem realizado, são granulares e a camada de macadame é de apenas 10 cm, para um melhor ajuste no processo de retroanálise foram consideradas as camadas de base e sub-base como camadas únicas granulares com espessura de 32 cm, que é a soma das espessuras dessas camadas.

Para a retroanálise dos módulos da estrutura em revestimento de concreto asfáltico, optou-se por utilizar o programa BackMeDiNa para, em seguida, avaliar a opção de reforço com a aplicação do programa de dimensionamento de pavimentos novos e reforço MeDiNa.

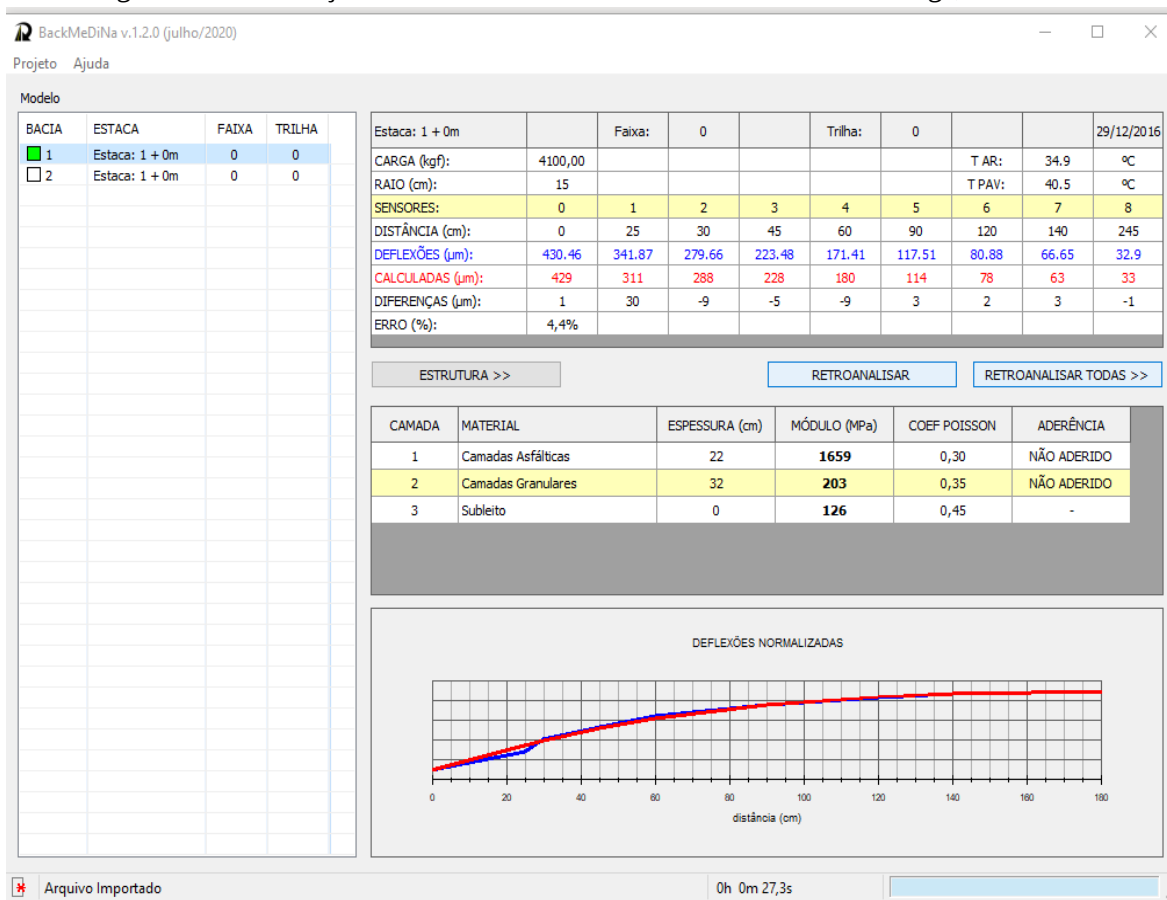
O DNIT, por meio de pesquisa desenvolvida em conjunto do IPR com a COPPE/RJ, está em fase de implementação do método de dimensionamento de pavimentos asfálticos denominado MeDiNa (Método de Dimensionamento Nacional), numa justa e coincidente homenagem ao professor Jacques de Medina (1925-2019), pioneiro da introdução da Mecânica dos Pavimentos no Brasil. O novo método é constituído por um conjunto de três programas computacionais: o MeDiNa, que permite o dimensionamento de pavimentos novos e reforço; o AEMC, que permite a análise de tensões, deformações e deslocamentos para diferentes tipos de eixo, realizando análise elástico linear e não-linear; e o programa BackMeDiNa, lançado em 2018 para a realização de retroanálise de bacias deflectométricas e que permite a obtenção dos módulos de resiliência das camadas do pavimento (Camarini et al., 2019).

Segundo DNIT (2020), as características do BackMeDiNa são descritas como sendo um programa de computador criado para auxiliar na retroanálise de bacias deflectométricas obtidas com o FWD, desenvolvido para uso como um componente nos programas MeDiNa e AEMC. O cálculo para se achar os Módulos de Resiliência é feito de forma iterativa, utilizando o módulo AEMC para a análise elástica linear, a partir da variação dos valores dos módulos em torno de um valor central, até se obter uma bacia teórica mais próxima da bacia de deflexões de campo medida pelo FWD. Para isso, o programa compara a raiz do valor quadrático médio das diferenças entre as medidas de deflexão de campo e as calculadas. As hipóteses fundamentais da solução computacional baseiam-se nas mesmas consideradas pelo AEMC na solução de problemas de elasticidade linear em sistemas de multicamadas e contínuos, quais sejam:

1. os materiais são elásticos lineares, isotrópicos e homogêneos;
2. a lei de Hooke é válida e o módulo de compressão é semelhante ao módulo de tração;
3. as camadas são ilimitadas na direção horizontal;
4. todas as camadas possuem uma espessura finita, à exceção da camada inferior que é considerada semi-infinita;
5. a superfície da camada superior não está sujeita a tensões fora da área carregada;
6. na área carregada ocorrem apenas tensões normais;
7. a carga aplicada é considerada estática, uniformemente distribuída em toda a área circular de contato;
8. a grandes profundidades, as tensões e deformações são nulas;
9. as condições de aderência na interface das camadas podem variar de totalmente aderida para lisa ou sem aderência.

Na Figura 90, constam os resultados dos módulos de resiliência obtidos a partir da bacia deflectométrica característica. Os valores do módulo de resiliência - MR obtidos estão coerentes com as características dos materiais ensaiados. Para o revestimento em concreto asfáltico, o módulo obtido foi de 1.659 MPa, quando os valores de concreto asfáltico situam-se entre 3.000 MPa a 5.000 MPa para a temperatura de referência do ensaio de 25 °C. No entanto, a temperatura da superfície e do ar no momento do ensaio foram 40,5 °C e 35,4 °C, respectivamente.

Figura 90 - Informações da retroanálise dos módulos da avenida Caxangá, sentido oeste.



Segundo Rocha Filho (1996), a temperatura afeta diretamente o comportamento do concreto asfáltico pela variação da viscosidade do ligante betuminoso. Sendo assim, faz-se importante a correção dos módulos de resiliência retroanalizados para a temperatura padrão de 25 °C.

Para a correção do módulo do concreto asfáltico devido ao efeito da temperatura, foi utilizada a Equação 9 experimental desenvolvida por Rodrigues (1991), que relaciona a temperatura pontual com a profundidade no revestimento:

$$T(x) = T_{\text{sup}} + (T_{\text{sup}} - T_{\text{ar}}) \cdot \left[1 - \exp^{(0,06855x - 0,002633x^2)} \right] \quad (9)$$

sendo:

$T(x)$ = a temperatura na profundidade x do revestimento, em °C;

T_{sup} = a temperatura da superfície do revestimento, em °C;

T_{ar} = a temperatura do ar, em °C;

x = a profundidade no revestimento onde se deseja conhecer a temperatura, em cm.

Aplica-se em seguida a Equação 10.

$$M_R = e^{0,051(T_C - T_R)M_C} \quad (10)$$

sendo:

M_R = o módulo de resiliência convertido para a temperatura padrão;

M_C = o módulo obtido em campo;

T_R = a temperatura de referência, 25 °C;

T_C = a temperatura de campo.

Considerando que a camada de concreto asfáltico possui 22 cm de espessura, então foi aplicada a Equação 9 para a determinação da temperatura no meio da camada, ou seja, com 11 cm, resultando em um módulo de resiliência corrigido $M_{Rc} = 3.258,2$ MPa, que está coerente com os valores encontrados na literatura relativos à retroanálise de pavimentos em concreto asfáltico.

Para as camadas granulares (base e sub-base) e subleito, os valores foram 203 MPa e 126 MPa, respectivamente. Os módulos das camadas granulares e do subleito estão condizentes com os valores encontrados na literatura, sendo menores que os valores médios encontrados por Cardoso (1995), que realizou pesquisa para a determinação de faixas de módulos obtidos por retroanálise a partir de levantamentos deflectométricos com a viga Benkelman e o FWD durante sete anos em diversas estruturas de pavimento, chegando às faixas sugeridas na Tabela 32.

Tabela 32 - Faixas de módulos sugeridas.

CAMADA	MÉDIA (MPa)	MÍNIMO (MPa)	MÁXIMO (MPa)
Revestimentos	2.900	1.130	5.820
Bases	270	100	730
Sub-bases	150	70	300
Reforço do subleito	120	30	300
Subleitos	150	80	270

Fonte: Cardoso (1995).

c. Retroanálise com o programa PRIMAX

Com a utilização do programa computacional PRIMAX e com base nas pesquisas de campo realizadas, foi realizada a retroanálise do pavimento das pistas das faixas exclusivas dos dois corredores analisados.

Os relatórios da retroanálise estão apresentados nos Apêndices 5 e 6 para a avenida Caxangá (respectivamente para os sentidos subúrbio-cidade e cidade-subúrbio) e nos Apêndices 7 e 8 para a avenida Conde da Boa Vista (respectivamente para os sentidos subúrbio-cidade e cidade-subúrbio).

No caso da avenida Caxangá, os resultados com relação à vida útil remanescente estão representados nas Tabelas 33 e 34, respectivamente para os sentidos subúrbio-cidade (pavimento de concreto de cimento Portland) e cidade-subúrbio (pavimento asfáltico).

Tabela 33 - Vida útil remanescente para o pavimento da pista exclusiva da avenida Caxangá, no sentido subúrbio-cidade (pavimento de concreto de cimento Portland).

SUBTRECHO		VIDA ÚTIL REMANESCENTE (ano)
Km INICIAL	km FINAL	
0	1,578	0,0
1,578	3,325	1,0
3,325	5,125	0,1
5,125	5,325	1,7
5,325	5,575	13,0
5,575	5,750	0,0

Tabela 34 - Vida útil remanescente para o pavimento da pista exclusiva da avenida Caxangá, no sentido cidade-subúrbio (pavimento asfáltico).

SUBTRECHO		VIDA ÚTIL REMANESCENTE (ano)
Km INICIAL	km FINAL	
0,45	2,525	0,0
2,525	4,525	0,0
4,525	5,050	0,0

Já no caso da avenida Conde da Boa Vista, os resultados com relação à vida útil remanescente estão representados nas Tabelas 35 e 36, respectivamente para os sentidos subúrbio-cidade (pavimento de concreto de cimento Portland) e cidade-subúrbio (pavimento asfáltico).

Tabela 35 - Vida útil remanescente para o pavimento da pista exclusiva da avenida Conde da Boa Vista, no sentido subúrbio-cidade (pavimento de concreto de cimento Portland).

SUBTRECHO		VIDA ÚTIL REMANESCENTE (ano)
Km INICIAL	km FINAL	
0	1,025	12,0
1,025	1,175	20,0
1,175	1,425	13,0
1,425	1,550	5,3

Tabela 36 - Vida útil remanescente para o pavimento da pista exclusiva da avenida Conde da Boa Vista, no sentido cidade-subúrbio (pavimento de concreto de cimento Portland).

SUBTRECHO		VIDA ÚTIL REMANESCENTE (ano)
Km INICIAL	km FINAL	
0	0,276	7,2
0,276	1,026	7,8
1,026	1,225	20,0
1,225	1,550	3,3

6.5.4 Verificação do pavimento de concreto existente pelo método da PCA/84

O presente item tem por objetivo verificar, por meio do Método da *Portland Cement Association* - PCA/84, se o pavimento existente suportaria as solicitações previstas dos eixos do BRT e dos ônibus convencionais, considerando os parâmetros obtidos no processo de retroanálise. Foi considerada a placa de concreto apoiada diretamente sobre o subleito. Assim sendo, foram adotadas as premissas apresentadas a seguir.

Fundação do pavimento

- Índice de suporte Califórnia - CBR:

Av. Caxangá, sentido leste - 5,0%;
 Av. Conde da Boa Vista, sentido leste - 5,0%;
 Av. Conde da Boa Vista, sentido oeste - 5,0%.

- Valor do coeficiente de recalque (k) (vide Tabela 37):

Av. Caxangá, sentido leste - 34 MPa/m;
 Av. Conde da Boa Vista, sentido leste - 34 MPa/m;
 Av. Conde da Boa Vista, sentido oeste - 34 MPa/m.

Tabela 37 - Correlação entre o CBR e o k.

VALOR DE SUPORTE DO SUBLEITO		COEFICIENTE DE RECALQUE NO TOPO DO SISTEMA (MPa/m), PARA ESPESSURAS DE SUB-BASE IGUAIS A			
CBR (%)	k (MPa/m)	10 cm	15 cm	20 cm	30 cm
2	16	19	22	27	33
3	24	27	31	37	45
4	30	34	38	44	54
5	34	38	42	49	59
6	38	42	46	53	65
7	41	45	50	56	69
8	44	48	53	60	72
9	47	52	56	63	76
10	49	54	58	65	79
11	51	56	60	67	81
12	53	58	62	69	84
13	54	59	63	70	85
14	56	61	65	72	87
15	57	62	66	73	88
16	59	64	68	75	91
17	60	65	69	76	92
18	61	66	70	77	93
19	62	67	71	78	94
20	63	68	72	79	96

Fonte: ABCP (1998).

- Resistência do concreto à tração na flexão ($f_{ctm,k}$)

Av. Caxangá, sentido leste - 2,3 MPa (vide fl. 164);
 Av. Conde da Boa Vista, sentido leste - 3,7 MPa (vide fl. 166);
 Av. Conde da Boa Vista, sentido oeste - 2,4 MPa (vide fl. 168).

- Período de projeto

Av. Caxangá, sentido leste - 20 anos;
 Av. Conde da Boa Vista, sentido leste - 20 anos;
 Av. Conde da Boa Vista, sentido oeste - 20 anos.

- Número de solicitações de eixos

Na Tabela 38, constam os números de repetições de carga por tipo de eixo dos ônibus do sistema BRT e dos ônibus convencionais para o período de projeto de 20 anos, para o trecho mais carregado da avenida Caxangá no sentido leste (vide memória de cálculo no Apêndice 10).

Tabela 38 - Frequência de repetições de carga (trecho mais carregado da avenida Caxangá).

CARGA POR EIXO (t)	CARGA POR EIXO (kN)	FREQUÊNCIA ABSOLUTA	TIPO DE VEÍCULO	TIPO DE EIXO
13,47	132,006	3.833.000	BRT	ESRD
9,43	92,414	435.864	BRT	ESRD
8,52	83,496	374.976	Conv.	ESRD
8,14	79,772	5.373.000	BRT	ESRS
7,76	76,048	3.833.000	Conv.	ESRD
7,43	72,814	806.728	BRT	ESRD
7,26	71,148	435.864	Conv.	ESRD
6,74	66,052	3.833.000	BRT	ESRD
5,70	55,860	773.766	BRT	ESRS
5,68	55,664	374.976	Conv.	ESRS
5,20	50,960	435.864	BRT	ESRD
5,18	50,764	374.976	Conv.	ESRS
4,84	47,432	5.373.000	Conv.	ESRS
4,07	39,886	806.728	BRT	ESRS
3,72	36,456	773.766	BRT	ESRD
SOMA		27.838.508		

Fonte: autoria própria.

Agrupando por intervalos de cargas por eixo, são obtidos os valores indicados na Tabela 39.

Tabela 39 - Frequência de repetições agrupada por intervalo de carga por eixo (trecho mais carregado da avenida Caxangá).

CARGA POR EIXO (t)	CARGA POR EIXO (kN)	FREQUÊNCIA ABSOLUTA
12 – 14	117,6 - 137,2	3.833.000
8 – 10	78,4 - 98,0	6.183.840
6 – 8	58,8 - 78,4	8.908.592
4 – 6	39,2 - 58,8	8.139.310
2 – 4	19,6 - 39,2	773.766
TOTAL		27.838.508

Fonte: autoria própria.

Na Tabela 40, constam os números de repetições de carga por tipo de eixo dos ônibus do

sistema BRT e dos ônibus convencionais para o período de projeto de 20 anos, para o trecho mais carregado da avenida Conde da Boa Vista (vide memória de cálculo no Apêndice 11).

Tabela 40 - Frequência de repetições de carga (trecho mais carregado da avenida Conde da Boa Vista).

CARGA POR EIXO (t)	CARGA POR EIXO (kN)	FREQUÊNCIA ABSOLUTA	TIPO DE VEÍCULO	TIPO DE EIXO
13,47	132,006	3.031.000	BRT	ESRD
9,43	92,414	477.568	BRT	ESRD
8,52	83,496	410.256	Conv.	ESRD
8,14	79,772	12.707.500	BRT	ESRS
7,76	76,048	3.031.000	Conv.	ESRD
7,43	72,814	1.824.472	BRT	ESRD
7,26	71,148	477.568	Conv.	ESRD
6,74	66,052	3.031.000	BRT	ESRD
5,70	55,860	1.587.348	BRT	ESRS
5,68	55,664	410.256	Conv.	ESRS
5,20	50,960	477.568	BRT	ESRD
5,18	50,764	410.256	Conv.	ESRS
4,84	47,432	12.707.500	Conv.	ESRS
4,07	39,886	1.824.472	BRT	ESRS
3,72	36,456	1.587.348	BRT	ESRD
SOMA		43.995.112		

Fonte: autoria própria.

Agrupando por intervalos de cargas por eixo, são obtidos os valores indicados na Tabela 41.

Tabela 41 - Frequência de repetições agrupada por intervalo de carga por eixo (trecho mais carregado da avenida Conde da Boa Vista).

CARGA POR EIXO (t)	CARGA POR EIXO (kN)	FREQUÊNCIA ABSOLUTA
12 – 14	117,6 - 137,2	3.031.000
8 – 10	78,4 - 98,0	13.595.324
6 – 8	58,8 - 78,4	8.364.040
4 – 6	39,2 - 58,8	17.417.400
2 – 4	19,6 - 39,2	1.587.348
TOTAL		43.995.112

Fonte: autoria própria.

Com base nas premissas supracitadas, foi alimentada a planilha contendo o método de dimensionamento de pavimento de concreto da PCA/84 (vide Tabelas 42 e 43). Os resultados indicaram que, ao considerar as condições existentes da estrutura, a partir de dados retroanalizados e do número de solicitações previstos por tipo de eixo para um período de 20 anos, a estrutura não atenderia ao método.

Para a avenida Caxangá, o consumo de fadiga foi de 90.737% e os danos por erosão alcançaram 6.013%. Para a avenida Conde da Boa Vista, o consumo de fadiga foi de 118.799% e os danos por erosão, 6.946%. Os valores são expressivamente superiores aos 100% permitidos pelo método. Considerando os objetivos da pesquisa e os resultados obtidos, infere-se ser irrelevante o período de projeto adotado. Qualquer que fosse ele, as conclusões seriam as mesmas, em função dos elevadíssimos consumos de fadiga e danos por erosão verificados. Ou seja, a vida útil dos pavimentos analisados não será longa. Eis a conclusão!

Observa-se que o número de solicitações por eixo dos corredores é muito significativo em função da grande quantidade de BRTs e ônibus convencionais que circulam e circularão em ambos os corredores. Ademais, os eixos simples são aqueles mais severos em termos de fadiga e os eixos tandem (que não existem no caso), os mais severos em termos de erosão. Portanto, os critérios de ruína do pavimento em termos de erosão e fadiga não foram atendidos, o que demonstra a insuficiência da estrutura do pavimento existente para suportar as novas solicitações de carga previstas.

Na Figura 91, constam algumas fotos de defeitos característicos localizados na pista da avenida Caxangá, no sentido leste, que corresponde ao pavimento de concreto de cimento Portland.

Figura 91 - Fotos de alguns dos defeitos característicos na avenida Caxangá, sentido leste.



6.5.5 Verificação do pavimento asfáltico existente pelo método MeDiNa

Para o corredor da avenida Caxangá, sentido oeste, constituído de revestimento em concreto asfáltico, foi realizada a verificação da estrutura com o auxílio do programa MeDiNa. Para isso, foi verificada qual a espessura de reforço necessária, considerando o concreto asfáltico convencional com CAP 50/70 e modificado por polímero com CAP 55/75-E, obtidos da pesquisa de Cavalcante (2016). As premissas consideradas na análise foram:

- Módulo de resiliência das camadas:

Revestimento (concreto asfáltico)	- $MR_{CA} = 3.258 \text{ MPa}$;
Base (granular)	- $MR_G = 203 \text{ MPa}$;
Subleito (arenoso)	- $MR_A = 126 \text{ MPa}$.

- Número de solicitações da carga do eixo padrão de 8,2 toneladas:

Av. Caxangá, sentido oeste - $N = 4,72 \times 10^7$ (vide memória de cálculo no Apêndice 9).

- Modelo de fadiga do concreto asfáltico:

Concreto asfáltico com CAP 50/70 - $N = 1 \times 10^{-23} \times (et)^{-7,090}$

Concreto asfáltico modificado por polímero com CAP 55/75-E - $N = 5 \times 10^{-12} \times (et)^{-3,395}$

Realizando a inserção dos dados no programa MeDiNa, chegou-se aos resultados constantes nas Figuras 92 e 93. Considerando uma fresagem de 8,0 cm e uma camada de reforço de 15 cm de concreto asfáltico com CAP 50/70, que é a espessura máxima permitida pelo programa, obteve-se 99,0% de área trincada. Porém, ao considerar o concreto asfáltico modificado por polímero com CAP 55/75-E e espessura de 8,0 cm, obteve-se 6,2% de área trincada, atendendo assim à máxima (área trincada) pelo método, que é de 30% ao final da vida útil do pavimento. Tal constatação pode ser atribuída ao fato da maior vida de fadiga do concreto asfáltico modificado, cujo modelo de fadiga, segundo o MeDiNa, foi classificado em 4, ou seja, o maior da classificação do método.

Figura 92 - Verificação da fadiga considerando o reforço em CBUQ com o CAP 50/70.

The screenshot displays the MeDiNa software interface with the following sections:

- ESTRUTURA / MODELAGEM / RESULTADOS** tabs at the top.
- RESPONSÁVEL:** FABIANO PEREIRA CAVALCANTE
- EMPRESA:** Nome da empresa projetista
- PROJETO:** Identificação da via, rodovia, trecho, km, estaca, etc
- MODO:** Projeto de Reforço
- Alterar Estrutura >>** button.
- Table of Materials:**

CAMADA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
>> 1 <<	CONCRETO ASFÁLTICO	CBUQ CAP 50-70	15	6801	0,30
2	CAMADA ASFÁLTICA EXISTENTE	Camada Asfáltica Superficial	14,0	3258	0,30
3	CAMADA EXISTENTE	Camada Granular	32,0	241	0,35
SL	SUBLEITO	Subleito	0,0	126	0,45
- Entre com os dados dos materiais** button.
- EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO** section:
 - DADOS DO TRÁFEGO**
 - Tipo de Via: Sistema Arterial Primário
 - VMD (1º ano): 7500
 - FV: 1.000
 - N anual (1º ano): 2.74e+06
 - % Veículos na faixa de projeto: 100
 - N Anual da faixa: 2.74e+06
 - Taxa de crescimento (%): 3,0
 - Período de projeto (anos): 10
 - N Total: 3.14e+07
- ANÁLISE DO REFORÇO DO PAVIMENTO** section:
 - Seção do pavimento analisada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.
 - Nível de confiabilidade da análise: 85%
 - Área Trincada Estimada do pavimento no fim do período: 99,0%
 - ALERTAS**
 - Tráfego elevado para a estrutura proposta.
 - ATENÇÃO:** A análise não considera a reflexão de trincas do pavimento existente!
 - Dados da estrutura existente para auxiliar o projetista:
 - Área Trincada: 50,0%
 - >> Considerar a adoção de medidas para evitar a reflexão de trincas
 - Condição de tráfego: REGULAR (IRI = 3,0 m/km)
 - Deflexão característica: $dc = 43,0$ (0,01mm)
- MODAL** section:
 - MODAL**
 - Modo de Tráfego: 1
 - Modo de Tráfego: 2
 - Modo de Tráfego: 3
 - Modo de Tráfego: 4
 - Modo de Tráfego: 5
 - Modo de Tráfego: 6
 - Modo de Tráfego: 7
 - Modo de Tráfego: 8
 - Modo de Tráfego: 9
 - Modo de Tráfego: 10
 - Modo de Tráfego: 11
 - Modo de Tráfego: 12
 - Modo de Tráfego: 13
 - Modo de Tráfego: 14
 - Modo de Tráfego: 15
 - Modo de Tráfego: 16
 - Modo de Tráfego: 17
 - Modo de Tráfego: 18
 - Modo de Tráfego: 19
 - Modo de Tráfego: 20
 - Modo de Tráfego: 21
 - Modo de Tráfego: 22
 - Modo de Tráfego: 23
 - Modo de Tráfego: 24
 - Modo de Tráfego: 25
 - Modo de Tráfego: 26
 - Modo de Tráfego: 27
 - Modo de Tráfego: 28
 - Modo de Tráfego: 29
 - Modo de Tráfego: 30
 - Modo de Tráfego: 31
 - Modo de Tráfego: 32
 - Modo de Tráfego: 33
 - Modo de Tráfego: 34
 - Modo de Tráfego: 35
 - Modo de Tráfego: 36
 - Modo de Tráfego: 37
 - Modo de Tráfego: 38
 - Modo de Tráfego: 39
 - Modo de Tráfego: 40
 - Modo de Tráfego: 41
 - Modo de Tráfego: 42
 - Modo de Tráfego: 43
 - Modo de Tráfego: 44
 - Modo de Tráfego: 45
 - Modo de Tráfego: 46
 - Modo de Tráfego: 47
 - Modo de Tráfego: 48
 - Modo de Tráfego: 49
 - Modo de Tráfego: 50
 - Modo de Tráfego: 51
 - Modo de Tráfego: 52
 - Modo de Tráfego: 53
 - Modo de Tráfego: 54
 - Modo de Tráfego: 55
 - Modo de Tráfego: 56
 - Modo de Tráfego: 57
 - Modo de Tráfego: 58
 - Modo de Tráfego: 59
 - Modo de Tráfego: 60
 - Modo de Tráfego: 61
 - Modo de Tráfego: 62
 - Modo de Tráfego: 63
 - Modo de Tráfego: 64
 - Modo de Tráfego: 65
 - Modo de Tráfego: 66
 - Modo de Tráfego: 67
 - Modo de Tráfego: 68
 - Modo de Tráfego: 69
 - Modo de Tráfego: 70
 - Modo de Tráfego: 71
 - Modo de Tráfego: 72
 - Modo de Tráfego: 73
 - Modo de Tráfego: 74
 - Modo de Tráfego: 75
 - Modo de Tráfego: 76
 - Modo de Tráfego: 77
 - Modo de Tráfego: 78
 - Modo de Tráfego: 79
 - Modo de Tráfego: 80
 - Modo de Tráfego: 81
 - Modo de Tráfego: 82
 - Modo de Tráfego: 83
 - Modo de Tráfego: 84
 - Modo de Tráfego: 85
 - Modo de Tráfego: 86
 - Modo de Tráfego: 87
 - Modo de Tráfego: 88
 - Modo de Tráfego: 89
 - Modo de Tráfego: 90
 - Modo de Tráfego: 91
 - Modo de Tráfego: 92
 - Modo de Tráfego: 93
 - Modo de Tráfego: 94
 - Modo de Tráfego: 95
 - Modo de Tráfego: 96
 - Modo de Tráfego: 97
 - Modo de Tráfego: 98
 - Modo de Tráfego: 99
 - Modo de Tráfego: 100

Figura 93 - Verificação da fadiga considerando o reforço em CBUQ com CAP modificado 55/75-E.

MeDiNa - v.1.1.5.0 - dezembro/2020

Projeto Editar Análise Ajuda

ESTRUTURA MODELAGEM RESULTADOS

RESPONSÁVEL: FABIANO PEREIRA CAVALCANTE EMPRESA: Nome da empresa projetista

PROJETO: Identificação da via, rodovia, trecho, km, estaca, etc. MODO: Projeto de Reforço

Alterar Estrutura >>

CAMADA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
>> 1 <<	CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO	CAP 55/75	8,0	4562	0,30
2	CAMADA ASFÁLTICA EXISTENTE	Camada Asfáltica Superficial	14,0	3258	0,30
3	CAMADA EXISTENTE	Camada Granular	32,0	241	0,35
SL	SUBLEITO	Subleito	0,0	126	0,45

EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO

DADOS DO TRÁFEGO

Tipo de Via: Sistema Arterial Primário

VMD (1º ano): 11290

FV: 1,000

N anual (1º ano): 4,12e+06

% Veículos na faixa de projeto: 100

N Anual da faixa: 4,12e+06

Taxa de crescimento (%): 3,0

Período de projeto (anos): 10

N Total: 4,72e+07

VMD (1º ano):
Volume Médio Diário no ano de abertura do tráfego

--- ANÁLISE DO REFORÇO DO PAVIMENTO ---
Seção do pavimento analisada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.

Nível de confiabilidade da análise: 85%
Área Trincada Estimada do pavimento no fim do período: 6,2%

ATENÇÃO:
A análise não considera a reflexão de trincas do pavimento existente!

Dados da estrutura existente para auxiliar o projetista:
- Área Trincada: 50,0%
>> Considerar a adoção de medidas para evitar a reflexão de trincas
- Condição de tráfego: REGULAR (IRI = 3,0 m/km)
- Deflexão característica: $dc = 43,0$ (0,01mm)

F:\ORIENTAÇÕES\Maurício Pina\CAXANGÁ-VOLTA-CAP 50-70.pvt MODO REFORÇO

Na Figura 94, constam algumas fotos dos defeitos típicos da faixa exclusiva do BRT na avenida Caxangá, caracterizados por fadiga e deformações plásticas da massa asfáltica em função da sua susceptibilidade a variações de temperatura. Quando a temperatura está mais baixa, em torno de 25 °C, a viscosidade do asfalto aumenta e a massa fica mais rígida e, nessa condição, mais susceptível ao trincamento por fadiga. Em contrapartida, quando a temperatura aumenta, por exemplo, acima de 50 °C na superfície do revestimento, a viscosidade do asfalto diminui e a massa fica menos rígida (mole), favorecendo assim as deformações plásticas causadas pelas cargas do tráfego. Por este motivo, os asfaltos modificados são os mais indicados para os locais com esforços canalizados de tráfego.

Figura 94 - Fotos de defeitos característicos na faixa exclusiva do BRT na avenida Caxangá.



Fotos tiradas em 15/01/2021.

6.5.6 Modelagem numérica do pavimento de concreto com o Programa EverFE 2.24

Para uma estimativa dos esforços causados pela carga mais pesada (vide Tabelas 38 e 40), a saber, o Eixo Simples de Rodas Duplas (ESRD) de 13,47 t ou aproximadamente 132,0 kN, sobre o pavimento de concreto, foi realizada modelagem numérica com o auxílio do programa EverFE 2.24. Para essa análise, foram consideradas algumas simplificações, como a inexistência de barras de transferência nas juntas transversais, apenas de uma placa de concreto e não foram considerados os efeitos de empenamento térmico devido ao gradiente de temperatura. Na verdade, a análise teve o desígnio de verificar o quanto de esforço o ESRD causa nas placas de concreto, em termos de tensão de tração, que seriam ainda mais severos no caso de se considerar também o gradiente de temperatura.

Segundo Seiffert (2016), o EverFE 2.24 é uma “ferramenta tridimensional em elementos finitos para a análise da resposta de pavimentos de concreto simples ao eixos veiculares e efeitos do ambiente” (Davids, 2003), desenvolvido em parceria pelas Universidades do Maine e de Washington.

Apresenta-se abaixo, em itens, informações pertinentes sobre a teoria empregada pelo *software* para desenvolver suas análises numéricas, de acordo com Davids (2003).

- O programa modela todo o sistema do pavimento como suportado verticalmente por um subleito que obedece ao modelo de Winkler. Portanto, o módulo de reação do subleito é constante em todos os pontos sob a placa;
- As placas são tratadas como elementos tridimensionais, linearmente elásticas e isotrópicas, como conceitua a Teoria Clássica das Placas Isótropas;
- A modelagem das barras de transferência (BT) é realizada de duas formas distintas. Na primeira, as barras são consideradas como elementos imersos nas placas. Na segunda, as barras são modeladas como vigas ensanduichadas entre dois sistemas de Winkler que, por sua vez, estão dentro da placa. Neste último caso, o “k” do sistema é denominado “*Dowel-Slab Support Modulus*”;
- O EverFE 2.24 admite que o intertravamento de agregados ocorre ao longo de toda a junta transversal e que o cisalhamento entre as faces é tido como proporcional ao movimento vertical relativo entre as placas, independentemente da abertura das juntas;
- Os eixos veiculares são representados como um conjunto de carregamentos retangulares com pressão constante ao longo de toda a área de contato.

As premissas consideradas na análise numérica estão apresentadas a seguir.

- Dimensões: largura (L) e comprimento (C) das placas:

Av. Caxangá, sentido leste - L = 3,6 m e C = 6,0 m;

Av. Conde da Boa Vista, sentidos leste e oeste - L = 3,6 m e C = 6,0 m.

- Tipo de eixo e magnitude da carga:

Foi considerada para os corredores em pavimento de concreto das avenidas Caxangá e Conde da Boa Vista a situação mais severa em termos de carga, que é o ESRD com 13,47 t ou 132,0 kN para a situação em que o BRT estiver na situação de lotação com 107 passageiros.

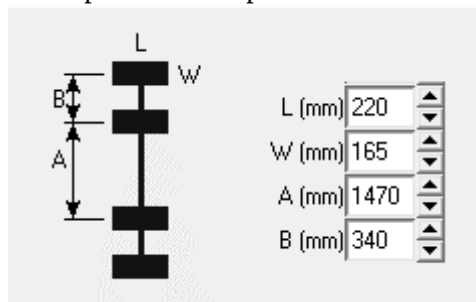
- Dimensões do eixo

As dimensões consideradas do ESRD do BRT (Figura 86) foram baseadas em Seiffer (2016), conforme Figura 96.

Figura 95 - Tipo do veículo BRT considerado na modelagem.



Figura 96 - Dimensões adotadas para o ESRD para a estimativa de tensões pelo EverFE 2.24.



Fonte: Adaptado de EverFE 2.24 e Seiffert, 2016).

- Módulo de elasticidade da placa de concreto

Av. Caxangá (sentido leste) - $E_{CCP} = 25.791,0 \text{ MPa}$;

Av. Conde da Boa Vista (sentido leste) - $E_{CCP} = 48.398,1 \text{ MPa}$;

Av. Conde da Boa Vista (sentido oeste) - $E_{CCP} = 32.033,9 \text{ MPa}$.

- Módulo de reação do subleito

O módulo de reação do subleito k foi transformado para a unidade aceita pelo EverFE, que é MPa/mm .

Av. Caxangá (sentido leste)	- k= 0,03426 MPa/mm;
Av. Conde da Boa Vista (sentido leste)	- k= 0,03946 MPa/mm;
Av. Conde da Boa Vista (sentido oeste)	- k= 0,03000 MPa/mm.

- Posicionamento da aplicação da carga:

Foram consideradas 3 situações de carregamentos na placa, sendo:

CASO I: carregamento no centro da placa de concreto;

CASO II: carregamento próximo à junta longitudinal da placa de concreto;

CASO III: carregamento próximo à junta transversal da placa de concreto.

De posse de todas as informações necessárias, o EverFE foi alimentado para a estimativa das tensões de tração sob as placas de concreto.

a. Estimativa das tensões nas placas da avenida Caxangá, sentido leste

Nas Figuras 97, 98 e 99, constam as estimativas das tensões de tração obtidas com o programa de elementos finitos EverFE. Na Tabela 44, são indicadas as equações utilizadas para a representação da curva de fadiga e na Equação 11 está o modelo proposto por Anguas (2004).

Tabela 44 - Equações para a representação da curva de fadiga.

Relação de Tensões (R_T)	Equação
Menor que 0,45	$N = \text{ilimitado}$
De 0,45 a 0,55	$N = [4,2577 / (R_T - 0,4325)]^{3,268}$
Maior de 0,55	$\text{Log}N = (0,9718 - R_T) / 0,0828$

Fonte: Seiffert, 2016.

$$\log(N) = 2,81 \times SR^{-1,22} \quad (11)$$

sendo:

SR= relação entre a tensão de tração atuante e a tensão de tração de ruptura na flexão.

O processamento do programa permitiu então conhecer as estimativas das tensões de tração para as três hipóteses de carregamento, conforme mostra a Tabela 45, que indica as tensões de tração obtidas (σ_t), os módulos de elasticidade retroanalizados das placas de concreto (E_{CCP}), as resistências características do concreto à tração na flexão (f_{ctm}), a relação de tensões RT (que expressa a relação entre σ_t e f_{ctm}) e a verificação do número de solicitações para o aparecimento do fenômeno da fadiga com a utilização do método da PCA (1984) e de Anguas (2004).

Tabela 45 - Estimativa das tensões de tração na avenida Caxangá, sentido leste.

AVENIDA	ESPESSURA DA PLACA (cm)	TENSÕES (MPa)		E_{CCP} (MPa)	f_{ctm} (MPa)	RT	VERIFICAÇÃO DO NÚMERO DE SOLICITAÇÕES	
							(PCA, 1984)	(ANGUAS, 2004)
Av. Caxangá sentido leste	18.0	CASO I	2.41	25,445.50	2.3	1.07	7.00E-02	3.94E+02
		CASO II	3.56	36,514.00	2.3	1.58	4.94E-08	4.09E+01
		CASO III	2.57	26,843.78	2.3	1.14	9.76E-03	2.51E+02

A simulação apontou elevadas tensões de tração para as três situações de carregamento, ensejando assim o não atendimento aos critérios de fadiga pelo método da PCA (1984) e por Anguas (2004). A maior tensão de tração corresponde ao CASO II, no qual a carga está localizada na junta longitudinal.

Figura 97 - Tensão máxima de tração para o carregamento no centro da placa.

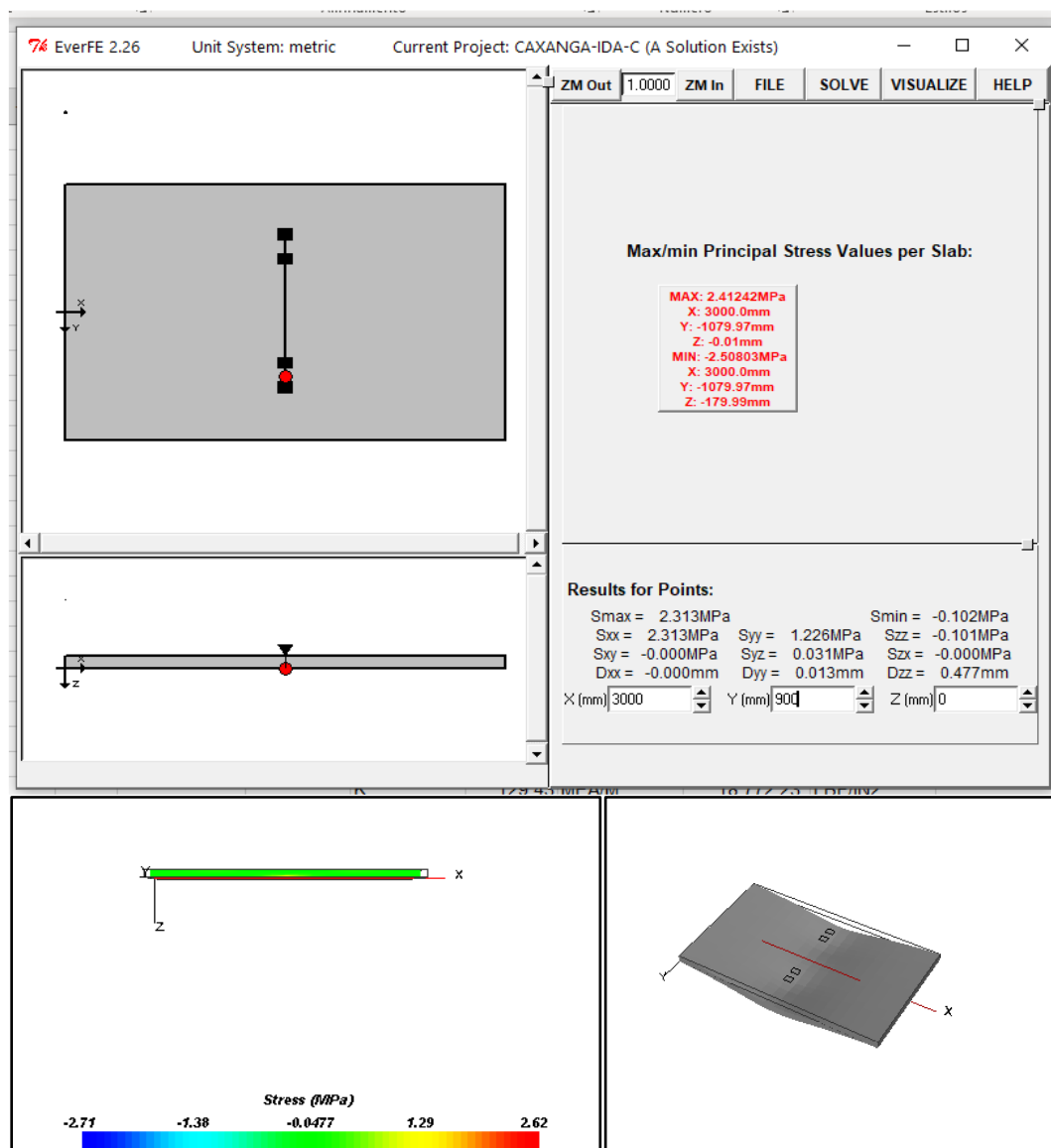


Figura 98 - Tensão máxima de tração na placa para o carregamento na junta longitudinal.

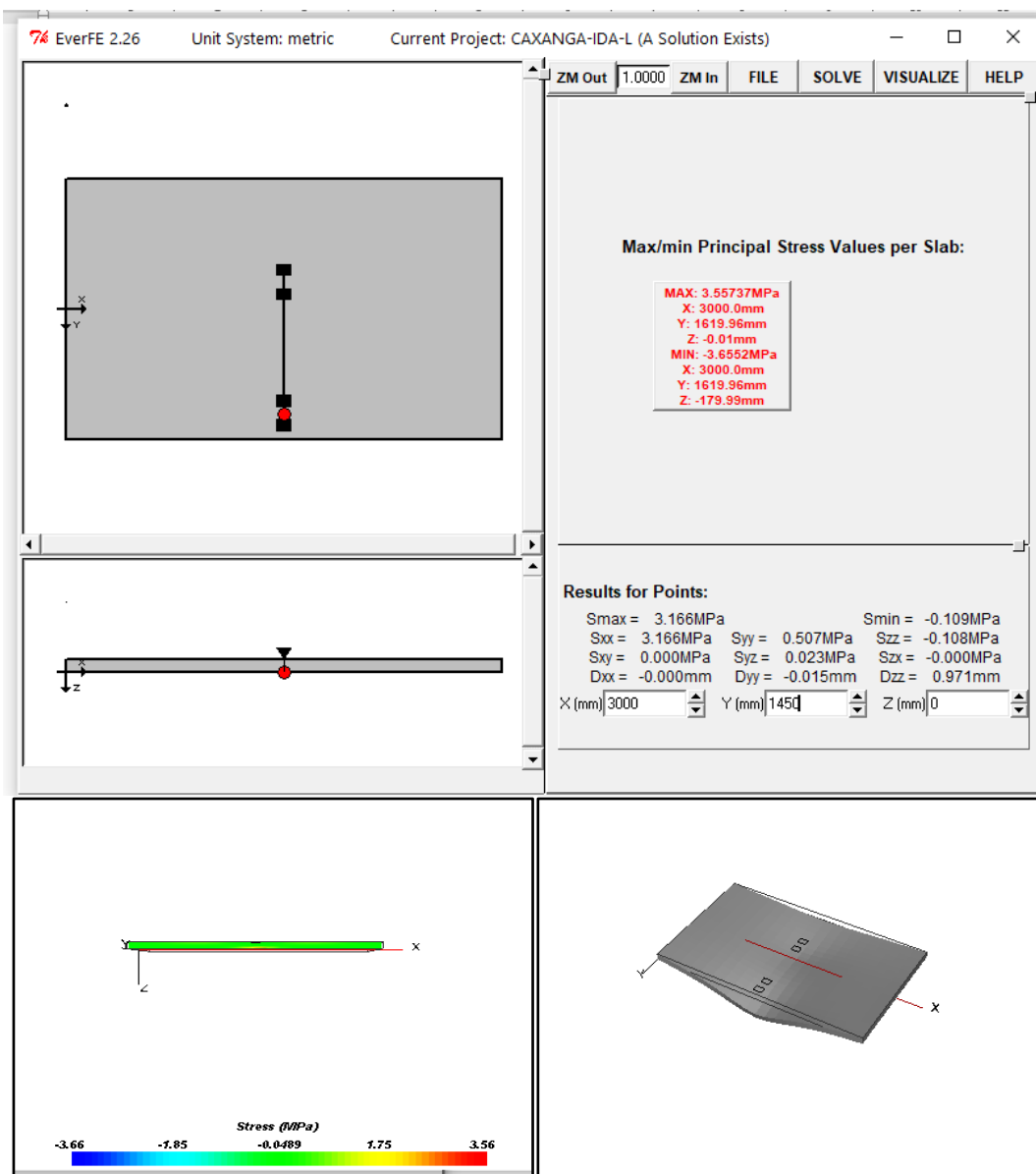
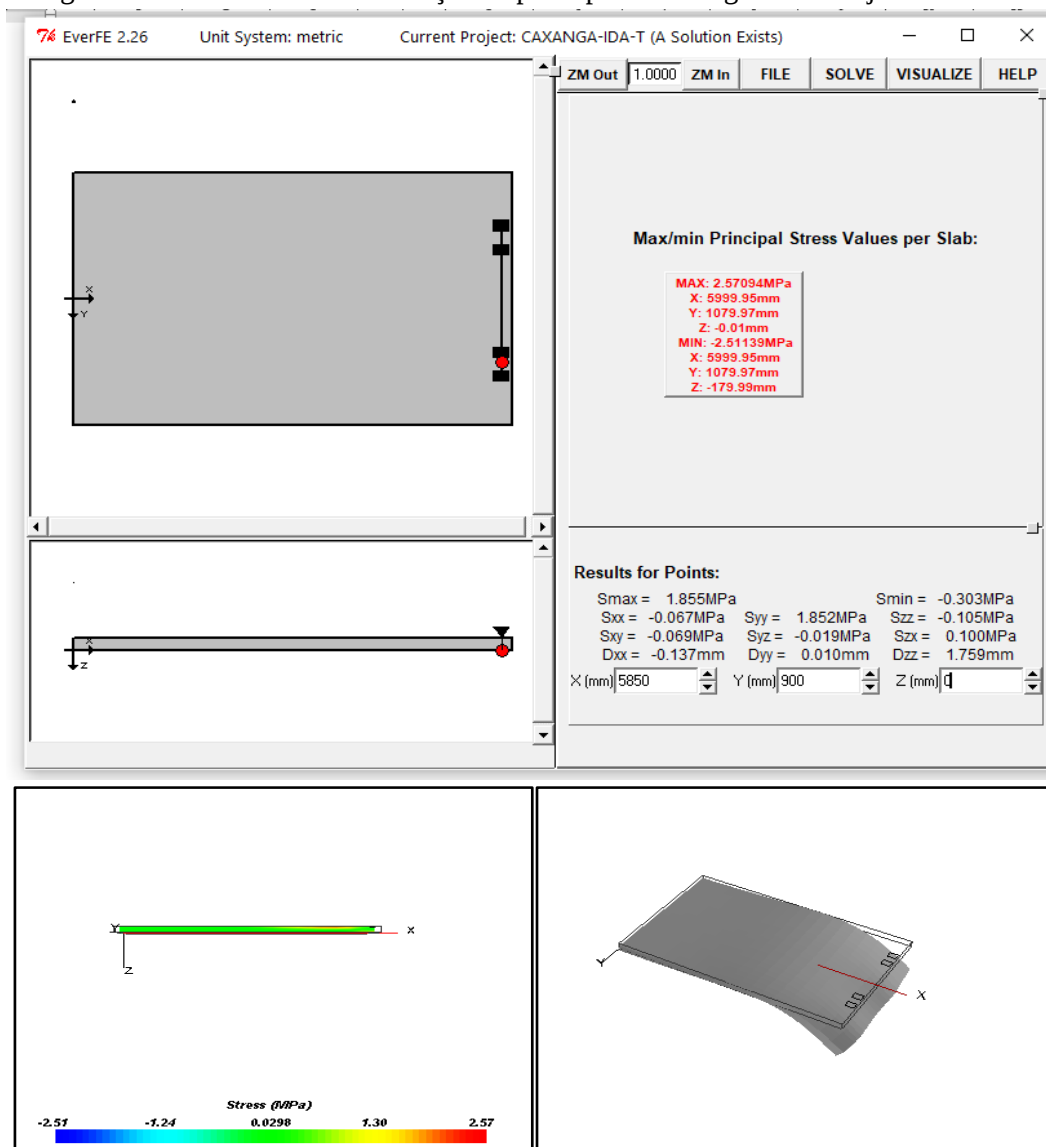


Figura 99 - Tensão máxima de tração na placa para o carregamento na junta transversal.



b. Estimativa das tensões nas placas da avenida Conde de Boa Vista, sentido leste

Procedendo de forma semelhante, foram obtidas as estimativas das tensões de tração na avenida Conde da Boa Vista, sentido leste, conforme mostra a Tabela 46.

Tabela 46 - Estimativa das tensões de tração na avenida Conde da Boa Vista, sentido leste.

AVENIDA	ESPESSURA DA PLACA (cm)	TENSÕES (MPa)		E_{CCP} (MPa)	f_{ctm} (MPa)	RT	VERIFICAÇÃO DO NÚMERO DE SOLICITAÇÕES	
							(PCA, 1984)	(ANGUAS. 2004)
AV. Conde da Boa Vista sentido leste	18.0	CASO I	2.41	25,445.50	3.7	0.66	5.92E+03	4.67E+04
	20.0	CASO II	3.56	36,514.00	3.7	0.97	9.36E-01	7.96E+02
	20.0	CASO III	2.57	26,843.78	3.7	0.70	1.75E+03	2.08E+04

A simulação apontou elevadas tensões de tração para as três situações de carregamento, ensejando assim o não atendimento aos critérios de fadiga pelo método da PCA (1984) e por Anguas (2004). A maior tensão de tração corresponde ao CASO II, no qual a carga está localizada na junta longitudinal.

Nas Figuras 100, 101 e 102, constam as estimativas das tensões de tração obtidas com o programa de elementos finitos EverFE para a carga mais pesada, considerando respectivamente as três hipóteses de carregamento na avenida Conde da Boa Vista, sentido leste.

Figura 100 - Tensão máxima de tração para o carregamento no centro da placa.

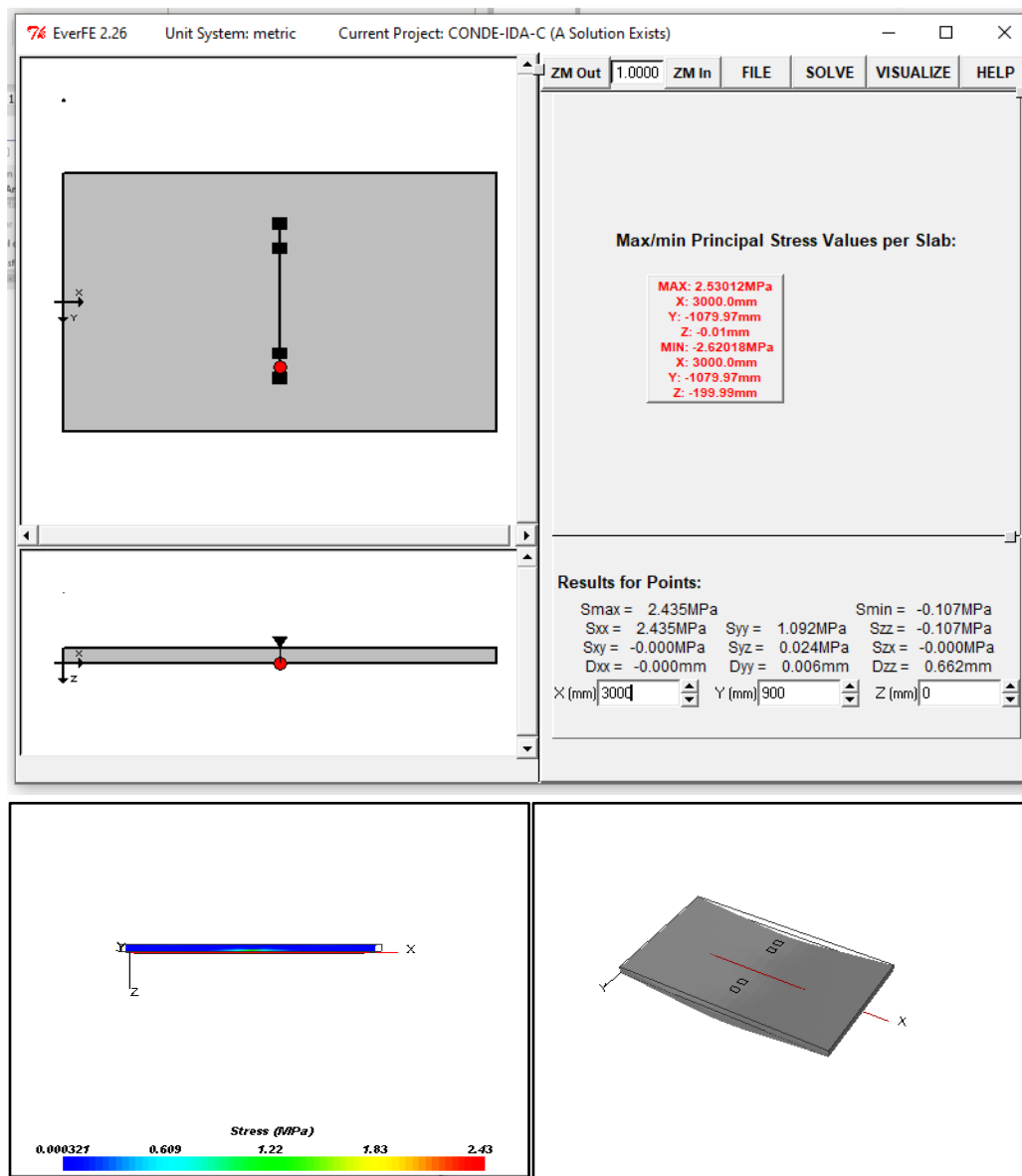


Figura 101 - Tensão máxima de tração na placa para o carregamento na junta longitudinal.

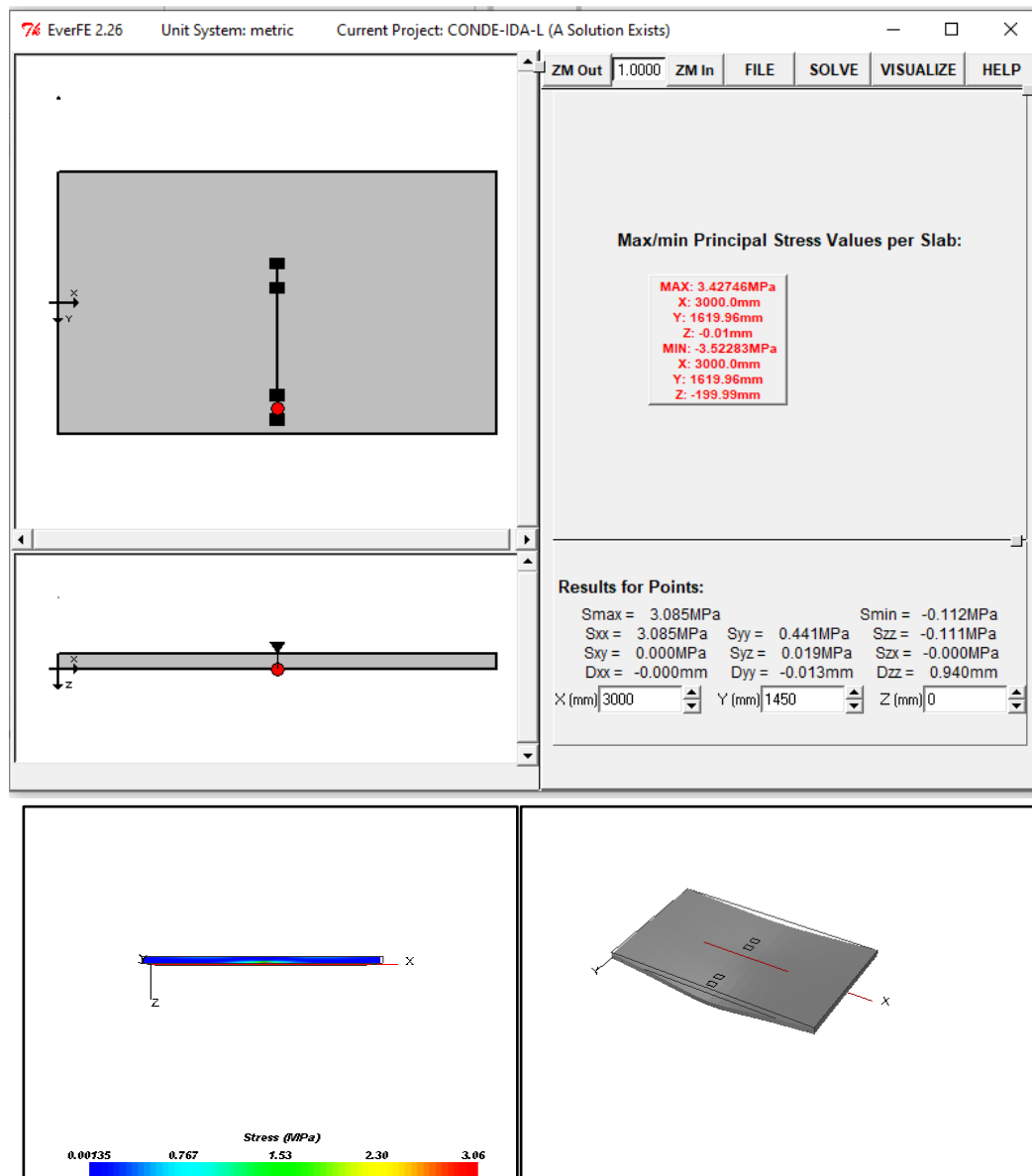
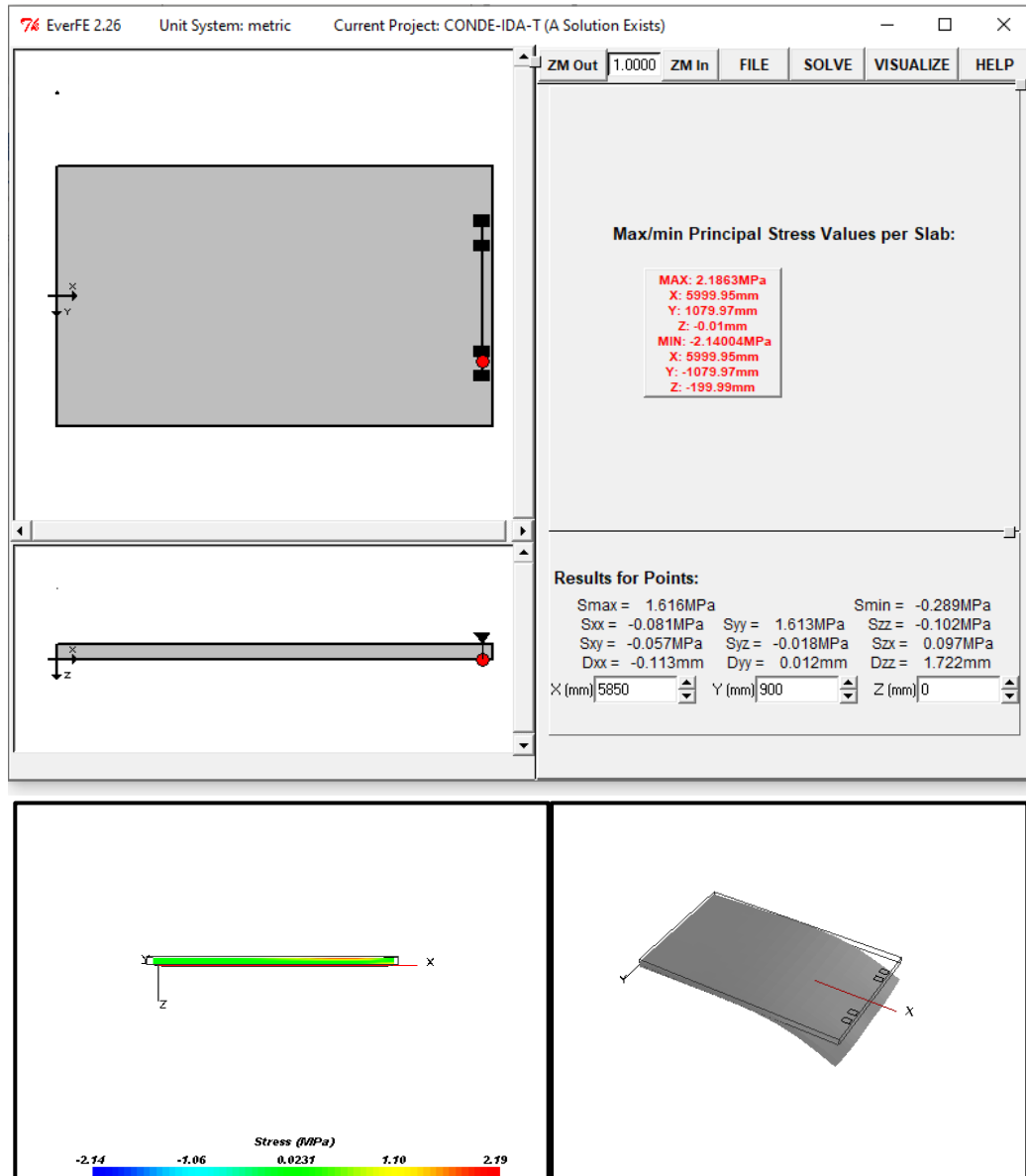


Figura 102 - Tensão máxima de tração na placa para o carregamento na junta transversal.



c. Estimativa das tensões nas placas da avenida Conde de Boa Vista, sentido oeste

Procedendo mais uma vez de forma semelhante, foram obtidas as estimativas das tensões de tração nas placas da avenida Conde da Boa Vista, sentido oeste, conforme mostra a Tabela 47.

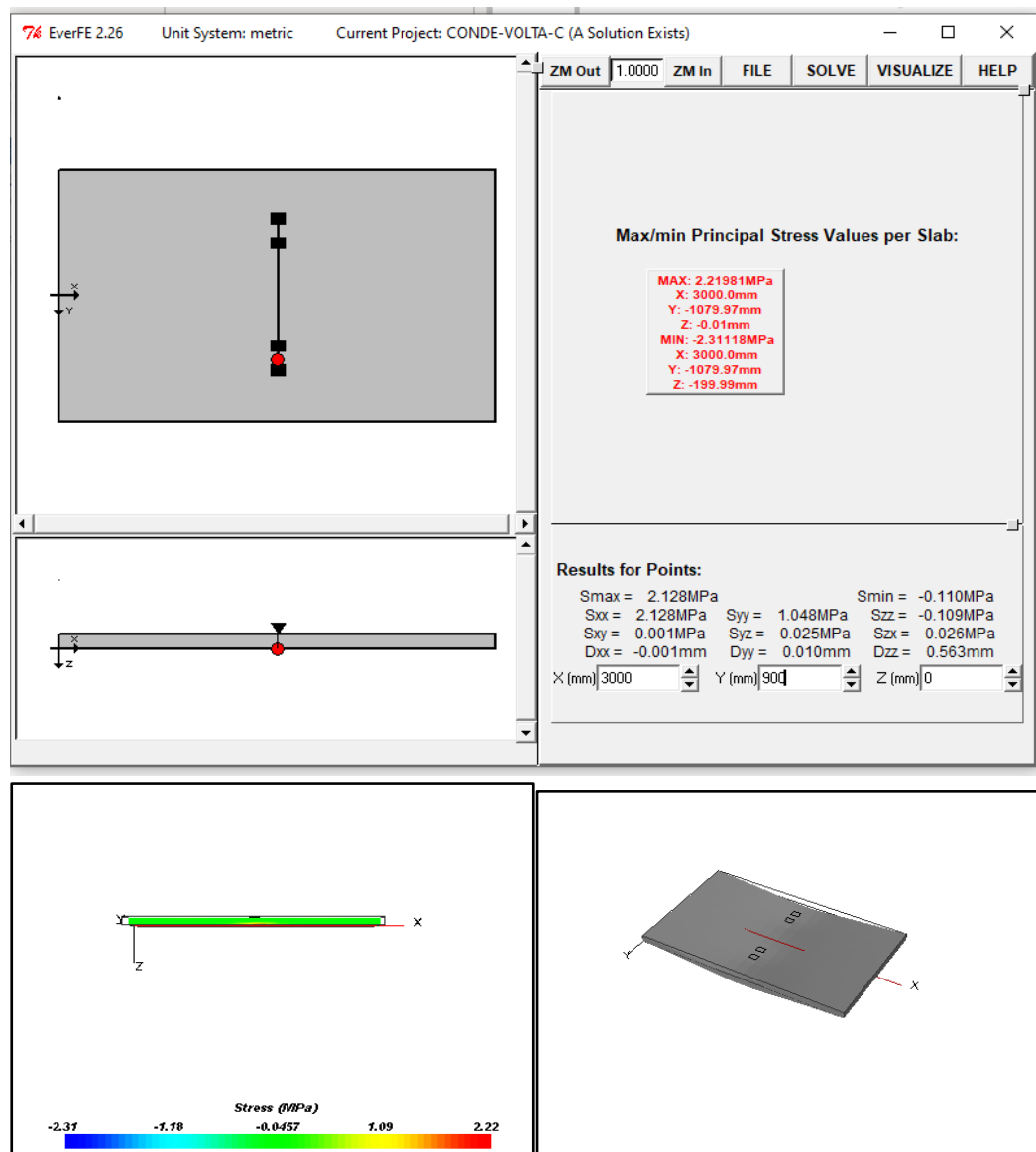
Tabela 47 - Estimativa das tensões de tração na avenida Conde da Boa Vista, sentido oeste.

AVENIDA	ESPESSURA DA PLACA (cm)	TENSÕES (MPa)		E_{CCP} (MPa)	f_{ctm} (MPa)	RT	VERIFICAÇÃO DO NÚMERO DE SOLICITAÇÕES	
							(PCA, 1984)	(ANGUAS, 2004)
AV. Conde da Boa Vista sentido oeste	18.0	CASO I	2.53	25,445.50	2.4	1.04	1.36E-01	4.66E+02
	20.0	CASO II	3.43	36,514.00	2.4	1.41	4.49E-06	6.93E+01
	20.0	CASO III	2.17	26,843.78	2.4	0.89	8.48E+00	1.65E+03

A simulação apontou elevadas tensões de tração para as três situações de carregamento, ensejando assim o não atendimento aos critérios de fadiga pelo método da PCA/84 e por Anguas (2004). A maior tensão de tração corresponde ao CASO II, no qual a carga está localizada na junta longitudinal.

Nas Figuras 103, 104 e 105, constam as estimativas das tensões de tração obtidas com o programa de elementos finitos EverFE para a carga mais pesada, considerando respectivamente as três hipóteses de carregamento na avenida Conde da Boa Vista, sentido oeste.

Figura 103 - Tensão máxima de tração para o carregamento no centro da placa.



. Figura 104 - Tensão máxima de tração na placa para o carregamento na junta longitudinal.

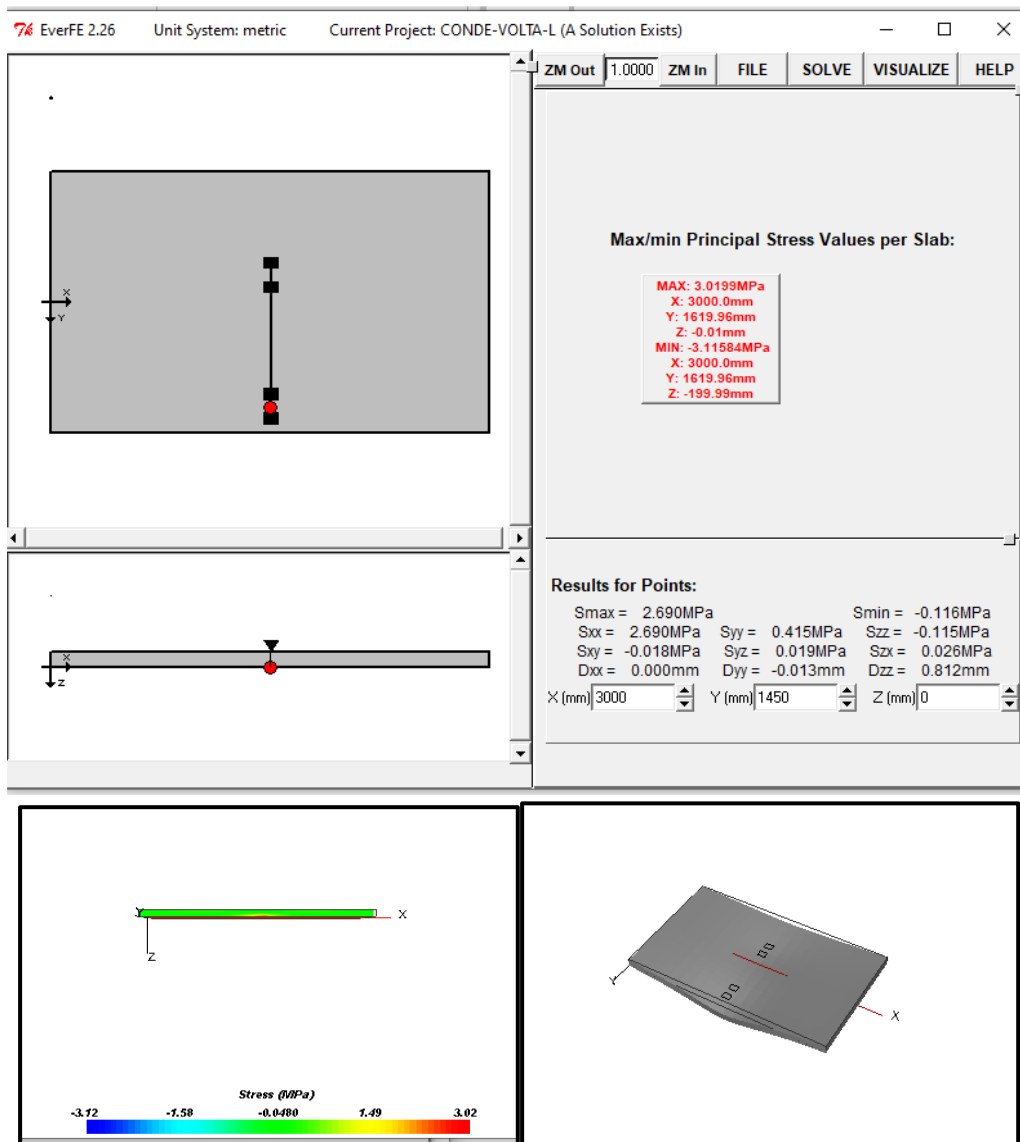
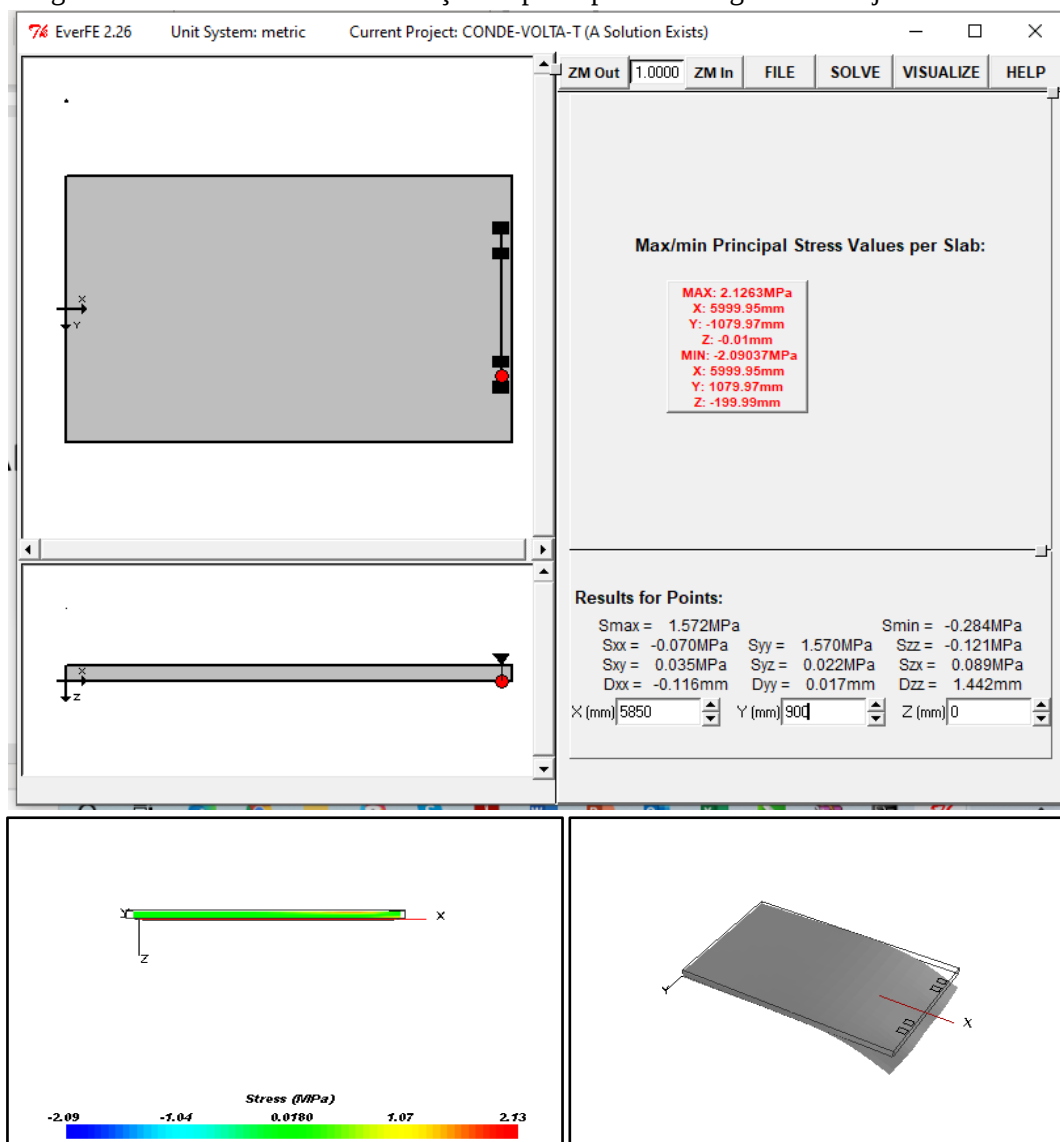


Figura 105 - Tensão máxima de tração na placa para o carregamento na junta transversal.



7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A deficiente interface entre 1) o planejamento e a operação do sistema BRT e 2) o pavimento por onde os veículos circulam fica evidenciada por meio das pesquisas realizadas e relatadas nesta tese.

Observa-se, quanto aos pavimentos utilizados pelos ônibus do sistema BRT, que a sua vida útil já se encontra encerrada em vários trechos, conforme demonstram as retroanálises realizadas e os demais estudos que foram procedidos. De um modo geral, ocorreu, quando da implantação do sistema na RMR (e também em várias outras cidades) o aproveitamento do pavimento das vias que passaram a ser utilizadas pelos veículos BRT, com exceção apenas de pequenas extensões junto às estações, nas quais foi, de um modo geral, efetuado um reforço da estrutura.

É necessário reiterar a necessidade de uma visão holística de todo o processo ou, como no dizer de Lindau et al. (2014), o projeto de um sistema BRT, em face da sua complexidade, exige uma compreensão abrangente dos seus múltiplos componentes e de suas interfaces.

As consequências de se imaginar que a estrutura do pavimento existente possa suportar qualquer solicitação de tráfego sem um prévio estudo ou sem um reforço que a adeque à nova situação levam a transtornos à população usuária com a interdição prematura da pista para os reparos necessários.

O desempenho adequado do conjunto de camadas do pavimento e do subleito está relacionado não apenas à capacidade de suporte e à durabilidade dos materiais empregados, mas também ao tipo de tráfego. Os defeitos ou irregularidades que se manifestam na superfície do pavimento representam desconforto ao usuário e aumento do custo operacional dos veículos (aumento dos custos com peças de manutenção, consumo de combustíveis e pneus) (Bernucci et al., 2008) e ainda aumento do tempo de viagem, afetando assim o desempenho operacional da linha por onde o ônibus circula.

Como ainda destacam Bernucci et al. (2008), os defeitos estruturais observados em pavimentos resultam especialmente da repetição das cargas e vinculam-se às deformações elásticas ou recuperáveis e plásticas ou permanentes. As primeiras são responsáveis pelo

aparecimento da maioria dos trincamentos na superfície do revestimento e que podem levar à fadiga do material. As segundas são acumulativas ao longo do período de vida do pavimento.

Conclui-se, pois, ser verdadeira a hipótese formulada quanto à necessidade de uma visão holística na implantação do projeto do BRT, envolvendo os seus diversos e complexos componentes.

Além de todos os aspectos técnicos citados, há também uma delicada questão institucional envolvida com relação ao sistema viário utilizado pelo sistema BRT. No caso da RMR, existem, nos dois corredores do sistema BRT, diferentes graus de jurisdição. No Corredor Norte-Sul, o sistema utiliza duas vias sob jurisdição estadual e, portanto, da responsabilidade do Departamento de Estradas de Rodagem de Pernambuco - DER/PE (a PE-015 e a PE-001) e outras vias sob jurisdição do Município do Recife (a avenida Cruz Cabugá e demais vias do itinerário). Da mesma forma no Corredor Leste-Oeste, os ônibus do sistema BRT percorrem uma rodovia estadual (a PE-005) e vias municipais (a avenida Caxangá, a rua do Benfica, a avenida Conde da Boa Vista e demais vias do itinerário). Tais dificuldades institucionais tornam ainda mais complexa a questão da interface entre o BRT e o pavimento.

Todas as análises realizadas demonstraram a necessidade de prévios e acurados estudos sobre a infraestrutura viária utilizada pelo BRT. O campo nesse sentido é muito vasto. Assim, como sugestão para futuras pesquisas, recomenda-se a definição de um manual ou guia que possibilite, ao meio técnico e aos gestores públicos, orientações adequadas em futuros empreendimentos, tanto em termos de recomendações quanto aos estudos e aos projetos de engenharia, envolvendo as especificações de materiais e processos construtivos específicos, quanto aos cuidados que digam respeito à manutenção viária. Outras pesquisas futuras sugeridas são i) a análise do pavimento das faixas exclusivas junto às estações do BRT, onde foram efetuados reforços na sua estrutura; ii) a análise do pavimento do Corredor Norte-Sul, inteiramente em revestimento asfáltico; iii) o desenvolvimento de novas tecnologias na área de Engenharia ou Ciência de Materiais que tornem o ônibus mais leve; iv) o estudo da metodologia mais apropriada para o dimensionamento do pavimento de faixas exclusivas utilizadas pelos ônibus do sistema BRT, levando-se em consideração o tráfego e fatores ambientais.

REFERÊNCIAS

- AASHTO - *American Association of State Highway and Transportation Officials* (1993). *Guide for the design of pavement structures*. Washington D.C.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014). Norma Brasileira NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento.
- ANDRADE et al. (2016). *Avaliação do comportamento estrutural de pavimentos por meio de adoção de parâmetros de bacia deflectométrica*. São Paulo, Escola Politécnica da USP.
- ANFAVEA (2012). *Anuário da Indústria Automobilística Brasileira (Brazilian Automotive Industry Yearbook) 2012*. São Paulo.
- ANFAVEA (2020). *Anuário da Indústria Automobilística Brasileira (Brazilian Automotive Industry Yearbook) 2020*. São Paulo.
- ANGUAS, P. G. (2004). *Conceptos Mecanicistas em Pavimentos*. 52f. *Publicación Técnica N° 258 (Secretaría de Comunicaciones y Transportes)*. México, Instituto Mexicano Del Transporte, Sanfandila.
- ANTP - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS (1995). *Anuário Estatístico ANTP 1994*. São Paulo.
- ANTP - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS (1998). *A Escolha dos Caminhos do Brasil (Projeto Transporte Humano)* in *Revista dos Transportes Públicos* n° 80. São Paulo.
- ANTUNES, M. L. (1993). *Avaliação da capacidade de carga de pavimentos utilizando ensaios dinâmicos*. Tese de Doutorado. Lisboa.
- ASTM - *American Society for Testing and Materials*. *ASTM D4694 - 96 (2003) - Standard Test Method for Deflections with a Falling-Weight-Type Impulse Load Device*. Pensilvânia, EUA.
- BACHA, E. et al. (2019). *130 anos: Em busca da República*. Ed. Intrínseca.
- BALASUNDARAM, A. C. et al. (2011). *Challenges in Designing Pavements for Bus Rapid Transit Projects / Experience in York Region, Ontario*. Annual Conference of the Transportation Association of Canada. Edmonton, Alberta.
- BALBO, J. T. (2009). *Pavimentos de Concreto*. São Paulo, Oficina de Textos.
- BALTAR, A. B. (1951). *Diretrizes de um Plano Regional para o Recife* in *Teses e Conferências sobre Problemas de Urbanismo e Área Metropolitana* (capítulos de uma tese de concurso à Universidade do Recife). Recife, Imprensa Oficial, 1956.
- BARBOSA, P. M. (2018). *Diagnóstico de pavimento com FWD (Falling Weight Deflectometer) e GPR (Ground Penetrating Radar) e análise comparativa entre pavimento*

rígido e flexível: o caso da avenida Caxangá - Recife/PE. Trabalho de Conclusão de Curso (Orientador: Prof. Mauricio Pina). Recife.

BARCZAK, R. e DUARTE, F. (2012). *Impactos ambientais da mobilidade urbana: cinco categorias de medidas mitigadoras*. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v.4.

BERNUCCI, L. et al. (2008). *Pavimentação Asfáltica; Formação Básica para Engenheiros*. Rio de Janeiro, Petrobras e Abeda.

BRASIL (2004). *Política Nacional de Mobilidade Urbana Sustentável*. Cadernos do Ministério das Cidades, Volume 6. Ministério das Cidades, Brasília/DF.

BRASILEIRO et al. (1999). *Viação Ilimitada / Ônibus das Cidades Brasileiras*. São Paulo, Cultura Editores Associados.

CAMARINI, G. C. et al. (2019). Avaliação de bacias de deflexões retroanalizadas pelo programa BackMeDiNa (2018). Camboriú/SC, 33º Congresso da ANPET.

CAMPOS, V. B. G. e RAMOS, R. A. R. (2005). *Proposta de indicadores de mobilidade urbana sustentável relacionando transporte e uso do solo*. Anais Eletrônicos do I Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento, Urbano, Regional, Integrado e Sustentável - PLURIS 2005. São Carlos.

CARDOSO, S. H. (1995). *Faixas de módulos dinâmicos (elásticos) obtidos por retroanálise durante sete anos*. Cuiabá: 29ª Reunião Anual de Pavimentação.

CARVALHO, C. H. R. de. (2011). *Emissões relativas de poluentes no transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros*. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA.

CAVALCANTE, F. P. (2005). *Avaliação das características funcionais e estruturais da rodovia BR-230/PB lote III*. Dissertação de Mestrado. Recife: UFPE.

CAVALCANTE, F. P. (2016). *Efeito da adição dos óleos de Ricinus communis e Linus usitatissimum nas propriedades reológicas do cimento asfáltico de petróleo puro e modificado*. Tese de Doutorado. Campina Grande/PB: UFCG.

CERATTI, J. A. P., NUÑES, W. P. e FABRÍCIO, J. M. (2000). *Emprego de deflectógrafo digital (Viga Benkelman eletrônica) na monitoração do pavimento da rodovia concessionada BR-290/RS: Osório - Porto Alegre - Guaíba*. Brasília, Anais da 32ª Reunião Anual de Pavimentação.

CERVERO, R. (1998). *The Transit Metropolis: A Global Inquiry. Chapter 14, Guided Busways: Adelaide, Australia*. Washington, D.C.

COLIM, G. M. (2009). *Estudo dos fatores que afetam a transferência de carga em juntas de pavimentos de concreto simples*. Dissertação de Mestrado. São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

COST- European Cooperation in Science & Technology (2011). *Buses with high level of service*.

COSTA, T. C. et al. (2017). *Retroanálise das bacias deflectométricas para obtenção dos módulos de resiliência das camadas de pavimentação da rodovia BR-163/PA Brasil*. Maputo, 8º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia / V Congresso de Engenharia de Moçambique.

CROVETTI, J. A. (1994). *Design and evaluation of jointed concrete pavements systems incorporating free-draining base layers*. PHD Thesis. University of Illinois at Urbana-Champaign.

CTM - Consórcio de Transporte Metropolitano. *Anuários Estatísticos 2007 a 2018*. Recife.

DALKMANN, H. e BRANNIGAN, C. (2007). *Transport and climate change: sustainable transport: sourcebook for policy-makers in developing cities*. Disponível em: <www.sutp.org>.

DAVIDS, B. (2003). *EverFE Theory Manual*. University of Maine. EverFe version 2.23.

DEÁK, C. e SCHIFFER, S. (organizadores) (1999). *O Processo de Urbanização no Brasil*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.

DENATRAN - Departamento Nacional de Trânsito (2020). www.denatran.gov.br (acessado em 29/09/2020).

DETRAN-PE - Departamento Estadual de Trânsito de Pernambuco (2020). www.detran.pe.gov.br (acessado em 29/09/2020).

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (1978). *Norma DNER-ME 24/78 - Pavimento - determinação das deflexões pela viga Benkelman*.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (1979). *Norma DNER-PRO 010/79 - Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis - Procedimento A*.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (1979). *Norma DNER-PRO 011/79 - Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis - Procedimento B*.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (1996). *Norma DNIT-PRO 273/96 - Determinação de deflexões utilizando deflectômetro de impacto tipo Falling Weight Deflectometer (FWD)*.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (2004). *Norma DNIT 061/2004 - TER - Pavimento Rígido - Defeitos - Terminologia*.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (2006). *Manual de Estudos de Tráfego. Publicação IPR 723*.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (2007). *Quadro de Fabricantes de Veículos - versão 4.1.*

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (2020). *Execução de estudos e pesquisa para elaboração de método de análise mecanístico - empírico de dimensionamento de pavimentos asfálticos.*

EBELS, Lucas-Jan (2016). *BRT and Public Transport Networks - Pavement Design Considerations for Bus Lanes*. Cape Town, África do Sul, 80th Imesa Conference East London Engineering the Future.

ELLIS, T. A. (2008). *Comparison of Nondestructive Testing Backcalculation Techniques for Rigid and Flexible Pavements*. Thesis. University of Arkansas.

EMBARQ (2011). *BRT/Bus Corridors Database*. <http://www.embarq.org/en/theglobal-bus-rapid-brt-industry>.

ESTUPIÑAN, N. e RODRÍGUEZ, D. A. (2008). *The relationship between urban form and station boardings for Bogotá's BRT*. Transportation Research Board, Volume 42.

FINN, B., HEDDEBAUT, O., KERKHOF, A., RAMBAUD, F., SBERT LOZANO, O. e SOULAS, C. (2011). *Buses with high level of service: Fundamental characteristics and recommendations for decision marking and research. Results from 35 European Cities*. COST- European Cooperation in Science & Technology

FERRI, S. (2013). *Critérios de aceitação e controle da qualidade da execução de camadas de fundação de pavimentos novos através de métodos deflectométricos*. Tese de Doutorado. São Paulo, USP.

FOURACRE, P., DUNKERLEY, C., & GARDNER, G. (2003). *Mass rapid transit systems for cities in the developing world*. Transport Reviews, 23(3).

FTA - FEDERAL TRANSIT ADMINISTRATION (2003). *Study & Report to Congress: Applicability of Maximum Axle Weight Limitations to Over-the-Road and Public Transit Buses - Pursuant to Senate Report N° 107-38*. Washington, D. C.

GASPAR, L. (2009). *Avenida Caxangá, Recife/PE*. Recife, Fundação Joaquim Nabuco. Disponível em [http://basilio.fundaj.gov.br/pesquisa escolar](http://basilio.fundaj.gov.br/pesquisa%20escolar). Acesso em: 05 jan. 2021.

GEDDES, P. (1915). *Cidades em Evolução*. Tradução Maria José Ferreira de Castilho. Campinas, SP: Papirus, 1994.

GEHL, J. (2015). *Cidades para pessoas*. Tradução Anita Di Marco. São Paulo.

GLAESER, Edward (2011). *Os centros urbanos: a maior invenção da humanidade: como as cidades nos tornam mais ricos, inteligentes, saudáveis e felizes*. Rio de Janeiro: Elsevier.

GLOBAL BRT DATA (2014). *Produced by bus rapid transit across latitudes and cultures and EMBARQ, in partnership with IEA e SIBRT*. <http://brtdata.org>.

GLOBAL BRT DATA (2020). *Principais indicadores por região*. Disponível em: www.brtdata.org . Acesso em: 31 jan. 2021.

GLOBAL BRT DATA (2021). *By Location - By City*. Disponível em www.brtdata.org (acessado em 28/02/2021).

GTZ (2006). *Planificación de sistemas de bus rápido midiendo impactos, servicio al cliente y mercadeo y errores en planeación*. 2nd international Conference of Sustainable Transportation. Mexico City.

HAIJ, E. et al. (2016). *Assessment of Pavement Damage from Bus Rapid Transit - Case Study for Nevada*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board Nº 2591. Washinton, DC.

HALL, K. T. (1991). *Performance, evaluation and rehabilitation of asphalt overlaid concrete pavements*. PhD Thesis. University of Illinois at Urbana-Champaign, Illinois, EUA.

HALL, K. T. et al. (1997). *LTPP data analysis: Phase I: validation of guidelines for k-value selection and concrete pavement performance prediction*. Washington, D. C., U. S. Department of Transportation.

HENSHER, D. A. (2007). *Sustainable public transport systems: moving towards a value for money and network-based approach and away from blind commitment*. Transport Policy, Volume 14.

HENSHER, D. A. e MULLEY, C. (2015). *Modal image: candidate drivers of preference differences for BRT and LRT*. Transportation, Springer, Volume 42.

HIDALGO, D. (2011). *Bus rapid transit: worldwide history, key systems and future directions*. Encyclopedia of sustainability science and technology. <http://www.springerreference.com/docs/html/chapterbid/308766.html>.

HIDALGO, D. e GUTIÉRREZ, L. (2013). *BRT and BHLS around the world: Explosive growth, large positive impacts and many issues outstanding*. Research in Transportation Economics 39, Elsevier.

HODGSON, P., POTTER, S., WARREN, J. e GILLINGWATER, D. (2013). *Can bus really be the new tram?* Research in Transportation Economics, Volume 39.

HOFFMAN, M. S. e THOMPSON, M. R. (1981). *Mechanistic interpretation of nondestructive pavement testing deflections*. Transportation Engineering Series: Civil Engineering Studies, nº 32: Illinois, University of Illinois.

HOOK W., WRIGHT L. et al. (2007). *Bus rapid transit: planning guide*. Institute for Transportation and Development Policy (ITDP). Disponível em <http://www.itdp.org/index.php/microsite/brt_planning_guide>

HULL, A. (2008). *Policy Integration: what will it take to achieve more sustainable transport solution in cities?* Transport Policy, Volume 15.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2011). *Censo Demográfico 2010: Características da População e dos Domicílios - Resultados do Universo*. Rio de Janeiro.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2016). *PESQUISA NACIONAL POR AMOSTRA DE DOMICÍLIOS - PNAD 2015*. RIO DE JANEIRO.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2020a). *Estimativas da população residente nos municípios brasileiros com data referência em 1º de julho de 2020*. (PDF). Consultado em 29/09/2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2020b). www.ibge.gov.br (acessado em 29/09/2020).

ILLICH, I. (1974). *Energy and equity*. Londres: Calder & Boyards.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (1998). *Redução das Deseconomias Urbanas com a Melhoria do Transporte Público. Relatório Final. Quantificação das Deseconomias*. Brasília.

ITDP - Institute for Transportation & Development Policy (2008). *Bus Rapid Transit Planning Guide*. New York.

ITDP - Institute for Transportation & Development Policy (2017). *The Bus Rapid Transit Planning Guide*. New York.

KITTELSON e LEVINSON H. (2008). *Bus Rapid transit: practitioner's guide*. Transit Cooperative Research Program (TCRP), in: Report 118. <http://www.community-wealth.org/_pdfs/articles-publications/tools/tod/tool-tcrp-bus-rapid-transit.pdf>

LASH, J., KOCH, J., & LINDAU, L. A. (2012). *Sustainable transport in the urban century*. In F. Almeida (Ed.), *Sustainable development 2012 and 2050: Vision, ways and contradictions*. Elsevier.

LEITE, C. e AWAD, J. (2014). *Cidades Sustentáveis, Cidades Inteligentes: Desenvolvimento Sustentável num Planeta Urbano*. Porto Alegre, Grupo A Educação.

LEVINSON, H. et al. (2003). *Case studies in bus rapid transit*. Bus rapid transit, Volume 1: TCRP Report 90. Washington.

LINDAU et al. (2011). *Impact of design elements on the capacity and speed of bus rapid transit (BRT): the case of a single lane per direction corridor*. In Proceedings of Thredbo 12 Conference. Durban.

LINDAU, L.A., HIDALGO, D. e LOBO, A. de A. (2014). *Barriers to planning and implementing Bus Rapid Transit systems*. Embarq Brazil, United States and Mexico, Laboratório de Sistemas de Transportes da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- LOPES, S. P. (2005). *Elaboração de modelos matemáticos para análise, avaliação e previsão do comportamento da motorização no Brasil* (Tese de Doutorado). Rio de Janeiro, COPPE.
- MACÊDO, F. N. de. (2003). *Retroanálise de Bacias de Deflexão Reais e Teóricas Obtidas por Métodos Estáticos e Dinâmicos*. Brasília, UNB.
- MACÊDO, J. A. G. (1996). *Interpretação de Ensaio Deflectométricos para Avaliação Estrutural de Pavimentos Flexíveis*. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ.
- MAESO-GONZÁLES, E. e PÉREZ-CÉRON, P. (2014). *State of art of bus rapid transit transportation*. Eur. Transp. Res. Rev., 6.
- MAFRA, A. M. M. (2018). *Análise de um pavimento urbano de concreto de cimento Portland: caso da avenida Conde da Boa Vista - Recife/PE*. Trabalho de Conclusão de Curso (Orientador: Prof. Mauricio Pina). Recife.
- MALLQUI, Y. Y. C. e POJANI, D. (2017). *Barriers to successful Bus Rapid Transit expansion: developed cities versus developing megacities*. Brisbane (Austrália), The University of Queensland.
- MEDINA, J. de (1997). *Mecânica dos Pavimentos*. Rio de Janeiro, COPPE, Editora UFRJ.
- MEDINA, J. de e MOTTA, L.M.G. (2005). *Mecânica dos Pavimentos*. Rio de Janeiro.
- MEIRA, L. H. (2013). *Políticas Públicas de Mobilidade Sustentável no Brasil: Barreiras e Desafios* (Tese de Doutorado). Recife.
- MEIRELLES, A. (2000). *A review of bus priority systems in Brazil: from bus lanes to busway transit*. Smart Urban Transport Conference, Brisbane.
- MOJICA, C.H. e RODRIGUEZ, D. (2009). *Capitalization of BRT network expansions effects into prices of non-expansion areas*. Transp. Res. Part. A 43, Elsevier.
- MOREIRA, M. R. P. (1977). *Um Método de Avaliação de Pavimentos Flexíveis com Base no Raio de Curvatura da Linha Elástica das Deflexões*. Curitiba, XIII Reunião Anual de Pavimentação.
- MOREIRA, M. G. V. P. (2005). *Excesso de Carga nas Rodovias de Pernambuco e o seu Efeito na Vida Útil dos Pavimentos*. Escola Politécnica de Pernambuco (Monografia de Curso de Especialização em Engenharia Rodoviária).
- MOREIRA, M. R. P. e DOURADO, A. B. F. (2013). *A Taxa de Motorização nas Cidades Brasileiras e a Questão da Mobilidade Urbana*. CLATPU, Guayaquil, Equador.
- MORR Transportation Consulting Ltd. (2014). *An Analysis of Transit Bus Axle Weight Issues*. APTA, Washington D. C.
- MUÑOZ, J. C., e HIDALGO, D. (2013). *Workshop 2: bus rapid transit as part of enhanced service provision*. Research in Transportation Economics, 39.

MUÑOZ-RASKIN, R. (2010). *Walking accessibility to bus rapid transit: does it affect property values? The case of Bogota, Colombia*. Transp. Pol. 17, Elsevier.

NIKITAS, A. e KARLSSON, M. (2015). *A Worldwide State-of-the-Art Analysis for Bus Rapid Transit: Looking for the Success Formula*. Journal of Public Transportation, Volume 18.

NÓBREGA, E. S. (2003). *Comparação entre métodos de retroanálise em pavimentos asfálticos*. Dissertação de Mestrado. Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro/RJ.

NTU - Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos (2012). *Estudos de BRT no Brasil*. 2ª edição revisada.

OBSERVATÓRIO DAS METRÓPOLES (2006). *Como anda a Região Metropolitana do Recife*. Departamento de Ciências Geográficas e Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pernambuco. Federação de Órgãos para Assistência Social e Educacional – Fase/Pernambuco. Observatório Pernambuco de Políticas Públicas e Práticas Socioambientais (UFPE/FASE). Recife - PE, 2006. Disponível em <www.observatoriodasmetropoles.ufrj.br/como_anda/_RM_recife.pdf>. Acessado em 23 de agosto de 2016.

PAVEMENT INTERACTIVE (2021). *FWD AREA Parameter*. Disponível em: <https://pavementinteractive.org/reference-desk/pavement-management/pavement-evaluation/fwd-area-parameter>, Acesso em 15/01/2021.

PEREIRA, J.M.B. (2007). *Um procedimento de retroanálise para pavimentos flexíveis baseado na teoria do ponto inerte e em modelagem matemática*. São Carlos/SP.

PEREIRA, R. e SCHWANEN, T. (2013). *Tempo de Deslocamento Casa - Trabalho no Brasil (1992-2009): Diferenças Entre Regiões Metropolitanas, Níveis de Renda e Sexo*. IPEA.

PETZOLD, G. (2012). *Sistemas de transporte público urbano: análise comparativa entre modais de alta capacidade*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PITTA, M. R. (1998). Dimensionamento dos pavimentos rodoviários de concreto. São Paulo, ABCP (ET-14).

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION - PCA (1984). *Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements*. EB 109P.

QUEIROZ, C. A. V. de. (1982). *Uma Avaliação das Consequências Econômicas da Restrição aos Excessos de Carga por Eixo*. Brasília, Anais da 17ª Reunião Anual de Pavimentação.

RAMOS BARCELOS, Z. (2013). *Governança Metropolitana: Integração do Transporte Coletivo nas Regiões de Curitiba e Bogotá*. Tese de Doutorado. Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba.

RICCI, A. E., MEYER, A. H, HUDSON, W. R. & STOKOE II, K. H. (1985). "The falling Weight Deflectometer for Nondestructive Evaluation of Rigid Pavements". *Research Report*

387 - 3F, Center for Transportation Research , Bureau of Engineering Research, The University of Texas at Austin.

RINCENT BTP BRASIL (2018). *EURADAR na Av. Caxangá & Av. Conde da Boa Vista - Recife - PE*. Recife.

ROCHA FILHO, N. R. (1996). *Estudo de técnicas para avaliação estrutural de pavimentos por meio de levantamentos deflectométricos*. Dissertação de mestrado. São José dos Campos/SP, Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA.

ROCHA FILHO, N.R e RODRIGUES, R.M. (1998). *Levantamentos Deflectométricos Fatores que Influenciam na Previsão de Desempenho de Pavimentos*. In: 31ª Reunião Anual de Pavimentação. Vol. 2. São Paulo/SP.

RODRIGUES, J. *Mobilidade Urbana* (2013) in Ibeu: índice de bem-estar urbano / organização Luiz Cesar de Queiroz Ribeiro, Marcelo Gomes Ribeiro. - 1. ed. - Rio de Janeiro: Letra Capital.

RODRIGUES, P. P. F. e CASSARO, C. F. (1998). *Pisos industriais de concreto armado*. São Paulo: Instituto Brasileiro de Telas Soldáveis.

RODRIGUES, R.M. (1991). *Estudo dos Trincamentos dos Pavimentos*. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ.

RODRÍGUEZ, D., VERGEL-TOVAR, C. e GAKENHEIMER, R. (2020). *Planificación para el desarrollo urbano orientado hacia sistemas tipo BRT: lecciones y perspectivas desde Colombia* in MONSALVE, O., MONTES, L. M. e BRASILEIRO, A. (coordenadores). *Desafíos del desarrollo urbano sostenible en el transporte y la movilidad*. Zinacantepec, Estado de México. El Colegio Mexiquense.

SCHIFFER, S. R. (1999). *São Paulo como pólo dominante do mercado unificado nacional* in Deák, C. e Schiffer, S. (organizadores). *O Processo de Urbanização no Brasil*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.

SEIFFERT, H. L. L. (2016). *Previsão do desempenho estrutural de um pavimento de concreto simples*. Santa Maria/RS.

SILVA, E. L. da e MENEZES, E. M. (2001). *Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação*. Florianópolis, UFSC.

SOUZA, M. A. de. (1999). *O II PND e a política urbana brasileira: uma contradição evidente* in Deák, C. e Schiffer, S. (organizadores). *O Processo de Urbanização no Brasil*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.

SUZUKI, C. Y., NAGAO, E. M., SOUZA, P. R. B., FUJII, W. Y. e PRIETO, C. (1998). *Procedimento de Cálculo para Estimativa de Parâmetros da Bacia de Deflexão em Pavimentos Flexíveis*. São Paulo, Anais da 31ª Reunião Anual de Pavimentação.

THOMAS, E. (2001). *Presentation at Institute of Transportation Engineers Meeting*, Chicago (august).

TRB - Transportation Research Board (sem data). *Adelaide, Australia: O-Bahn Guided Busway*.

UN-HABITAT. (2013). *Planning and design for sustainable urban mobility: Global report on human settlements 2013*. United Nations Human Settlements Programme.

USDOT - UNITED STATES DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2011). *Use of nondestructive testing in the evaluation of airport pavements*. Advisory Circular AC, n. 150/5370-11B. Washington.

VASCONCELLOS, E. A. (2006). *Transporte e meio ambiente: conceitos e informações para análise de impactos*. São Paulo.

VASCONCELLOS, E. A. (2008). *O custo social da motocicleta no Brasil* in Revista dos Transportes Públicos 119/120. Associação Nacional de Transportes Públicos.

VIEIRA, G. H. V. (2020). *Avaliação estrutural de pavimentos urbanos a partir de ensaios de campo e retroanálise*. Dissertação de mestrado. Joinville, Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC.

WSDOT EVERSERIES USER GUIDE (2005). *Pavement Analysis Computer Software and Case Studies*. Washington State Department of Transportation.

www.contran.gov.br

APÊNDICE A - Leitura das deflexões com o FWD na Avenida Caxangá
(sentido leste ou subúrbio-cidade)

nº	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
	KM HODOMETRO (m)	TIPO DE PISTA	LADO	DIREÇÃO	CONDIÇÃO DO TEMPO	LEITURAS (µm)													
1						D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14
2						84	82	79	75	69	63	53	47	43	35	33	32	28	26
3	0,0	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	202	188	175	160	139	111	84	71	62	50	44	42	37	35
4	0,0	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	196	183	170	155	135	108	82	69	60	49	43	42	36	35
5	0,0	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	151	143	135	126	111	94	74	65	57	48	43	41	36	32
6	50,5	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	148	141	133	124	110	94	75	66	53	49	45	43	37	35
7	50,5	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	168	159	150	139	123	101	76	63	54	44	39	38	34	31
8	100,1	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	165	156	147	137	121	99	74	61	52	42	38	37	33	31
9	100,1	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	111	108	104	101	93	84	70	62	56	46	41	38	32	29
10	150,3	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	110	107	104	100	92	83	70	62	55	46	42	38	33	30
11	150,3	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	114	110	106	101	93	82	70	62	56	48	43	40	35	32
12	199,9	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	107	104	100	95	87	79	65	59	53	45	40	37	33	30
13	199,9	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	217	206	196	184	166	140	111	94	81	65	54	47	40	36
14	249,7	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	212	202	192	180	162	136	108	92	78	63	52	46	40	36
15	249,7	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	196	192	185	178	165	133	102	85	72	58	49	44	38	34
16	299,8	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	203	198	191	184	170	139	106	89	75	61	52	47	40	37
17	299,8	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	196	183	172	158	140	115	89	76	65	53	45	41	35	31
18	350,0	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	195	182	170	157	139	113	88	75	65	52	44	41	35	31
19	350,0	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	237	230	220	209	189	161	128	109	94	76	63	53	43	38
20	400,3	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	234	226	217	205	186	157	125	105	91	72	59	48	39	33
21	400,3	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	203	196	186	175	157	131	102	84	74	62	55	51	44	40
22	449,8	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	196	190	180	169	151	125	97	81	71	58	53	49	41	38
23	449,8	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	355	314	289	260	226	173	126	103	84	65	53	47	39	35
24	499,9	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	351	311	285	257	223	172	125	102	84	64	53	48	39	37
25	499,9	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	88	87,5	85	81	74	68	58	53	49	42	40	39	35	33
26	1557,0	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	85	84,3	81	78	71	65	54	49	46	38	36	35	31	29
27	1557,0	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	94,4	86,6	83	79	71	64	53	48	44	37	35	33	29	26
28	1599,9	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	94,7	87	84	79	71	65	54	49	45	38	36	35	31	28
29	1599,9	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	92,2	80	79	76	69	62	52	46	41	33	30	29	27	25
30	1649,6	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	91	78	77	74	67	61	50	45	40	32	31	30	26	24
31	1649,6	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	133	118	114	102	87	69	51	43	38	30	26	25	21	19
32	1700,1	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	133	117	112	101	86	68	50	43	37	29	25	24	20	18
33	1700,1	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	124	117	111	103	91	76	58	51	44	36	32	30	26	23
34	1750,8	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO														
Av.Caxangá - IDA						geofone1	geofone2	geofone3	geofone4	geofone5	geofone6	geofone7	geofone8						

nº	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
	KM HODOMETRO (m)	TIPO DE PISTA	LADO	DIREÇÃO	CONDIÇÃO DO TEMPO	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14
35	1750,8	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	121	114	108	100	88	74	56	49	44	35	33	31	26	25
36	1800,5	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	132	126	121	115	104	88	66	54	45	36	34	33	28	27
37	1800,5	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	123	118	113	107	96	82	61	50	42	32	31	30	26	24
38	3299,7	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	135	133	132	131	128	118	94	82	71	58	47	41	33	29
39	3299,7	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	135	133	132	131	127	117	95	82	70	57	48	41	34	29
40	3350,2	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	178	173	165	157	143	121	95	81	69	57	48	45	38	35
41	3350,2	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	180	175	167	159	144	123	97	83	71	58	50	47	40	37
42	3400,0	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	119	115	112	107	99	89	74	67	61	52	46	43	37	33
43	3400,0	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	116	112	108	104	96	86	71	64	57	49	43	40	35	31
44	3449,7	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	107	104	100	95	86	80	68	63	58	50	46	45	41	37
45	3449,7	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	106	103	99	94	87	80	70	64	61	52	50	49	45	41
46	3499,8	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	191	184	176	166	148	129	103	88	78	64	55	51	43	39
47	3499,8	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	183	177	169	159	143	123	98	84	72	59	51	47	40	35
48	3550,0	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	147	142	135	129	117	104	87	77	69	58	51	47	40	36
49	3550,0	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	149	143	137	130	117	104	86	76	67	56	49	44	38	33
50	3600,0	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	224	213	201	188	168	138	105	88	74	61	54	51	44	41
51	3600,0	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	209	198	187	175	157	128	97	81	68	55	48	46	40	36
52	3650,3	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	192	179	167	155	137	112	88	76	66	54	48	45	40	37
53	3650,3	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	184	170	159	147	130	107	84	72	64	52	46	44	38	36
54	3700,1	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	143	138	132	127	116	102	84	73	63	51	43	37	31	28
55	3700,1	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	151	146	141	135	124	110	92	80	70	58	50	44	37	33
56	3750,1	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	120	115	110	105	95	84	69	61	55	46	41	38	33	29
57	3750,1	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	115	111	106	100	91	80	66	58	52	43	38	35	30	27
58	3799,8	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	88,6	85,3	82	78	71	65	55	50	46	39	38	37	34	33
59	3799,8	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	94,2	90,3	87	83	77	70	59	53	48	40	36	34	29	27
60	5099,9	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	105	101	96	92	83	74	60	53	47	38	34	32	28	25
61	5099,9	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	100	96,2	92	87	79	70	56	50	44	35	31	30	25	23
62	5150,0	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	194	193	187	176	161	139	111	94	79	65	53	46	38	34
63	5150,0	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	192	191	184	174	159	136	108	91	78	63	52	43	35	31
64	5200,1	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	345	340	335	328	313	281	242	212	185	157	133	108	89	71
65	5200,1	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	340	335	330	323	306	274	234	204	176	149	124	99	80	63
66	5249,9	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	188	184	180	176	166	154	137	126	116	105	95	88	80	75
67	5249,9	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	190	187	183	179	170	157	140	128	118	107	97	90	82	76
68	5300,3	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	114	112	108	103	93	81	65	56	49	40	35	33	27	24
Av.Caxangá - IDA						geofone1	geofone2	geofone3	geofone4	geofone5	geofone6	geofone7	geofone8						

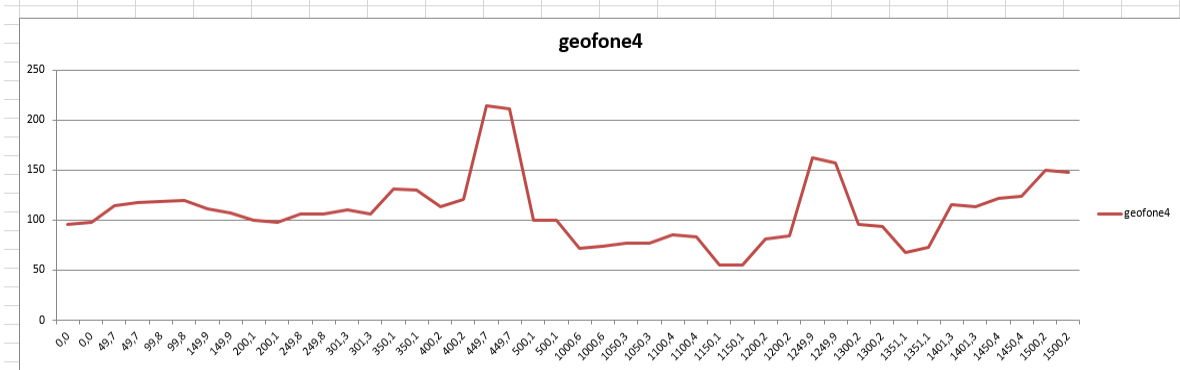
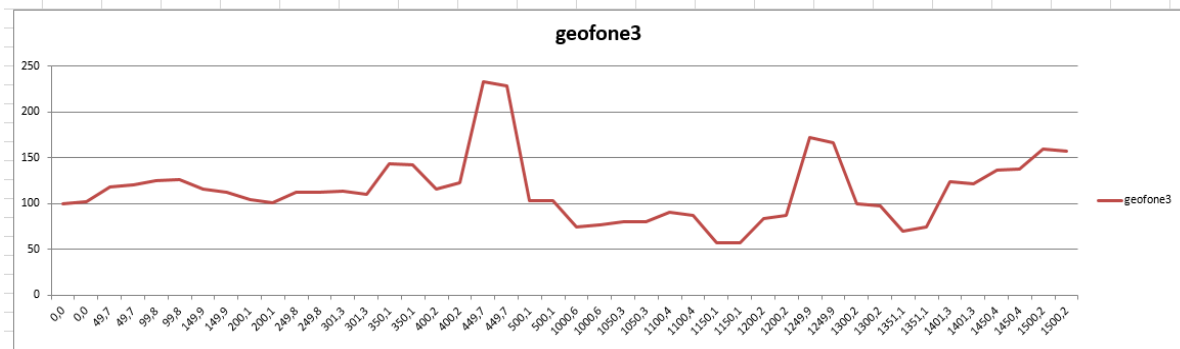
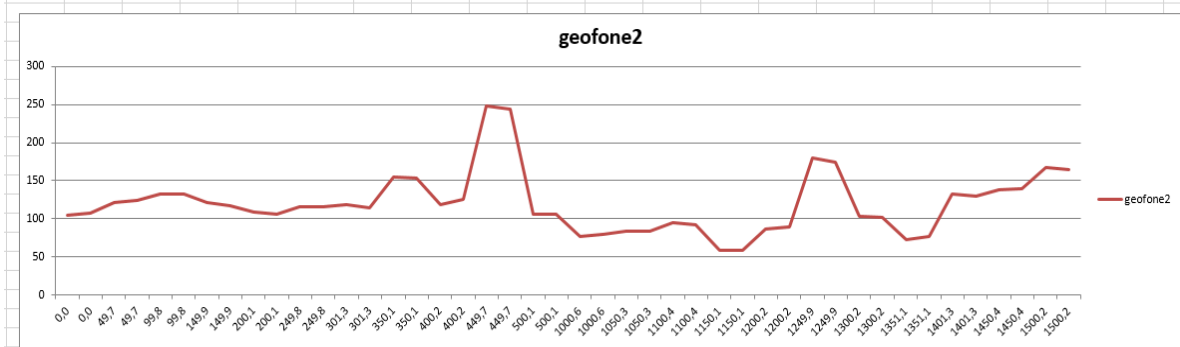
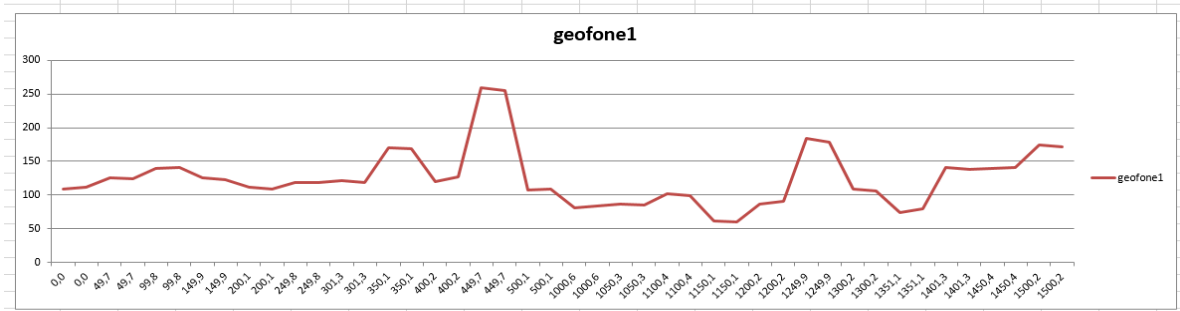
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
35	2800,1	ASFALTO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	311	242	200	160	125	91	67	53	53	43	40	39	34	32
36	2800,1	ASFALTO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	308	241	200	160	124	90	67	57	52	42	39	38	33	30
37	2850,3	ASFALTO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	263	213	180	146	114	83	60	52	46	37	35	34	29	27
38	2850,3	ASFALTO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	252	206	174	141	111	81	59	50	46	36	35	34	29	27
39	2900,4	ASFALTO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	279	217	181	150	120	89	66	56	50	39	36	35	30	28
40	2900,4	ASFALTO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	285	221	185	153	123	91	68	57	51	40	36	35	31	29
41	2949,7	ASFALTO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	213	170	141	113	89	66	50	44	32	31	30	25	24	
42	2949,7	ASFALTO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	208	166	138	111	87	65	49	43	40	31	30	29	24	23
43	3000,2	ASFALTO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	447	331	253	192	141	98	69	59	51	40	35	34	29	27
44	3000,2	ASFALTO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	414	307	236	179	132	91	66	55	49	37	34	33	28	26
45	4500,4	ASFALTO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	380	309	257	206	155	105	73	62	55	44	42	41	36	34
46	4500,4	ASFALTO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	361	295	246	197	149	101	72	59	53	42	41	40	35	32
47	4550,0	ASFALTO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	206	164	139	113	89	66	46	39	35	28	27	26	22	20
48	4550,0	ASFALTO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	202	161	136	111	86	65	45	38	34	28	26	25	21	20
49	4650,3	ASFALTO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	534	410	313	234	174	124	89	74	65	52	47	46	41	38
50	4650,3	ASFALTO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	511	392	299	223	166	118	84	70	62	49	45	44	39	37
51	4700,5	ASFALTO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	428	355	299	244	189	128	88	71	61	47	42	41	34	32
52	4700,5	ASFALTO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	441	367	310	253	196	133	90	74	63	49	43	42	36	33
53	4750,2	ASFALTO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	314	250	206	167	129	91	65	54	47	37	34	33	28	26
54	4750,2	ASFALTO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	307	246	203	164	127	90	63	53	46	36	33	32	27	25
55	4739,9	ASFALTO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	182	151	128	106	83	60	42	37	35	29	28	27	23	21
56	4739,9	ASFALTO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	181	151	128	106	83	60	42	36	34	28	27	26	23	21
57	4850,0	ASFALTO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	333	270	226	185	145	103	72	60	51	40	36	35	31	29
58	4850,0	ASFALTO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	334	272	227	186	145	103	73	60	52	41	38	37	32	30
59	4900,3	ASFALTO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	381	310	257	205	156	101	65	53	46	35	33	32	28	26
60	4900,3	ASFALTO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	370	301	249	198	151	98	65	53	47	40	38	37	34	33
61	4949,9	ASFALTO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	330	267	225	185	144	98	67	56	48	38	35	34	29	27
62	4949,9	ASFALTO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	321	261	221	181	140	97	67	55	48	38	35	34	29	28
63	5000,1	ASFALTO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	297	238	200	166	132	94	65	54	47	36	33	32	28	25
64	5000,1	ASFALTO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	283	227	191	159	127	92	67	55	50	40	39	38	35	33
65																			
66																			
67																			
68																			
< > Av. Caxangá - VOLTA geofone1 geofone2 geofone3 geofone4 geofone5 geofone6 geofone7 geofone8																			

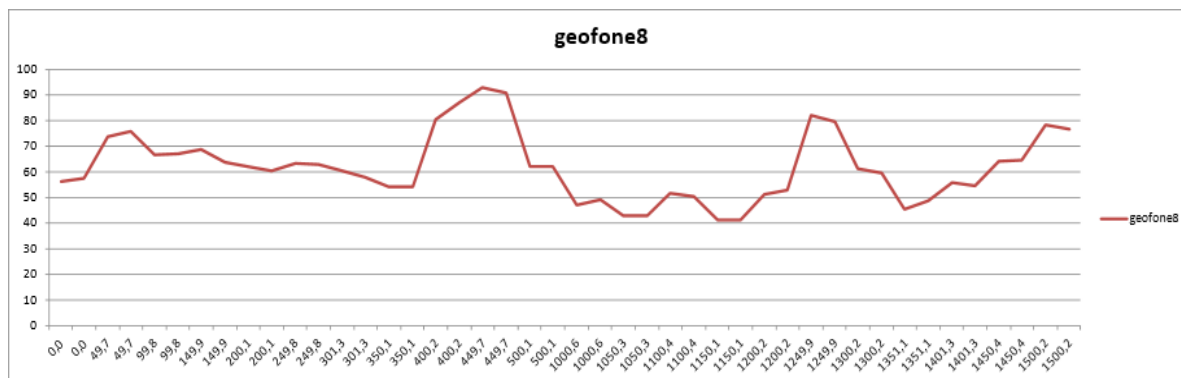
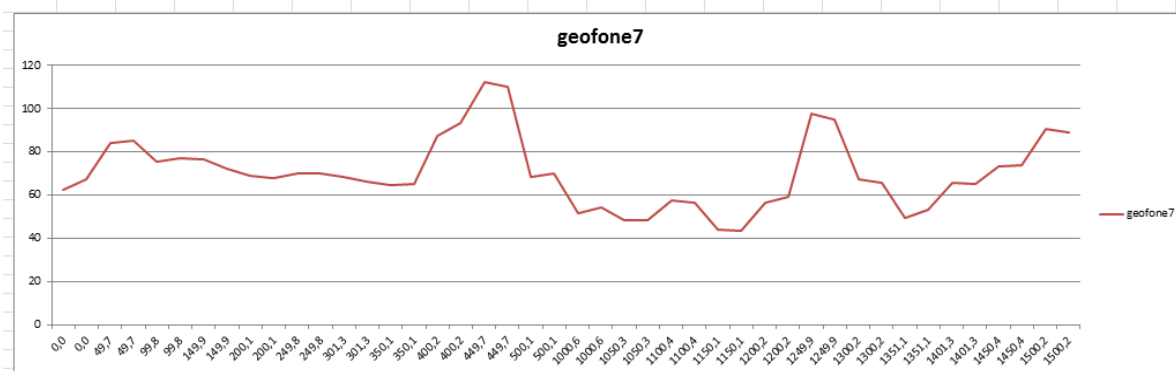
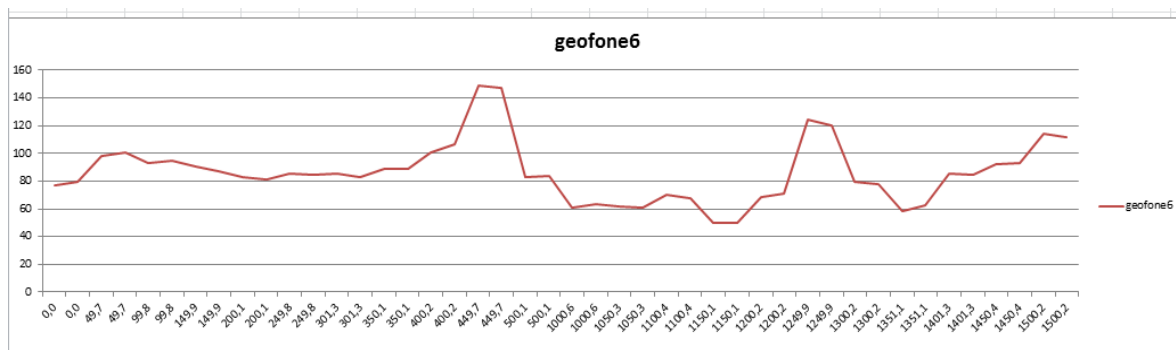
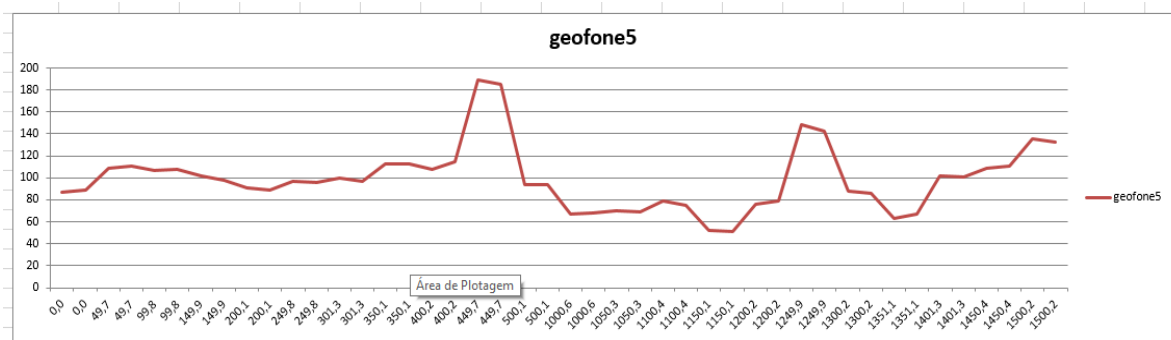
**APÊNDICE C - Leitura das deflexões com o FWD na Avenida Conde da Boa Vista
(sentido leste ou subúrbio-cidade)**

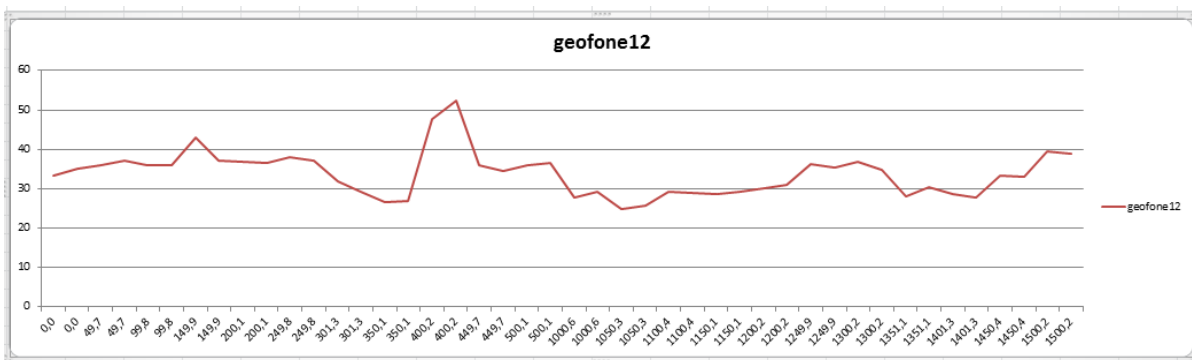
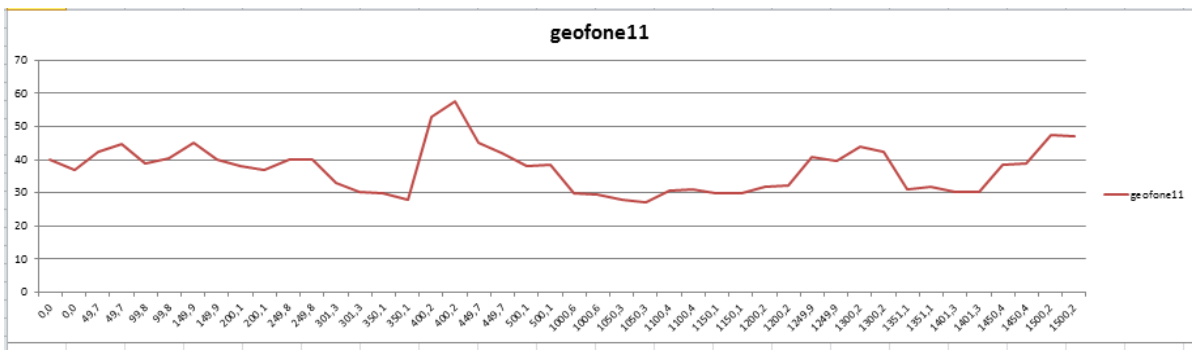
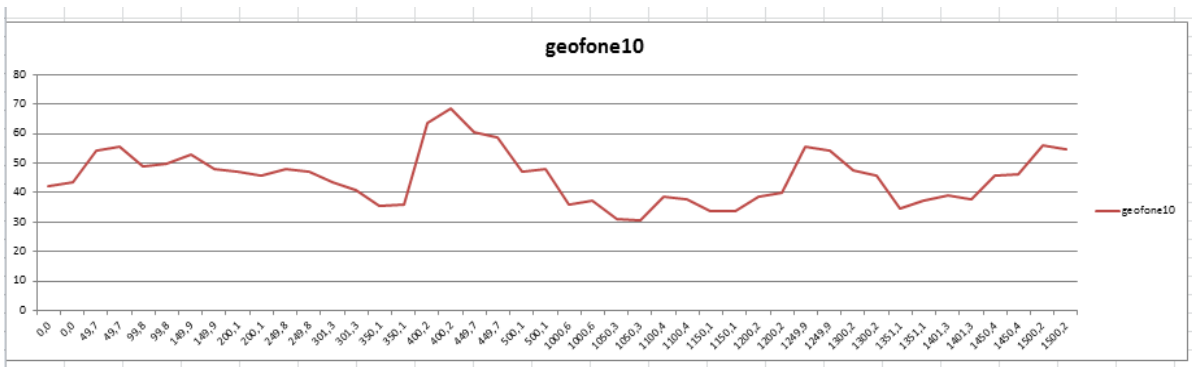
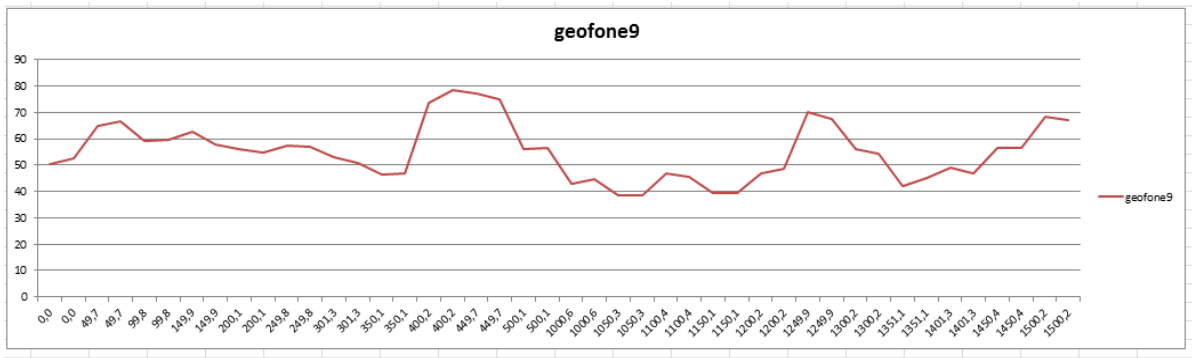
Id	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	KMHODOMETRO (m)	TIPO DE PISTA	LADO	DIREÇÃO	CONDIÇÃO DO TEMPO	LEITURAS (µm)													
2						D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14
3	0,0	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	95	92	90	87	82	75	65	58	53	46	41	38	33	30
4	0,0	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	95	92	90	87	81	75	63	57	52	44	39	36	31	27
5	49,8	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	193	184	175	164	149	126	101	87	76	63	54	48	41	36
6	49,8	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	193	184	175	164	150	127	101	88	77	64	54	49	42	37
7	100,5	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	111	108	102	95	85	75	63	57	52	44	40	39	33	31
8	100,5	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	109	107	100	94	84	74	61	55	50	42	38	37	31	28
9	150,1	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	78,9	76,8	75	73	68	64	55	51	48	41	38	37	32	30
10	150,1	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	77,8	75,7	73	72	67	62	55	50	47	40	36	35	31	29
11	199,9	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	88,7	86,1	84	82	76	72	62	57	53	45	41	38	33	30
12	199,9	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	85,9	83,7	81	79	74	70	60	56	52	44	40	38	33	29
13	250,4	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	156	154	149	144	134	118	97	84	72	59	50	43	35	29
14	250,4	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	155	153	148	143	133	117	96	84	72	59	50	44	36	31
15	300,1	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	197	187	177	166	148	120	87	70	56	46	40	37	31	28
16	300,1	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	198	188	178	167	149	121	88	70	57	47	41	38	33	29
17	350,8	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	121	119	116	113	108	100	89	82	76	68	62	57	52	48
18	350,8	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	122	120	117	114	108	102	90	83	77	69	63	58	52	48
19	400,3	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	84,7	82,4	81	79	75	71	63	59	56	49	45	43	39	36
20	400,3	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	87,5	85,4	83	81	77	73	63	60	56	49	45	42	38	35
21	450,5	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	145	141	137	129	117	101	80	70	60	49	42	37	31	27
22	450,5	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	139	138	134	126	115	99	79	68	59	48	40	36	30	26
23	500,2	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	167	161	154	146	134	116	94	82	72	59	51	46	39	34
24	500,2	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	168	161	155	147	134	116	95	82	71	60	51	45	39	35
25	1000,2	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	93,2	91,9	90	88	83	79	65	59	54	45	40	37	32	28
26	1000,2	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	95,9	94,7	92	91	86	81	63	60	55	46	41	38	33	30
27	1050,1	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	94,5	91,4	89	86	81	76	66	61	57	50	46	44	40	37
28	1050,1	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	91	88,2	85	83	77	73	63	58	54	47	43	41	37	34
29	1100,5	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	90	87,8	85	83	78	73	64	59	55	47	43	42	37	34
30	1100,5	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	88,9	86,8	84	82	77	72	63	58	54	46	44	41	37	33
31	1149,7	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	112	109	106	103	96	89	77	70	64	55	49	46	41	37
32	1149,7	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	119	116	112	109	102	94	82	75	68	59	51	49	43	39
33	1200,5	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	109	103	98	93	85	76	63	57	52	44	38	37	32	29
34	1200,5	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	112	105	100	95	87	78	65	58	53	45	39	38	33	31
◀ ▶ ... geofone6geofone7geofone8geofone9geofone10geofone11geofone12geofone13geofone14																			

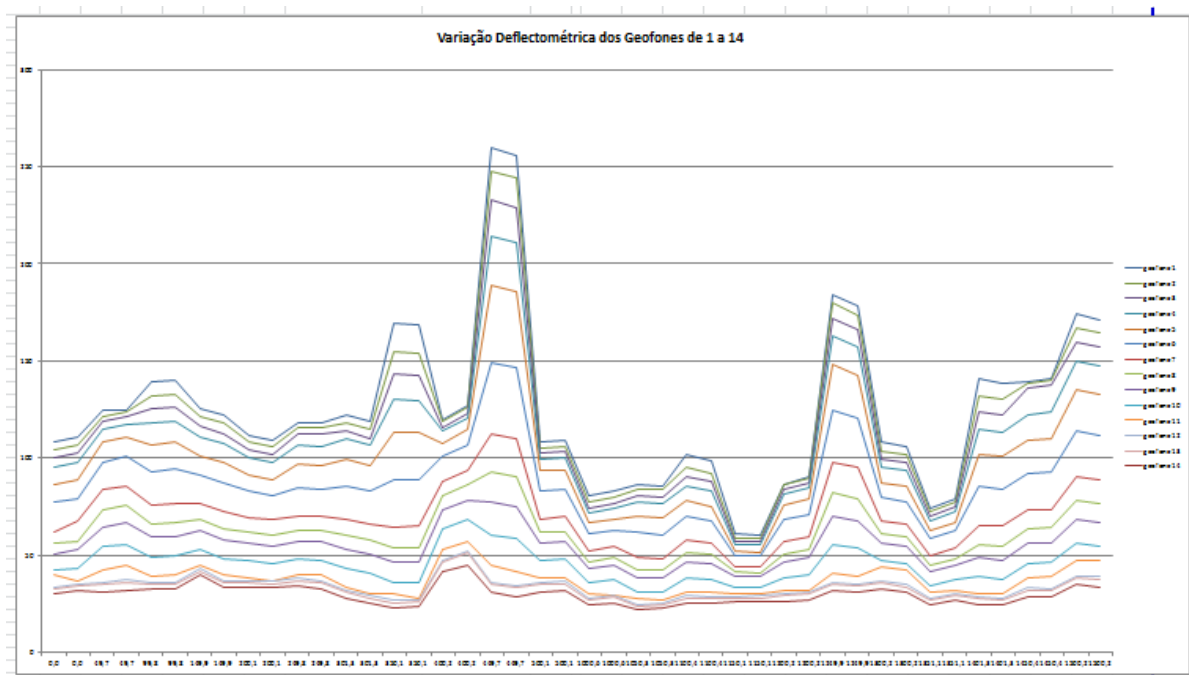
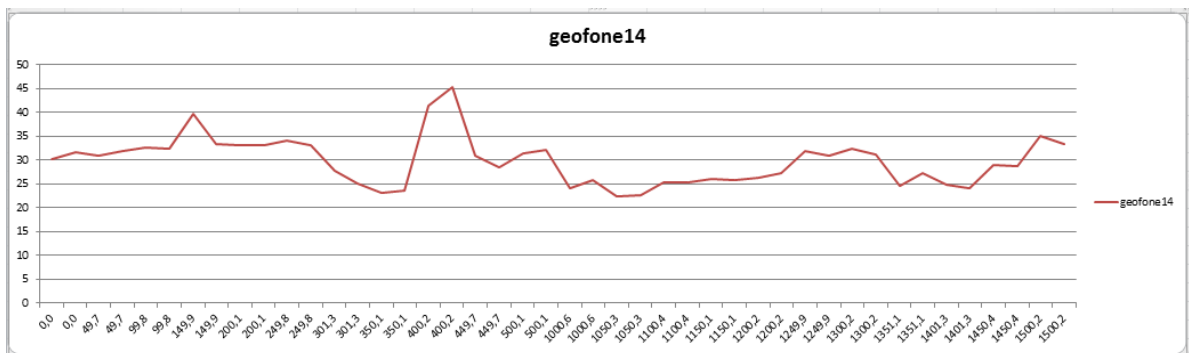
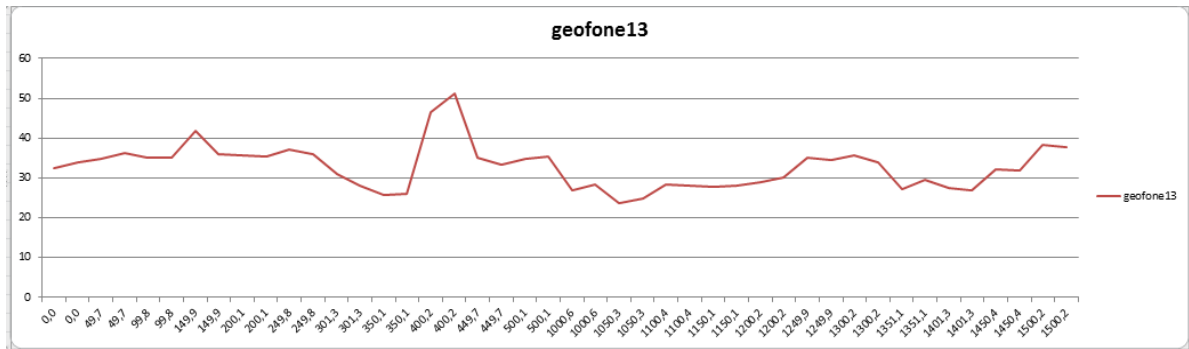
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
35	1249,9	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	140	136	130	123	114	101	86	77	70	60	51	50	44	40
36	1249,9	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	152	140	134	127	118	105	90	80	73	64	55	53	47	43
37	1300,6	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	60	58,2	56	55	51	49	42	39	36	35	30	28	24	22
38	1300,6	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	59,9	58,4	57	55	51	50	42	40	37	31	30	29	26	24
39	1350,1	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	92,8	88,6	84	79	71	64	52	50	49	48	40	35	31	29
40	1350,1	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	95,2	91,1	87	82	73	66	54	49	46	38	37	36	32	30
41	1400,0	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	93,3	89,8	86	82	75	69	59	54	50	42	40	38	32	31
42	1400,0	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	90,5	87,3	84	80	72	68	57	52	48	40	37	36	32	29
43	1450,1	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	180	179	177	175	169	152	123	106	90	73	60	50	41	35
44	1450,1	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	180	178	176	174	169	152	123	105	90	73	59	51	43	37
45	1500,3	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	152	144	136	129	116	101	80	71	62	51	43	42	36	33
46	1500,3	CONCRETO	ESQUERDO	LESTE	NUBLADO	152	144	137	129	116	102	83	74	67	56	50	49	44	41
47																			
48																			
49																			
50																			
51																			
52																			
53																			
54																			
55																			
56																			
57																			
58																			
59																			
60																			
61																			
62																			
63																			
64																			
65																			
66																			
67																			
68																			
	◀ ▶ ...	geofone6	geofone7	geofone8	geofone9	geofone10	geofone11	geofone12	geofone13	geofone14	geofone15	geofone16	geofone17	geofone18	geofone19	geofone20	geofone21	geofone22	geofone23

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	KM HODOMETRO (m)	TIPO DE PISTA	LADO	DIREÇÃO	CONDIÇÃO DO TEMPO	LEITURAS (µm)													
2						D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14
3	0,0	CONCRETO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	109	104	100	95	87	77	62	56	50	42	40	33	32	30
4	0,0	CONCRETO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	111	107	103	98	89	79	67	57	53	44	37	35	34	32
5	49,7	CONCRETO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	125	122	119	115	108	98	84	74	65	54	42	36	35	31
6	49,7	CONCRETO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	125	124	121	117	111	101	85	76	67	56	45	37	36	32
7	99,8	CONCRETO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	139	132	125	118	107	93	76	66	59	49	39	36	35	33
8	99,8	CONCRETO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	140	133	126	119	108	95	77	67	60	50	40	36	35	33
9	149,9	CONCRETO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	126	121	116	111	101	91	76	69	63	53	45	43	42	40
10	149,9	CONCRETO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	122	118	113	107	98	87	72	64	58	48	40	37	36	33
11	200,1	CONCRETO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	111	109	104	100	91	83	69	62	56	47	38	37	36	33
12	200,1	CONCRETO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	109	106	102	98	88	81	68	60	55	46	37	36	35	33
13	249,8	CONCRETO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	118	116	113	106	97	85	70	63	57	48	40	38	37	34
14	249,8	CONCRETO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	118	116	112	106	96	84	70	63	57	47	40	37	36	33
15	301,3	CONCRETO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	122	118	114	110	100	86	69	60	53	43	33	32	31	28
16	301,3	CONCRETO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	119	115	110	106	96	83	66	58	51	41	30	29	28	25
17	350,1	CONCRETO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	169	155	143	131	113	89	65	54	46	36	30	27	26	23
18	350,1	CONCRETO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	168	154	142	130	113	89	65	54	47	36	28	27	26	24
19	400,2	CONCRETO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	120	119	116	114	108	101	88	80	74	63	53	48	47	41
20	400,2	CONCRETO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	127	126	123	121	115	106	94	87	79	69	58	52	51	45
21	449,7	CONCRETO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	260	248	233	214	189	149	112	93	77	61	45	36	35	31
22	449,7	CONCRETO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	256	244	229	211	185	147	110	91	75	59	42	34	33	28
23	500,1	CONCRETO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	108	105	103	99	94	83	68	62	56	47	38	36	35	31
24	500,1	CONCRETO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	109	106	103	100	94	84	70	62	57	48	38	37	36	32
25	1000,6	CONCRETO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	80,8	77,2	74	72	67	61	52	47	43	36	30	28	27	24
26	1000,6	CONCRETO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	83,5	79,6	77	74	69	63	54	49	45	37	30	29	28	26
27	1050,3	CONCRETO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	86,1	84	81	77	70	62	49	43	39	31	28	25	24	22
28	1050,3	CONCRETO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	85,4	83,6	80	77	69	60	48	43	39	31	27	26	25	23
29	1100,4	CONCRETO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	102	95,3	91	86	78	70	58	51	47	38	31	29	28	25
30	1100,4	CONCRETO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	98,6	92,5	88	83	75	68	56	50	45	38	31	29	28	25
31	1150,1	CONCRETO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	61,1	58,6	57	55	52	50	44	41	39	34	30	29	28	26
32	1150,1	CONCRETO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	60,5	58,4	57	55	52	50	44	41	39	34	30	29	28	26
33	1200,2	CONCRETO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	86,8	86	84	81	76	68	57	51	47	39	32	30	29	26
34	1200,2	CONCRETO	ESQUERDO	OESTE	NUBLADO	90,1	89,3	87	85	79	71	59	53	49	40	32	31	30	27









APÊNDICE E - Retroanálise do pavimento da Avenida Caxangá pelo PRIMAX (sentido subúrbio-cidade)

Project **CORREDOR EXCLUSIVO DE ONIBUS** Client **MAURICIO PINA** RoSy© PM System

ROAD EVALUATION REPORT

Date 23-Dec-202

Pavement type				Emodule for reinforcement			
Caxangá B				< 100 mm = 2000 MPa			
Construction alias				>= 100 mm = 3000 MPa			
^(\?)beton.*\$				Temperature correction			
Design period 20 Years				return 2.965e-7 * Math.Pow(T, 5d) - 3.124e-5 * Math.Pow(T, 4d) +			
Min. thickn. 1. layer 100 mm				1.24e-3 * Math.Pow(T, 3d) - 2.292e-2 * Math.Pow(T, 2d) + 2.139e-1			
Max E1 50000 MPa				* T - 1.888e-1;			
Layer Thickness Emodule				Sectioning			
1 180 mm 27,600 MPa				Points viewed 4			
Poissons ratio 0.35				Std. dev. factor 5			
Eq. factor 0.95				Section alignment 50 m			
LSCF 1				Reinf. interval 5 mm			
Criteria Stress				Traffic			
Allowable stress on concrete				Std. axle load 9.6 T			
double A = -0.513d;				Default traffic load 4.984 ESA			
double B = 6.0599d;				Ann. traffic growth 2 %			
double C = 1.776d;				Impact factor 2			
double D = 1.0d;				Loadplate radius 150 mm			
return (B+A * Math.Log(N, 10d))*1E-8*Math.Pow				Contact pressure 0.68 MPa			
(Emod/D,C);				Seasonal factor 1			
0.35 0.82 1 Stress							
double Eref = 160d;							
double A = 0.118d;							
double B = -0.077d;							
double C = (Emod <= Eref) ? 0.93d : 1.01d;							
return A * Math.Pow((N / 1E+6), B) * Math.Pow							
(Emod / Eref, C);							
0.35 0.82 1 Stress							
double Eref = 160d;							
double A = 0.118d;							
double B = -0.077d;							
double C = (Emod <= Eref) ? 0.93d : 1.01d;							
return A * Math.Pow((N / 1E+6), B) * Math.Pow							
(Emod / Eref, C);							
0.35 0.82 1 Stress							
double Eref = 160d;							
double A = 0.118d;							
double B = -0.077d;							
double C = (Emod <= Eref) ? 0.93d : 1.01d;							
return A * Math.Pow((N / 1E+6), B) * Math.Pow							
(Emod / Eref, C);							
0.35 0.82 1 Stress							
double Eref = 160d;							
double A = 0.118d;							
double B = -0.077d;							
double C = (Emod <= Eref) ? 0.93d : 1.01d;							
return A * Math.Pow((N / 1E+6), B) * Math.Pow							
(Emod / Eref, C);							
0.35 0.82 1 Stress							

Sweco, Transportation & Mobility, Pavement Consultants
Evaluation.repx, 12-Oct-2015

Page 1 of 8

Project **CORREDOR EXCLUSIVO DE ONIBUS** Client **MAURICIO PINA** RoSy© PM System

ROAD EVALUATION REPORT

Date 23-Dec-202

FAA unbound criteria		double Eref = 160d;
		double A = 0.118d;
		double B = -0.077d;
		double C = (Emod <= Eref) ? 0.93d : 1.01d;
		return A * Math.Pow((N / 1E+6), B) * Math.Pow
		(Emod / Eref, C);

Sweco, Transportation & Mobility, Pavement Consultants
Evaluation.repx, 12-Oct-2015

Page 2 of 8

Project CORREDOR EXCLUSIVO
DE ONIBUS

Client MAURICIO PINA

RoSy© PM System

ROAD EVALUATION REPORT

Date 23-Dec-202

District	Road name		Road number				Chainage0				Lane							
RECIFE	AV CAXANGA		AV CAXANGA				AV CAXANGA COM AV AFONCO OLINDENSE				0							
Section	Chainage [m]	Remarks	E1 [MPa]	E2 [MPa]	E3 [MPa]	E4 [MPa]	Crit. layer	H1 [mm]	H2 [mm]	H3 [mm]	H4 [mm]	Width [m]	Traffic ESA	MSG	LTE Factor	Westerg. LTE	Res life [Yr]	Reinf. [mm]
1	0		13074	96	2539	105	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	81	NA	NA	0.0	300
0	0		13123	95	2573	105	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	81	NA	NA	0.0	300
0	0		2102	2102	745	141	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	1788	NA	NA	0.0	300
0	50		22460	154	1810	108	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	84	NA	NA	0.0	150
1	50		22264	153	1769	115	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	88	NA	NA	0.0	155
0	100		20731	58	11809	134	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	76	NA	NA	0.0	190
1	100		20974	60	10687	131	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	74	NA	NA	0.0	185
0	150		1473	1473	512	116	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	1528	NA	NA	0.0	300
1	150		1558	1558	347	120	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	1494	NA	NA	0.0	300
0	200		1594	1594	550	118	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	1480	NA	NA	0.0	300
1	200		1594	1594	558	118	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	1484	NA	NA	0.0	300
1	250		27465	50	854	95	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	35	NA	NA	0.1	90
0	250		26095	51	1085	96	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	37	NA	NA	0.0	115
0	300		23196	50	1579	100	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	47	NA	NA	0.0	160
1	300		23326	52	1533	96	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	47	NA	NA	0.0	155
1	350		16521	114	842	101	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	67	NA	NA	0.0	300
0	350		17028	117	629	100	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	64	NA	NA	0.0	290
0	400		27715	48	206	82	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	28	NA	NA	0.0	95
1	400		27691	45	310	83	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	28	NA	NA	0.0	95

Sweco, Transportation & Mobility, Pavement Consultants
Evaluation.repx, 12-Oct-2015

Page 3 of 8

Project CORREDOR EXCLUSIVO
DE ONIBUS

Client MAURICIO PINA

RoSy© PM System

ROAD EVALUATION REPORT

Date 23-Dec-202

District	Road name		Road number		Chainage0		Lane											
RECIFE	AV CAXANGA		AV CAXANGA		AV CAXANGA COM AV AFONCO OLINDENSE		0											
Section	Chainage [m]	Remarks	E1 [MPa]	E2 [MPa]	E3 [MPa]	E4 [MPa]	Crit. layer	H1 [mm]	H2 [mm]	H3 [mm]	H4 [mm]	Width [m]	Traffic ESA	MSG	LTE Factor	Westerg. LTE	Res life [Yr]	Reinf. [mm]
0	450		21051	56	2956	101	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	54	NA	NA	0.0	195
1	450		21259	55	3359	98	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	53	NA	NA	0.0	195
1	500		7678	53	757	77	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	44	NA	NA	0.0	300
0	500		7835	54	643	77	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	43	NA	NA	0.0	300
1	1557		3542	3542	224	141	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	1331	NA	NA	0.0	300
0	1557		2402	2402	835	125	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	1653	NA	NA	0.0	300
0	1600		1724	1724	1422	143	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	1832	NA	NA	0.0	300
2	1600		1849	1849	1531	137	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	1758	NA	NA	0.0	300
0	1650		1807	1807	1473	156	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	1872	NA	NA	0.0	300
2	1650		1789	1789	1458	157	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	1921	NA	NA	0.0	300
0	1700		18592	148	3594	184	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	131	NA	NA	0.0	220
2	1700		19099	144	4019	181	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	130	NA	NA	0.0	210
0	1751		33684	97	4872	161	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	83	NA	NA	20.0	0
2	1751		27910	192	1513	148	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	105	NA	NA	2.0	40
2	1800		30751	67	14024	168	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	92	NA	NA	20.0	0
0	1800		31591	64	14794	174	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	91	NA	NA	20.0	0
0	3300		1291	1291	121	98	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	1227	NA	NA	0.0	300
2	3300		1127	1127	129	98	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	1362	NA	NA	0.0	300
0	3350		29859	69	891	99	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	45	NA	NA	2.0	40

Sweco, Transportation & Mobility, Pavement Consultants
Evaluation.repx, 12-Oct-2015

Page 4 of 8

Project CORREDOR EXCLUSIVO
DE ONIBUS

Client MAURICIO PINA

RoSy© PM System

ROAD EVALUATION REPORT

Date 23-Dec-202

District	Road name		Road number					Chainage0				Lane						
RECIFE	AV CAXANGA		AV CAXANGA					AV CAXANGA COM AV AFONCO OLINDENSE				0						
Section	Chainage [m]	Remarks	E1 [MPa]	E2 [MPa]	E3 [MPa]	E4 [MPa]	Crit. layer	H1 [mm]	H2 [mm]	H3 [mm]	H4 [mm]	Width [m]	Traffic ESA	MSG	LTE Factor	Westerg. LTE	Res life [Yr]	Reinf. [mm]
3	3350		30250	75	735	97	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	44	NA	NA	2.8	35
3	3400		1438	1438	494	107	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	1388	NA	NA	0.0	300
0	3400		1453	1453	500	112	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	1421	NA	NA	0.0	300
0	3450		2122	2122	733	97	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	1225	NA	NA	0.0	300
3	3450		1978	1978	680	107	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	1348	NA	NA	0.0	300
3	3500		29747	83	486	89	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	41	NA	NA	1.4	45
0	3500		30987	66	773	96	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	40	NA	NA	4.6	25
0	3550		1103	1103	383	94	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	1161	NA	NA	0.0	300
3	3550		1072	1072	369	99	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	1206	NA	NA	0.0	300
3	3600		17301	48	5105	99	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	54	NA	NA	0.0	290
0	3600		16941	47	5446	103	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	55	NA	NA	0.0	300
0	3650		16525	135	1306	101	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	78	NA	NA	0.0	295
3	3650		17165	126	1369	102	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	76	NA	NA	0.0	280
3	3700		1066	1066	240	98	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	1180	NA	NA	0.0	300
0	3700		1025	1025	207	103	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	1243	NA	NA	0.0	300
3	3750		1390	1390	484	118	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	1433	NA	NA	0.0	300
0	3750		1395	1395	480	122	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	1471	NA	NA	0.0	300
0	3800		1879	1879	650	137	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	1728	NA	NA	0.0	300
3	3800		3297	3297	129	143	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	1285	NA	NA	0.0	300

Sweco, Transportation & Mobility, Pavement Consultants
Evaluation.rep.v, 12-Okt-2015

Page 5 of 8

Project CORREDOR EXCLUSIVO
DE ONIBUS

Client MAURICIO PINA

RoSy© PM System

ROAD EVALUATION REPORT

Date 23-Dec-202

District	Road name		Road number				Chainage0				Lane							
RECIFE	AV CAXANGA		AV CAXANGA				AV CAXANGA COM AV AFONCO OLINDENSE				0							
Section	Chainage [m]	Remarks	E1 [MPa]	E2 [MPa]	E3 [MPa]	E4 [MPa]	Crit. layer	H1 [mm]	H2 [mm]	H3 [mm]	H4 [mm]	Width [m]	Traffic ESA	MSG	LTE Factor	Westerg. LTE	Res life [Yr]	Reinf. [mm]
3	5100		1580	1580	573	137	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	1660	NA	NA	0.0	300
0	5100		1536	1536	562	142	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	1707	NA	NA	0.0	300
0	5150		34787	60	249	100	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	35	NA	NA	20.0	0
4	5150		35004	51	440	98	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	34	NA	NA	20.0	0
0	5200		53743	53743	3534	15	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	7	NA	NA	20.0	0
4	5200		15623	185	165	7	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	26	NA	NA	0.0	300
4	5250		1282	1282	187	54	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	703	NA	NA	0.0	300
0	5250		1289	1289	188	54	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	707	NA	NA	0.0	300
4	5300		1309	1309	459	132	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	1638	NA	NA	0.0	300
0	5300		1323	1323	1102	114	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	1593	NA	NA	0.0	300
0	5351		46650	84	1994	140	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	58	NA	NA	20.0	0
5	5351		47069	84	1888	137	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	56	NA	NA	20.0	0
5	5400		46760	49	290	59	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	19	NA	NA	20.0	0
0	5400		46554	52	278	56	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	18	NA	NA	20.0	0
5	5451		45184	55	188	72	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	21	NA	NA	20.0	0
0	5451		44602	53	224	74	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	21	NA	NA	20.0	0
0	5500		1096	1096	389	115	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	1390	NA	NA	0.0	300
5	5500		48342	79	1120	123	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	48	NA	NA	20.0	0
5	5550		1218	1218	419	115	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	1398	NA	NA	0.0	300

Sweco, Transportation & Mobility, Pavement Consultants
Evaluation.rep.v, 12-Okt-2015

Page 6 of 8

Project CORREDOR EXCLUSIVO
DE ONIBUS

Client MAURICIO PINA

RoSy® PM System

ROAD EVALUATION REPORT

Date 23-Dec-202

District	Road name		Road number				Chainage0				Lane							
RECIFE	AV CAXANGA		AV CAXANGA				AV CAXANGA COM AV AFONCO OLINDENSE				0							
Section	Chainage [m]	Remarks	E1 [MPa]	E2 [MPa]	E3 [MPa]	E4 [MPa]	Crit. layer	H1 [mm]	H2 [mm]	H3 [mm]	H4 [mm]	Width [m]	Traffic ESA	MSG	LTE Factor	Westerg. LTE	Res life [Yr]	Reinf. [mm]
0	5550		1254	1254	433	113	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	1383	NA	NA	0.0	300
0	5600		1466	1466	1202	135	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	1750	NA	NA	0.0	300
6	5600		1458	1458	1196	135	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	1752	NA	NA	0.0	300
6	5650		16681	205	19466	210	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	149	NA	NA	0.0	265
0	5650		16077	202	19688	214	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	154	NA	NA	0.0	280
6	5700		2988	76	8750	116	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	99	NA	NA	0.0	300
0	5700		3078	74	11017	113	1	180	660	310	NE	3.8	44,231	98	NA	NA	0.0	300

Sweco, Transportation & Mobility, Pavement Consultants
Evaluation.repx, 12-Oct-2015

Page 7 of 8

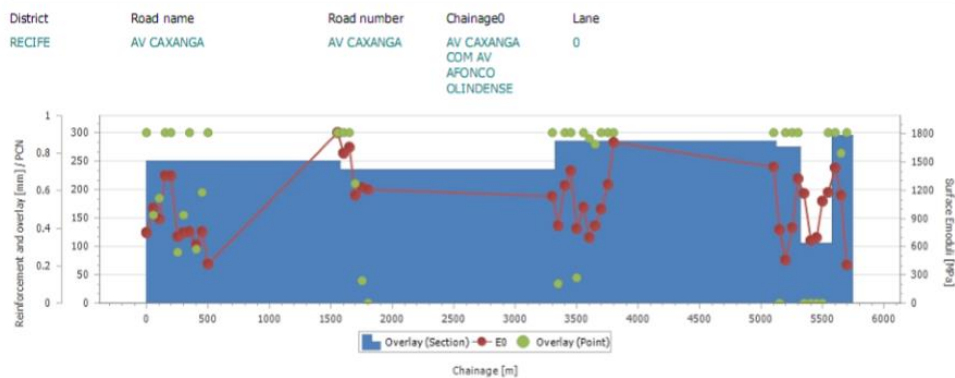
Project CORREDOR EXCLUSIVO
DE ONIBUS

Client MAURICIO PINA

RoSy® PM System

ROAD EVALUATION REPORT

Date 23-Dec-202



Section number	From ch. [m]	To ch. [m]	Overlay [mm]	Eq. passes in period	Extra tonnes	Residual lifetime [years]
1	0	1578	250	44,231	137.2	0.0
2	1578	3325	235	44,231	95.6	1.0
3	3325	5125	285	44,231	0.0	0.1
4	5125	5325	275	44,231	32.1	1.7
5	5325	5575	105	44,231	83.4	13.0
6	5575	5750	295	44,231	0.0	0.0

Sweco, Transportation & Mobility, Pavement Consultants
Evaluation.repx, 12-Oct-2015

Page 8 of 8

APÊNDICE F - Retroanálise do pavimento da Avenida Caxangá pelo PRIMAX (sentido cidade-subúrbio)

Project **CORREDOR EXCLUSIVO DE ONIBUS** Client **MAURICIO PINA** RoSy© PM System

ROAD EVALUATION REPORT

Date 23-Dec-202

Pavement type						Emodule for reinforcement		
Caxangá A						< 100 mm = 2000 MPa		
Construction alias						>= 100 mm = 3000 MPa		
^([?])as([fp]).*.\$						Temperature correction		
Layer	Thickness	Emodule	Poissons ratio	Eq. factor	LSCF	Criteria	return 2.965e-7 * Math.Pow(T, 5d) - 3.124e-5 * Math.Pow(T, 4d) + 1.24e-3 * Math.Pow(T, 3d) - 2.292e-2 * Math.Pow(T, 2d) + 2.139e-1 * T - 1.888e-1;	
							Temperatur range	
1	220 mm	3,500 MPa	0.35	0.95	1	Strain	5 °C	45 °C
Allowable microstrain on asphalt						Design temp.		
						0 °C		
						Sectioning		
						Points viewed	4	Band width 2.5
						Std. dev. factor	5	Extra reinf. 33 %
						Section alignment	50 m	Autom. sect. 200 m
						Reinf. interval	5 mm	Min. reinf. 10 mm
						Traffic		
						Std. axle load	9.6 T	
						Default traffic load	4.984 ESA	
						Ann. traffic growth	2 %	
						Impact factor	2	
						Loadplate radius	150 mm	
						Contact pressure	0.68 MPa	
						Seasonal factor		
						1		

Sweco, Transportation & Mobility, Pavement Consultants
Evaluation.rep, 12-Okt-2015

Page 1 of 7

Project **CORREDOR EXCLUSIVO DE ONIBUS** Client **MAURICIO PINA** RoSy© PM System

ROAD EVALUATION REPORT

Date 23-Dec-202

double B = -0.077d;
double C = (Emod <= Eref) ? 0.93d : 1.01d;

return A * Math.Pow((N / 1E+6), B) * Math.Pow
(Emod / Eref, C);

Sweco, Transportation & Mobility, Pavement Consultants
Evaluation.rep, 12-Okt-2015

Page 2 of 7

Project CORREDOR EXCLUSIVO
DE ONIBUS

Client MAURICIO PINA

RoSy® PM System

ROAD EVALUATION REPORT

Date 23-Dec-202

District	Road name		Road number					Chainage0				Lane							
RECIFE	AV CAXANGA VOLTA		AV CAXANGA					A 500 METROS DO FIM DA AV				0							
Section	Chainage [m]	Remarks	E1 [MPa]	E2 [MPa]	E3 [MPa]	E4 [MPa]	Crit. layer	H1 [mm]	H2 [mm]	H3 [mm]	H4 [mm]	Width [m]	Traffic ESA	MSG	LTE Factor	Westerg. LTE	Res life [Yr]	Reinf. [mm]	
1	500		695	29	14623	98	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	145	
0	500		688	28	15000	97	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	150	
0	550		677	100	1865	107	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	85	
1	550		521	59	5142	105	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	120	
0	600		690	21	37774	120	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	160	
1	600		720	30	18584	111	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	145	
1	650		927	107	3287	86	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	65	
0	650		862	99	4641	82	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	70	
0	700		1291	18	10320	141	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	135	
1	700		1215	20	86548	137	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	135	
0	750		941	12	71190	116	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	170	
1	750		924	15	48403	107	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	160	
0	850		613	19	12996	118	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	170	
1	850		621	20	93778	134	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	165	
0	900		511	16	67565	127	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	185	
1	900		501	15	86042	122	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	190	
0	951		408	17	13464	73	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	190	
1	951		3500	350	150	39	1	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	20.0	0	
1	1000		405	13	18383	72	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	200	
0	1000		395	12	19576	71	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	205	

Sweco, Transportation & Mobility, Pavement Consultants
Evaluation.repx, 12-Okt-2015

Page 3 of 7

Project CORREDOR EXCLUSIVO
DE ONIBUS

Client MAURICIO PINA

RoSy® PM System

ROAD EVALUATION REPORT

Date 23-Dec-202

District	Road name		Road number					Chainage0				Lane							
RECIFE	AV CAXANGA	VOLTA	AV CAXANGA					A 500 METROS DO FIM DA AV				0							
Section	Chainage [m]	Remarks	E1 [MPa]	E2 [MPa]	E3 [MPa]	E4 [MPa]	Crit. layer	H1 [mm]	H2 [mm]	H3 [mm]	H4 [mm]	Width [m]	Traffic ESA	MSG	LTE Factor	Westerg. LTE	Res life [Yr]	Reinf. [mm]	
0	2500		567	24	16109	95	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	165	
1	2500		623	36	6254	88	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	145	
0	2551		1128	29	55909	127	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	125	
2	2551		1189	25	66300	133	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	125	
2	2600		1517	19	86011	162	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	120	
0	2600		1442	21	87292	153	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	120	
0	2650		1227	23	50215	129	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	125	
2	2650		1254	19	69615	123	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	135	
2	2701		602526	60252	24832	96	1	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	20.0	0	
0	2701		6236	6236	288	202	3	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	20.0	0	
0	2750		1426	26	11593	174	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	115	
2	2750		1405	26	12738	168	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	115	
2	2800		796	17	85436	119	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	160	
0	2800		740	19	76188	113	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	160	
2	2850		962	18	92770	132	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	150	
0	2850		967	17	10381	132	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	150	
2	2900		825	23	52254	112	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	145	
0	2900		909	18	73433	120	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	150	
2	2950		1137	28	10980	156	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	125	
0	2950		1176	27	10905	157	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	125	

Sweco, Transportation & Mobility, Pavement Consultants
Evaluation.repx, 12-Okt-2015

Page 4 of 7

Project CORREDOR EXCLUSIVO
DE ONIBUS

Client MAURICIO PINA

RoSy© PM System

ROAD EVALUATION REPORT

Date 23-Dec-202

District	Road name		Road number					Chainage0				Lane							
RECIFE	AV CAXANGA	VOLTA	AV CAXANGA					A 500 METROS DO FIM DA AV				0							
Section	Chainage [m]	Remarks	E1 [MPa]	E2 [MPa]	E3 [MPa]	E4 [MPa]	Crit. layer	H1 [mm]	H2 [mm]	H3 [mm]	H4 [mm]	Width [m]	Traffic ESA	MSG	LTE Factor	Westerg. LTE	Res. life [Yr]	Reinf. [mm]	
2	3000		467	15	57968	115	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	190	
0	3000		475	15	58304	115	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	190	
0	4500		650	11	98406	115	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	190	
2	4500		556	22	27917	96	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	165	
3	4550		1296	23	12914	182	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	125	
0	4550		1234	24	11771	181	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	125	
3	4650		376	13	46117	89	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	205	
0	4650		364	17	24930	86	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	195	
0	4701		555	11	36782	90	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	195	
3	4701		519	14	25932	84	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	190	
3	4750		770	17	61381	125	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	160	
0	4750		774	15	74159	127	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	165	
0	4800		1475	22	16390	187	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	120	
3	4800		1480	21	18153	190	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	120	
3	4850		668	24	28540	101	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	155	
0	4850		668	33	15760	95	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	145	
3	4900		576	23	17750	100	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	165	
0	4900		1815	82	184	124	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.3	45	
0	4950		685	21	31811	108	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	160	
3	4950		767	13	71882	123	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	175	

Sweco, Transportation & Mobility, Pavement Consultants
Evaluation.repx, 12-Okt-2015

Page 5 of 7

Project CORREDOR EXCLUSIVO
DE ONIBUS

Client MAURICIO PINA

RoSy© PM System

ROAD EVALUATION REPORT

Date 23-Dec-202

District	Road name		Road number		Chainage0		Lane											
RECIFE	AV CAXANGA	VOLTA	AV CAXANGA		A 500 METROS DO FIM DA AV		0											
Section	Chainage [m]	Remarks	E1 [MPa]	E2 [MPa]	E3 [MPa]	E4 [MPa]	Crit. layer	H1 [mm]	H2 [mm]	H3 [mm]	H4 [mm]	Width [m]	Traffic ESA	MSG	LTE Factor	Westerg. LTE	Res life [Yr]	Reinf. [mm]
3	5000		900	15	77776	130	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	160
0	5000		734	52	15553	98	2	220	100	220	NE	3.8	44,231		NA	NA	0.0	120

Sweco, Transportation & Mobility, Pavement Consultants
Evaluation.repx, 12-Okt-2015

Page 6 of 7

Project CORREDOR EXCLUSIVO
DE ONIBUS

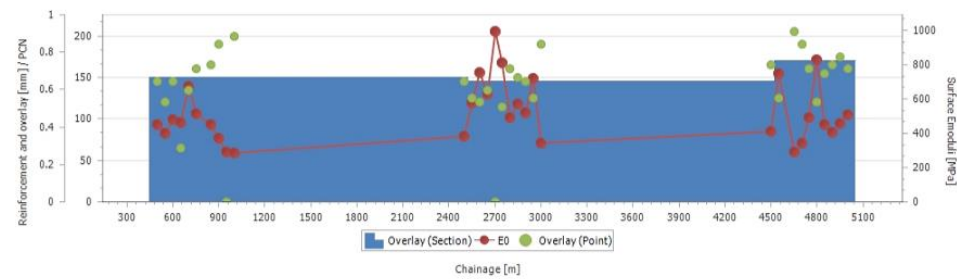
Client MAURICIO PINA

RoSy® PM System

ROAD EVALUATION REPORT

Date 23-Dec-202

District RECIFE Road name AV CAXANGA VOLTA Road number AV CAXANGA Chainage0 A 500 METROS DO FIM DA AV Lane 0



Section number	From ch. [m]	To ch. [m]	Overlay [mm]	Eq. passes in period	Extra tonnes	Residual lifetime [years]
1	450	2525	150	44,231	48.7	0.0
2	2525	4525	145	44,231	41.7	0.0
3	4525	5050	170	44,231	31.2	0.0

APÊNDICE G - Retroanálise do pavimento da Avenida Conde da Boa Vista pelo PRIMAX (sentido subúrbio-cidade)

Project CORREDOR EXCLUSIVO DE ONIBUS Client MAURICIO PINA RoSy© PM System

ROAD EVALUATION REPORT

Date 23-Dec-202

Pavement type				Emodule for reinforcement			
Conde da Boa Vista				< 100 mm = 2000 MPa			
Construction alias				>= 100 mm = 3000 MPa			
Design period				Temperature correction			
Min. thickn. 1. layer				return 2.965e-7 * Math.Pow(T, 5d) - 3.124e-5 * Math.Pow(T, 4d) +			
Max E1				1.24e-3 * Math.Pow(T, 3d) - 2.292e-2 * Math.Pow(T, 2d) + 2.139e-1			
20 Years				* T - 1.888e-1;			
100 mm				Temperatur range			
50000 MPa				Design temp.			
Criteria				5 °C			
Stress				45 °C			
Layer				Sectioning			
Thickness				Points viewed			
Emodule				Std. dev. factor			
1				Section alignment			
230 mm				Reinf. interval			
27,600 MPa				Std. axle load			
Allowable stress on concrete				Default traffic load			
Poissons ratio				Ann. traffic growth			
Eq. factor				Impact factor			
LSCF				Loadplate radius			
0.35				Contact pressure			
0.95				Seasonal factor			
1				1			
double A = -0.513d;							
double B = 6.0599d;							
double C = 1.776d;							
double D = 1.0d;							
return (B+A * Math.Log(N, 10d))*1E-8*Math.Pow							
(Emod/D,C);							
0.35							
0.82							
1							
Stress							
double Eref = 160d;							
double A = 0.118d;							
double B = -0.077d;							
double C = (Emod <= Eref) ? 0.93d : 1.01d;							
return A * Math.Pow((N / 1E+6), B) * Math.Pow							
(Emod / Eref, C);							
0.35							
0.82							
1							
Stress							
double Eref = 160d;							
double A = 0.118d;							
double B = -0.077d;							
double C = (Emod <= Eref) ? 0.93d : 1.01d;							
return A * Math.Pow((N / 1E+6), B) * Math.Pow							
(Emod / Eref, C);							
0.35							
0.82							
1							
Stress							
Layer							
Thickness							
2							
50 mm							
350 MPa							
FAA unbound criteria							
Poissons ratio							
Eq. factor							
LSCF							
0.35							
0.82							
1							
Stress							
double Eref = 160d;							
double A = 0.118d;							
double B = -0.077d;							
double C = (Emod <= Eref) ? 0.93d : 1.01d;							
return A * Math.Pow((N / 1E+6), B) * Math.Pow							
(Emod / Eref, C);							
0.35							
0.82							
1							
Stress							
Layer							
Thickness							
3							
50 mm							
350 MPa							
FAA unbound criteria							
Poissons ratio							
Eq. factor							
LSCF							
0.35							
0.82							
1							
Stress							
double Eref = 160d;							
double A = 0.118d;							
double B = -0.077d;							
double C = (Emod <= Eref) ? 0.93d : 1.01d;							
return A * Math.Pow((N / 1E+6), B) * Math.Pow							
(Emod / Eref, C);							
0.35							
0.82							
1							
Stress							
Layer							
Thickness							
4							
0 mm							
80 MPa							
FAA unbound criteria							
Poissons ratio							
Eq. factor							
LSCF							
0.35							
0.82							
1							
Stress							

Project CORREDOR EXCLUSIVO DE ONIBUS Client MAURICIO PINA RoSy© PM System

ROAD EVALUATION REPORT

Date 23-Dec-202

FAA unbound criteria
double Eref = 160d;
double A = 0.118d;

double B = -0.077d;
double C = (Emod <= Eref) ? 0.93d : 1.01d;

return A * Math.Pow((N / 1E+6), B) * Math.Pow
(Emod / Eref, C);

Sweco, Transportation & Mobility, Pavement Consultants
Evaluation.repx, 12-Oct-2015

Page 2 of 6

Project CORREDOR EXCLUSIVO DE ONIBUS Client MAURICIO PINA RoSy© PM System

ROAD EVALUATION REPORT

Date 23-Dec-202

District	Road name		Road number					Chainage0				Lane						
RECIFE	AV C B VISTA LESTE		AV CONDE DA BOA VISTA					INICIO DA AV CONDE DA BOA VISTA				0						
Section	Chainage [m]	Remarks	E1 [MPa]	E2 [MPa]	E3 [MPa]	E4 [MPa]	Crit. layer	H1 [mm]	H2 [mm]	H3 [mm]	H4 [mm]	Width [m]	Traffic ESA	MSG	LTE Factor	Westerg. LTE	Res life [Yr]	Reinf. [mm]
0	0		49308	49308	11938	113	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	49	NA	NA	20.0	0
1	0		40505	40505	33738	119	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	62	NA	NA	20.0	0
0	50		9434	1177	21551	73	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	63	NA	NA	0.0	300
1	50		10194	1238	19010	72	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	59	NA	NA	0.0	300
0	101		33389	4405	13306	109	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	55	NA	NA	20.0	0
1	101		30677	4068	16767	113	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	62	NA	NA	20.0	0
0	150		68999	68999	16751	129	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	52	NA	NA	20.0	0
1	150		69931	69931	16950	126	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	50	NA	NA	20.0	0
0	200		58861	58861	14572	122	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	51	NA	NA	20.0	0
1	200		63395	63395	5663	123	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	47	NA	NA	20.0	0
1	250		27600	350	350	106	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	32	NA	NA	20.0	0
0	250		27600	350	350	97	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	32	NA	NA	20.0	0
1	300		7670	639	16058	80	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	73	NA	NA	0.0	300
0	300		8054	658	15346	79	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	69	NA	NA	0.0	300
0	351		51227	51227	4566	81	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	29	NA	NA	20.0	0
1	351		52010	52010	4555	80	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	29	NA	NA	20.0	0
0	400		80135	80135	7005	110	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	38	NA	NA	20.0	0
1	400		76463	76463	6687	115	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	40	NA	NA	20.0	0
0	450		28226	1265	30065	94	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	41	NA	NA	20.0	0

Sweco, Transportation & Mobility, Pavement Consultants
Evaluation.repx, 12-Oct-2015

Page 3 of 6

Project CORREDOR EXCLUSIVO
DE ONIBUS

Client MAURICIO PINA

RoSy® PM System

ROAD EVALUATION REPORT

Date 23-Dec-202

District	Road name		Road number					Chainage0				Lane						
RECIFE	AV C B VISTA LESTE		AV CONDE DA BOA VISTA					INICIO DA AV CONDE DA BOA VISTA				0						
Section	Chainage [m]	Remarks	E1 [MPa]	E2 [MPa]	E3 [MPa]	E4 [MPa]	Crit. layer	H1 [mm]	H2 [mm]	H3 [mm]	H4 [mm]	Width [m]	Traffic ESA	MSG	LTE Factor	Westerg. LTE	Res. life [Yr]	Reinf. [mm]
1	450		27963	1327	29966	94	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	41	NA	NA	20.0	0
1	500		17209	1367	90234	78	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	46	NA	NA	0.0	210
0	500		17434	1351	80058	78	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	45	NA	NA	0.0	200
1	1000		46699	46699	12846	114	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	52	NA	NA	20.0	0
0	1000		46465	46465	14108	114	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	53	NA	NA	20.0	0
0	1050		61121	61121	14870	112	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	44	NA	NA	20.0	0
2	1050		63534	63534	15358	108	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	42	NA	NA	20.0	0
2	1101		62682	62682	15114	112	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	44	NA	NA	20.0	0
0	1101		62272	62272	15080	112	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	45	NA	NA	20.0	0
2	1150		42876	42876	10585	92	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	39	NA	NA	20.0	0
0	1150		43068	43068	10398	93	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	39	NA	NA	20.0	0
0	1200		30361	3996	17951	110	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	59	NA	NA	20.0	0
3	1200		29962	3943	18174	109	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	59	NA	NA	20.0	0
3	1250		106	18514	71406	72	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	148	NA	NA	0.0	300
0	1250		86	55	53131	82	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	167	NA	NA	0.0	300
0	1301		71950	71950	18359	167	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	90	NA	NA	20.0	0
3	1301		81730	81730	69006	175	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	81	NA	NA	20.0	0
3	1350		36377	4833	26545	125	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	69	NA	NA	20.0	0
0	1350		36219	4759	28703	124	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	69	NA	NA	20.0	0

Sweco, Transportation & Mobility, Pavement Consultants
Evaluation.rep.v, 12-Oct-2015

Page 4 of 6

Project CORREDOR EXCLUSIVO
DE ONIBUS

Client MAURICIO PINA

RoSy® PM System

ROAD EVALUATION REPORT

Date 23-Dec-202

District	Road name		Road number					Chainage0				Lane							
RECIFE	AV C B VISTA LESTE		AV CONDE DA BOA VISTA					INICIO DA AV CONDE DA BOA VISTA				0							
Section	Chainage [m]	Remarks	E1 [MPa]	E2 [MPa]	E3 [MPa]	E4 [MPa]	Crit. layer	H1 [mm]	H2 [mm]	H3 [mm]	H4 [mm]	Width [m]	Traffic ESA	MSG	LTE Factor	Westerg. LTE	Res. life [Yr]	Reinf. [mm]	
3	1400		32322	32322	17436	119	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	80	NA	NA	20.0	0	
0	1400		31512	31512	21252	121	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	85	NA	NA	20.0	0	
0	1450		32499	193	1625	69	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	22	NA	NA	20.0	0	
4	1450		34233	205	1208	69	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	21	NA	NA	20.0	0	
0	1500		19710	2629	91605	87	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	49	NA	NA	0.0	135	
4	1500		15771	2088	18344	89	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	62	NA	NA	0.0	240	

Sweco, Transportation & Mobility, Pavement Consultants
Evaluation.rep.v, 12-Oct-2015

Page 5 of 6

Project CORREDOR EXCLUSIVO
DE ONIBUS

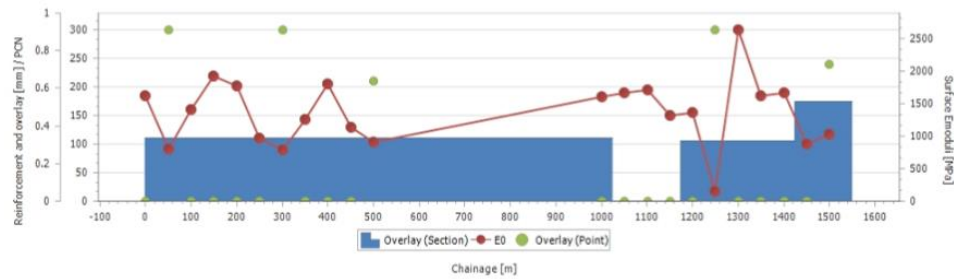
Client MAURICIO PINA

RoSy® PM System

ROAD EVALUATION REPORT

Date 23-Dec-202

District RECIFE
Road name AV C B VISTA LESTE
Road number AV CONDE DA
BOA VISTA
Chainage0 INICIO DA AV
CONDE DA BOA
VISTA
Lane 0



Section number	From ch. [m]	To ch. [m]	Overlay [mm]	Eq. passes in period	Extra tonnes	Residual lifetime [years]
1	0	1025	110	44,231	226.6	12.0
2	1025	1175	0	44,231	0.0	20.0
3	1175	1425	105	44,231	83.4	13.0
4	1425	1550	175	44,231	41.7	5.3

APÊNDICE H - Retroanálise do pavimento da Avenida Conde da Boa Vista pelo PRIMAX (sentido cidade-subúrbio)

Project CORREDOR EXCLUSIVO DE ONIBUS Client MAURICIO PINA RoSy© PM System

ROAD EVALUATION REPORT

Date 23-Dec-202

Pavement type					Emodule for reinforcement		
Conde da Boa Vista					< 100 mm = 2000 MPa		
Construction alias					>= 100 mm = 3000 MPa		
^(?i)beton.*\$					Temperature correction		
Design period Min. thickn. 1. layer Max E1					return 2.965e-7 * Math.Pow(T, 5d) - 3.124e-5 * Math.Pow(T, 4d) +		
20 Years 100 mm 50000 MPa					1.24e-3 * Math.Pow(T, 3d) - 2.292e-2 * Math.Pow(T, 2d) + 2.139e-1		
Layer Thickness Emodule					* T - 1.888e-1;		
1 230 mm 27,600 MPa					Temperatur range		
Allowable stress on concrete					5 °C 45 °C		
Poissons ratio Eq. factor LSCF Criteria					Design temp.		
0.35 0.95 1 Stress					0 °C		
double A = -0.513d;					Sectioning		
double B = 6.0599d;					Points viewed 4		
double C = 1.776d;					Std. dev. factor 5		
double D = 1.0d;					Section alignment 50 m		
return (B+A * Math.Log(N, 10d))*1E-8*Math.Pow					Reinf. interval 5 mm		
(Emod/D,C);					Traffic		
0.35 0.82 1 Stress					Std. axle load 9.6 T		
double Eref = 160d;					Default traffic load 4.984 ESA		
double A = 0.118d;					Ann. traffic growth 2 %		
double B = -0.077d;					Impact factor 2		
double C = (Emod <= Eref) ? 0.93d : 1.01d;					Loadplate radius 150 mm		
return A * Math.Pow((N / 1E+6), B) * Math.Pow					Contact pressure 0.68 MPa		
(Emod / Eref, C);					Seasonal factor 1		
0.35 0.82 1 Stress							
double B = -0.077d;							
double C = (Emod <= Eref) ? 0.93d : 1.01d;							
return A * Math.Pow((N / 1E+6), B) * Math.Pow							
(Emod / Eref, C);							
0.35 0.82 1 Stress							
4 0 mm 80 MPa							

Project CORREDOR EXCLUSIVO DE ONIBUS Client MAURICIO PINA

RoSy© PM System

ROAD EVALUATION REPORT

Date 23-Dec-202

FAA unbound criteria
 double Eref = 160d;
 double A = 0.118d;
 double B = -0.077d;
 double C = (Emod <= Eref) ? 0.93d : 1.01d;
 return A * Math.Pow((N / 1E+6), B) * Math.Pow
 (Emod / Eref, C);

Sweco, Transportation & Mobility, Pavement Consultants
 Evaluation.repx, 12-Okt-2015

Page 2 of 6

Project CORREDOR EXCLUSIVO DE ONIBUS Client MAURICIO PINA

RoSy© PM System

ROAD EVALUATION REPORT

Date 23-Dec-202

District	Road name		Road number					Chainage0				Lane							
RECIFE	AV C B VISTA OESTE		AV CONDE DA BOA VISTA					PONTE				0							
Section	Chainage [m]	Remarks	E1 [MPa]	E2 [MPa]	E3 [MPa]	E4 [MPa]	Crit. layer	H1 [mm]	H2 [mm]	H3 [mm]	H4 [mm]	Width [m]	Traffic	MSG	LTE Factor	Westerg. LTE	Res life [Yr]	Reinf. [mm]	
1	0		26202	2548	24485	107	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	67	NA	NA	20.0	0	
0	0		22285	2166	38226	108	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	79	NA	NA	1.3	55	
0	50		34432	34432	3064	94	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	42	NA	NA	20.0	0	
1	50		34908	34908	3102	94	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	42	NA	NA	20.0	0	
0	100		19562	2594	13672	92	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	55	NA	NA	0.0	135	
1	100		18750	2500	15981	91	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	58	NA	NA	0.0	155	
1	150		23318	2329	25006	99	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	64	NA	NA	3.2	35	
0	150		29422	2752	12818	92	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	47	NA	NA	20.0	0	
0	200		34513	2718	14081	103	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	51	NA	NA	20.0	0	
1	200		34537	2570	14293	103	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	51	NA	NA	20.0	0	
1	250		21979	2026	33580	101	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	73	NA	NA	0.7	65	
0	250		23249	1993	30642	100	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	69	NA	NA	3.5	35	
0	301		22791	1270	15265	106	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	65	NA	NA	1.6	50	
2	301		23938	1326	14983	104	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	62	NA	NA	6.5	25	
2	350		12031	1579	10631	99	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	65	NA	NA	0.0	300	
0	350		11895	1546	10762	99	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	66	NA	NA	0.0	300	
0	400		39139	39139	16540	84	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	38	NA	NA	20.0	0	
2	400		40245	40245	16778	81	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	36	NA	NA	20.0	0	
2	450		4545	585	15775	64	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	72	NA	NA	0.0	300	
0	450		20906	319	388	43	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	16	NA	NA	0.0	145	

Sweco, Transportation & Mobility, Pavement Consultants
 Evaluation.repx, 12-Okt-2015

Page 3 of 6

Project CORREDOR EXCLUSIVO
DE ONIBUS

Client MAURICIO PINA

RoSy® PM System

ROAD EVALUATION REPORT

Date 23-Dec-202

District	Road name	Road number	Chainage0	Lane														
RECIFE	AV C B VISTA OESTE	AV CONDE DA BOA VISTA	PONTE	0														
Section	Chainage [m]	Remarks	E1 [MPa]	E2 [MPa]	E3 [MPa]	E4 [MPa]	Crit. layer	H1 [mm]	H2 [mm]	H3 [mm]	H4 [mm]	Width [m]	Traffic ESA	MSG	LTE Factor	Westerg. LTE	Res life [Yr]	Reinf. [mm]
2	500		48781	1862	52646	105	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	39	NA	NA	20.0	0
0	500		43964	1540	82690	106	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	44	NA	NA	20.0	0
2	1001		49756	49756	41949	134	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	65	NA	NA	20.0	0
0	1001		39929	39929	11028	136	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	81	NA	NA	20.0	0
3	1050		32359	2523	31466	141	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	92	NA	NA	20.0	0
0	1050		34642	2435	21571	142	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	84	NA	NA	20.0	0
3	1100		30200	4014	25036	126	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	74	NA	NA	20.0	0
0	1100		33960	4503	19002	125	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	66	NA	NA	20.0	0
3	1150		106921	10692	26552	155	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	57	NA	NA	20.0	0
0	1150		103658	10365	25252	155	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	56	NA	NA	20.0	0
0	1200		35912	35912	11420	126	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	80	NA	NA	20.0	0
3	1200		36156	36156	10264	126	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	79	NA	NA	20.0	0
0	1250		14396	1010	63085	76	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	46	NA	NA	0.0	300
4	1250		14708	937	53233	77	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	45	NA	NA	0.0	290
4	1300		40369	3771	10902	105	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	47	NA	NA	20.0	0
0	1300		39814	3596	10409	107	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	48	NA	NA	20.0	0
0	1351		56703	56703	47283	141	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	69	NA	NA	20.0	0
4	1351		47394	47394	10747	136	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	78	NA	NA	20.0	0
4	1401		17336	2277	12773	103	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	65	NA	NA	0.0	190
0	1401		17727	2339	11015	106	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	65	NA	NA	0.0	180

Sweco, Transportation & Mobility, Pavement Consultants
Evaluation.repx, 12-Okt-2015

Page 4 of 6

Project CORREDOR EXCLUSIVO
DE ONIBUS

Client MAURICIO PINA

RoSy® PM System

ROAD EVALUATION REPORT

Date 23-Dec-202

District	Road name		Road number					Chainage0				Lane							
RECIFE	AV C B VISTA OESTE		AV CONDE DA BOA VISTA					PONTE				0							
Section	Chainage [m]	Remarks	E1 [MPa]	E2 [MPa]	E3 [MPa]	E4 [MPa]	Crit. layer	H1 [mm]	H2 [mm]	H3 [mm]	H4 [mm]	Width [m]	Traffic ESA	MSG	LTE Factor	Westerg. LTE	Res life [Yr]	Reinf. [mm]	
0	1450		9801	1295	43620	94	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	111	NA	NA	0.0	300	
4	1450		9426	1255	43612	95	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	115	NA	NA	0.0	300	
4	1500		9773	1084	26428	80	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	74	NA	NA	0.0	300	
0	1500		9737	1092	27280	79	1	230	50	50	NE	3.8	44,231	74	NA	NA	0.0	300	

Sweco, Transportation & Mobility, Pavement Consultants
Evaluation.repx, 12-Okt-2015

Page 5 of 6

Project CORREDOR EXCLUSIVO
DE ONIBUS

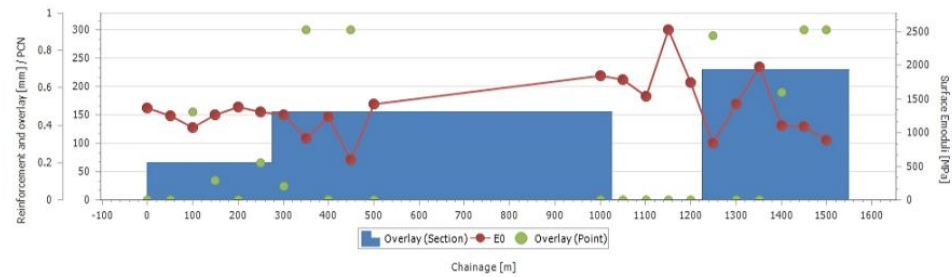
Client MAURICIO PINA

RoSy® PM System

ROAD EVALUATION REPORT

Date 23-Dec-202

District RECIFE Road name AV C B VISTA OESTE Road number AV CONDE DA BOA VISTA Chainage0 PONTE Lane 0



Section number	From ch. [m]	To ch. [m]	Overlay [mm]	Eq. passes in period	Extra kN/mes	Residual lifetime [years]
1	0	276	65	44,231	38.5	7.2
2	276	1026	155	44,231	124.0	7.8
3	1026	1225	0	44,231	0.0	20.0
4	1225	1550	230	44,231	99.9	3.3

APÊNDICE I - Estudos de tráfego Avenida Caxangá - pavimento asfáltico (pista no sentido oeste)

1) Linhas com itinerário pela avenida Caxangá

LINHAS- CAXANGÁ- OUTUBRO 2019										
EMP.	CÓD	LINHA	VIAGENS						Trechos- Av. Caxangá	Total de Linhas
			DU/Dia	DU/Mês	SÁB/Dia	SÁB/Mês	DOM/Dia	DOM/Mês		
EME	202	BARRO / MACAXEIRA (VÁRZEA)	84	1.921	67	201	69	345	Trecho I- Entre a Rua Rodrigues Ferreira e a rua Gastão de Vidigal	19 linhas
VML	303	CURADO II / CAXANGÁ (BR-232)	66	1.518	47	141	46,5	232,5		
MOB	2417	NOVA MORADA / TI CAXANGÁ	48	1.104	Não Opera	Não Opera	38	190		
MOB	2437	TI CAXANGÁ (CONDE BOA VISTA)	154	3.542	4	12	65	325		
MOB	2442	JD PRIMAVERA (V. PEDREIRAS) / TI CAXANGÁ	87	2.001	64	192	53	265		
MOB	2445	TABATINGA / TI CAXANGÁ	98	2.254	73	219	51	255		
MOB	2459	TI COSME E DAMIÃO / TI CAXANGÁ	78	1.794	74	222	65	325		
MOB	2464	JARDIM TERESÓPOLIS / TI CAXANGÁ	28,5	656	24	72	24	120		
MOB	2488	VILA DA FÁBRICA / TI CAXANGÁ	45	1.035	43	129	43	215		
MOB	2402	PARQUE CAPIBARIBE / CAXANGÁ	32	736	28	84	28	140		
MOB	2435	CDU (VÁRZEA) (BACURAU)	4	92	4	12	4	20		
MOB	2462	LOTEAMENTO SANTOS COSME E DAMIÃO	3	69	3	9	3	15		
BOA	60	TI TANCREDO NEVES / MACAXEIRA	48	1.104	45	135	42	210		
TRC	522	DOIS IRMÃOS (RUI BARBOSA E PRÍNCIPE)	77	1.771	49	147	38	190		
TRC	523	DOIS IRMÃOS (BACURAU)	4	92	6	18	6,5	32,5		
VML	302	TI TIP / CAXANGÁ	45	1.035	38	114	36	180		
MOB	2450	TI CAMARAGIBE (CONDE BOA VISTA)- BRT	140	3.220	126	378	88	440		
MOB	2480	TI CAMARAGIBE / DERBY- BRT	157	3.611	Não Opera	Não Opera	Não Opera	Não Opera		
MOB	2437	TI Caxangá (Conde da Boa Vista)- BRT	154	3.542	100	300	65	325		
TOTAL			1.352	31.096	795	2385	765	3825		

LINHAS- CAXANGÁ- OUTUBRO 2019										
EMP.	CÓD	LINHA	VIAGENS						Trechos- Av. Caxangá	Total de Linhas
			DU/Dia	DU/Mês	SÁB/Dia	SÁB/Mês	DOM/Dia	DOM/Mês		
TRC	330	CASA AMARELA / CDU	28	644	20	60	Não Opera	Não Opera	Trecho II- Entre a Avenida General Polidoro até a Estrada do Barbalho	17 linhas
MOB	2423	ENGENHO DO MEIO / TI CDU	82	1.886	65	195	49	245		
MOB	2425	BARBALHO (DETRAN) / TI CDU	74	1.702	57	171	50	250		
MOB	2431	TI CDU (CIRCULAR)	57	1.311	9	27	Não Opera	Não Opera		
MOB	2432	TI CDU (VÁRZEA)	69	1.587	65	195	54	270		
MOB	2433	BRASIL / TI CDU	64	1.472	55	165	38	190		
MOB	2441	TI CDU (CONDE BOA VISTA)	130	2.990	77	231	57	285		
MOB	2443	TI CDU / TI JOANA BEZERRA	50	1.150	42	126	35	175		
MOB	2446	UR-07 (VÁRZEA) / TI CDU	69	1.587	58	174	46	230		
MOB	2040	CDU / BOA VIAGEM / CAXANGÁ	68	1.564	60	180	52	260		
MOB	2920	TI RIO DOCE / CDU	83,5	1.921	54,5	163,5	54,5	272,5		
BOA	440	CDU / CAXANGÁ / BOA VIAGEM	110	2.530	76	228	70	350		
MOB	2441	TI CDU (Conde da Boa Vista)- BRT	130	2.990	77	231	57	285		
MOB	2443	TI CDU / TI Joana Bezerra- BRT	50	1.150	42	126	35	175		
MOB	2450	TI CAMARAGIBE (CONDE BOA VISTA)- BRT	140	3.220	126	378	88	440		
MOB	2480	TI CAMARAGIBE / DERBY- BRT	157	3.611	Não Opera	Não Opera	Não Opera	Não Opera		
MOB	2437	TI Caxangá (Conde da Boa Vista)- BRT	154	3.542	100	300	65	325		
TOTAL			1.516	34.857	983,5	2950,5	750,5	3752,5		

LINHAS- CAXANGÁ- OUTUBRO 2019										
EMP.	CÓD	LINHA	VIAGENS						Trechos- Av. Caxangá	Total de Linhas
			DU/Dia	DU/Mês	SÁB/Dia	SÁB/Mês	DOM/Dia	DOM/Mês		
MOB	2413	AVENIDA DO FORTE / TI GETÚLIO VARGAS	53	1.219	47	141	35	175	Entre a Rua Manoel Moreira e a Avenida	16 linhas
MOB	2415	SÍTIO DAS PALMEIRAS / TI GETÚLIO VARGAS	33	759	14	42	Não Opera	Não Opera		
MOB	2416	RODA DE FOGO / TI GETÚLIO VARGAS	71	1.633	61	183	46	230		
MOB	2421	TORRÕES / TI GETÚLIO VARGAS	45	1.035	48	144	33	165		
MOB	2422	MONSENHOR FABRÍCIO / TI GETÚLIO VARGAS	70	1.610	43	129	41	205		
MOB	2427	MONSENHOR FABRÍCIO (BACURAU)	3	69	4	12	4	20		
EME	412	SAN MARTIN (LARGO DA PAZ)	40	920	30	90	21	105		
MOB	2444	TI GETÚLIO VARGAS (CONDE DA BOA VISTA)- BRT	75	1.725	75	225	58	290		
MOB	2450	TI CAMARAGIBE (CONDE BOA VISTA)- BRT	140	3.220	126	378	88	440		
MOB	2480	TI CAMARAGIBE / DERBY- BRT	157	3.611	Não Opera	Não Opera	Não Opera	Não Opera		
MOB	2437	TI Caxangá (Conde da Boa Vista)- BRT	154	3.542	100	300	65	325		
MOB	2441	TI CDU (Conde da Boa Vista)- BRT	130	2.990	77	231	57	285		
MOB	2443	TI CDU/ TI Joana Bezerra- BRT	50	1.150	42	126	35	175		
MOB	2920	TI RIO DOCE / CDU	83,5	1.921	54,5	163,5	54,5	272,5		
MOB	2040	CDU / BOA VIAGEM / CAXANGÁ	68	1.564	60	180	52	260		
BOA	440	CDU / CAXANGÁ/ BOA VIAGEM	110	2.530	76	228	70	350		
TOTAL			1.283	29.498	857,5	2572,5	659,5	3297,5		

- 1) Trecho mais carregado: II (entre a avenida General Polidoro e a Estrada do Barbalho)
- Mês de referência: outubro/2019 (23 dias úteis, 3 sábados e 5 domingos ou feriados)

- Número médio diário de viagens:
Dias úteis: $34.857/23 = 1.515,5$
Sábados: $2.950,5/3 = 983,5$
Domingos e feriados: $3.752,5/5 = 750,5$
- Número médio diário de viagens por BRT:
Dias úteis: $14.513/23 = 631$
Sábados: $1.035/3 = 345$
Domingos e feriados: $1.225/5 = 245$
Número médio diário geral de viagens de BRT no ano de 2021:
 $(631 \times 23 + 345 \times 3 + 245 \times 5)/31 = 541,1$
Admitindo-se uma taxa média anual geométrica de 2%, o número médio diário geral de viagens de BRT durante o período de 2021 a 2030 (10 anos) será:

$$\left(\sum_{n=0}^{n=9} 541,1 \times 1,02^n \right) / 10 = 592,5$$

- Número médio diário de viagens por ônibus convencionais:
Dias úteis: $1.515,5 - 631 = 884,5$
Sábados: $983,5 - 345 = 638,5$
Domingos e feriados: $750,5 - 245 = 505,5$
Número médio diário geral de viagens de ônibus convencionais no ano de 2021:
 $(884,5 \times 23 + 638,5 \times 3 + 505,5 \times 5)/31 = 799,6$
Admitindo-se uma taxa média anual geométrica de 2%, o número médio diário geral de viagens de ônibus convencionais durante o período de 2021 a 2030 (10 anos) será:

$$\left(\sum_{n=0}^{n=9} 799,6 \times 1,02^n \right) / 10 = 875,5$$

2) Demanda do BRT e cargas por eixo:

Ônibus vazio:

Dianteiro (ESRS): 6,135 t
Intermediário (ESRD): 5,020 t
Traseiro (ESRD): 10,110 t
Total: 21,265 t

- Dias úteis: 107 passageiros
Cargas por eixo:
Dianteiro (ESRS): 8,140 t
Intermediário (ESRD): 7,430 t
Traseiro (ESRD): 13,470 t
Total: 29,040 t
- Sábados: 70% de 107 passageiros = 74,9 passageiros
Cargas por eixo:
Dianteiro (ESRS): $6,135 + 0,70 \times (8,140 - 6,135) = 7,539$ t
Intermediário (ESRD): $5,020 + 0,70 \times (7,430 - 5,020) = 6,707$ t
Traseiro (ESRD): $10,110 + 0,70 \times (13,470 - 10,110) = 12,462$ t
Total: 26,708 t
- Domingos e feriados: 50% de 107 passageiros: 53,5 passageiros
Cargas por eixo:

Dianteiro (ESRS): $6,135 + 0,50 \times (8,140 - 6,135) = 7,138 \text{ t}$
 Intermediário (ESRD): $5,020 + 0,50 \times (7,430 - 5,020) = 6,225 \text{ t}$
 Traseiro (ESRD): $10,110 + 0,50 \times (13,470 - 10,110) = 11,790 \text{ t}$
 Total: $25,153 \text{ t}$

3) Demanda do ônibus convencional e cargas por eixo:

Ônibus vazio:

Dianteiro (ESRS): 4,000 t
 Traseiro (ESRD): 6,000 t
 Total: 10,000 t

- Dias úteis: 60 passageiros

Cargas por eixo:

Dianteiro (ESRS): 5,680 t
 Traseiro (ESRD): 8,520 t
 Total: 14,200 t

- Sábados: 70% de 60 passageiros = 42 passageiros

Cargas por eixo:

Dianteiro (ESRS): 5,176 t
 Traseiro (ESRD): 7,764 t
 Total: 12,940 t

- Domingos: 50% de 60 passageiros: 30 passageiros

Cargas por eixo:

Dianteiro (ESRS): 4,840 t
 Traseiro (ESRD): 7,260 t
 Total: 12,100 t

4) Fatores de equivalência de operações

4.1) Metodologia da AASHTO

4.1.1) BRT

	CARGA POR EIXO (t)	TIPO DE EIXO	FATOR DE EQUIVALÊNCIA DE OPERAÇÕES
DIAS ÚTEIS	13,470	ESRD	8,671
	7,430	ESRD	0,664
	8,140	ESRS	1,223
TOTAL			10,558
SÁBADOS	12,462	ESRD	6,196
	6,707	ESRD	0,426
	7,539	ESRS	0,878
TOTAL			7,500
DOMINGOS E FERIADOS	11,790	ESRD	4,877
	6,225	ESRD	0,309
	7,138	ESRS	0,693
TOTAL			5,879

Fator de Veículos Médio (FV):

$$(10,558 \times 23 + 7,500 \times 3 + 5,879 \times 5) / 31 = \mathbf{9,507}$$

4.1.2 Ônibus convencional

	CARGA POR EIXO	TIPO DE	FATOR DE
--	----------------	---------	----------

	(t)	EIXO	EQUIVALÊNCIA DE OPERAÇÕES
DIAS ÚTEIS	8,520	ESRD	1,199
	5,680	ESRS	0,258
TOTAL			1,457
SÁBADOS	7,764	ESRD	0,802
	5,176	ESRS	0,173
TOTAL			0,975
DOMINGOS E FERIADOS	7,260	ESRD	0,600
	4,840	ESRS	0,129
TOTAL			0,729

Fator de Veículos Médio (FV):

$$(1,457 \times 23 + 0,975 \times 3 + 0,729 \times 5)/31 = \mathbf{1,293}$$

4.2) Metodologia do USACE

4.1.1) BRT

	CARGA POR EIXO (t)	TIPO DE EIXO	FATOR DE EQUIVALÊNCIA DE OPERAÇÕES
DIAS ÚTEIS	13,470	ESRD	21,194
	7,430	ESRD	0,656
	8,140	ESRS	0,908
TOTAL			22,758
SÁBADOS	12,462	ESRD	13,030
	6,707	ESRD	0,435
	7,539	ESRS	0,695
TOTAL			14,160
DOMINGOS E FERIADOS	11,790	ESRD	9,213
	6,225	ESRD	0,322
	7,138	ESRS	0,558
TOTAL			10,093

Fator de Veículos Médio (FV):

$$(22,758 \times 23 + 14,160 \times 3 + 10,093 \times 5)/31 = \mathbf{19,883}$$

4.1.2) Ônibus convencional

	CARGA POR EIXO (t)	TIPO DE EIXO	FATOR DE EQUIVALÊNCIA DE OPERAÇÕES
DIAS ÚTEIS	8,520	ESRD	1,208
	5,680	ESRS	0,223
TOTAL			1,431
SÁBADOS	7,764	ESRD	0,783
	5,176	ESRS	0,154
TOTAL			0,937
DOMINGOS E FERIADOS	7,260	ESRD	0,598
	4,840	ESRS	0,117
TOTAL			0,715

Fator de Veículos Médio (FV):

$$(1,431 \times 23 + 0,937 \times 3 + 0,715 \times 5)/31 = \mathbf{1,268}$$

5) Cálculo do Número N

Admitindo-se 10 anos de vida útil para o pavimento asfáltico, tem-se:

BRT: $365 \times 10 \times 592,5 \times 19,883 = 42.999.473$ (91,2%)

Convencionais: $365 \times 10 \times 875,5 \times 1,293 = 4.131.878$ (8,8%)

Total: 47.131.351 (100,0%)

$N = 4,72 \times 10^7$

**APÊNDICE J - Estudos de tráfego Avenida Caxangá - pavimento de concreto
(pista no sentido leste)**

Considerou-se nos cálculos a seguir o ano com 250 dias úteis, 52 sábados e 63 domingos e feriados.

- 1) Quantidade de viagens de BRT em dias úteis durante 20 anos

$$250 \times 20 \times \left(\sum_{n=0}^{n=19} 631 \times 1,02^n \right) / 20 = 3.833.000$$

- 2) Quantidade de viagens de BRT em sábados durante 20 anos

$$52 \times 20 \times \left(\sum_{n=0}^{n=19} 345 \times 1,02^n \right) / 20 = 435.864$$

- 3) Quantidade de viagens de BRT em domingos e feriados durante 20 anos

$$63 \times 20 \times \left(\sum_{n=0}^{n=19} 245 \times 1,02^n \right) / 20 = 374.976$$

- 4) Quantidade de viagens de ônibus convencionais em dias úteis durante 20 anos

$$250 \times 20 \times \left(\sum_{n=0}^{n=19} 884,5 \times 1,02^n \right) / 20 = 5.373.000$$

- 5) Quantidade de viagens de ônibus convencionais em sábados durante 20 anos

$$52 \times 20 \times \left(\sum_{n=0}^{n=19} 638,5 \times 1,02^n \right) / 20 = 806.728$$

- 6) Quantidade de viagens de ônibus convencionais em domingos e feriados durante 20 anos

$$63 \times 20 \times \left(\sum_{n=0}^{n=19} 505,5 \times 1,02^n \right) / 20 = 773.766$$

7) Frequência de repetições de carga por eixo

CARGA POR EIXO (t)	CARGA POR EIXO (kN)	FREQUÊNCIA ABSOLUTA	OBS.	TIPO DE EIXO
13,470	132,006	3.833.000	BRT	ESRD
12,462	122,128	435.864	BRT	ESRD
11,790	115,542	374.976	BRT	ESRD
8,520	83,496	5.373.000	Conv.	ESRD
8,140	79,772	3.833.000	BRT	ESRS
7,764	76,087	806.728	Conv.	ESRD
7,539	73,882	435.864	BRT	ESRS
7,430	72,814	3.833.000	BRT	ESRD
7,260	71,148	773.766	Conv.	ESRS
7,138	69,952	374.976	BRT	ESRS
6,707	65,729	435.864	BRT	ESRD
6,225	61,005	374.976	BRT	ESRD
5,680	55,664	5.373.000	Conv.	ESRS
5,176	50,725	806.728	Conv.	ESRS
4,840	47,432	773.766	Conv.	ESRD
SOMA		27.838.508		

APÊNDICE K - Estudos de tráfego Avenida Conde da Boa Vista - pavimento de concreto (ambas as pistas)

1) Linhas com itinerário pela avenida Conde da Boa Vista

LINHAS- CONDE DA BOA VISTA- OUTUBRO 2019									
EMP.	CÓD	LINHA	VIAGENS					SENTIDO	Trecho Boa Vista
			DU/Dia	DU/Mês	SÁB/Dia	SÁB/Mês	DOM/Dia	DOM/Mês	
BOA	14	BRASÍLIA (CDE DA BOA VISTA)	44	1.012	30	90	44	220	CID/SUB
BOA	32	SETÚBAL (CDE DA BOA VISTA)	82	1.886	78	234	59	295	CID/SUB
BOA	42	AEROPORTO (OPCIONAL)	43	989	23	69	Não Opera	Não Opera	CID/SUB
BOA	44	MASSANGANA (BOA VISTA)	39	897	28	84	28	140	SUB/CID
BOA	61	PIEDADE	110	2.530	84	252	77	385	CID/SUB
BOA	64	PIEDADE (OPCIONAL)	49	1.127	21	63	Não Opera	Não Opera	CID/SUB
BOA	69	CONJUNTO CATAMARÃ	43	989	33	99	22	110	SUB/CID
BOA	71	CANDEIAS	60	1.380	46	138	41	205	CID/SUB
BOA	72	CANDEIAS (OPCIONAL)	63	1.449	30	90	Não Opera	Não Opera	SUB/CID
EME	100	CIRCULAR (CONDE DA BOA VISTA/PREFEITURA)	26	598	Não Opera	Não Opera	Não Opera	Não Opera	SUB/CID e CID/SUB
EME	101	CIRCULAR (CONDE DA BOA VISTA/RUA DO SOL)	116	2.668	75	225	40	200	SUB/CID e CID/SUB
VRC	121	VILA DA SUDENE	66	1.518	39	117	30	150	CID/SUB
VRC	168	T.I. TANCREDO NEVES	81	1.863	53	159	40	200	CID/SUB
VRC	214	UR-02/IBURA (OPCIONAL)	36	828	16	48	Não Opera	Não Opera	CID/SUB
VRC	224	UR 11 (OPCIONAL)	25	575	11	33	Não Opera	Não Opera	CID/SUB
SIT	185	TI CABO	123	2.829	95	285	86	430	SUB/CID
EME	243	VILA DOIS CARNEIROS	157	3.611	100	300	80	400	SUB/CID e CID/SUB
EME	311	BONGI (AFOGADOS)	40	920	35	105	33	165	CID/SUB
EME	312	MUSTARDINHA	85	1.955	53	159	44	220	SUB/CID
EME	313	SAN MARTIN (ABDIAS DE CARVALHO)	93	2.139	54	162	32	160	SUB/CID e CID/SUB
EME	314	MANGUEIRA	61	1.403	40	120	Não Opera	Não Opera	CID/SUB
EME	315	BONGI	54	1.242	34	102	21	105	SUB/CID e CID/SUB
EME	321	JARDIM SÃO PAULO (ABDIAS DE CARVALHO)	97	2.231	73	219	50	250	SUB/CID e CID/SUB
EME	322	JARDIM SÃO PAULO (BACURAU)	4	92	6	18	6	30	SUB/CID e CID/SUB
EME	324	JARDIM SÃO PAULO (PIRACICABA)	74	1.702	46	138	32	160	SUB/CID e CID/SUB
BOA	331	TOTÓ (JARDIM PLANALTO)	58	1.334	58	174	50	250	SUB/CID e CID/SUB
BOA	332	TOTÓ (ABDIAS DE CARVALHO)	36	828	31	93	25	125	SUB/CID
BOA	333	TOTÓ (BACURAU)	4	92	4	12	4	20	SUB/CID e CID/SUB
BOA	341	CURADO I	26	598	20	60	20	100	SUB/CID e CID/SUB
BOA	346	T.I. TIP (CDE DA BOA VISTA)	81	1.863	83	249	77	385	SUB/CID e CID/SUB
BOA	352	CURADO II (BACURAU)	3	69	3	9	3	15	SUB/CID e CID/SUB
BOA	362	CURADO IV (BACURAU)	4	92	4	12	4	20	SUB/CID e CID/SUB
PED	414	TORRE	89	2.047	50	150	33	165	SUB/CID e CID/SUB
GLO	411	PLAZA SHOPPING (DANTAS BARRETO)	49	1.127	11	33	Não Opera	Não Opera	SUB/CID e CID/SUB
TRC	511	ALTO DO MANDU	33	759	20	60	50	250	SUB/CID
TRC	516	CASA AMARELA (NOVA TORRE)	59	1.357	50	150	39	195	SUB/CID
TRC	521	ALTO SANTA ISABEL	64	1.472	53	159	52	260	SUB/CID e CID/SUB
TRC	524	SÍTIO DOS PINTOS (DOIS IRMÃOS)	49	1.127	49	147	46	230	SUB/CID e CID/SUB
TRC	531	CASA AMARELA (ROSA E SILVA)	29	667	Não Opera	Não Opera	Não Opera	Não Opera	SUB/CID e CID/SUB
TRC	533	CASA AMARELA (BACURAU)	3	69	3	9	4	20	SUB/CID e CID/SUB
GLO	613	MORRO DA CONCEIÇÃO (BACURAU)	4	93	4	12	4	20	CID/SUB
PED	624	BREJO	91	2.093	65	195	42	210	SUB/CID e CID/SUB
PED	626	BREJO (BACURAU)	3	69	4	12	4	20	CID/SUB
GLO	644	LARGO DO MARACANÃ	39	897	29	87	Não opera	Não Opera	SUB/CID e CID/SUB
CAX	721	ÁGUA FRIA	21	483	10	30	10	50	SUB/CID
CAX	726	ALTO SANTA TEREZINHA (CDE DA BOA VISTA)	31	713	23	69	16	80	SUB/CID e CID/SUB
CAX	731	BEBERIBE (ESPINHEIRO)	44	1.012	36	108	19	95	CID/SUB
CAX	744	DOIS UNIDOS (BACURAU)	3	69	3	9	3	15	CID/SUB
CAX	745	ALTO JOSÉ BONIFÁCIO (BACURAU)	4	92	5	15	5	25	CID/SUB
GLO	645	TI MACAXEIRA (AV. NORTE)	95	2.196	102,5	307,5	93	465	SUB/CID
CNO	1977	TI PELÓPIDAS (CONDE DA BOA VISTA)	104	2.392	60	180	52	260	SUB/CID
MOB	2457	SÃO LOURENÇO (BACURAU)	5	115	5	15	5	25	SUB/CID e CID/SUB
MOB	2462	LOTEAMENTO SANTOS COSME E DAMIÃO (BACURAU)	3	69	3	9	3	15	SUB/CID e CID/SUB
MOB	2427	MONSENHOR FABRÍCIO (BACURAU)	3	69	4	12	4	20	SUB/CID e CID/SUB
MOB	2426	TORRÕES (BACURAU)	3	69	3	9	3	15	SUB/CID e CID/SUB
MOB	2435	CDU (VÁRZEA) (BACURAU)	4	92	4	12	4	20	SUB/CID e CID/SUB
CNO	1981	TI RIO DOCE (CONDE DA BOA VISTA)	70	1.610	46	138	39	195	CID/SUB
CNO	1936	MIRUEIRA (BACURAU)	4	92	4	12	4	20	CID/SUB
CNO	1985	RIO DOCE (BACURAU)	4	92	4	12	4	20	SUB/CID e CID/SUB
PED	645	TI MACAXEIRA (AV. NORTE)	86	1.969	81	243	75,5	377,5	SUB/CID
TOTAL			2.879	66.220	2037,5	6112,5	1561,5	7807,5	

LINHAS- CONDE DA BOA VISTA (BRT's)- OUTUBRO 2019									
EMP.	CÓD	LINHA	VIAGENS					SENTIDO	Trecho Boa Vista
			DU/Dia	DU/Mês	SÁB/Dia	SÁB/Mês	DOM/Dia	DOM/Mês	
MOB	2450	TI Camaragibe (Conde da Boa Vista)	140	3.220	126	378	88	440	SUB/CID e CID/SUB
MOB	2437	TI Caxangá (Conde da Boa Vista)	154	3.542	100	300	65	325	SUB/CID e CID/SUB
MOB	2441	TI CDU (Conde da Boa Vista)	130	2.990	77	231	57	285	SUB/CID e CID/SUB
MOB	2444	TI Getúlio Vargas (Conde da Boa Vista)	75	1.725	75	225	58	290	SUB/CID e CID/SUB
TOTAL			499	11.477	378	1134	268	1340	

2) Trecho mais carregado: (sentido cidade/subúrbio)

- Mês de referência: outubro/2019 (23 dias úteis, 3 sábados e 5 domingos ou feriados)
- Número médio diário de viagens por BRT:

Dias úteis: $11.477/23 = 499$

Sábados: $1.134/3 = 378$

Domingos e feriados: $1.340/5 = 268$

Número médio diário geral de viagens de BRT no ano de 2021:

$(499 \times 23 + 378 \times 3 + 268 \times 5)/31 = 450,0$

Admitindo-se uma taxa média anual geométrica de 2%, o número médio diário geral de viagens de BRT durante o período de 2021 a 2040 (20 anos) será:

$$\left(\sum_{n=0}^{n=19} 450,0 \times 1,02^n \right) / 20 = 546,7$$

3) Quantidade de viagens de BRT

Considerou-se nos cálculos a seguir o ano com 250 dias úteis, 52 sábados e 63 domingos e feriados.

3.1) Quantidade de viagens de BRT em dias úteis durante 20 anos

$$250 \times 20 \times \left(\sum_{n=0}^{n=19} 499 \times 1,02^n \right) / 20 = 3.031.000$$

3.2) Quantidade de viagens de BRT em sábados durante 20 anos

$$52 \times 20 \times \left(\sum_{n=0}^{n=19} 378 \times 1,02^n \right) / 20 = 477.568$$

3.3) Quantidade de viagens de BRT em domingos e feriados durante 20 anos

$$63 \times 20 \times \left(\sum_{n=0}^{n=19} 268 \times 1,02^n \right) / 20 = 410.256$$

4) Quantidade de viagens de ônibus convencionais

Considerou-se nos cálculos a seguir o ano com 250 dias úteis, 52 sábados e 63 domingos e feriados. O trecho mais carregado é aquele no sentido cidade-subúrbio, compreendido entre a rua da Aurora e a rua do Hospício, com um total no mês de outubro de 2019, de 48.117 viagens aos dias úteis, 4.332 aos sábados e 5.185 aos domingos e feriados.

4.1) Quantidade de viagens de ônibus convencionais em dias úteis durante 20 anos

Média diária em 2021 = $48.117/23 = 2.092,0$

Admitindo-se uma taxa média anual geométrica de 2%, o número médio diário geral de viagens de ônibus convencionais em dias úteis durante o período de 2021 a 2040 (20 anos) será:

$$250 \times 20 \times \left(\sum_{n=0}^{n=19} 2.092,0 \times 1,02^n \right) / 20 = 12.707.500$$

- 4.2) Quantidade de viagens de ônibus convencionais aos sábados durante 20 anos
Média diária em 2021= 4.332/3= 1.444,0

Admitindo-se uma taxa média anual geométrica de 2%, o número médio diário geral de viagens de BRT aos sábados durante o período de 2021 a 2040 (20 anos) será:

$$52 \times 20 \times \left(\sum_{n=0}^{n=19} 1.444,0 \times 1,02^n \right) / 20 = 1.824.472$$

- 4.3) Quantidade de viagens de ônibus convencionais aos domingos e feriados durante 20 anos
Média diária em 2021= 5.185/5= 1.037,0

Admitindo-se uma taxa média anual geométrica de 2%, o número médio diário geral de viagens de BRT aos domingos e feriados durante o período de 2021 a 2040 (20 anos) será:

$$63 \times 20 \times \left(\sum_{n=0}^{n=19} 1.037,0 \times 1,02^n \right) / 20 = 1.587.348$$

5) Frequência de repetições de carga por eixo

CARGA POR EIXO (t)	CARGA POR EIXO (kN)	FREQUÊNCIA ABSOLUTA	OBS.	TIPO DE EIXO
13,470	132,006	3.031.000	BRT	ESRD
12,462	122,128	477.568	BRT	ESRD
11,790	115,542	410.256	BRT	ESRD
8,520	83,496	12.707.500	Conv.	ESRD
8,140	79,772	3.031.000	BRT	ESRS
7,764	76,087	1.824.472	Conv.	ESRD
7,539	73,882	477.568	BRT	ESRS
7,430	72,814	3.031.000	BRT	ESRD
7,260	71,148	1.587.348	Conv.	ESRS
7,138	69,952	410.256	BRT	ESRS
6,707	65,729	477.568	BRT	ESRD
6,225	61,005	410.256	BRT	ESRD
5,680	55,664	12.707.500	Conv.	ESRS
5,176	50,725	1.824.472	Conv.	ESRS
4,840	47,432	1.587.348	Conv.	ESRD
SOMA		43.995.112		