



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Engenharia Mecânica

CAROLINA SHIZUE HOSHINO NETA

**Potencial de redução de emissões atmosféricas
a partir da implantação do BRT: estudo de
caso em Belém - PA**

CAMPINAS
2019

CAROLINA SHIZUE HOSHINO NETA

Potencial de redução de emissões atmosféricas a partir da implantação do BRT: estudo de caso em Belém - PA

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestra em Planejamento de Sistemas Energéticos

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Sônia Regina da Cal Seixas

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELA ALUNA CAROLINA SHIZUE HOSHINO NETA E ORIENTADA PELA PROFA. DRA SÔNIA REGINA DA CAL SEIXAS.

.....
ASSINATURA DA ORIENTADORA

CAMPINAS
2019

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

H792p Hoshino Neta, Carolina Shizue, 1988-
Potencial de redução de emissões atmosféricas a partir da implantação do
BRT : estudo de caso em Belém - PA / Carolina Shizue Hoshino Neta. –
Campinas, SP : [s.n.], 2019.

Orientador: Sônia Regina da Cal Seixas.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade
de Engenharia Mecânica.

1. Gases de efeito estufa. 2. Dióxido de carbono. 3. Efeito estufa
(Atmosfera). 4. Transporte urbano. 5. Transporte urbano - Belém (PA). 6.
Ônibus. I. Seixas, Sônia Regina da Cal, 1956-. II. Universidade Estadual de
Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Potential for reducing atmospheric emissions from the
implementation of the BRT : a case study in Belém - PA

Palavras-chave em inglês:

Greenhouse gases

Carbon dioxide

Greenhouse effect (atmosphere)

Urban transport

Urban transport - Belém (PA)

Bus

Área de concentração: Planejamento de Sistemas Energéticos

Titulação: Mestra em Planejamento de Sistemas Energéticos

Banca examinadora:

Sônia Regina da Cal Seixas [Orientador]

Ennio Peres da Silva

Gabriela Farias Asmus

Data de defesa: 27-02-2019

Programa de Pós-Graduação: Planejamento de Sistemas Energéticos

Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0000-0001-9551-6664>

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/7225604363307521>

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
MECÂNICA**

PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO

**Potencial de redução de emissões atmosféricas
a partir da implantação do BRT: estudo de
caso em Belém - PA**

Autora: Carolina Shizue Hoshino Neta

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Sônia Regina da Cal Seixas

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:

Prof^a. Dr^a. Sônia Regina da Cal Seixas, Presidente
Núcleo de Estudos e Pesquisas Ambientais/Unicamp

Prof. Dr. Ennio Peres da Silva
Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético/Unicamp

Prof. Dr^a. Gabriela Farias Asmus
Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas / UFABC

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

Campinas, 27 de fevereiro de 2019.

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais, Edilberto e Ruth, aos meus irmãos Priscila e Felipe, à minha sobrinha Emi e ao meu companheiro de vida, Anderson.

Agradecimentos

Agradeço à minha orientadora, Prof^ª. Dra. Sônia Regina da Cal Seixas, pelas diferentes oportunidades de desenvolvimento acadêmico e pessoal a mim proporcionadas; pelo incentivo, paciência e postura educadora exemplares.

Agradeço à Universidade Estadual de Campinas pelo privilégio de expandir meus conhecimentos em uma instituição de prestígio. À Faculdade de Engenharia Mecânica, pela boa estrutura concedida, ao programa de pós-graduação em Planejamento de Sistemas Energéticos (PSE), que através de sua equipe de docentes contribuiu inestimavelmente ao meu aprendizado, bem como através de todos os funcionários envolvidos, pelo apoio sempre solícito.

Agradeço ao Prof. Dr. Ennio Peres da Silva, que me concedeu sua atenção e contribuiu fortemente com este trabalho, e à Prof^ª. Gabriela Farias Asmus, pela prontidão em compartilhar sua valiosa experiência.

Agradeço a todos os membros participantes do Grupo de Estudo Interdisciplinar em Mobilidade (GEM) e do Laboratório de Estudos e Mudanças Ambientais, Qualidade de Vida e Subjetividade (LEMAS), pelas frequentes reuniões e pelo ambiente riquíssimo de aprendizado em ambos.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio à realização deste trabalho - Código de Financiamento 001 - e ao programa de PSE, pelo auxílio financeiro à participação de congressos.

Agradeço ao Prof. Dr. Tony Carlos Dias da Costa, da Universidade Federal do Pará, e à Prof^ª. Ma. Gleicy Karen Abdon Alves Paes, da Universidade do Estado do Pará, por não terem medido esforços ao colaborarem com este trabalho.

Agradeço às famílias Kagawa e Uemura, pelo precioso carinho e apoio à minha residência em um Estado diferente.

Agradeço ao Anderson Kazuyuki Kagawa, pelo incentivo e paciência.

Agradeço aos meus pais, Edilberto Yoshio Hoshino e Maria Ruth Amaral Hoshino, por terem me mostrado que a busca pelo conhecimento mudaria a minha vida.

A todos, muito obrigada!

RESUMO

A mobilidade urbana bem planejada, com sistemas integrados e sustentáveis, é um elemento facilitador ao desenvolvimento e fundamental à qualidade de vida nas cidades. O uso do BRT como alternativa de transporte público tem se expandido em vários países em função do seu custo-benefício atrativo para o Desenvolvimento Orientado ao Transporte Sustentável (DOTS). Ao longo deste trabalho, buscou-se analisar os impactos da implementação do Projeto BRT Belém nas emissões atmosféricas a partir da metodologia *Emissions Evaluation Models for Projects* (TEEMP). Para isso, foram avaliados critérios do Padrão de Qualidade BRT, incluindo aspectos das categorias BRT Básico, Planejamento dos Serviços, Infraestrutura, Estações, Comunicações, Acesso e Integração e Deduções de Operações. Também foram inseridos dados específicos do projeto na planilha de cálculo do modelo, para que os cenários de reduções de emissões fossem simulados, um com a implementação do BRT Belém e outro sem, considerando um horizonte de 20 anos. Os resultados demonstraram que o sistema terá potencial de evitar a emissão de 196.992,2 t de CO₂e, 4,8 t de MP e 631,7 t de NO_x. Além disso, contabilizaria uma economia de 79 milhões de litros de combustível em uma redução de 230,5 milhões de quilômetros percorridos. Embora os modelos de cenários tenham indicado resultados positivos a respeito da redução de emissões atmosféricas e co-benefícios, ao compararmos ao potencial de desempenho de outros BRTs do Brasil e do mundo, é possível perceber que o desempenho está aquém do potencial que esse tipo de equipamento poderia ter, havendo pontos de melhoria a serem atentados.

Palavras-chave: BRT. Gases do Efeito Estufa. Dióxido de Carbono. Belém.

ABSTRACT

Well-planned urban mobility, with integrated and sustainable systems, is a facilitating element for development and fundamental to the quality of life in cities. The use of BRT as an alternative public transport has expanded in several countries due to its attractive cost-benefit for Transit Oriented Development (TOD). Throughout this work, we sought to analyze the impacts of the implementation of the project BRT Belém in atmospheric emissions from the methodology Emissions Evaluation Models for Projects (TEEMP). For this, we evaluated the criteria of the BRT quality standard, including criteria of the basic BRT categories, services planning, infrastructure, stations, communications, access and integration and deductions of operations. Specific project data were also inserted in the Model calculation spreadsheet, so that the scenarios of emission reductions were simulated, one with the implementation of the BRT Belém and the other without, considering a horizon of 20 years. The results show that the system will have the potential to avoid the emission of 196,992.2 ton of CO_{2e}, 4.8 ton of MP and 631.7 ton of NO_x. In addition, it would count a savings of 79 million liters of fuel in a reduction of 230.5 million kilometers traveled. Although the scenario models have indicated positive results regarding the reduction of atmospheric and co emissions, when comparing the performance potential of other BRTs in Brazil and the world, it is possible to realize that performance is short of Potential that this type of equipment could have, with improvement points being attempted by the operational administration of the system.

Keywords: BRT. Greenhouse gases. Carbon dioxide. Belém.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- População residente no Brasil, por situação de domicílio no período de 1940 a 2010.....	20
Figura 2- Ciclo vicioso da falta de planejamento urbano.....	21
Figura 3- Fatos mais relevantes na mobilidade urbana no Brasil ocorridos de 1997 a 2016.	21
Figura 4- Inflação acumulada no período de 2002 a 2013 para segmentos da mobilidade urbana.....	24
Figura 5- Evolução da frota de veículos no Brasil (2000 a 2016).....	25
Figura 6 - Evolução das emissões de CO ₂ e no transporte rodoviário de passageiros.	33
Figura 7- Dados de entrada e conceito metodológico do modelo TEEMP (Método <i>Shortcut</i>).....	41
Figura 8- Fluxograma das etapas para o método <i>Full</i>	42
Figura 9- Eixos de interligação urbana da RMB.....	44
Figura 10- Deslocamentos pendulares diários das massas trabalhadoras da RMB em 2010.	46
Figura 11- Perfil da velocidade do vento influenciado por vários tipos de rugosidade do terreno.	47
Figura 12- Emissões de NO _x por categoria de veículos.	49
Figura 13- Emissões de NO _x por categoria de veículos.	49
Figura 14- Emissões de MP por categoria de veículos.	50
Figura 15- Emissões de MP por tipo de combustível.....	50
Figura 16- Emissões de CO ₂ por categoria de veículos.	51
Figura 17- Emissões CO ₂ por tipo de combustível.	52
Figura 18- Evolução da frota de veículos licenciados por categoria e ano-modelo no Pará.....	54
Figura 19- Frota veicular do Pará (2015) em função dos grupos veiculares e região do estado.	54
Figura 20- Localização dos corredores selecionados ao estudo de caso.	59
Figura 21- Etapas metodológicas do estudo.....	60
Figura 22- Vista aérea do Terminal Mangueirão.	61
Figura 23- Elementos essenciais de um BRT.	62
Figura 24- Pontuação do Padrão de Qualidade BRT.	64
Figura 25- Código de cores para utilização do TEEMP.....	66
Figura 26- Emissão de CO ₂ calculada.....	82
Figura 27- Material Particulado calculado	82
Figura 28- Emissão de NO _x calculada	83
Figura 29- Redução do consumo de combustíveis.....	83
Figura 30- Distância percorrida anual.....	84
Figura 31- Redução de emissões de CO ₂ para diferentes sistemas BRT.	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Emissões de CO ₂ (kg CO ₂ /km) por passageiro no automóvel e no ônibus.	34
Tabela 2 – Dados gerais sobre os sistemas BRTs no mundo por região.	37
Tabela 3 - Reduções de Emissão de GEE para sistemas de BRT ao redor do mundo.	38
Tabela 4 – Distribuição da população estimada da RMB.	43
Tabela 5 – Estimativa de poluentes emitidos pela frota licenciada no Pará em 2015.	48
Tabela 6 – Demanda Planejada e Ajustada para o BRT Belém.	67
Tabela 7 – Percentual de transferência de modal para o Brasil.....	67
Tabela 8 – Características Tecnológicas e Ambientais dos Modos de Transportes	68
Tabela 9 – Fatores de Emissão de Dióxido de Carbono dos Combustíveis.	68
Tabela 10 – Componentes do BRT Básico.	69
Tabela 11 – Componentes da categoria “Planejamento de Serviços”.....	71
Tabela 12 – Componentes da categoria “Infraestrutura”.	73
Tabela 13 – Componentes da categoria “Estações”.....	75
Tabela 14 – Componentes da categoria “Comunicações”.	76
Tabela 15 – Componentes da categoria “Acesso e Integração”.....	77
Tabela 16 – Componentes da categoria “Deduções de Operação”.	79
Tabela 17 – Dados imputados para modelagem do estudo de caso.	80
Tabela 18 – Resultados acumulados no período de 20 anos.	81
Tabela 19 – Comportamento Anual de Emissões Atmosféricas do BRT Belém.	81

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Princípios do DOTS referentes à Estrutura Urbana.	28
Quadro 2 – Princípios do DOTS referentes à Mobilidade.	29
Quadro 3 – Potenciais benefícios do padrão DOTS.....	29
Quadro 4 – Padrão de Qualidade BRT aplicado a diferentes corredores no Brasil.	40
Quadro 5 - Estudos e planos de transportes para a RMB.....	56
Quadro 6 - Categorias do Padrão de Qualidade BRT.	63

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivos	15
1.1.1	Geral	15
1.1.2	Específicos	15
1.2	Justificativa	16
1.3	Estrutura da Dissertação	18
2	REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1	Mobilidade Urbana e o Desenvolvimento Sustentável	19
2.1.1	Desenvolvimento Orientado ao Transporte Sustentável	27
2.1.2	A Mobilidade Urbana e as Mudanças Climáticas	30
2.2	Bus Rapid Transit (BRT)	36
2.2.1	Avaliação de Emissões dos Transportes para Projetos - BRT	41
2.3	Região Metropolitana de Belém	42
2.3.1	Qualidade do Ar na Região Metropolitana de Belém	47
2.3.2	Mobilidade Urbana na Região Metropolitana de Belém	52
2.3.3	Caracterização do Projeto BRT Belém	56
3	METODOLOGIA	59
3.1	Etapa 1: Obtenção de dados secundários	60
3.2	Etapa 2: Obtenção de dados primários	61
3.3	Etapa 3: Sistematização e análise de dados	61
3.3.1	Padrão de Qualidade BRT	62
3.3.2	BRT TEEMP	64
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	69
4.1	Avaliação do BRT Belém pelo Padrão de Qualidade BRT	69
4.1.1	BRT Básico	69

4.1.2	Planejamento dos Serviços	69
4.1.3	Infraestrutura	72
4.1.4	Estações	73
4.1.5	Comunicações	76
4.1.6	Acesso e Integração	77
4.1.7	Deduções de Operação	78
4.2	Cenários de Emissões e Co-benefícios	79
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	86
	REFERÊNCIAS	89

1 INTRODUÇÃO

Os deslocamentos são necessários ao desempenho de funções sociais e econômicas em qualquer sociedade. As condições de mobilidade disponíveis têm forte influência na qualidade de vida da população, reconhecida em sua importância pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável globais referentes à Agenda 2030 (UNITED NATIONS, 2015).

O Brasil possui uma grande diversidade de municípios em aspectos como população, frota de veículos e divisão entre os modos de transporte utilizados (BOARETO, 2008). Essa variação de cenários determina a intensidade dos aspectos negativos associados à mobilidade urbana de cada região, dentre eles estão congestionamentos, acidentes, atrasos, poluição do ar, poluição sonora e infraestrutura inadequada (TYRINOPOULOS & ANTONIOU, 2013).

O aumento das frotas veiculares nas cidades aliado à política mundial de controle da poluição oriundas de fontes móveis resultou, no Brasil, na criação de planos como os de Controle de Poluição Veicular – PCPV e o Setorial de Transporte e da Mobilidade Urbana para a Mitigação da Mudança do Clima – PSTM. Esses planos visam reduzir os impactos atmosféricos, baseados em medidas que, ao mesmo tempo em que levam à melhoria do sistema de mobilidade urbana e ampliam a acessibilidade das pessoas às oportunidades que as cidades oferecem, proporcionam a redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e Gases de Efeitos Locais (GEL).

No atual cenário da mobilidade urbana mundial e da política pública brasileira, é destacada a Mobilidade Urbana Sustentável (MUS), que prioriza o transporte público coletivo e os transportes ativos (bicicleta e caminhada) e desincentiva o transporte individual motorizado (UNITED NATIONS, 2015; UNFCCC, 2015; BRASIL, 2012).

A Região Metropolitana de Belém (RMB) detém 35% da frota veicular do Pará (SEMAS, 2016) e, assim como a maioria das capitais brasileiras, apresenta sérios problemas relacionados à mobilidade urbana. Nos últimos 20 anos a RMB tem sido alvo de massiva expansão habitacional, sobretudo na verticalização das habitações (SEMAS, 2016). Isso implica em novos padrões de uso do solo, uma vez que o crescimento da população demanda mais comércio e serviços, que por sua vez requerem mais pólos produtivos.

O sistema BRT Belém representa um instrumento pautado na MUS, objetivando contribuir para a reestruturação da mobilidade na RMB, a fim de aumentar a qualidade de vida da população local e contribuir para as metas de desenvolvimento do país.

É interessante aos agentes públicos e privados e aos eventuais financiadores envolvidos na implementação de um projeto dessa natureza, o acompanhamento dos impactos na redução

de emissões para o setor de transporte de passageiros. Dentre as metodologias disponíveis para se estimar os resultados alcançados a partir da transição modal de veículos particulares e de ônibus convencionais para o sistema BRT, se destaca o modelo *Transport Emissions Evaluation Models for Projects* - TEEMP, recomendado pelo *Global Environment Facility* e pelo Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento – ITDP e já aplicado, por exemplo, em projetos financiados pelo Banco de Desenvolvimento Asiático desde o ano 2000 (GEF & UNEP, 2012).

Durante esta pesquisa, foi percebido que a literatura acadêmica conta com poucos estudos nacionais que discutam o potencial de redução de emissão de GEE e GEL dos sistemas BRT, considerando o contexto tecnológico nacional e fatores sistêmicos locais.

Portanto, este trabalho reconhece o potencial de transformação da mobilidade urbana a partir de projetos que promovam a MUS, se propondo a analisar o impacto da implantação e operação do BRT Belém nas emissões de GEE e GEL, de forma a configurar um indicativo sobre as consequências oriundas do projeto a respeito dos impactos positivos esperados em relação à poluição atmosférica. Como estudo de aplicação é discutido o papel desse tipo de sistema como tecnologia de mitigação à emissão de poluentes.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

Analisar os impactos da implementação do Projeto BRT Belém nas emissões atmosféricas a partir da metodologia Emissions Evaluation Models for Projects (TEEMP).

1.1.2 Específicos

- Avaliar o BRT Belém segundo o Parão de Qualidade BRT;
- Analisar o BRT Belém em um horizonte de 20 anos;
- Estimar a redução das emissões de CO₂ equivalente;
- Estimar a redução das emissões de Poluentes Locais (MP e NOx);
- Estimar economia de combustíveis;
- Estimar a redução de quilometragem percorrida (VKT) ao longo do corredor.

1.2 Justificativa

A mudança climática é um estressor emergente, vivenciado a longo prazo através de mudanças nos padrões climáticos e a curto prazo por meio de mudanças na frequência e na severidade de eventos extremos (CONNOLLY-BOUTIN, 2016). O desequilíbrio causado nos sistemas naturais devido ao aquecimento já está sendo sinalizado sob a forma de eventos climáticos extremos e alterações no clima (PANDEY, 2011). Segundo Diouf (2015), os efeitos adversos dessas mudanças nos sistemas naturais e humanos estão se tornando cada vez mais graves e complexos e, por isso, entender o nível de vulnerabilidade desses sistemas se tornou relevante e desafiador para as comunidades acadêmicas, políticas e demais atores do desenvolvimento.

A Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (UNFCCC) é reconhecida como o principal fórum intergovernamental internacional para negociar respostas globais às mudanças climáticas (UNITED NATIONS, 2015). A partir do Acordo de Paris, firmado durante a UNFCCC em 2015, 195 países, dentre eles o Brasil, concordaram em fortalecer ações a respeito do clima no contexto do desenvolvimento sustentável e dos esforços para erradicar a pobreza, incluindo: a) manter o aumento da temperatura média global abaixo de 2°C em relação aos níveis pré-industriais; b) aumentar a capacidade de adaptação aos impactos negativos das mudanças do clima e um desenvolvimento de baixa emissão de gases do efeito estufa (GEE), de maneira que não ameace a produção de alimentos e c) tornar os fluxos financeiros compatíveis com uma trajetória rumo a um desenvolvimento de baixa emissão de GEE e resiliente à mudança do clima (UNFCCC, 2015).

No Brasil, houve uma expansão de 2,3% no consumo energético do setor de transportes no ano de 2017 em relação ao ano anterior, com um acréscimo de 1,9 milhões de tonelada equivalente de petróleo (tep) em valores absolutos, registrando o segundo maior avanço da demanda energética, ficando atrás apenas do segmento industrial. Neste mesmo ano, o total de emissões antrópicas associadas à matriz energética brasileira atingiu 43,8 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (Mt CO₂-eq), sendo a maior parte (199,7 MT CO₂-eq) gerada pelo setor de transportes (EPE, 2018).

Dentre os aspectos chaves para o cumprimento de metas do Acordo de Paris, a EPE (2016) destaca o futuro padrão de mobilidade urbana, que terá forte influência no consumo de energia, nos aspectos ambientais das cidades e na qualidade de vida da população em geral, a depender das configurações de transportes a serem adotadas. O Greenpeace (2016) em sua publicação “A Revolução Energética”, estima que através da revolução no setor de transportes,

a redução no consumo total de energia neste setor possa chegar a 61% em relação ao cenário base.

De acordo com Castellani e Sala (2013), para o cálculo da pegada ecológica¹, as categorias mais significantes de consumo são “alimentação” e “transporte” e, em relação ao transporte, a contribuição direta é dada pelas emissões de CO₂, que podem ser reduzidas, por exemplo, através de soluções de mobilidade sustentável.

A crescente visibilidade dos modelos de desenvolvimento que sejam ambientalmente sustentáveis e que reduzam a pegada de carbono² conduz os países desenvolvidos e emergentes a acelerarem a transição para um desenvolvimento mais limpo (MACLEAN ET AL., 2018). A forma como as cidades se desenvolvem em infraestrutura e transporte tem um poderoso efeito na produção de GEE (CTOD, 2010).

Nesse contexto, surge o conceito do Desenvolvimento Orientado ao Transporte Sustentável (DOTS), que é um modelo de planejamento e desenho urbano voltado ao transporte público de qualidade, construindo bairros compactos e de alta densidade, oferecendo às pessoas diversidade de usos, serviços e espaços públicos seguros e atrativos, favorecendo a interação social (EMBARQ BRASIL, 2015). O DOTS pressupõe a inclusão de todos às oportunidades e recursos da cidade, por meio da combinação eficiente de modos de transporte, com baixo custo financeiro e ambiental e alto nível de resiliência aos eventos extremos (ITDP, 2017). Assim, a abordagem dos transportes sustentáveis cada vez mais conduz às novas transformações urbanas e o DOTS aponta para comunidades mais eficientes, sustentáveis e equitativas.

Um sistema que vem sendo empregado como recurso ao DOTS no Brasil e em vários países é o Bus Rapid Transit (BRT), por representar uma alternativa de transporte público com excelente custo-benefício, que diminui os congestionamentos de tráfego, reduz emissões de carbono e aumenta as opções de mobilidade para a população de menor poder aquisitivo (CERVERO E KANG, 2011). Segundo Hensher (2007), sistemas BRT têm a capacidade de transportar grandes volumes de passageiros com serviços de boa qualidade, dentro de orçamentos geralmente restritos de municípios com baixa capacidade de investimento. De acordo com Lerner (2009), o BRT se destaca em relação a outros modais de transporte público em massa - como o sistema de Veículos Leves sobre Trilhos (VLT) e o sistema metroviário - por demandar menor prazo para implantação e investimentos consideravelmente inferiores.

¹ A Pegada Ecológica é uma ferramenta de cálculo a partir de aspectos biofísicos para estimar os impactos ambientais do consumo (WILSON, 2014).

² A Pegada de Carbono mede a quantidade total de emissões de GEE, que são diretamente causadas por uma atividade ou são acumuladas ao longo do ciclo de vida de um produto ou serviço (Galli, 2012).

O sucesso da inserção de um modal como o BRT em seu aproveitamento máximo, objetivando alcançar avanços no gerenciamento da mobilidade, em consonância com o conceito do DOTS, depende dos aspectos considerados pelos agentes planejadores a respeito dos equipamentos e serviços urbanos.

1.3 Estrutura da Dissertação

Este trabalho foi estruturado em seis capítulos: o primeiro, já apresentando, introduz o tema, os objetivos, a justificativa e aplicabilidade da análise. O capítulo seguinte abrange a fundamentação teórica e conceitual que permeou esta pesquisa, além do contexto em que o BRT Belém se insere, a partir da caracterização da mobilidade urbana neste município localizado no Nordeste Paraense.

O terceiro capítulo descreve a metodologia empregada e as etapas adotadas, visando o alcance dos resultados apresentados nesta dissertação a partir dos objetivos propostos.

Os resultados e discussão estão apresentados no capítulo quatro, onde é analisado o potencial de redução de emissões de GEE e GEL a partir da implantação do Projeto BRT Belém. Por fim, no quinto capítulo são dispostas as considerações finais.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Mobilidade Urbana e o Desenvolvimento Sustentável

O conceito de mobilidade urbana pode ser considerado subjetivo e de difícil compreensão quanto às suas definições, já que deve representar os mais diferentes espaços geográficos como os municípios ou aglomerado destes (AZEVEDO FILHO, 2012).

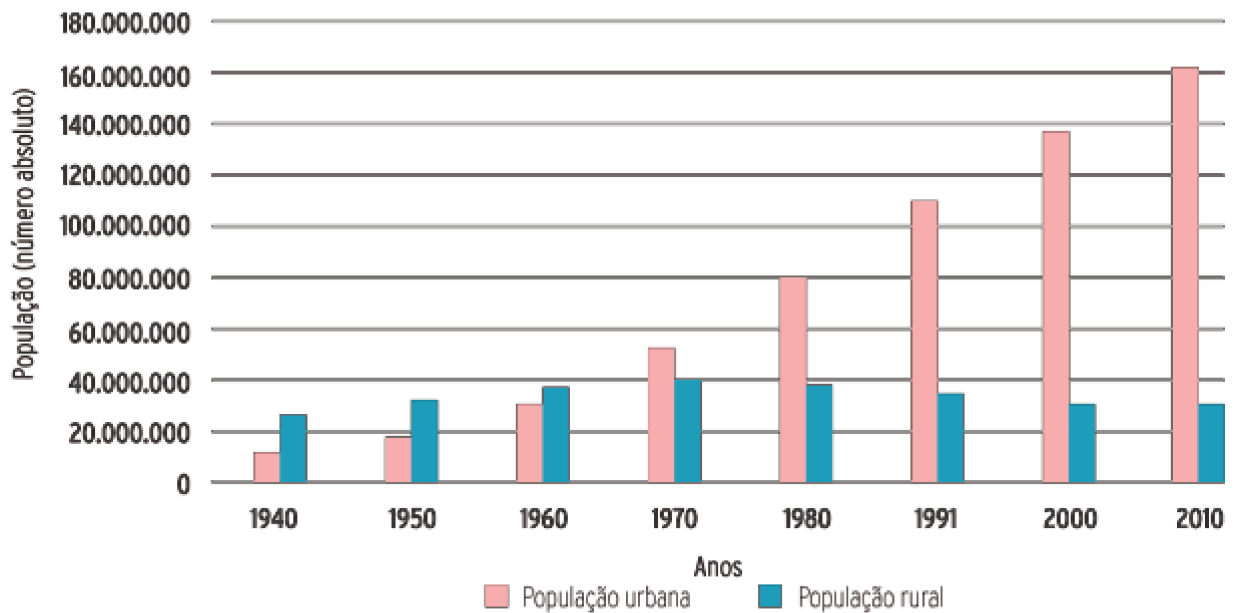
Segundo a Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU) (BRASIL, 2013), mobilidade urbana é definida através das formas que são realizados os deslocamentos. Para CASIMIRO & MELO (2015), a mobilidade urbana é a possibilidade real das condições de deslocamento das pessoas dentro do território urbano, ainda que os mesmos lá não habitem, permitindo que os cidadãos possam realizar suas necessidades e acessar bens e serviços, sejam os mesmos públicos ou privados.

A mobilidade urbana bem planejada, com sistemas integrados e sustentáveis, garante o acesso dos cidadãos às cidades (BRASIL, 2013), sendo um elemento facilitador ao desenvolvimento e elemento fundamental para a qualidade de vida no ambiente urbano. Nesse sentido, a adequada promoção da mobilidade para todas as classes sociais possibilita o desenvolvimento de atividades comerciais, industriais e recreativas e constitui um processo essencial ao desenvolvimento econômico e social de áreas urbanas (FERRAZ e TORRES, 2004).

Götz (2014) destaca a mobilidade como uma necessidade básica, já que a possibilidade de se mover, com ou sem transporte, é um fator crucial quando se trata de atender às necessidades diárias e, conseqüentemente, ter qualidade de vida. Esse tema tem sido uma das prioridades da pauta de planejamento das cidades modernas (BRASIL, 2013).

No Brasil, observa-se uma expansão das cidades, tornando-se um país efetivamente urbano a partir de 1970 (Figura 1). Segundo CNT & NTU (2017), entre 1940 e 2010, houve um acréscimo de cerca de 148 milhões de habitantes nas cidades, resultando em um aumento do grau de urbanização de 31,6%, em 1940, para 84,4% em 2010.

Figura 1- População residente no Brasil, por situação de domicílio no período de 1940 a 2010.

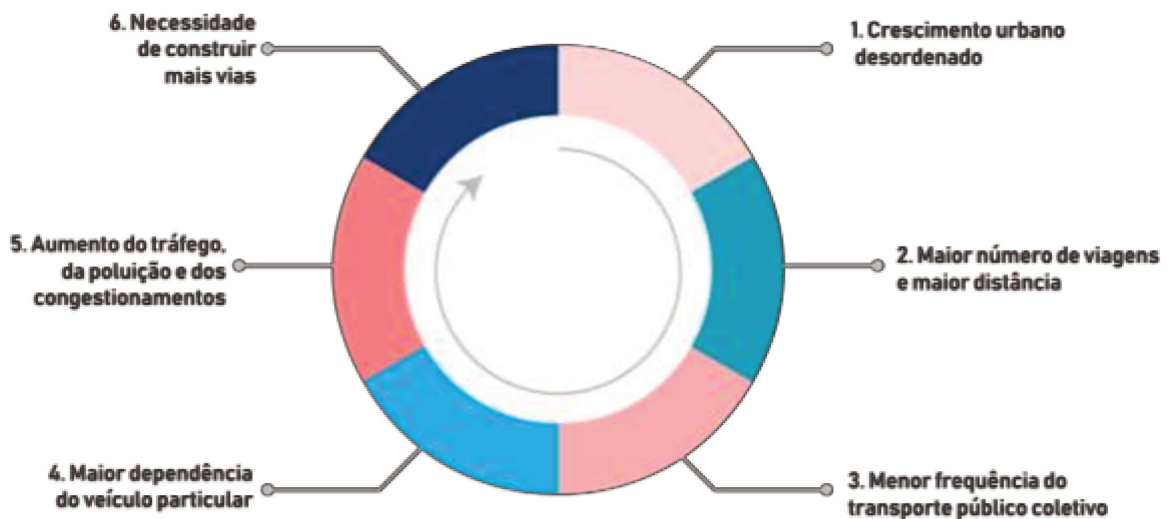


Fonte: CNT & NTU , 2017.

A migração para as áreas urbanas e o planejamento incipiente contribuíram para que a maioria das cidades se desenvolvesse sem o adequado aproveitamento e ocupação do território. Por muito tempo, as cidades foram crescendo com falta de planejamento e integração entre as políticas setoriais. Com a desorganização das cidades, a população tende a residir em locais mais distantes daqueles em que realizam suas principais atividades, aumentando o número e as extensões das viagens. Assim, tem-se como consequência a redução do uso do transporte público coletivo, fazendo com que a opção pelo transporte individual seja vista como mais conveniente (CNT & NTU, 2017).

A falta de planejamento e de gestão compromete a mobilidade no espaço urbano, gerando um círculo vicioso que resulta em uma desintegração, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2- Ciclo vicioso da falta de planejamento urbano.

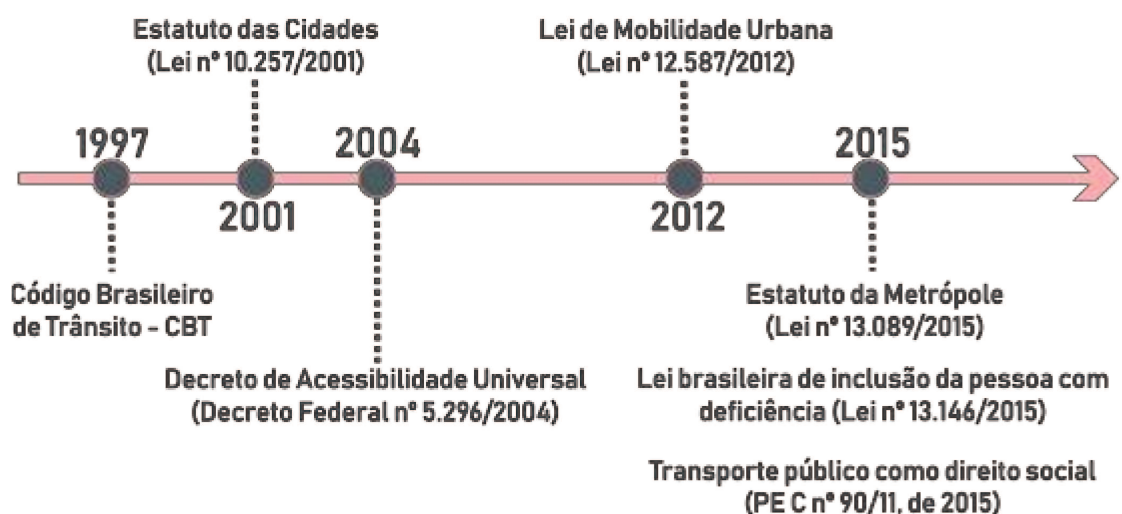


Fonte: CNT & NTU, 2017

A crise atual da mobilidade urbana brasileira reflete décadas de descaso do poder público, associado à decisiva influência da indústria automobilística na definição dos rumos para o setor, sendo que até 1970, a mobilidade urbana não era contemplada na agenda nacional (FAGNANI, 2016).

De acordo com a ANTP (2017), o período entre 1997 e 2016 compreende a promulgação de leis de grande impacto nas condições da mobilidade urbana no Brasil; as principais podem ser observadas em ordem cronológica através da Figura 3.

Figura 3- Fatos mais relevantes na mobilidade urbana no Brasil ocorridos de 1997 a 2016.



Fonte: ANTP, 2017.

O planejamento urbano é mencionado como diretriz pelo Estatuto das Cidades (Lei 10.257/01), como um instrumento fundamental necessário para o crescimento sustentável das cidades brasileiras. A Lei 12.587/12 (BRASIL, 2012), institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade urbana, que é conhecida como Lei da Mobilidade Urbana, atribuindo aos municípios com mais de 20 mil habitantes a tarefa obrigatória de planejar e executar seus planos municipais de mobilidade urbana, com a intenção de planejar o crescimento das cidades de forma ordenada. As cidades têm prazo limitado sob pena de restrição de acesso aos recursos do orçamento federal. A Lei determina ainda que os planos priorizem o modo de transporte não motorizado e os serviços de transporte público coletivo.

Em 2015 foi publicado “PlanMob – Caderno de Referência para Elaboração de Plano de Mobilidade Urbana” (BRASIL, 2015), com o objetivo de orientar os municípios e estados para a construção de Planos de Mobilidade Urbana, municipais e regionais, elaborados por equipes técnicas do governo e por profissionais contratados para tal fim. O documento direciona ações para a melhoria da infraestrutura do transporte público, por meio da requalificação e implantação de sistemas estruturantes de transporte público coletivo, com ampliação de capacidade, terminais de integração e equipamentos que visam à integração, controle e modernização dos sistemas. Exemplos práticos desses sistemas são os corredores de ônibus, o BRT, o Veículo Leve sobre Pneus – VLP, o Veículo Leve sobre Trilhos – VLT e os sistemas metro ferroviários. Além dos sistemas de transporte estruturantes, engloba, também, ações para a elaboração e a implantação de sistemas de transporte não motorizados, como passeios com acessibilidade e ciclovias.

Como forma de incentivar o perfil de cidades planejadas, sustentáveis e inclusivas, em julho de 2017, a Secretaria de Mobilidade Urbana criou o programa “Avançar Cidades – Mobilidade Urbana” para o financiamento de projetos de mobilidade para as cidades brasileiras, com recursos do Fundo de Garantia do Tempo de Serviço (FGTS). Além de financiar projetos, os municípios com população superior à de 100 mil habitantes poderão financiar seus planos de mobilidade urbana.

Já para cidades com população inferior a 100 mil habitantes, que representam 87% das legalmente obrigadas, o Ministério das Cidades publicou o “Manual de Apoio a Municípios até 100 mil Habitantes” (BRASIL, 2017). Para estes, a Secretaria Nacional de Mobilidade Urbana do Ministério das Cidades criou uma metodologia simplificada para a elaboração dos planos de mobilidade urbana, para que o próprio município o faça.

De acordo com Artur D. Little & UITP (2014), as áreas urbanas no mundo tende a aumentar nos próximos anos, sendo estimada a ampliação de 15% até 2050 em relação ao ano

de 2010. Com isso, a demanda de recursos à mobilidade urbana deve aumentar 2,6 vezes no mesmo período de tempo considerado e as cidades serão confrontadas com questões como:

- Poluição do ar
- Emissões de CO₂
- Ruído
- Aumento da pegada ecológica
- Tráfego caótico
- Tráfego inseguro
- Tráfego congestionado
- Redução da qualidade de vida e possibilidade de escolha
- Aumento de demanda por infraestrutura
- Transporte público insuficiente
- Aumento da motorização individual
- Limitação de espaços para estacionamento

A experiência internacional de países desenvolvidos aponta que o transporte público de uso coletivo é núcleo da política de mobilidade urbana e a primeira opção da população para se deslocar. Em geral, o metrô é a espinha dorsal de um sistema complexo que articula diversos outros meios de uso coletivo: VLT, BRT, bondes suburbanos, trens de superfície, rede de ônibus, balsas, ciclovias e faixas exclusivas para pedestres e ônibus (FAGNANI, 2016).

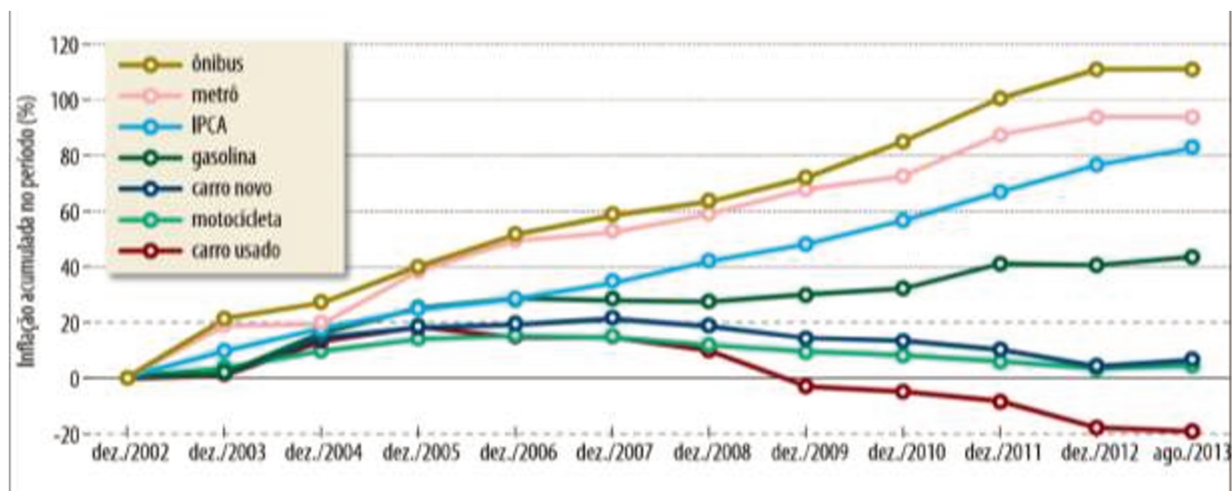
Para Fagnani (2016), é sintomático que as metrópoles brasileiras estejam na contramão dos parâmetros observados nas cidades de países desenvolvidos. Com base nesses dados, não seria exagero dizer que o automóvel parece ser a espinha dorsal da mobilidade urbana no Brasil. A participação relativa desse meio de transporte individual no total das viagens motorizadas é exacerbada.

Affonso (2016) menciona que há um contraste entre o que se caracteriza como “império dos automóveis” e uma cidade que pode ser construída com base nos preceitos da Lei de Mobilidade Urbana (BRASIL, 2012). O “império dos automóveis” tem como marca a universalização da propriedade e do uso do transporte individual, que, ao longo de décadas, e ainda hoje, conta no Brasil com privilégios significativos, como gasolina subsidiada, redução da alíquota da CIDE/Combustíveis, a ocupação de mais de 80% das vias – embora transporte

apenas 30% das pessoas, estacionamento grátis na maior parte das vias urbanas, e redução ou isenção de impostos na aquisição de veículos novos (AFFONSO, 2016).

A partir da Figura 4, é possível perceber mais um cenário onde modais individuais são privilegiados quando comparados a modais de transporte coletivo a respeito da inflação acumulada no período de 2002 a 2013.

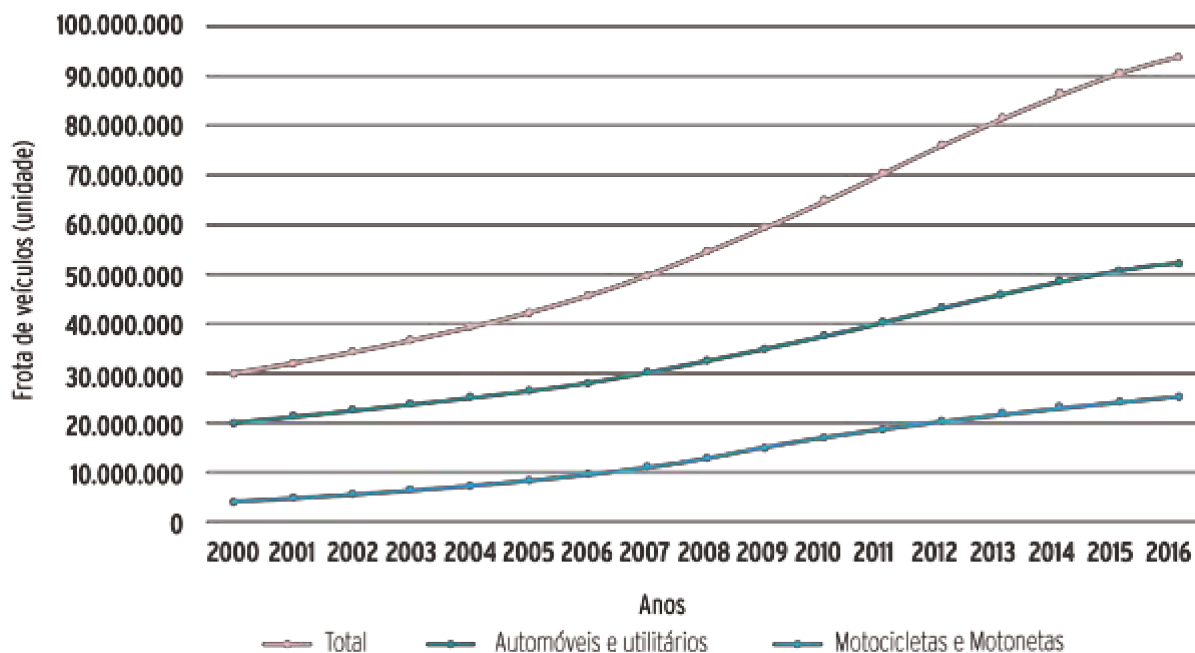
Figura 4- Inflação acumulada no período de 2002 a 2013 para segmentos da mobilidade urbana.



Fonte: SENADO FEDERAL, 2013.

Até 2017, os incentivos às indústrias automobilísticas e ao transporte individual, principalmente os relacionados à isenção de impostos e facilidade de acesso ao crédito para o financiamento de veículos resultaram, no crescimento da frota de automóveis e utilitários em 160,4%, passando de aproximadamente 20 milhões para mais de 52 milhões de veículos, conforme pode ser observado na Figura 5.

Figura 5- Evolução da frota de veículos no Brasil (2000 a 2016).



Fonte: CNT & NTU, 2017.

Segundo CNT & NTU (2017), o aumento do número de automóveis em circulação causa a redução do nível de serviço oferecido pelos ônibus, que são a principal modalidade de transporte público coletivo existente no Brasil. Por isso, a falta de vias exclusivas para os ônibus faz com que esses veículos se tornem cada vez mais lentos e potencialmente menos atrativos, levando a uma maior resistência à sua utilização e, consequentemente, à migração de usuários para o transporte individual. A superlotação dos veículos coletivos, a necessidade de vários transbordos e a falta de integração em algumas localidades também são fatores que contribuem para a mudança do transporte coletivo para o individual motorizado.

Os sistemas de ônibus urbanos vivenciaram uma redução de cerca de 24,4% no número de passageiros transportados no período de 1994 a 2012. Somente de 2013 a 2016, a demanda encolheu 18,1% (CNT & NTU, 2017).

Este cenário é marcado por congestionamentos, que contribuem para aumentar a poluição e geram ineficiência do transporte público e oneram as tarifas e o indesejável espalhamento do tecido urbano, nas quais os mais pobres moram nas áreas mais distantes, carentes de serviços, com transporte público mais precário e caro, aumentando os bolsões de especulação imobiliária. Outro fator crítico é a violência no trânsito que, no Brasil, tem produzido uma média anual de 42 mil mortos, além de cerca de 200 mil sobreviventes, que passam a exibir algum tipo de deficiência ou sequela em razão dos acidentes (AFFONSO, 2016).

O conjunto de múltiplos impactos negativos relacionados à forma como a mobilidade urbana tem evoluído até hoje, configura um grande desafio a ser enfrentado por inúmeras cidades. Segundo Artur D. Little & UITP (2018), mais do que nunca, reformar os sistemas de mobilidade é um dos principais desafios que o mundo enfrenta hoje. Na publicação “*Future of urban mobility 3.0*”, os autores destacam uma abordagem que repense o sistema, trabalhando para uma mobilidade mais sustentável.

Brasil (2015) destaca que a mobilidade urbana é um tema amplo, que vai além do debate sobre transporte urbano e abrange questões de desenvolvimento urbano, como o uso e a ocupação do solo. A saúde e a qualidade de vida das pessoas também devem ser destacadas e estão intimamente ligadas às suas condições de locomoção cotidiana. Por isso a importância de se buscar modelos de cidades sustentáveis.

Um dos motivos que levou o conceito de sustentabilidade a ser adicionado ao de mobilidade urbana foi a sua ligação com a eficiência da gestão da cidade e à necessidade do uso racional dos recursos. Por ser essencial às necessidades humanas e, até mesmo, envolver mudança de cultura, o conceito de mobilidade urbana passou a ser associado a conceitos como a gestão participativa e a sustentabilidade ambiental, ampliando sua relevância e transformando-o em parâmetro para guiar a utilização de vias e espaços urbanos de forma eficiente e dinâmica, com a minimização de impactos negativos (COSTA; RODRIGUES DA SILVA, 2006; MACEDO; RODRIGUES DA SILVA; COSTA, 2008). No Brasil, o desenvolvimento do conceito de mobilidade urbana sustentável tem sido fomentado essencialmente por ações governamentais (MACEDO; RODRIGUES DA SILVA; COSTA, 2008).

De acordo com a Política Nacional de Mobilidade Urbana Sustentável, a mobilidade urbana sustentável pode ser definida como:

O resultado de um conjunto de políticas de transporte e circulação que visa proporcionar o acesso amplo e democrático ao espaço urbano, através da priorização dos modos não-motorizados e coletivos de transporte, de forma efetiva, que não gere segregações espaciais, socialmente inclusiva e ecologicamente sustentável. Ou seja: baseado nas pessoas e não nos veículos (BRASIL, 2004, p. 12).

Assim, um arranjo do uso do solo e uma mobilidade urbana sustentável devem assegurar o acesso a bens e serviços de maneira eficiente para todos os habitantes da área urbana, resguardando o meio ambiente, o patrimônio cultural e ecossistemas para a presente geração

sem, no entanto, limitar as oportunidades das gerações futuras (BLACK; PAEZ; SUTHANAYA, 2002).

A falta de espaço para expansão das vias públicas dentro dos centros urbanos tem levado grandes cidades ao redor do mundo a investir em projetos simples e inovadores, que possam contribuir para a qualidade de vida dos cidadãos. Nesse sentido, projetos voltados à mobilidade urbana que priorizem o transporte coletivo e os meios não motorizados têm sido implementados visando a reduzir a ocupação do espaço viário e a emissão de poluentes nos grandes centros (CNT & NTU, 2017).

Em atendimento à Política Nacional de Mobilidade Urbana, regulamentada pela Lei n. 12.587/2012, paralelamente, vêm sendo executadas intervenções no espaço urbano, como calçadas e ciclovias, priorizando os modos não motorizados de transporte (BRASIL, 2015).

Nesse cenário, o PlanMob (BRASIL, 2015) indica o conceito de Desenvolvimento Orientado ao Transporte Sustentável como norte de um modelo que possa facilitar a integração entre o planejamento da mobilidade urbana com o planejamento do desenvolvimento urbano, possibilitando o desenvolvimento de uma mobilidade urbana sustentável.

2.1.1 Desenvolvimento Orientado ao Transporte Sustentável

O Desenvolvimento Orientado ao Transporte Sustentável (DOTS), com origem do inglês *Transit-Oriented Development* (TOD), é um instrumento de planejamento que integra aspectos de transporte e de uso do solo, que sejam compatíveis entre si, ou seja, que busquem atingir o mesmo objetivo, ou que tenham projetos convergentes, de forma a promover o redesenho urbano e os meios de transporte sustentáveis (não motorizados e coletivos). Para garantir essa convergência, faz-se necessária a comunicação entre as instituições governamentais em diferentes setores.

Neste sentido, o conceito de DOTS defende o planejamento integrado do transporte, uso e ocupação do solo urbano, com a promoção do desenvolvimento localizado próximo às estações e rotas de transporte público, mesclando usos complementares (residencial, comercial, serviços, lazer e outros) com um ambiente amigável aos transportes ativos (caminhada e bicicleta) (GOODWILL e HENDRICKS, 2002). É um conceito incentivado no contexto brasileiro inclusive através de cooperações técnicas com os ministérios.

A partir do conceito do DOTS, o ITDP (2013a) desenvolveu o Padrão de Qualidade DOTS, com base na análise de iniciativas de integração do planejamento de transportes e uso

do solo em diferentes cidades no mundo e na experiência de organizações ligadas à questão da mobilidade sustentável.

Com o objetivo de avaliar projetos através de indicadores quantitativos, o padrão de qualidade apresenta oito princípios de avaliação, sendo quatro princípios referentes à estrutura urbana (Quadro 1) e quatro princípios referentes à mobilidade (Quadro 2), que sintetizam a aplicação do conceito.

Quadro 1 – Princípios do DOTS referentes à Estrutura Urbana.

Princípios	Descrição	Objetivos de desempenho
Conectar	Criar redes densas de ruas e caminhos	• Os trajetos a pé ou de bicicleta são curtos, diretos e variados. • Os trajetos a pé ou de bicicleta são mais curtos do que os trajetos de veículos motorizados
Adensar	Otimizar a densidade de ocupação de forma correspondente à capacidade do transporte coletivo	• Uma alta densidade residencial e de empregos dá suporte a um transporte coletivo de qualidade, aos serviços locais e à atividade nos espaços públicos.
Misturar	Estimular a mistura de usos do solo, a diversidade demográfica e de renda	• As oportunidades e atividades cotidianas estão localizadas a curtas distâncias a pé de onde as pessoas vivem e trabalham e o espaço público permanece animado por períodos mais longos do dia. • Diversidade demográfica e de faixas de renda entre os moradores locais.
Compactar	Reestruturar as áreas urbanas para encurtar as viagens casa-trabalho-casa	• O empreendimento se localiza no interior ou próximo de uma área urbana já consolidada. • É conveniente viajar por toda a cidade.

Fonte: ITDP (2017).

Quadro 2 – Princípios do DOTS referentes à Mobilidade.

Princípios	Descrição	Objetivos de desempenho
Caminhar	Criar bairros que estimulem as pessoas a andar a pé	• O ambiente dos pedestres é seguro, completo e acessível a todos. • O ambiente dos pedestres é animado e vibrante. • O ambiente dos pedestres tem temperatura amena e é confortável
Pedalar	Priorizar redes de transporte ativo	• A rede cicloviária é segura e completa. • O estacionamento e a guarda de bicicletas é amplo e seguro.
Transporte público	Prover acesso a sistemas de transporte coletivo de qualidade, confiáveis e integrados a cidade	• O transporte coletivo de qualidade é acessível por caminhada.
Mudar	Aumentar a mobilidade regulamentando o uso de estacionamentos e de vias públicas por veículos individuais motorizados.	• O espaço ocupado por veículos individuais motorizados é minimizado.

Fonte: ITDP (2017).

A aplicação conjunta destes princípios e objetivos no planejamento das cidades permitiria o alcance de benefícios que poderiam ser observados nas três dimensões que compõem a noção de desenvolvimento sustentável: ambiental, social e econômica, conforme apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 – Potenciais benefícios do padrão DOTS.

Benefício	Descrição
Ambiental	• Redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e poluentes locais. • Minimização de gastos energéticos e de recursos naturais pela otimização do uso da infraestrutura urbana. • Conservação de áreas naturais e rurais pela contenção do espraiamento urbano.
Social	• Melhoria do acesso ao transporte público e às oportunidades urbanas. • Melhoria da saúde pública e da segurança viária. • Melhoria da qualidade de vida na cidade e no interior dos bairros. • Promoção da equidade social.
Econômico	• Aumento da produtividade pela redução do tempo de viagem do trabalhador. • Redução dos custos de transporte para população, serviços e empresas. • Redução dos custos de infraestrutura nas cidades. • Ativação da economia urbana dos bairros

Fonte: ITDP (2017).

Nesse contexto, diante da Medida Provisória 818/18, que altera dispositivos do Estatuto da Metrópole (Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015) e da Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012, que institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana, o prazo para entrega dos Planos de Desenvolvimento Urbano Integrado (PDUIs) foi estendido até dezembro de 2021. Portanto, o cenário nacional continua configurando uma clara oportunidade para tratar o planejamento de transporte, uso e ocupação do solo de forma integrada.

2.1.2 A Mobilidade Urbana e as Mudanças Climáticas

Eventos climáticos extremos afetam diretamente a mobilidade urbana, tanto como fatores de pressão na infraestrutura e sistemas de transporte em operação como no comportamento da população (Linke *et al.*, 2016). Os perigos climáticos potenciais podem afetar os sistemas de transportes urbanos de diferentes formas, gerando impactos à infraestrutura e ao desempenho operacional dos sistemas e mudanças no comportamento dos usuários, cujos desdobramentos podem abranger aspectos de qualidade de vida e economia das cidades, entre outros (BRASIL, 2017).

Sistemas de mobilidade urbana mais resilientes são parte fundamental do conjunto de estratégias que promovam a transição das cidades brasileiras para economias mais sustentáveis, equitativas e de baixo carbono. As externalidades negativas de sistemas adaptados para as mudanças climáticas tendem a ser menores, aumentando os benefícios sociais, econômicos e ambientais para toda a população (BRASIL, 2017).

O Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima - PNA (BRASIL, 2016), estabelecido pela Portaria nº 150 de 10 de maio de 2016, apresenta estratégias a 11 setores elencados como potencialmente vulneráveis à mudança do clima e ao mesmo tempo prioritários ao desenvolvimento do país. Um destes é o setor de Infraestrutura, onde são abrangidos os setores Transporte, Mobilidade Urbana e Energia, dentre os quais ocorre uma forte interdependência, de forma que alterações de desempenho em algum deles resultam em efeitos recíprocos e sinérgicos nos demais.

Dentre as diretrizes elencadas pelo PNA (BRASIL, 2016) para a adaptação do setor de Mobilidade Urbana aos riscos climáticos estão: 1) o fortalecimento e qualificação da infraestrutura de transporte público coletivo e individual não motorizado, promovendo condições que estimulem a maior participação destes modos na matriz de viagens urbanas, assegurando a integração intermodal e a flexibilidade do sistema e 2) apoio à inovação em projetos que reduzam as emissões de carbono e aumentem a capacidade adaptativa ao clima.

O “Estudo Técnico Adaptação às Mudanças Climáticas na Mobilidade Urbana” (BRASIL, 2017) classifica em três tipos os eventos climáticos considerados perigosos à mobilidade urbana: 1) Precipitações – relacionados ao aumento da frequência e intensidade de precipitações extremas que possam causar alagamentos, inundações, enxurradas ou vendavais; 2) Temperatura – são perigos relacionados à maior ocorrência de dias com altas temperaturas e 3) Elevação e sobre-elevação do nível do mar – são perigos causados pela elevação do nível do mar (de ordem meteorológica – transitória – e do nível médio – persistente) que afetariam diretamente ou indiretamente as infraestruturas de uma cidade, incluindo os transportes urbanos, que estão em regiões litorâneas, de baixada ou de várzea.

Não há uma solução imediata para tornar nossos sistemas de transportes mais resilientes e adaptados ao clima futuro (LINKE et al., 2016). Não é possível fazer com que os sistemas de transportes urbanos sejam totalmente adaptados, já que o custo seria muito alto frente o benefício de infraestruturas totalmente resilientes (BRASIL, 2017). No entanto, é possível minimizar os impactos climáticos nos sistemas por meio de estratégias para reduzir as vulnerabilidades identificadas (LINKE et al., 2016).

Alinhado com o Acordo de Paris (UNFCCC, 2015), o Brasil estabeleceu sua meta individual por meio da pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada - INDC (*Intended Nationally Determined Contribution*), na qual pretende, até 2025, reduzir as emissões em 37% em relação aos níveis de 2005.

O setor de transporte pode contribuir com essa meta, visto que hoje sua participação na matriz de emissões de CO₂ é de 8,6%. O transporte é o 3º setor que mais emite CO₂. O primeiro é a mudança no uso da terra (76,4%) e o segundo é o industrial (8,9%) (CNT & NTU, 2017).

O Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil elaborou o Plano Setorial de Transporte e de Mobilidade Urbana para Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima (PSTM), contendo estratégias de mitigação, em 2013, e o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA), trazendo diretrizes para reduzir a vulnerabilidade dos sistemas naturais e humanos frente aos efeitos atuais e esperados da mudança do clima, em 2016.

O Plano Setorial de Transporte e de Mobilidade Urbana para Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima (PSTM), restrito às políticas de mitigação de gases de efeito estufa, é um instrumento de auxílio no entendimento dos desafios, possibilitando a proposição de soluções de adaptação à mudança do clima na mobilidade urbana. É, portanto, uma importante oportunidade para promover a harmonização em nível federal dos planos, políticas e financiamentos voltados à mobilidade urbana com um planejamento que incorpore ações para a adaptação e resiliência.

Em relação às estratégias para a promoção da adaptação às mudanças climáticas, o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA), busca propor iniciativas para a gestão e a diminuição do risco climático no longo prazo. Com base nestas propostas, o PNA visa contribuir para o aumento da capacidade adaptativa em todos os setores de políticas públicas do país, consideradas vulneráveis aos impactos das mudanças climáticas. Para tanto, o PNA traça o panorama da mudança do clima, observada e futura, para estabelecer estratégias de gestão setoriais e temáticas que visem a diminuição do risco climático no país e à construção de instrumentos que proporcionem a adaptação dos sistemas naturais, humanos, produtivos e de infraestrutura. Em relação ao setor de mobilidade urbana, o documento destaca os potenciais impactos sobre a infraestrutura, sistemas e condições de deslocamento, em função do clima atual e das alterações projetadas no território brasileiro.

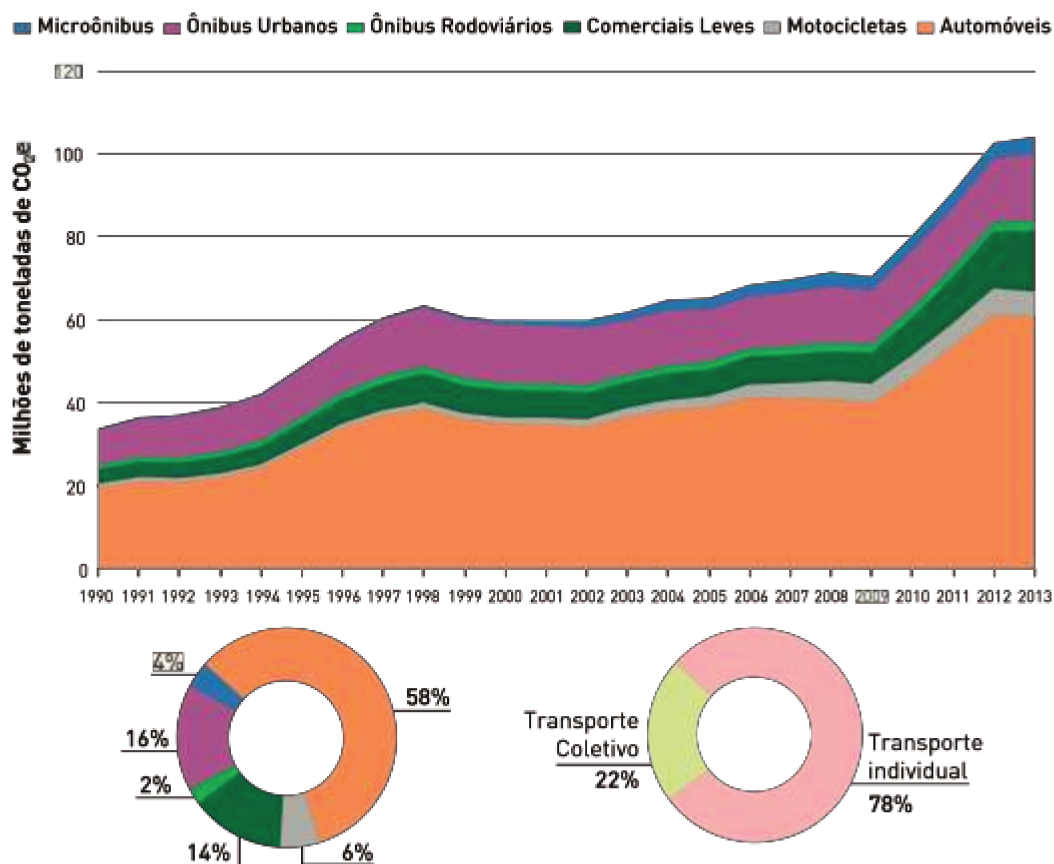
No entanto, embora sejam propostas diretrizes e estratégias para aperfeiçoar a capacidade adaptativa do setor, o PNA destaca que a complexidade do processo de promoção da adaptação no território nacional requer a atuação conjunta dos diversos entes federativos, atores da sociedade e órgãos setoriais do governo, buscando harmonizar os planos e políticas nacionais com um planejamento local que incorpore ações para a adaptação e resiliência integradas à mobilidade urbana e ao uso e ocupação do solo nas cidades.

O setor de transportes apresenta-se particularizado no Plano Nacional sobre Mudança do Clima, tanto entre os seus objetivos, ao ser destacada a necessidade de fomento à ampliação sustentável da participação de biocombustíveis na matriz de transportes do país, quanto no primeiro eixo temático ("Oportunidades de Mitigação"), no qual foram sinalizadas medidas como a utilização de veículos eficientes; a expansão do uso de sistemas ferroviários e aquaviários, bem como incentivos aos transportes coletivos e não-motorizados, em detrimento do individual motorizado.

Medidas como essas foram tratadas com maior aprofundamento no PSTM (BRASIL, 2013), cuja elaboração foi determinada no Decreto nº 7.390, de 09 de dezembro de 2010, indicando o Plano como parte integrante da estratégia brasileira diante das mudanças climáticas. O Decreto estabelece ainda que os Planos Setoriais deverão compor o Plano Nacional sobre Mudança do Clima, incorporando as suas atualizações a cada nova versão do Plano Nacional.

De acordo com o apresentado no PSTM (BRASIL, 2013), em relação ao transporte de passageiros, o modal rodoviário é predominante, respondendo, em 2013, por 90% das suas emissões de CO₂e (104,1 Mt). A progressão das emissões no período estudado, especialmente dos automóveis é apresentado na Figura 6. Em 2013, o transporte individual foi responsável por 78% das emissões associadas ao transporte rodoviário de passageiros.

Figura 6 - Evolução das emissões de CO₂e no transporte rodoviário de passageiros.



Fonte: BRASIL, 2013.

Assim, no que tange ao transporte de passageiros, é indicado como estratégia fundamental o fomento à alteração da matriz de deslocamentos da população a fim de aumentar a participação do transporte coletivo em detrimento do transporte individual, especialmente nos maiores centros urbanos (CNT & NTU, 2017).

Além do volume de pessoas transportadas, a utilização dos ônibus também se torna mais vantajosa na comparação com veículos de passeio e motocicletas quando considerada a emissão de poluentes per capita. Em uma pesquisa realizada pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea, 2011), notou-se que enquanto um ônibus emite 1,28 kg de CO₂/km, um automóvel emite 0,19 kg de CO₂/km. Contudo, considerando os índices médios de ocupação (Tabela 1), é possível verificar que, em uma operação do transporte coletivo com ocupação máxima, são emitidos cerca de 80% menos poluentes por passageiro em relação ao transporte individual, em sua situação habitual. Mesmo em uma ocupação máxima do automóvel, a emissão de CO₂/km por passageiro é 26,3% menor com a utilização do ônibus.

Tabela 1 - Emissões de CO₂ (kg CO₂/km) por passageiro no automóvel e no ônibus.

Automóvel	Ocupação média (1,3 pass./veículo)	0,146 kg CO ₂ /km
	Ocupação máxima/ideal (5 pass./veículo)	0,038 kg CO ₂ /km
Ônibus	Ocupação baixa/capacidade ociosa (15 pass./veículo)	0,085 kg CO ₂ /km
	Ocupação máxima* (45 pass./veículo)	0,028 kg CO ₂ /km

*Considera o transporte com todos os passageiros sentados.

Fonte: CNT & NTU, 2017.

Em relação ao transporte de passageiros, o Plano Setorial de Transporte e da Mobilidade Urbana para Mitigação da Mudança do Clima (BRASIL, 2013), também apresenta como estratégia fundamental medidas que promovam a alteração na matriz de deslocamentos da população, por meio do aumento da participação do transporte coletivo na divisão modal verificada atualmente, principalmente nos maiores centros urbanos, uma vez que, ao mesmo tempo em que promovem a melhoria do sistema de mobilidade urbana e ampliam a acessibilidade das pessoas às oportunidades que as cidades oferecem, proporcionam a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEEs) e locais (GELs).

O PSTM (BRASIL, 2013) elenca quatro medidas necessárias à implantação da diretriz de promoção da mudança modal das viagens urbanas:

- i) implantação de infraestrutura para a mobilidade urbana, por meio de projetos de transporte público coletivo, que possam promover o aumento de sua participação no conjunto de deslocamentos da população.
- ii) ações relacionadas ao planejamento urbano associado à política de mobilidade, por meio da descentralização das atividades essenciais pela cidade ou do adensamento populacional e promoção de atividades de serviço, lazer ou estudo junto aos eixos de transporte público, diminuindo a geração de viagens motorizadas ou promovendo a substituição do transporte individual pelo coletivo.
- iii) implantação de instrumentos de gestão da mobilidade urbana, por meio da adoção de instrumentos regulatórios e econômicos que promovam o transporte público e ao mesmo tempo desestimulem o uso crescente do transporte individual motorizado.
- iv) substituição da fonte de energia utilizada no transporte público por ônibus.

Os investimentos em implantação, expansão ou melhorias em infraestrutura de transporte público coletivo urbano produz sistemas de transportes mais eficientes e de melhor

qualidade, pois otimizam a operação, ampliam a capacidade e o conforto, bem como reduzem os tempos de viagem. Tais melhorias resultam no aumento da demanda de passageiros atendidos e na eficiência energética do transporte coletivo. Parte deste aumento de demanda é resultante da transferência de passageiros dos modos motorizados individuais de transporte, que proporciona co-benefícios como a redução da emissão de gases de efeito estufa e local (BRASIL, 2013).

Dessa forma, o PSTM (BRASIL, 2013) também indica que a adoção do conceito do DOTS aumenta a acessibilidade por meio do transporte público e contribui efetivamente para a redução da necessidade de viagens motorizadas pelo transporte individual, além de estimular o uso do transporte coletivo, fazendo referência às estratégias de desenvolvimento e implantação das medidas de mitigação de gases de efeito estufa e poluentes locais nos sistemas de mobilidade urbana.

Reduções de emissão de GEE no transporte urbano podem ser atingidas pela abordagem de redução de emissões por quilometro. Por exemplo, novas tecnologias de transporte, mudanças de comportamento, substituição de combustíveis e projetos de infraestrutura. Outra abordagem é a diminuição de emissões por unidade transportada. Por exemplo, alterações modais, principalmente do transporte particular para o público, veículos (ônibus) maiores e incremento do fator de ocupação. Finalmente, outra alternativa é a redução de emissões pela redução na distância das viagens, por exemplo, alterações profundas de comportamento para se viver e trabalhar em áreas próximas ou na mesma área (PEREIRA, 2009).

A Corporación Andina de Fomento (CAF) é uma instituição financeira multilateral de apoio ao desenvolvimento sustentável, a integração regional latino-americana e a competitividade. Destaca-se o papel da CAF no fomento ao MDL na América Latina e ao interesse por projetos complexos como o BRT. Através do Programa Latino-americano de Carbono (PLAC), a CAF busca contribuir para a redução do aquecimento global e para a promoção de energias limpas na América Latina e no Caribe. O setor de transporte urbano tem recebido grande atenção pela instituição, já que o potencial para sistemas de transporte eficientes tem grande impacto nas metrópoles da região, contribuindo para o desenvolvimento sustentável e aumento da qualidade de vida da população.

Segundo avaliação da CAF, o potencial de redução de emissões de CO₂ está no aumento da taxa de ocupação e implantação de unidades de transporte maiores, alteração modal, a substituição de combustível e a substituição da frota por veículos novos mais eficientes. Deve-se notar que sistemas BRT tendem a promover reduções de emissões e se encaixa em todas as ações mencionadas.

2.2 Bus Rapid Transit (BRT)

Para que um corredor

Segundo Bulkeley et al (2013), em 627 iniciativas motivadas pelas mudanças climáticas em uma amostra de 100 cidades globais, 18,82% foram no setor de transportes, em sua maioria (aproximadamente 80%) ações governamentais.

Uma das iniciativas que vêm sendo empregadas no Brasil e em vários países é o Bus Rapid Transit (BRT), por representar uma alternativa de transporte público com excelente custo-benefício, que diminui os congestionamentos de tráfego, reduz emissões de carbono e aumenta as opções de mobilidade para a população de menor poder aquisitivo (CERVERO E KANG, 2011). Segundo Hensher (2007), sistemas BRT têm a capacidade de transportar grandes volumes de passageiros com serviços de boa qualidade, dentro de orçamentos geralmente restritos de municípios com baixa capacidade de investimento.

De acordo com Lerner (2009), o BRT se destaca em relação a outros modais de transporte público em massa por demandar menor prazo para implantação e investimentos consideravelmente inferiores, em geral, entre 4 a 20 vezes menos que um sistema de bondes ou de VLT, ou entre 10 a 100 vezes menos que um sistema de metrô (BRASIL, 2008).

Observa-se que o BRT combina os benefícios do transporte leve sobre trilhos com a flexibilidade e eficiência do sistema de ônibus, sendo mais adaptável a mudanças nos padrões de viagens do que outros modais. Por conta disso, os sistemas de BRT são flexíveis, podendo ser construídos por etapas e adaptados a uma variedade de condições urbanas, em termos de custo. Os elementos que constituem o conceito de sistemas BRT incluem: infraestrutura de qualidade, operações eficientes, arranjos institucionais de negócios eficazes e transparentes, tecnologia sofisticada e excelência em marketing e serviço ao usuário (LIMA, 2013).

O Sistema BRT possui um grande potencial de redução de emissões nas áreas urbanas, considerando que as viagens de ônibus respondem por aproximadamente 85% das viagens públicas nas cidades brasileiras. Comparado aos sistemas convencionais de ônibus, o BRT consegue transportar uma quantidade muito maior de passageiros, reduzindo assim o consumo de combustível por passageiro e por quilômetro. Como os veículos do BRT utilizam pistas exclusivas, eles apresentam uma velocidade média mais alta, o que resulta em um melhor serviço e em menos emissões (GOUVELLO, 2010).

De fato, por suportar uma capacidade superior à dos ônibus convencionais, ter uma maior taxa de ocupação e utilizar combustível menos poluente, as emissões por passageiro transportado pelo BRT, é menor (EMBARQ, 2013).

O BRT tem contribuído para uma transformação do transporte urbano na última década. No período entre 1991 a 2000, 14 cidades implementaram novos BRTs, enquanto que a partir de 2001, 136 cidades implementaram o sistema, havendo maior concentração desse tipo de projeto em cidades localizadas na América Latina, conforme apresentado na Tabela 2 (BRTdata, 2018).

Tabela 2 – Dados gerais sobre os sistemas BRTs no mundo por região.

Região	Passageiros por dia	Cidades	Extensão total (km)
África	491.578	5	131
Ásia	9.301.472	43	1.593
Europa	1.613.580	44	875
América Latina	20.552.629	55	1.798
América do Norte	912.598	18	526
Oceania	436.200	4	96

Fonte: BRTdata, 2018.

Segundo ITDP (2013) a implantação do BRT Transoeste, no Rio de Janeiro, conseguiu reduzir 107.000 ton de CO₂/ano de poluentes que seriam emitidos na atmosfera caso não se tenha implementado o corredor. Já com relação ao BRT Transcarioca, também localizado no Rio de Janeiro, segundo ITDP (2015) a redução de emissões foi de 65.500 ton de CO₂/ano. Na Tabela 3, encontram-se informações de economias de emissões de CO₂ de sistemas de BRTs de diversas cidades do mundo.

Tabela 3 - Reduções de Emissão de GEE para sistemas de BRT ao redor do mundo.

Ano Avaliação	País	Cidade	Sistema	Reduções de CO ₂ (ton/ano)	Demanda anual (milhões pass./ano)	Fonte
2009	China	Chongqing	-	95.098	266	IEA (2009)
2010	China	Chongqing	Linhas 1-4	218.067	266	CDM (2014)
2012	China	Lanzhou	BRT Lanzhou	12.621	42	CDM (2014)
2011	China	Zhengzhou	BRT Zhengzhou	204.715	195	CDM (2014)
2011	Colômbia	Barranquilla	Transmetro	55.828	36,3	CDM (2014)
2006	Colômbia	Bogotá	-	83.520	594	IEA (2009)
2006	Colômbia	Bogotá	TransMilenio Fase II - IV	246.563	594	CDM (2014)
2008	Colômbia	Bogotá	TransMilenio Fase II - IV	62.813	594	Hook et. al. (2010)
2010	Colômbia	Cali	Metrol Cali	113.428	160	Turner et. al. (2012)
2012	Colômbia	Medellin	Metroplus	123.479	18	CDM (2014)
2009	Colômbia	Pereira	-	10.464	31,5	IEA (2009)
2009	Indonésia	Jakarta	TransJakarta	60.000	120	Hook et. al. (2010)
2012	Guatemala	Guatemala	TransMetro	536.148	73,5	CDM (2014)
2012	México	Guadalajara	Macrobus	54.325	38,1	CDM (2014)
2008	México	México	-	4.416	270	IEA (2009)
2009	México	México	Metrobus Insurgentes	26.816	270	Hook et. al. (2010)
2011	México	México	Metrobus Insurgentes	46.544	270	CDM (2014)
2011	México	México	Linhas 1-5 EDOMEX	145.863	270	CDM (2014)
2012	México	México	Metrobus 2-13	134.601	270	CDM (2014)
2012	Turquia	Istambul	Metrobus	60.955	220	Alpkokin and Ergun (2012)
2011	China	Guangzhou	GZ BRT	86.000	805	ITDP (2011)
2013	Brasil	Rio de Janeiro	Transoeste	107.000	66	ITDP (2013a)
2015	Brasil	Rio de Janeiro	Transcarioca	65.500	69	ITDP (2015)
Demanda: dados em brtdata.com (ALC-BRT e EMBARQ, 2014; ITDP China, 2014; CDM, 2014)						

Fonte: Costa et. al., 2016.

É possível observar que as quantidades de emissão calculadas variam, inclusive para análises sobre um mesmo sistema. Por isso, de acordo com Costa et al. (2016), é importante que a metodologia utilizada esteja bem descrita de forma a ser reproduzível e que os resultados sejam revistos após o decorrer dos anos de operação do projeto, possibilitando a comparação com outros estudos.

O caso do corredor TransMilenio, em Bogotá, é ilustrativo (Hook et. al., 2010): em 2006, foi estimado que a redução seria da ordem de 250 mil toneladas de CO₂ por ano. No entanto, após o terceiro ano de operação, em 2008, aferiu-se uma transição considerável de

viagens que eram realizadas em transporte público para automóveis particulares. Tal transição teria sido consequência do descongestionamento de diversas vias da cidade após a implementação do BRT. A redução recalculada ficou em torno de 60 mil toneladas de CO₂ por ano, ou 75% menor que o previsto inicialmente.

Por outro lado, sabe-se que a velocidade influi no consumo de combustível pelo modo estudado, o que pode resultar em uma emissão total distinta para o mesmo sistema. Outra variável que pode influenciar os resultados de emissões de GEE é o tipo de combustível utilizado. Essa fragilidade evidencia a importância de uma metodologia bem detalhada para o cálculo da redução das emissões de poluentes, bem como de dados consistentes que traduzam a realidade de cada projeto e do sistema de transporte avaliado (COSTA et al., 2016).

IEA (2009) estima que, até 2050, seja possível obter reduções de emissões de GEE da ordem de 500 Gt de CO₂eq por ano caso sistemas de BRT, como o de Bogotá, sejam implantados em largas extensões em 500 grandes cidades no mundo.

Assim, o uso do BRT é capaz de garantir dois dos princípios previstos na Lei de Mobilidade Urbana promulgada recentemente no país: (1) priorizar o serviço de transporte coletivo sobre o transporte individual motorizado e (2) reduzir custos ambientais dos deslocamentos de pessoas na cidade (Brasil, 2012).

Em 2016, O ITDP publicou o Padrão de Qualidade BRT (ITDP, 2016), que é uma ferramenta de avaliação para os sistemas de BRT com base nas melhores práticas internacionais. É também a peça central de um esforço global feito pelos líderes da área de transporte público para estabelecer uma definição comum de BRT e garantir que esses sistemas possam oferecer uma experiência mais uniforme e de qualidade superior aos seus usuários, além de benefícios econômicos significativos e impactos ambientais positivos.

Ao definir os elementos essenciais do BRT, o Padrão coloca à disposição uma estrutura que permite aos planejadores de sistemas, aos gestores e à comunidade de transporte sustentável, identificar e implementar corredores de BRT de alta qualidade. A partir desse instrumento, um corredor pode ser certificado como BRT ouro, prata, bronze ou básico.

As cidades com corredores de BRT certificados são exemplos de boas práticas na adoção da forma mais avançada de transporte de média e alta capacidade, elevando o transporte urbano a um novo nível de excelência e, ao mesmo tempo, tornando as cidades mais sustentáveis, melhores para se viver, com mais mobilidade para seus habitantes e ampliando seu acesso às oportunidades da vida urbana.

No Brasil, várias cidades tiveram sistemas BRTs avaliados e classificados de acordo com o Padrão de Qualidade BRT, conforme apresentado no Quadro 4.

Quadro 4 – Padrão de Qualidade BRT aplicado a diferentes corredores no Brasil.

Cidade	Sistema	Corredor	Classificação
Cutiriba	Rede Integrada de Transporte	Linha Verde	Ouro
	Rede Integrada de Transporte	Leste	Prata
	Rede Integrada de Transporte	Oeste	Prata
	Rede Integrada de Transporte	Norte	Prata
	Rede Integrada de Transporte	Sul	Prata
	Rede Integrada de Transporte	Boqueirão	Prata
	Rede Integrada de Transporte	Circular Sul	Prata
Rio de Janeiro	BRT Rio	TransOeste	Ouro
	BRT Rio	TransOlimpica	Prata
	BRT Rio	TransCarioca	Ouro
	BRT Rio	TransOeste	Prata
São Paulo	(no BRT system Name)	Expresso Tirade	Prata
	Corredor Metropolitano ABD	ABD Diadema	Bronze
	Corredor Metropolitano ABD	ABD Extensão Morumbi	Brt básico
Belo Horizonte	MOVE	MOVE - Antônio	Prata
	MOVE	MOVE - Cristiano Machado	Ouro
Brasília	Expresso DF	Expresso DF Sul	Bronze
Goiânia	(no BRT system Name)	Eixo Anhanguera	Bronze
Uberlândia	(no BRT system name)	Corredor Estrutural Sudeste	Prata
Recife	Via Livre	Via Livre Leste/Oeste	Brt básico
	Via Livre	Via Livre Norte/Sul	Bronze
Uberaba	VETOR	VETOR Leste-Oeste	Prata

Os BRTs não são todos iguais e os que adotam as melhores práticas de normas de projeto são mais rápidos e são mais confortáveis, o que aumenta sua eficiência e nível de utilização (HUGHES, 2013).

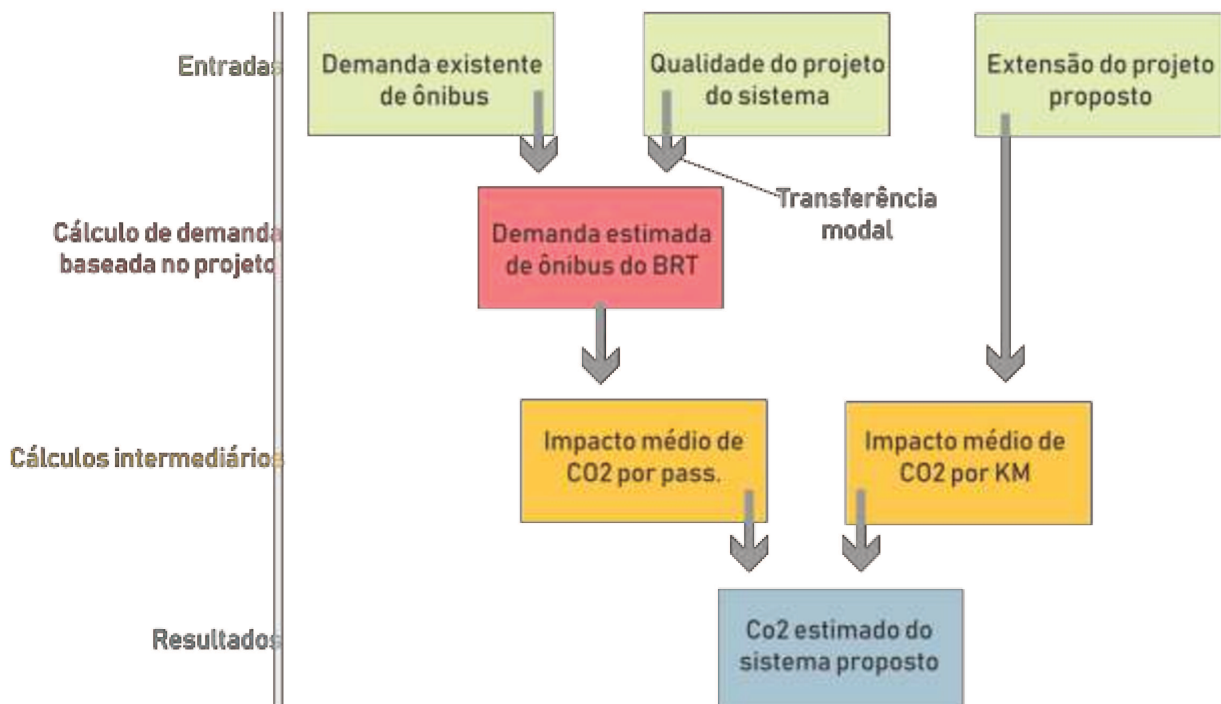
2.2.1 Avaliação de Emissões dos Transportes para Projetos - BRT

Para verificar o impacto de CO₂, o ITDP BRASIL, além de ser uma das principais instituições internacionais a introduzir conceitos de mobilidade urbana sustentável e apoio técnico às instituições governamentais através de diversas publicações junto às equipes ministeriais, recomenda o uso do modelo *Transport Emissions Evaluation Models for Projects* (TEEMP), que complementa o Padrão de Qualidade BRT, alcançando uma avaliação mais ampla dos impactos das emissões de CO₂ específicos para cada projeto.

O instrumento foi desenvolvido pela *Clean Air Initiative for Asian Cities CAI - Asia* e pelo ITDP para avaliar o impacto dos projetos de transporte do Banco de Desenvolvimento Asiático ADB. O modelo foi então aprimorado e estendido para ser utilizado como base de avaliação dos projetos do *Global Environment Facility* (ITDP, 2015). O modelo é aberto e tem foco nos países emergentes.

O modelo oferece tanto uma alternativa simples (Método *Shortcut*), quanto uma completa (Método *Full*). O Método *Shortcut* permite o cálculo do montante estimado de emissões atmosféricas de gases do efeito estufa (CO₂) evitadas com o projeto de BRT (Figura 7).

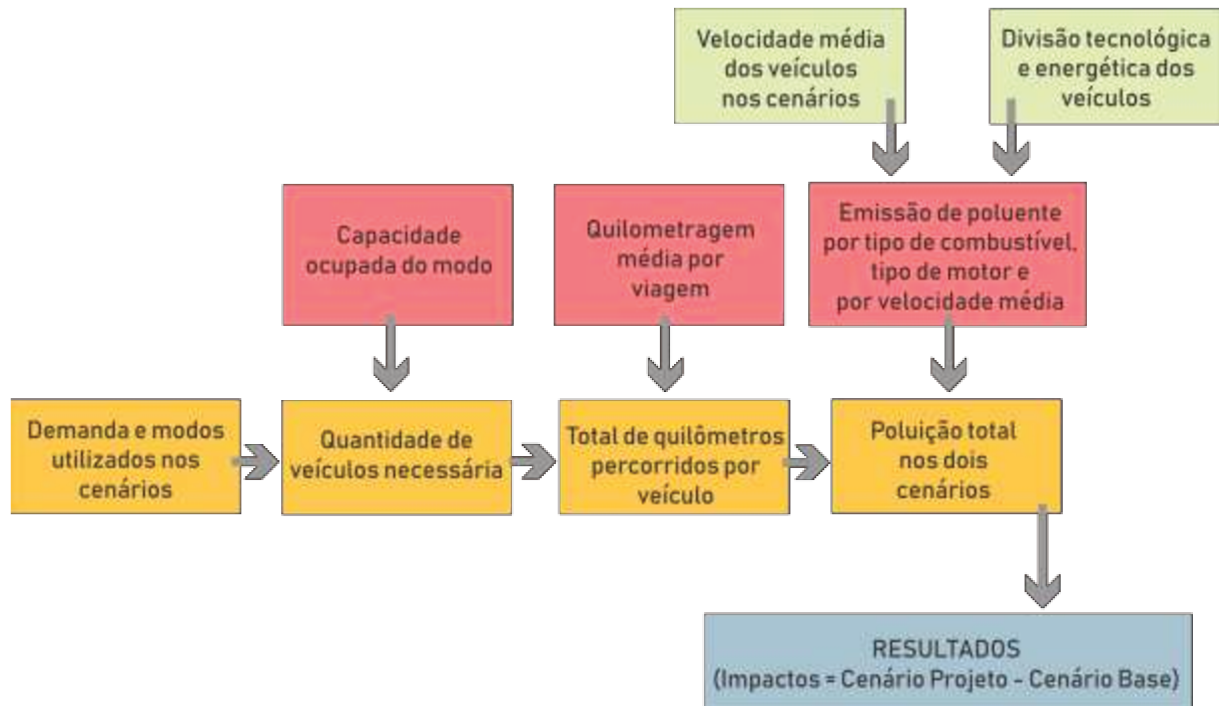
Figura 7- Dados de entrada e conceito metodológico do modelo TEEMP (Método *Shortcut*).



Fonte: Adaptado de ITDP, 2013.

No Método *Full*, além das emissões de CO₂, são avaliadas também emissões evitadas de poluentes locais: Material Particulado (MP) e óxidos de nitrogênio (NOx), economia de combustíveis e redução de quilometragem percorrida VKT (*Vehicle Kilometers Traveled*) ao longo do corredor. Para o cálculo, são imputados no modelo dados básicos sobre os modos de transporte afetados pelo novo sistema de BRT (Figura 8).

Figura 8- Fluxograma das etapas para o método *Full*.



Fonte: Adaptado de ITDP, 2013.

2.3 Região Metropolitana de Belém

A Região Metropolitana de Belém – RMB está localizada no Estado do Pará, região Norte do Brasil. É composta pelos municípios Ananindeua, Belém, Benevides, Castanhal, Marituba, Santa Bárbara do Pará e Santa Izabel do Pará. Até 1996, apenas os dois primeiros faziam parte da RMB.

O município de Belém, capital do estado do Pará, apresenta uma população estimada em 1.485.732 habitantes (IBGE, 2018). Agregando-se os demais municípios da RMB, chega a 2.491.052 habitantes (IBGE, 2018). Na Figura 9 é apresentado o eixo de interligação urbana da RMB, onde a Avenida Almirante Barroso é conectada à Rodovia BR-316, e na Tabela 4 é apresentada a distribuição populacional da RMB.

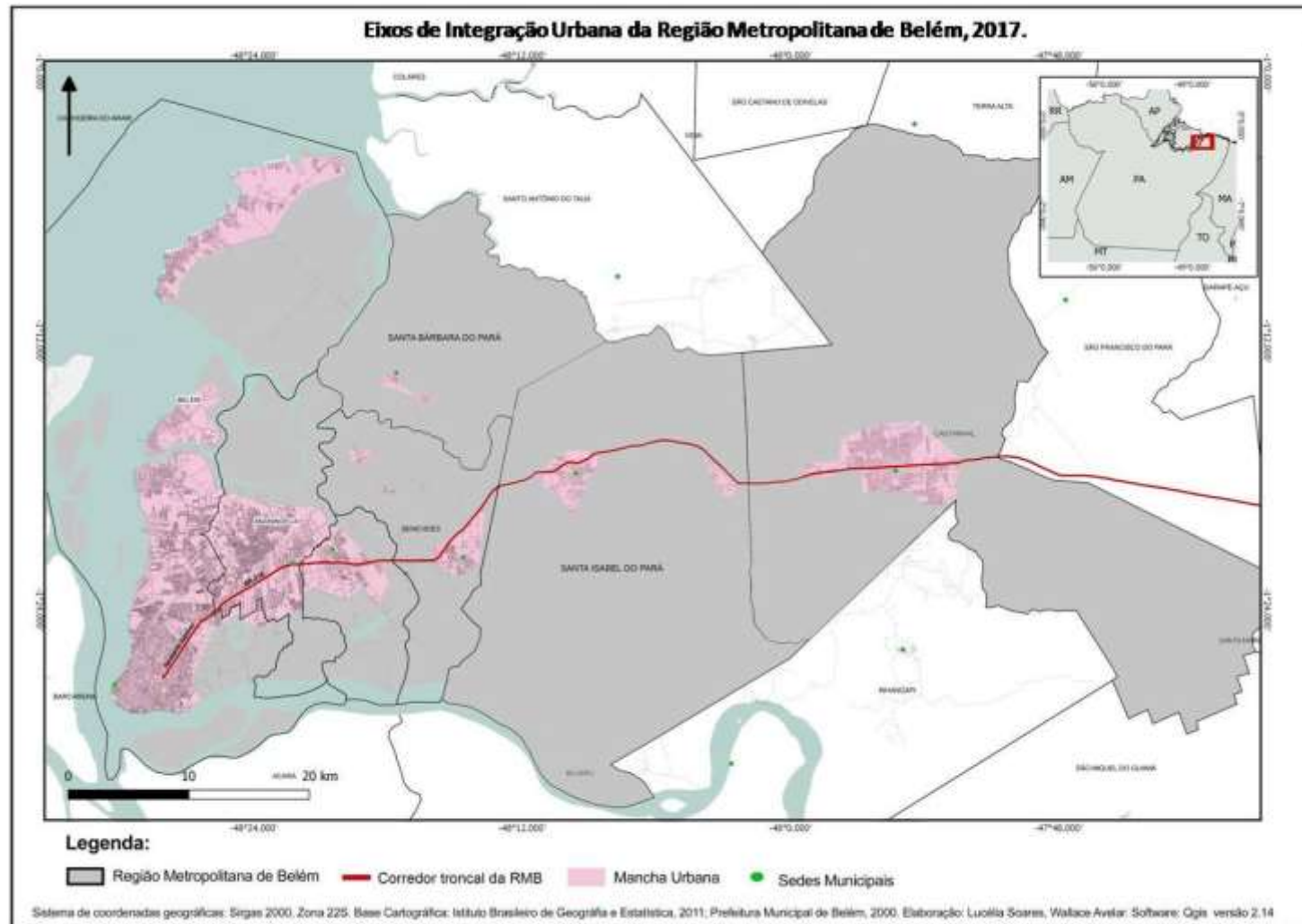
Tabela 4 – Distribuição da população estimada da RMB.

Município	Área (km²)	População (2018)
Ananindeua	190,451	525.566
Belém	1.059,458	1.485.732
Benevides	187,826	61.689
Marituba	103,343	129.321
Santa Bárbara do Pará	278,154	20.704
Santa Izabel do Pará	717,662	69.746
Castanhal	1.028,889	198.29
TOTAL	3.565,783	2.491.052

Fonte: IBGE, 2018.

O crescimento demográfico e espacial ocorreu de maneira semelhante à maioria dos núcleos urbanos brasileiros, com a consolidação de uma área central e posterior expansão para áreas periféricas, que foi ocorrendo de maneira rápida e desordenada, defrontando-se com a carência de infraestrutura viária que pudesse garantir uma boa acessibilidade ao transporte urbano à população.

Figura 9- Eixos de interligação urbana da RMB.



Fonte: Soares (2017).

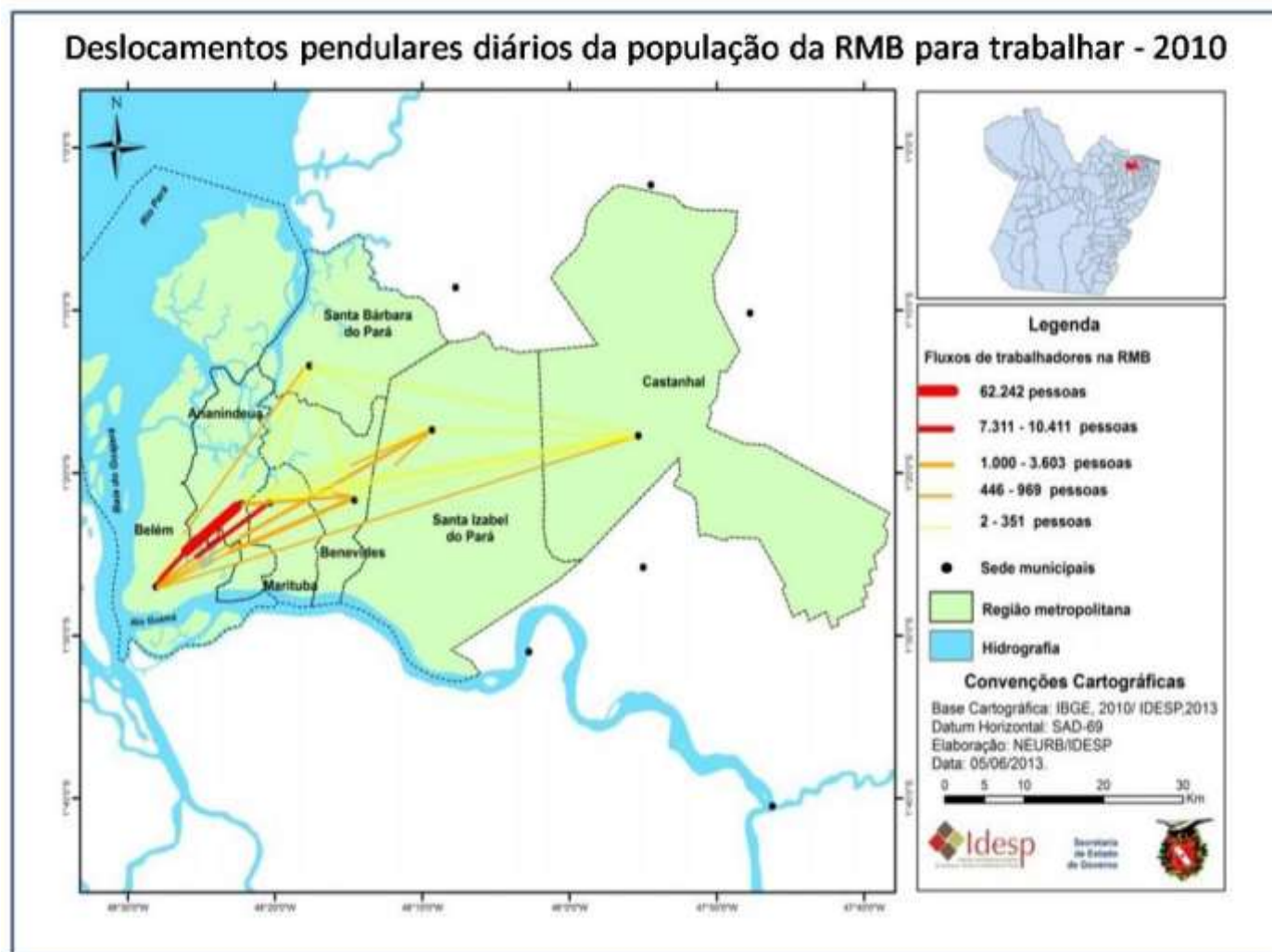
As transformações do espaço urbano, face ao crescimento populacional, colaboraram à ocupação desordenada, com a concentração de pessoas, com melhores condições econômicas em sua região central, onde está a maioria das atividades econômicas. Por outro lado, a população desfavorecida economicamente se instalou em outras áreas, denominadas áreas de expansão. Do ponto de vista demográfico, a RMB é caracterizada por um contingente populacional na área insular (região das ilhas) relativamente pequeno, a despeito de sua expressiva superfície. Na porção continental, tem-se uma concentração de atividades no centro tradicional de comércio e serviços (extremo oeste), local de início da ocupação territorial (Cidade Velha e adjacências), sendo o principal pólo atrativo de viagens urbanas.

A partir do centro, tem-se ao longo dos principais corredores de transporte e, ainda, em alguns bairros, a existência de pequenos centros que ainda não reproduzem todas as funções do centro tradicional. Uma característica importante é a descontinuidade de ocupação e do sistema viário principal numa área chamada de Cinturão Institucional, formada por grandes propriedades das forças armadas e outras instituições civis, que dificultam os deslocamentos da população entre a área central (polo de atração de viagens) e as áreas de geração de viagens.

Atualmente, o aumento no fluxo de transporte (fruto do crescimento populacional e expansão de áreas urbanizadas), o incremento na frota de veículos particulares e, ainda, a falta de um sistema eficiente de transporte por ônibus, tem contribuído para uma queda acentuada na qualidade dos serviços prestados e nas condições de mobilidade da cidade.

Em uma análise dos deslocamentos pendulares na RMB, a partir das motivações de trabalho e/ou estudo em 2010, foi demonstrado que as migrações mais intensas foram em direção ao centro metropolitano, já que é na capital que se encontram as maiores oportunidades de emprego e renda da região e, também, a maior concentração de equipamentos urbanos e sociais que atendem não somente a população belenense, mas também aquelas provenientes de outros municípios do estado do Pará. Os deslocamentos ocorrem principalmente nos corredores de acesso ao município de Belém (Figura 10).

Figura 10- Deslocamentos pendulares diários das massas trabalhadoras da RMB em 2010.



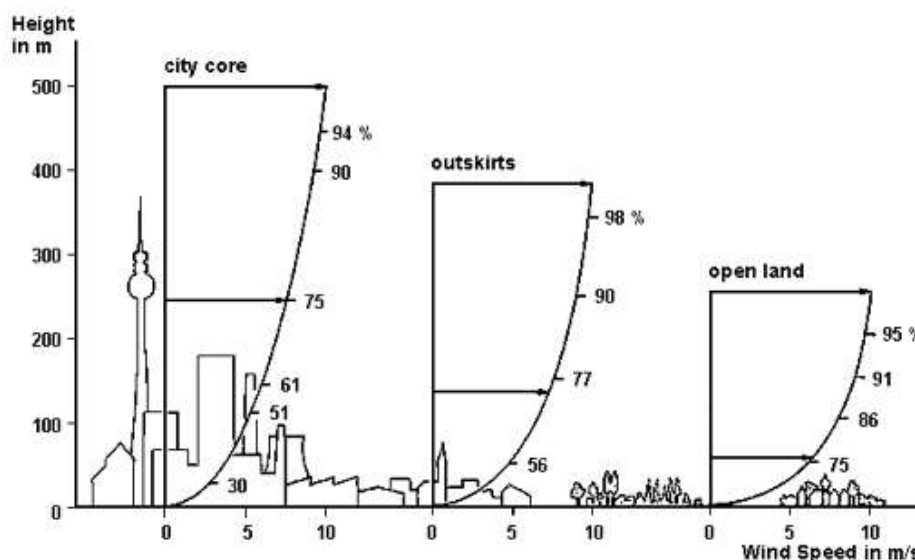
Fonte: IBGE (2010), elaboração IDESP-PA (2013).

2.3.1 Qualidade do Ar na Região Metropolitana de Belém

As médias pluviiais, de velocidade dos ventos e a configuração do relevo na RMB caracterizam condições naturais favoráveis à dispersão de poluentes atmosféricos. Apesar disso, cidades como Belém e Castanhal podem ser afetadas negativamente com a concentração de gases. Os valores de pressão atmosférica chegam a alcançar 1014 hPa nos meses mais secos, comparados à média anual (1009 hPa). Ainda assim, não chega a ser comparado com a circulação de alta pressão que atua na região Sudeste do Brasil nos meses de julho a agosto, cujos valores de pressão atmosférica atingem valores superiores a 1025 hPa e causam sérios problemas de aprisionamento de poluentes por causa da estabilidade atmosférica (SEMAS, 2016).

A RMB de hoje é constituída por uma gama de edificações que varia de 10 m até 120 m de altura. Essa variedade de edifícios aglomerada no centro da cidade interfere diretamente no perfil vertical do vento próximo à superfície. Como mostrado na Figura 11, o perfil da velocidade do vento diminui em até 40% na cidade, em relação a áreas onde não há grandes edificações. Ademais, estudos relacionados à ilha de calor urbana em Belém indicam aumento de temperatura de até 4,5 °C em direção ao centro da cidade (COSTA, 2008).

Figura 11- Perfil da velocidade do vento influenciado por vários tipos de rugosidade do terreno.



Fonte: Baumbach (1991).

Quanto às estimativas de poluentes para o ano de referência de 2015, a frota licenciada no Estado do Pará emitiu cerca de 7.973.462 toneladas de CO₂ e mais 70.202,7 t de outros gases poluentes (Tabela 5).

Tabela 5 – Estimativa de poluentes emitidos pela frota licenciada no Pará em 2015.

Poluente	Concentração estimada
Dióxido de Carbono (CO ₂)	7.973.462 t
Monóxido de Carbono (CO)	30.181,70 t
Óxidos de Nitrogênio (NO _x)	33.487 t
Aldeídos (RCHO)	48 t
Hidrocarbonetos não metano (NMHC)	5.046 t
Metano (CH ₄)	692 t
Material Particulado (MP)	748 t

Fonte: SEMAS (2016).

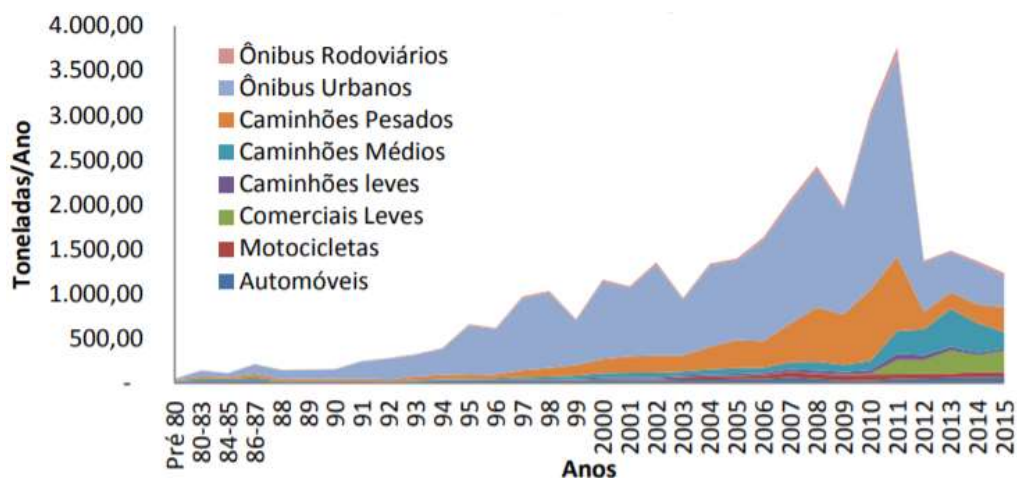
No território paraense a distribuição dessas emissões não é homogênea, variando conforme o tipo de veículo, de acordo com o inventário. Destaca-se que o maior volume de emissões de poluentes atmosféricos é atribuído à RMB por possuir atualmente 35% da frota veicular do estado.

Os dados de emissões indicados nos itens seguintes foram apresentados no Plano de Controle da Poluição por Veículos em Uso – PCPV do Estado do Pará (SEMAS, 2016), cujos fatores de emissão aplicados nos cálculos foram retirados do 1º Inventário Nacional, que por sua vez são oriundos de dados dos fabricantes e revendedores de autopeças. O Diesel comercializado no estado foi analisado para se obter a quantidade estimada vendida apenas para utilização veicular, abatendo geração de energia, ferroviário, hidroviário etc.

a) Emissões de Óxidos de Nitrogênio

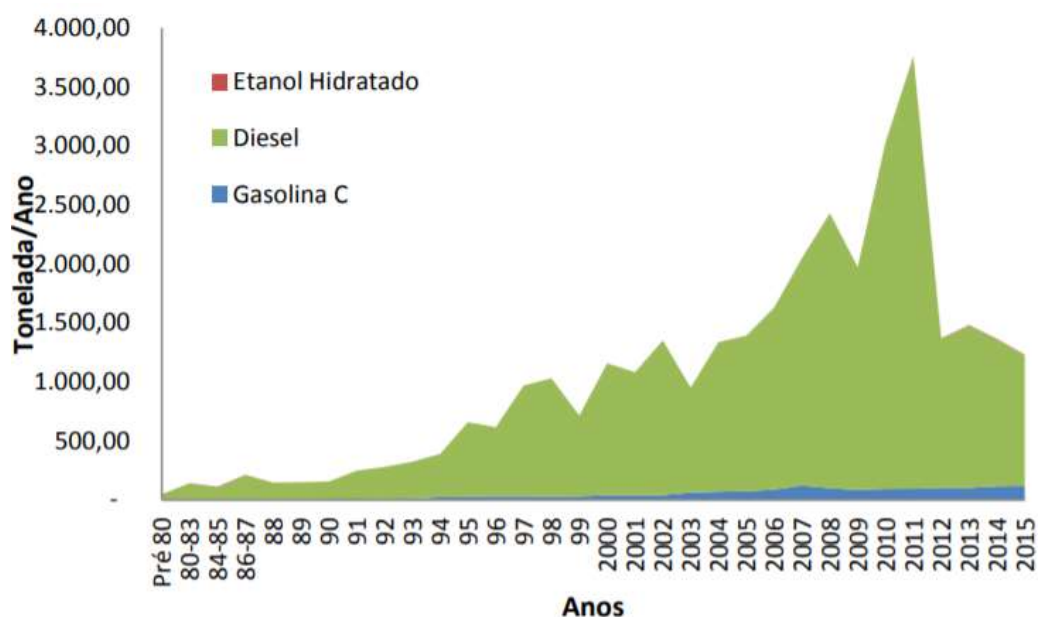
As emissões de NO_x, por categoria de veículos e por tipo de combustível (Figura 12 e Figura 13, respectivamente), mostram, em linhas gerais, resultados que destacam a frota de veículos movidos a diesel, tal como a frotas de ônibus urbanos com 28,0% e caminhões pesados com 22,5%. O gráfico da Figura 13 ressalta a participação do diesel nas emissões de NO_x, apresentando as emissões por tipo de combustível.

Figura 12- Emissões de NOx por categoria de veículos.



Fonte: SEMAS (2016).

Figura 13- Emissões de NOx por categoria de veículos.

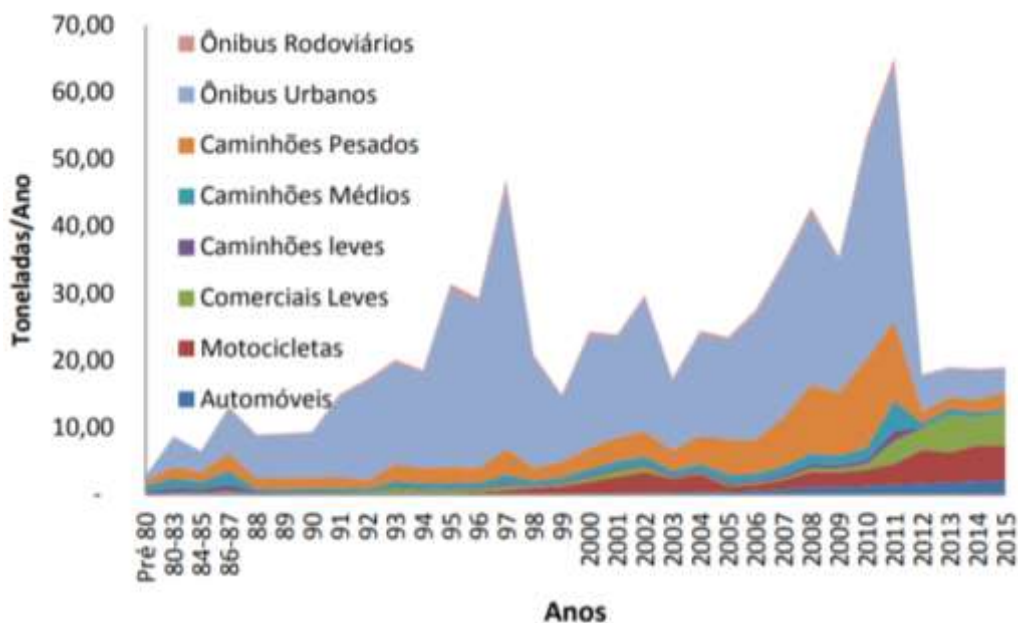


Fonte: SEMAS (2016).

b) Emissões de Material Particulado – MP

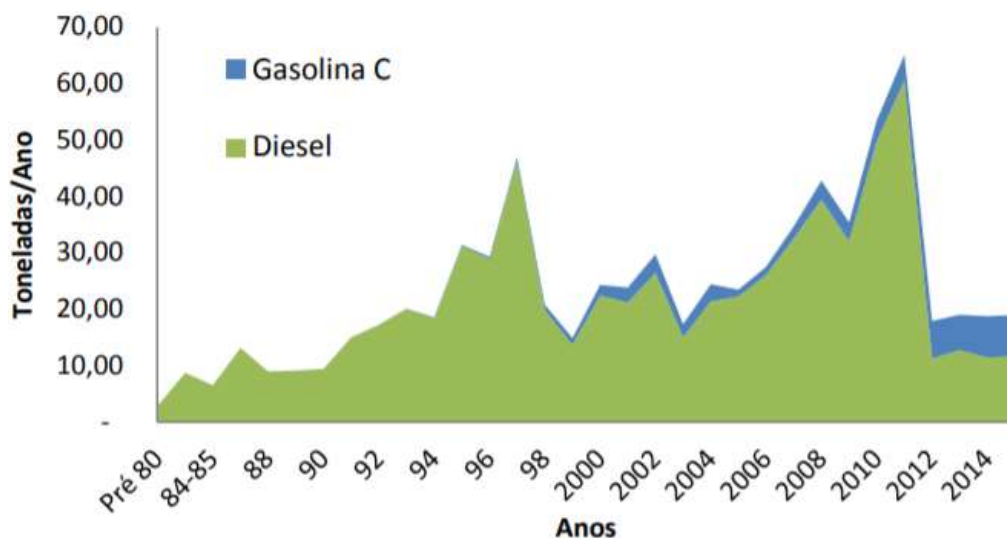
O gráfico da Figura 14 apresenta as emissões de material particulado (MP) da mesma forma que o verificado para as emissões de NOx. Quando se trata de MP, as frotas de veículos pesados do ciclo diesel, em especial a que serve aos ônibus urbanos, também se destacam em quaisquer análises sobre este poluente. Já no gráfico da Figura 15, verifica-se que 61,5% de todo MP emitido em 2015 pelo setor de transporte rodoviário vem do diesel, contra 38,5% da gasolina C.

Figura 14- Emissões de MP por categoria de veículos.



Fonte: SEMAS (2016).

Figura 15- Emissões de MP por tipo de combustível



Fonte: SEMAS (2016).

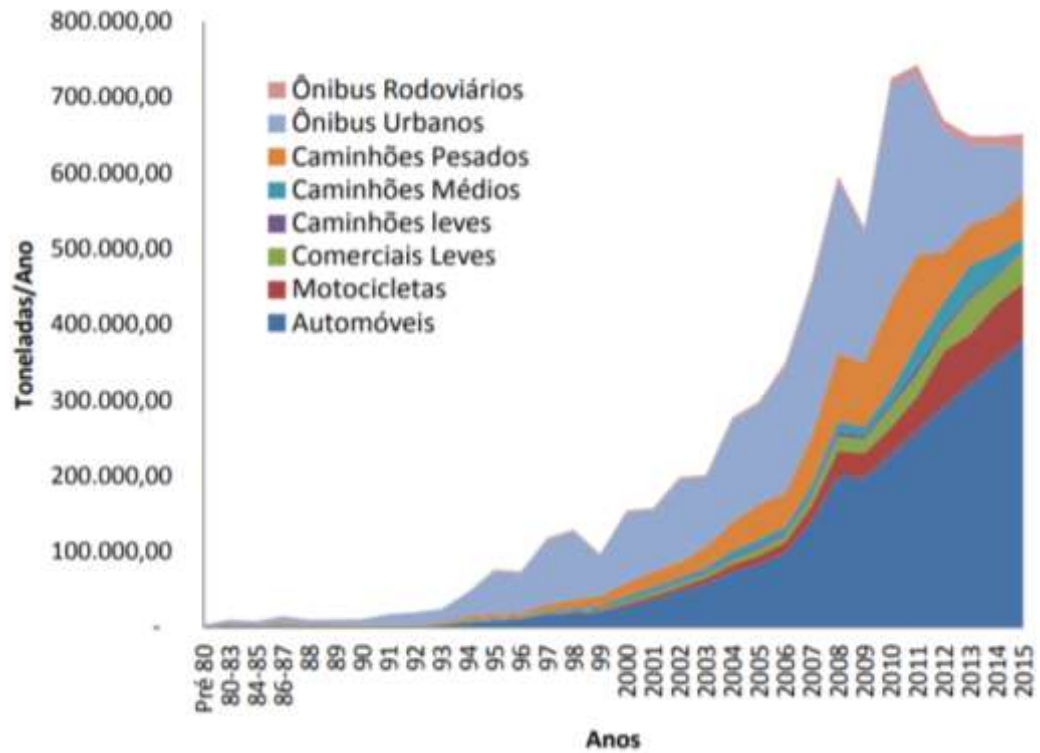
c) Emissões de Dióxido de Carbono – CO₂

As emissões de dióxido de carbono (CO₂) apresentadas na Figura 16 consideram o produto da queima dos combustíveis durante o uso dos veículos, não contabilizando, portanto, as emissões (ou remoções) ao longo de todo o ciclo de vida dos combustíveis.

Os resultados da participação desagregada da frota na emissão de CO₂ remetem também à análise da contribuição relativa dos combustíveis. Assim, é apresentado no gráfico da Figura

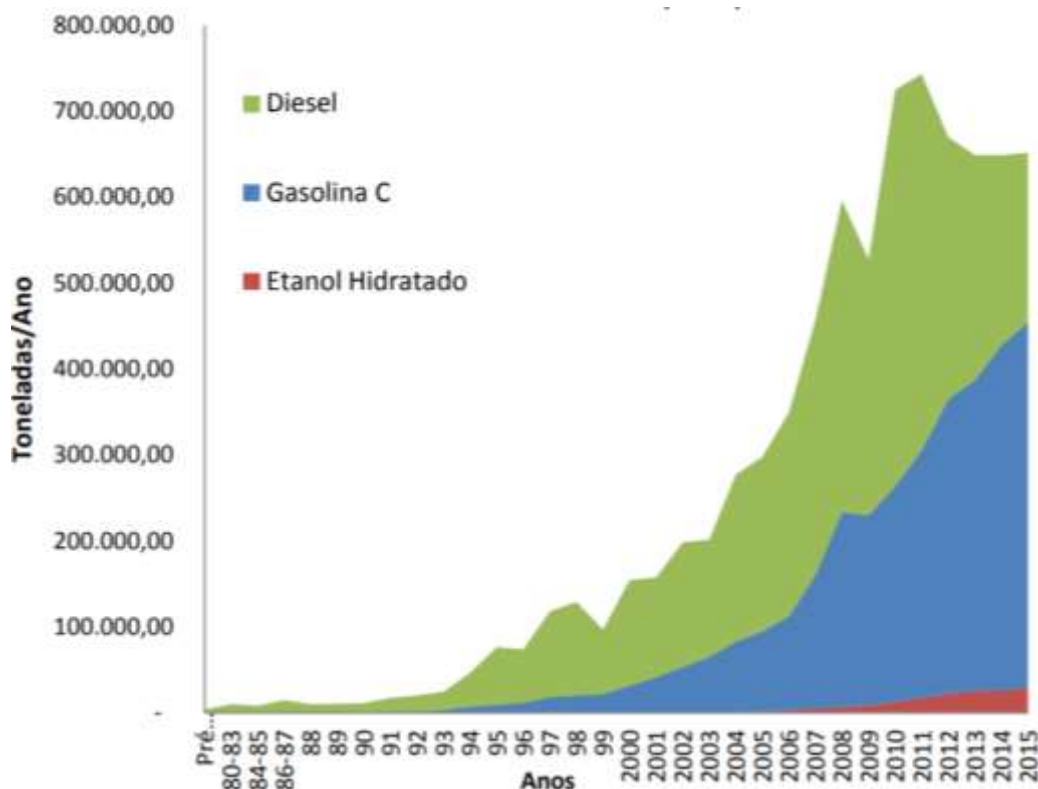
16 que do total de emissões do setor de transporte rodoviário em 2015, 65,3% veio da queima da gasolina, 30,3% do diesel e 4,4% do etanol.

Figura 16- Emissões de CO₂ por categoria de veículos.



Fonte: SEMAS (2016)

Figura 17- Emissões CO₂ por tipo de combustível.



Fonte: SEMAS (2016)

2.3.2 Mobilidade Urbana na Região Metropolitana de Belém

No período de novembro de 1989 a junho de 1991, por meio de convênio de cooperação técnica firmado, através da ABC – Agência Brasileira de Cooperação, entre os Governos Federal, do Estado do Pará e a JICA – Agência de Cooperação Internacional do Japão, foi elaborado o Plano Diretor de Transportes Urbanos da Região Metropolitana de Belém –PDTU.

As diretrizes preconizadas nesse Plano não foram implementadas em virtude de alguns fatores, como a extinção da Empresa Brasileira dos Transportes Urbanos – EBTU, órgão responsável pelo acompanhamento das atividades do setor na esfera federal e da extinção do órgão executor local, Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos – EMTU, com a consequente transferência de gestão do sistema de transporte coletivo metropolitano para jurisdição do Município de Belém, através da Companhia de Transportes do Município de Belém – CTBel, que não incorporou o PDTU como instrumento norteador de suas ações.

Entretanto, desde a conclusão desse Plano, foram significativas as mudanças na composição territorial da RMB que, a partir da Lei Complementar 027/1995, passou a incluir, além dos municípios de Belém e Ananindeua, os municípios de Marituba, Benevides e Santa Bárbara do Pará.

A RMB possuía, em 1991, 1.332.840 habitantes (IBGE, 1991) e em 1996, 1.574.487 habitantes (IBGE, 1996). Portanto, a soma de novos municípios à RMB representou, na época, um índice de crescimento absoluto de 18,0%. Essa fusão representou um acréscimo populacional dessa região, o que representou uma nova configuração geodemografia e um intenso processo de periferação da RMB.

Assim, a Região Metropolitana de Belém, ficou composta por 5 (cinco) municípios até o ano de 2010, quando o município Santa Izabel do Pará foi incorporado à RMB.

Finalmente em 2011 houve a mais recente mudança na composição da RMB, através da inclusão do município de Castanhal.

O Plano Diretor de Transportes Urbanos da Região Metropolitana de Belém – PDTU (1991), elaborado pela JICA, em 1991, identificou que o transporte por ônibus era o mais importante entre todos os modais. Além disso, apontou o corredor Almirante Barroso/BR-316, onde se incluía o tráfego interestadual, era o corredor de transporte mais congestionado com volumes de tráfego próximos do limite da capacidade da via.

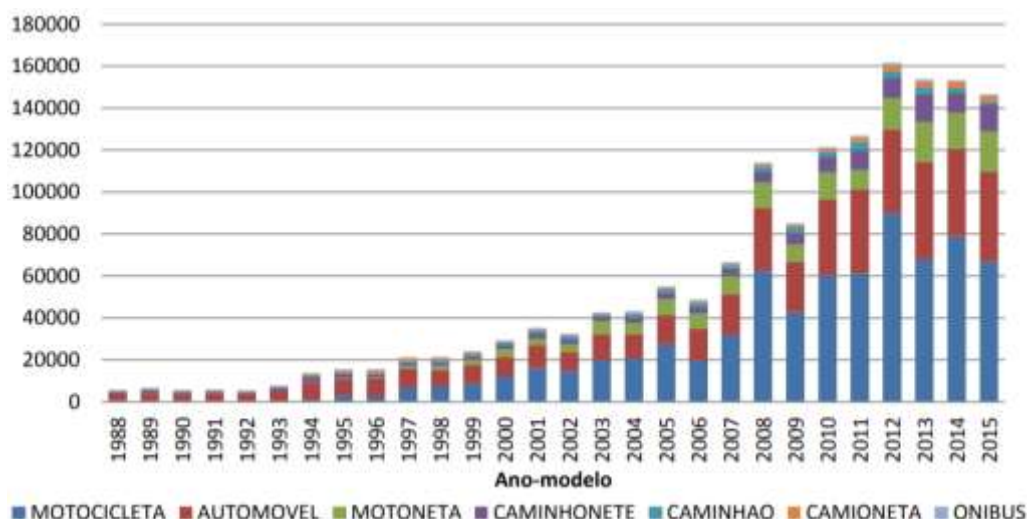
O crescimento demográfico mais acentuado, nos municípios periféricos da região, ocorrido em curto espaço de tempo e de uma forma desordenada, repercutiu, diretamente no sistema de transporte público local que, pelo fato de manter a concepção operacional tradicional, com a predominância de linhas radiais que partem das diversas áreas periféricas em direção ao centro, incorpora altos índices de carregamento de ônibus nos principais corredores, gerando excessiva ociosidade em quilômetros e constantes congestionamentos (TERRA, 2009).

As estimativas da frota estadual de veículos licenciados no Pará mostram um crescimento constante desde 1980, atingindo atualmente um volume de aproximadamente 1.560.000 veículos. Em 2009, mais de 80% da frota era constituída por veículos do transporte individual (automóveis e motocicletas), com destaque para os automóveis, que ultrapassavam a metade do número de veículos circulantes no estado. A partir da segunda metade da década de 1990, registrou-se um crescimento mais acelerado e grande contribuição do incremento das vendas de motocicletas novas. De 2010 a 2012, houve aumento acumulado de 75% no licenciamento de veículos no estado. Por outro lado, houve tendência de diminuição de licenciamento no período 2013-2015, o qual registra queda de 9% (SEMAS, 2016).

Em relação aos veículos pesados, há predominância dos caminhões em relação aos ônibus (Figura 18). Dentre os caminhões, é notável o recente aumento da participação dos veículos de maior porte, que pode ser entendido como um reflexo da busca por eficiência no

transporte rodoviário de carga. Dentre os ônibus, prevalecem os ônibus urbanos, em grande maioria.

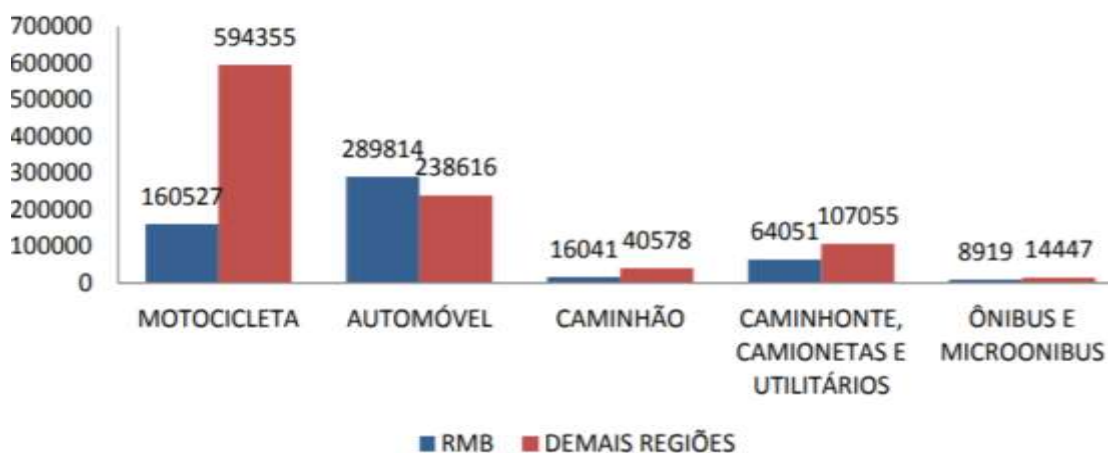
Figura 18- Evolução da frota de veículos licenciados por categoria e ano-modelo no Pará.



Fonte: SEMAS (2016)

Quanto à distribuição da frota veicular no estado do Pará em função dos maiores grupos veiculares, o gráfico da Figura 19 ilustra o maior número de veículos para a RMB, com 289.814 automóveis em 2015 (SEMAS, 2016). Por outro lado, o número de motocicletas licenciadas nos municípios do interior do estado é de 594.355 unidades. Os demais grupos aparecem em quantidade maior em outras regiões se comparadas à RMB. Cabe ressaltar que, como a RMB é constituída por sete municípios, a quantidade licenciada proporcionalmente ainda é expressiva.

Figura 19- Frota veicular do Pará (2015) em função dos grupos veiculares e região do estado.



Fonte: SEMAS (2016)

Segundo Tobias et al. (2013), o sistema de transporte público na RMB e, por conseguinte no município de Belém, apesar de ter sofrido um aumento significativo na oferta nos últimos anos, apresenta em sua concepção operacional convencional problemas para o sistema ônibus e para o trânsito em geral tais como:

- a predominância de linhas radiais que partem das diversas áreas periféricas em direção ao centro, incorporando altos índices de carregamentos de ônibus nos principais corredores, gerando tempos de viagens excessivos no sistema ônibus e constantes congestionamentos.
- a diminuição da frequência, dado o congestionamento do sistema, o que aparentemente se traduz para o usuário em escassez de oferta, levando-o a uma baixa acessibilidade ao sistema devido o maior tempo de espera na parada.
- a precariedade do sistema viário existente e a necessidade de ampliação do mesmo, submete os usuários a extensas caminhadas para ter acesso ao transporte.

O governo estadual, no intuito do enfrentamento do problema solicitou ao governo japonês, em 2003, a elaboração e a execução de um projeto de cooperação técnica denominado “Estudo de Viabilidade Econômica para o Melhoramento do Sistema de Transporte na Região Metropolitana de Belém” (EV/2003), sendo este desenvolvido pela Agência de Cooperação Internacional do Japão (JICA). O estudo contém projetos viários e de sistema de transporte coletivo por ônibus, visando o aperfeiçoamento e a modernização do atual sistema de transporte da RMB.

Os estudos e planos de transportes para a RMB (Quadro 5) se enquadram em diferentes categorias. Alguns tratam de propostas para o curto prazo, como as Recomendações para Implantação Imediata (GEIPOT, 1978). Já os Planos Diretores de Transportes Urbanos (JICA, 1991, 2001) trazem propostas para os horizontes de médio e longo prazo. Estes estudos tratam do sistema de transportes de uma maneira mais abrangente, enquanto que outros, como o TRANSCOL (GEIPOT, 1980) e o Ação MetrÓpole (JICA, 2010), limitam-se ao sistema de transporte coletivo.

Quadro 5 - Estudos e planos de transportes para a RMB.

Título do plano/estudo	Ano	Instituições
Recomendações para Implantação Imediata (GEIPOT, 1978)	1978	Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes
TRANSCOL - Ciclovia da BL-01 (GEIPOT, 1979).	1979	
Estudo de Transportes Coletivos - TRANSCOL (GEIPOT, 1980)	1980	
Estudo de Racionalização do Transporte Coletivo (GEIPOT, 1986)	1986	
Plano Diretor de Transportes Urbanos (JICA, 1991)	1991	Governo do Pará. Agência de Cooperação Internacional do Japão
Plano Diretor de Transporte Urbano (JICA, 2001)	2001	
Estudo de Viabilidade Econômica de Projetos para o Melhoramento do Sistema de Transporte (JICA, 2003)	2003	
Diretrizes de Ordenamento Territorial para a Região Metropolitana de Belém (Pará, 2006)	2006	Governo do Pará
Estudo Preparatório para o Projeto de Sistema de Transporte de Ônibus (JICA, 2010)	2010	Governo do Pará. Agência de Cooperação Internacional do Japão

Fonte: Azevedo Filho & Silva (2013).

2.3.3 Caracterização do Projeto BRT Belém

Considerando a não existência de um plano metropolitano de ordenamento territorial ou de outra natureza para a RMB, os investimentos que são realizados pelas diferentes esferas não são condicionados à uma avaliação de impacto metropolitano. Somente os estudos resultantes do projeto de mobilidade e transporte metropolitano (BRT), gerido pelo NGTM, têm produzido e ainda devem produzir análises sobre a demanda por transporte público e mobilidade, incluindo o impacto gerado no uso do solo nos municípios e principais eixos viários e a partir da localização de equipamentos complementares ao sistema (terminais).

A ausência de uma estrutura institucional voltada para a discussão e representação dificulta o controle social de forma ampla na escala metropolitana. Os fóruns existentes costumam estar ligados a conselhos municipais como os de habitação, mas com estágios de consolidação bastante diferentes.

O projeto BRT é o investimento que se destaca como potencial articulador de diferentes atores em torno de grandes projetos de investimento, tanto pela articulação necessária com os municípios, quanto internamente no governo do estado e com o setor privado para sua implementação e operação do sistema.

A Prefeitura Municipal de Belém (PMB) através da SEMOB elaborou inicialmente o projeto BRT Belém, com o objetivo de implantá-lo nos corredores de transporte urbano que

correspondem à Avenida Almirante Barroso e Augusto Montenegro com 49.405 m de extensão, caracterizados como corredores exclusivos ou preferenciais de circulação do transporte coletivo. O projeto representa um Sistema Integrado de Transporte em Belém que oferece um conjunto de medidas de natureza físico-operacional, tarifária e institucional destinadas a articular e racionalizar os serviços de transporte público.

As principais características encontradas no projeto para melhoria da mobilidade urbana nesses corredores são: embarques e desembarques rápidos através de plataformas elevadas no mesmo nível dos veículos; sistema de pré-pagamento de tarifa; utilização de veículos modernos de alta capacidade tecnológica; transferência entre rotas sem incidência de custo; promoção de integração modal em estações e terminais; programação e controle rigorosos da operação dotados de sinalização e informação ao usuário.

O projeto apresenta um modelo de transporte de média capacidade, com o objetivo de implementar circulação central nos corredores segregados nas Avenidas Almirante Barroso, Augusto Montenegro e Centenário, interligando-os à porção continental e insular - do distrito de Icoaraci ao centro de Belém - para circulação do transporte coletivo. Esses corredores totalizam 55,5 km de extensão, para 1 milhão de pessoas diretamente no continente

Existem atualmente em Belém 15 veículos do tipo BRT disponível a população belenense e o valor da tarifa é o mesmo dos coletivos convencionais. Atualmente, em função do BRT estar em fase experimental, com algumas estações ainda em fase de construção, não há como dimensionar a quantidade de passageiros, segundo os técnicos da SEMOB. Porém, a pesquisa de campo realizada por Soares (2017), apontou que existe pouca demanda de usuários circulando no ônibus BRT-Belém, provavelmente em função do horário de funcionamento do BRT, que é de 8h00 às 17h00, e muitos usuários necessitam utilizar o transporte público nos horários de pico elevado (por volta das 7h00 e às 18h00). O resultado que se tem hoje nos corredores quanto ao Sistema de Transporte Público de Passageiros (STPP) é: ônibus convencionais trafegando com excesso de passageiros no sentido bairro-centro, centro-bairro no início e no fim do dia e o BRT-Belém circulando com pouquíssimos passageiros no corredor segregado. Além de ser muito tarde para os usuários, o seu trajeto é considerado curto com destino até São Brás.

Sobre o tempo de viagem, a previsão é que ela ocorra em um tempo menor do que o praticado atualmente, entretanto, ainda não há como ser dimensionado por não saber onde se localizarão os outros terminais de Ananindeua e Marituba, que juntos complementarão o sistema do BRT-metropolitano. Porém, a pesquisa mostrou uma diminuição do tempo em 20 minutos do Terminal Mangueirão até São Brás, comparado ao sistema convencional.

Estima-se que, com a implantação do corredor de BRT, os veículos, por estarem em vias exclusivas e com controle informatizado, tenham uma velocidade operacional de 20 a 30 km/h. Com cobrança feita antes do embarque, o tempo de espera dos veículos nas estações será menor. A prioridade de circulação dos ônibus em cruzamentos no corredor será feita com a implantação de semáforos inteligentes³.

Para melhoria da circulação viária nos corredores, o projeto BRT tem a oferecer:

Terminais de integração: para possibilitar o transbordo entre linhas troncais e alimentadoras, sem o pagamento de outra tarifa: Maracacuera, Tapanã, Mangueirão.

Estações de integração: instaladas nos canteiros centrais, com as alimentadoras no lado direito das vias, plataformas de ligação com a estação de integração, e ultrapassagem de ônibus permitindo a integração entre as linhas troncais e alimentadoras, sem o pagamento de outra tarifa.

Ponto de parada troncal: exclusivamente para as linhas troncais, com a possibilidade de ultrapassagem do ônibus das linhas semiexpressas implantadas na canaleta segregada para ônibus, com distância entre 800 e 1.000 m.

No nível metropolitano, os corredores Augusto Montenegro e Almirante Barroso fariam parte da rede BRT. Integraria ainda, no sistema, a implantação de quatro garagens – Icoaraci, Cidade Nova, Coqueiro e Marituba para facilitar a operação. O veículo previsto seria o ônibus do tipo articulado para 150 passageiros ou para 200 passageiros no pico; com embarque e desembarque em nível com a plataforma dos terminais, estações e pontos de paradas das linhas troncais; com espaço para cadeirante. Entre as intervenções viárias, estariam previstos dois viadutos em locais considerados problemáticos, objetivando a melhoria da circulação do Projeto de Referência BRT Belém. A BR-316 se configuraria como o eixo principal do sistema BRT Metropolitano.

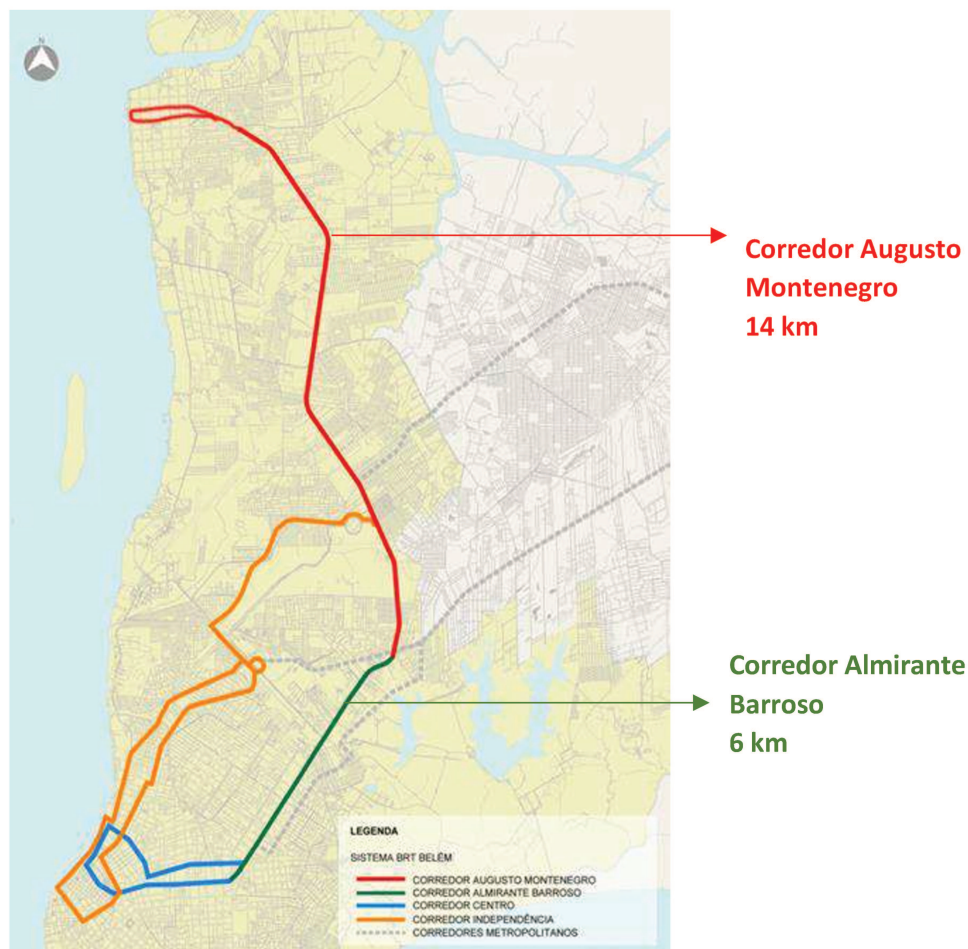
³ Os semáforos inteligentes se adaptam às condições do tráfego e são capazes de alterar o tempo de abertura e fechamento de acordo com a necessidade de cada local e horário. Esses semáforos têm uma tecnologia embarcada, um controlador, que vai controlar o volume de veículos vindos das interseções e conseguir selecionar melhores tempos. Todos os semáforos são interligados por uma grande rede de fibra ótica e farão tudo em sincronia, coordenados, e sempre se adaptando ao fluxo (Consulta: <http://www.correio24horas.com.br/detalhe/transito/noticia/espertos-semaforos-que-observam-fluxo-serao-instalados-em-88-pontos/?cHash=6cbfa90d895fe597260a57274ed19f12>).

3 METODOLOGIA

Para a estimativa dos impactos nas emissões atmosféricas relacionados à implantação do projeto BRT Belém, foi utilizado o modelo TEEMP, desenvolvido pelo ITDP e recomendado pelo GEF. Foram comparadas as emissões de um cenário-base, considerando o sistema já construído, porém sem a implementação do projeto BRT, e o cenário pós-projeto construído e em funcionamento, fornecendo uma estimativa de impactos diretos de redução de gases de efeito estufa e poluentes locais, possibilitando também comparar os resultados com dados obtidos através da mesma metodologia em outros sistemas BRTs.

Este trabalho considerou ao sistema BRT Belém os corredores Augusto Montenegro e Almirante Barroso, pois são os dois únicos com estrutura construída (Figura 20). Um terceiro corredor ainda está em fase de planejamento e, por não dispor de dados suficientes, não integrou o estudo.

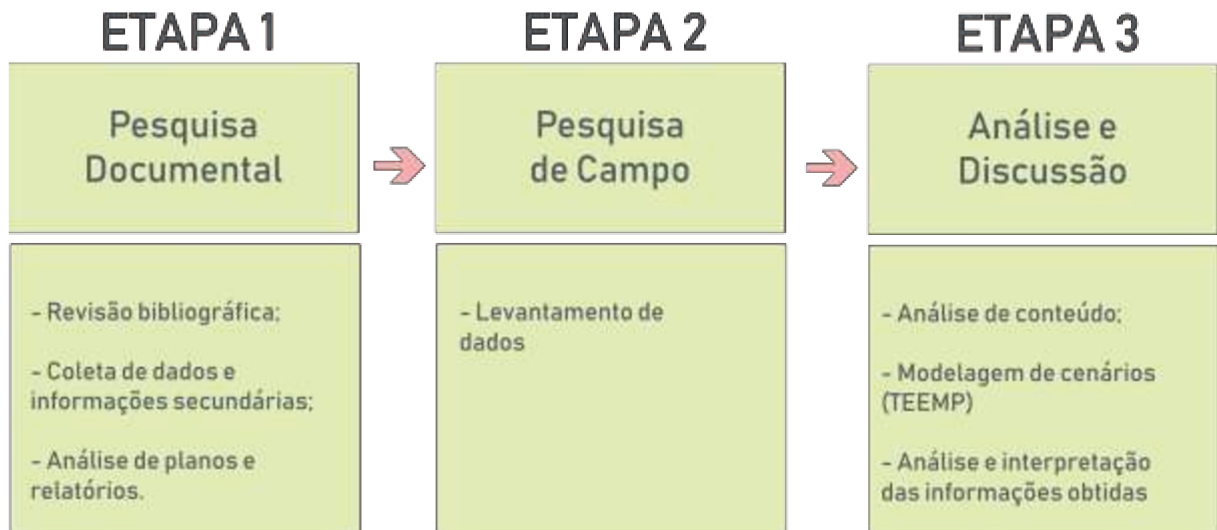
Figura 20- Localização dos corredores selecionados ao estudo de caso.



Fonte: Adaptado de AMUB (2013).

A pesquisa foi desenhada a partir do cumprimento de três etapas centrais (Figura 21).

Figura 21- Etapas metodológicas do estudo.



Fonte: Elaboração própria, 2018.

A primeira se refere à coleta de dados e informações secundárias a respeito dos temas norteadores dessa pesquisa e do objeto de estudo, o Projeto BRT Belém, a área e o contexto em que está inserido.

A segunda etapa diz respeito à pesquisa de campo, a partir da qual foi realizado o reconhecimento da área de estudo, sobrevoo com uso de drone e articulados contatos para obtenção de documentos institucionais.

A terceira etapa corresponde ao desenho do método selecionado para a análise e interpretação das informações obtidas nas etapas anteriores.

3.1 Etapa 1: Obtenção de dados secundários

Ao embasamento teórico necessário para compor esta dissertação, foi feita uma revisão bibliográfica a partir dos temas: energia e mudanças climáticas, mobilidade urbana sustentável, *Bus Rapid Transit* e *Transport Emissions Evaluation Models for Projects*. Os dados foram coletados a partir de diferentes instituições como EPE, ANP, Grupo de Trabalho da Sociedade Civil para Agenda 2030, ONGs, Universidades e Centros de Pesquisa, buscando caracterizar o contexto a que se insere este trabalho nas esferas internacional e nacional.

Para a caracterização da mobilidade urbana em Belém foram utilizadas como fontes de dados de instituições como o IBGE, SEMAS e SEMob, dissertações, teses e publicações. Para a caracterização dos cenários de emissões, os dados secundários coletados foram utilizados no estudo de forma a viabilizar a utilização do modelo TEEMP para o cálculo da estimativa de

emissões atmosféricas relacionadas ao sistema. Tais dados permitiram ainda análises adicionais quanto aos resultados encontrados através da pesquisa de campo.

3.2 Etapa 2: Obtenção de dados primários

Inicialmente foi feita uma visita exploratória em abril de 2017; na ocasião foi feito contato com professores da Universidade Federal do Pará com interesses comuns para caracterização através de registro fotográfico e sobrevoo do sistema BRT com equipamento de drone. O projeto ainda não se encontra em operação, e por ser recém-instalado, ainda não há imagem de satélite disponível em plataformas livres.

Foram feitas visitas às edificações estruturais do BRT Belém, sobre as quais foi realizado sobrevoo com drone modelo DJI Inspire 1, mantendo altitude de 100 metros do solo para captura de fotografia em boa resolução. Na Figura 22 é apresentada a cobertura do terminal Mangueirão e sua orientação em relação ao norte.

Figura 22- Vista aérea do Terminal Mangueirão.



Fonte: Elaboração própria, 2018.

Uma segunda visita ocorreu no período de 20 de junho a 07 de julho de 2018 quando foi feita nova reunião com professores da UFPA para acesso a documentos e estudos referentes ao projeto BRT Belém, com o objetivo de coletar os dados de entrada necessários à aplicação da metodologia TEEMP.

3.3 Etapa 3: Sistematização e análise de dados

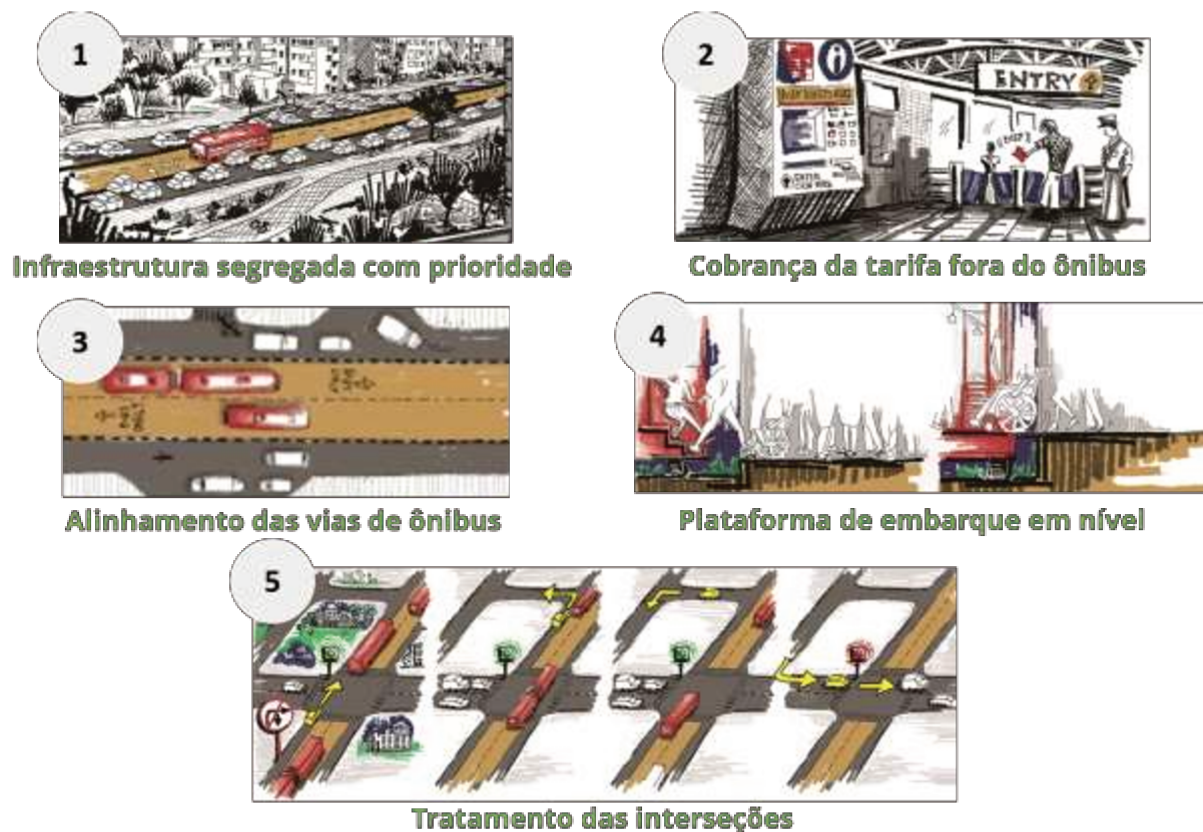
Para o cumprimento dessa etapa, foi utilizado o BRT TEEMP, método *full*. Esse modelo é baseado no Microsoft Excel e disponibilizado para download gratuito.

Conforme descrito no item 2.2, a metodologia TEEMP complementa o Padrão de Qualidade BRT, sendo assim, analisar os impactos diretos de redução de gases de efeito estufa e poluentes locais através desse modelo, significa dizer que, consequentemente, o Padrão de Qualidade BRT também será aplicado a este estudo, pois seus requisitos integram o método.

3.3.1 Padrão de Qualidade BRT

Para que um corredor seja considerado um BRT, ele precisa apresentar cinco elementos essenciais, conforme ilustrado na Figura 23.

Figura 23- Elementos essenciais de um BRT.



Fonte: Adaptado de ITDP (2016).

Apresentando os cinco elementos acima citados, o corredor precisa ainda cumprir requisitos mínimos, sendo eles: 1) Pelo menos 3 km de extensão de faixas segregadas de circulação exclusiva para ônibus; 2) Mínimo de 4 pontos no elemento “infraestrutura segregada com prioridade de passagem”; 3) Mínimo de 4 pontos no elemento “alinhamento das vias de

ônibus” e 4) Mínimo de 20 pontos no total dos cinco elementos. Atendendo a estes, o corredor será considerado um BRT Básico.

A ferramenta de pontuação é utilizável tanto para corredores planejados como para os já construídos e permite a comparação entre eles. Além da categoria “BRT Básico”, o sistema BRT pode assumir outras três categorias (Quadro 6), a depender do número de pontos alcançados, que no máximo poderá ser 100, distribuídos de acordo com categorias, que avaliam as seguintes características: 1) BRT Básico; 2) Planejamento dos Serviços; 3) Infraestrutura; 4) Estações; 5) Comunicações; 6) Acesso e Integração e 7) Deduções de Operação (Figura 24).

Quadro 6 - Categorias do Padrão de Qualidade BRT.

Categorias	Descrição
 OURO 85–100 pontos	O BRT Padrão Ouro corresponde, em quase todos os aspectos, às melhores práticas internacionais. Estes sistemas alcançaram o mais alto nível de desempenho e eficiência operacional, ao mesmo tempo em que oferecem um serviço de alta qualidade. Este padrão pode ser alcançado por qualquer corredor com demanda suficiente para justificar investimentos de BRT. Estes sistemas têm o maior potencial de inspirar o público e incentivar outras cidades a adotá-los.
 PRATA 70–84,9 pontos	O BRT Padrão Prata inclui a maioria dos elementos das melhores práticas internacionais e tem a probabilidade de conseguir um bom custo-benefício em qualquer corredor com demanda suficiente para justificar investimentos de BRT. Estes sistemas alcançam um alto nível de desempenho operacional e qualidade de serviço.
 BRONZE 55–69,9 pontos	O BRT Padrão Bronze atende em nível considerável à definição de BRT e corresponde, em termos gerais, às melhores práticas internacionais. O BRT Bronze tem algumas características que o elevam acima do BRT Básico, atingindo eficiência operacional e qualidade de serviço mais elevados do que o BRT Básico.
BRT Básico	O BRT Básico refere-se a um subgrupo de elementos que o Comitê Técnico considerou essenciais para que o corredor seja considerado um BRT. Esta é uma qualificação mínima e uma pré-condição para que qualquer corredor seja avaliado como Ouro, Prata ou Bronze.

Fonte: ITDP (2016).

Figura 24- Pontuação do Padrão de Qualidade BRT.

CATEGORIA	PONTUAÇÃO MÁXIMA	CATEGORIA	PONTUAÇÃO MÁXIMA
BRT Básico	38 (TOTAL)	Comunicações	5
Infraestrutura segregada com prioridade de passagem	8	Consolidação da marca	3
Alinhamento das vias de ônibus	8	Informações aos passageiros	2
Cobrança da tarifa fora do ônibus	8		
Tratamento das interseções	7	Acesso e Integração	15
Embarque em nível	7	Acesso universal	3
		Integração com outros modos de transporte público	3
Planejamento dos Serviços	19	Segurança viária e acesso de pedestres	4
Múltiplas linhas	4	Estacionamento seguro de bicicletas	2
Serviços expressos, limitados e locais	3	Infraestrutura cicloviária	2
Centro de controle	3	Integração com sistemas de bicicletas compartilhadas	1
Localização entre os dez maiores corredores	2		
Perfil da demanda	3	Deduções de Operação	-63
Horários de operação	2	Velocidades comerciais	-10
Rede de múltiplos corredores	2	Pico de passageiros por hora e por sentido (pphps) inferior a 1.000	-5
		Falta de fiscalização da prioridade de passagem	-5
Infraestrutura	13	Vão considerável entre o ônibus e a plataforma	-5
Faixas de ultrapassagem nas estações	3	Superlotação	-5
Minimização das emissões de ônibus	3	Manutenção precária da infraestrutura	-14
Estações afastadas das interseções	3	Baixa frequência de pico	-3
Estações centrais	2	Baixa frequência fora do pico	-2
Qualidade do pavimento	2	Utilização insegura de bicicletas	-2
		Ausência de dados de segurança viária	-2
Estações	10	Linhas de ônibus paralelas ao corredor de BRT	-6
Distâncias entre estações	2	Formação de comboio de ônibus	-4
Estações seguras e confortáveis	3		
Número de portas dos ônibus	3		
Baixas de acostamento e subpontos de parada	1		
Portas deslizantes nas estações de BRT	1		

Fonte: ITDP (2016).

3.3.2 BRT TEEMP

O método BRT TEEMP considera e contabiliza cinco aspectos principais como fatores que influenciam diretamente nas reduções de emissões advindas da instalação de um projeto:

- Transição modal resultante da implementação do projeto;
- Redução de quilometragem percorrida pela reorganização de linhas;
- Eficiência energética por operação otimizada e combustível menos poluente (em termos de poluentes locais);

- Veículos mais eficientes, em termos de gramas de CO₂ por pass-km, dada frota renovada e a maior capacidade;
- Estímulo a um desenvolvimento mais compacto por eventuais mudanças no uso do solo, o que diminui a dependência de automóveis privados, induz a transição modal e diminui as distâncias percorridas por viagem.

Para os cálculos necessários à modelagem de cenários de emissões, foram imputadas no modelo TEEMP variáveis específicas do projeto, variáveis locais sobre o tempo de amortização da infraestrutura em questão e sobre o setor de transporte público e privado na área de influência do projeto.

Os dados básicos necessários para o modelo dizem respeito aos modos de transporte afetados pelo novo sistema de Transporte Público e ao BRT, baseando-se na demanda esperada para o sistema; na migração modal esperada para os anos de operação; nas características tecnológicas e ambientais para cada um dos modos de transporte existente no sistema; no tipo de motor, combustível utilizado e fator de consumo de combustível; na ocupação, velocidade média e quilometragem média por passageiro transportado e no fator de emissão de CO₂ e poluentes locais (MP e NO_x) para cada tipo de combustível e motor.

As informações alimentam as planilhas de cálculo através do preenchimento orientado de células e abas identificadas por cores, que indicam a inclusão correta de dados, conforme o código de cores encontrado em uma das planilhas no TEEMP, conforme apresentado na Figura 25.

O modelo mede as mudanças nas emissões provocadas pela introdução de um novo modal de transporte coletivo e considera também os dados locais relacionados ao Padrão de Qualidade, pois a pontuação alcançada pelos componentes requeridos influencia diretamente a velocidade média do corredor.

São calculados quantos passageiros provavelmente usarão o novo sistema, quantos novos quilômetros de veículo de trânsito o novo sistema criará e quanto CO₂ isso irá gerar. O total de CO₂ que será gerado pelo novo sistema de trânsito aparecerá na planilha "*BRT Operations*".

Tabela 6 – Demanda Planejada e Ajustada para o BRT Belém.

Demanda	2018	2027	2037
Planejada	320.000	320.000	320.000
Ajustada	320.000	382.370	444.740

Fonte: Elaboração própria, 2018.

De acordo com o Manual do BRT a migração de demanda para o BRT, que é oriunda do modo automóvel, situa-se entre 5 a 20%. Tal intervalo decorre das condições do tráfego, se mais ou menos congestionado, e do percentual de ônibus na composição do tráfego nas vias onde será implantado o BRT. Para este estudo, considerou-se o percentual de transferência modal estimado para o Brasil, segundo o Ministério das Cidades (2013) (Tabela 7).

Tabela 7 – Percentual de transferência de modal para o Brasil

Modo de transporte	Transporte público por ônibus	Transporte individual (automóvel privado)	Outros modos
Sistema BRT e VLT	69%	17%	14%
Sistema de Metrô e Monotrilho	76%	14%	10%
Corredores de Ônibus	86%	-	14%

Fonte: Ministério das Cidades (2013).

Na Tabela 8 são apresentados, para cada um dos modos de transporte do corredor, o tipo de fonte de energia e o consumo em termos de combustível utilizado. No modelo TEEMP já é considerado o efeito da velocidade do veículo no consumo de combustível, obtido segundo dados da Agência Europeia de Meio Ambiente (EEA, 2013).

Por fim, na Tabela 9 são apresentados os fatores de emissão de dióxido de carbono para cada um destes tipos de combustíveis. O efeito de outros gases emitidos e contribuidores para o efeito estufa (CO, NO_x e SO_x) não é somado a estes fatores de emissão. Considera-se também que o tipo de motor (padrões PROCONVE) não influi no fator de emissão de dióxido de carbono.

Tabela 8 – Características Tecnológicas e Ambientais dos Modos de Transportes

Modo de transporte	Fonte de energia ¹				Consumo energético médio ²			
	Gasolina	Diesel	Álcool	GNV	Gasolina (km/l)	Diesel (km/l)	Álcool (km/l)	GNV (km/kg)
Carro	83%	-	17%	-	11,3	-	8,5	15,6
Motocicleta	96%	-	4%	-	37,2	-	29,3	-
Táxi	62%	-	13%	25%	11,3	-	8,5	15,6
Ônibus	-	100%	-	-	-	2,7	-	-
Van Passageiro	-	100%	-	-	-	8,0	-	-
BRT	-	100%	-	-	-	1,7	-	-

¹ Fonte de Energia: dados para carros, motos e ônibus do MMA (2013, p. 26 e 46). Maior percentual de uso de GNV para táxis; van passageiro suposto igual ao ônibus.

² Fator de Consumo a 50 km/h: dados para carros e motos do MMA (2013, p. 42 e 51); para vans estimado baseado em dados do mercado; para ônibus e BRT, em estudo da COPPE (2012).

Tabela 9 – Fatores de Emissão de Dióxido de Carbono dos Combustíveis.

Fonte de emissão	Gasolina	Diesel	Álcool
Unidade (kg CO ₂ /L)	2,416	2,582	1,5

Fonte: MMA, 2013.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Avaliação do BRT Belém pelo Padrão de Qualidade BRT

O BRT Belém acumulou um total de 67 pontos (de 100) e obteve a classificação de BRT Bronze, que atende em nível considerável à definição de BRT e corresponde, em termos gerais, às melhores práticas internacionais. O BRT Bronze tem algumas características que o fazem atingir eficiência operacional e qualidade de serviço mais elevados do que o BRT Básico, e componentes que devem ser aperfeiçoados para atingir pontuações maiores e assumir qualidade Prata ou Ouro. Nos itens subsequentes são detalhadas as categorias avaliadas.

4.1.1 BRT Básico

Nesta categoria são avaliados os elementos considerados essenciais para definir um corredor BRT. O BRT Belém obteve pontuação máxima por estar localizado em faixa segregada com barreira física à esquerda da pista em toda a sua extensão, por não serem permitidas conversões do tráfego comum à esquerda nas interseções pelas quais passa e por suas estações permitirem pré-pagamento e embarque em nível. A pontuação atribuída considerando os componentes do BRT Básico são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Componentes do BRT Básico.

Component	BRT System	Score per component
Dedicated right-of-way	8	8
Busway Alignment	8	8
Off-board fare collection	8	8
Intersection treatments	7	7
Platform-level boarding	7	7

Fonte: Elaboração própria, 2018.

4.1.2 Planejamento dos Serviços

Nessa categoria se encontram as métricas que, dentro do contexto do corredor , aprimoram o atendimento às demandas de viagem dos passageiros, tais como: múltiplas linhas; serviços expressos, limitados e locais; centro de controle; localização entre os dez maiores corredores; perfil da demanda; horários de operação e rede de múltiplos corredores.

Várias linhas de ônibus seguem do terminal ao centro da capital. Dessa forma, a pontuação é computada como máxima, já que o mínimo desejável, de acordo com as premissas do Padrão de Qualidade, são duas linhas.

A diversidade de serviços (expressos, limitados e locais) é uma das grandes vantagens de sistemas de BRT para atender diferentes tipos de demanda e aumentar a capacidade do corredor. Assim, uma das formas mais importantes dos sistemas de transporte de média e alta capacidade aumentarem as velocidades operacionais e reduzirem os tempos de viagem dos passageiros é oferecer tanto o serviço limitado como o serviço expresso. Enquanto que o serviço local para em todas as estações, o serviço limitado salta as estações de demanda mais baixa e pára somente nas estações principais, nas quais é maior a demanda de passageiros. O serviço expresso geralmente embarca passageiros em paradas numa ponta do corredor, percorre grande parte do corredor sem parar, e desembarca os passageiros no centro da cidade ou na outra ponta do corredor. Apesar de existirem várias opções de serviço expresso, ainda não há o serviço de limitado, por este motivo não foi atribuída a pontuação máxima nesse quesito.

A presença de centros de controle nos sistemas de BRT está cada vez mais disseminada, permitindo o monitoramento direto e em tempo real das operações, a identificação de problemas e a pronta resposta. Isto pode economizar tempo para os usuários e melhorar a qualidade do serviço de BRT. Um centro de controle de serviço completo monitora a localização de todos os ônibus por GPS ou tecnologia semelhante e pode:

- Responder a incidentes em tempo real;
- Controlar o espaçamento dos ônibus;
- Determinar e responder à condição de manutenção de todos os ônibus da frota;
- Registrar o número de embarques e desembarques de passageiros para fazer ajustes no serviço futuro;
- Usar o sistema CAD (Despacho Auxiliado por Computador) / AVL (Localização Automática de Veículos) baseado em GPS para o rastreamento monitoramento do desempenho dos ônibus.

Um centro de serviço completo deve estar integrado com o centro de controle existente do sistema de transporte público, bem como com o sistema de controle da sinalização de tráfego. O BRT Belém possui um Centro de Controle Operacional, porém, os usuários encontram dificuldades para conseguir trocar de linha ao chegar no Terminal de São Bras, com

exagerada demora de conexão, demonstrando dificuldades nesse quesito e, portando, não havendo pontuação máxima para este.

A Avenida Almirante Barroso e a Rodovia Augusto Montenegro estão entre as vias de maior fluxo da RMB. A designação de uma faixa exclusiva para transporte coletivo representa benefícios diretos à redução de tempo de viagem e aumento da confiabilidade dos passageiros, facilitando o acesso ao centro comercial de Belém. Por isso, o BRT Belém alcança pontuação máxima ao estar entre os 10 maiores corredores da cidade e por apresentar nível de segregação elevado, inclusive nos trechos de maior demanda.

Um serviço de transporte público viável deve estar disponível aos passageiros pelo maior número de horas por dia e por semana que for possível. Do contrário, os passageiros podem ficar presos em algum lugar ou simplesmente decidir usar outro modo de transporte. Como o BRT Belém ainda está em “fase experimental”, não há serviço noturno, nem no final de semana. Por isso, a pontuação foi nula para este quesito.

Idealmente, o BRT deveria incluir múltiplos corredores que se cruzam e formam uma rede, pois isto amplia as opções de viagens para os passageiros e torna o sistema mais viável como um todo, melhorando o nível de serviço vivenciado pelos usuários. Ao projetar um novo sistema, alguma previsão tem que ser feita dos futuros corredores para garantir que os sistemas projetados no presente sejam compatíveis com os desdobramentos futuros. Por esta razão, este elemento reconhece a existência de um plano a longo prazo, enfatizando a conectividade a curto prazo através de serviços ou infraestrutura de BRT. Em função da conectividade atual do Corredor Augusto Montenegro ao Corredor Almirante Barroso e ainda a conectividade já planejada ao futuro Corredor Metrópole, o BRT Belém alcançou pontuação máxima (Tabela 11).

Tabela 11 – Componentes da categoria “Planejamento de Serviços”.

Component	BRT System	Score per component
Multiple routes	4	4
Express, limited and local services	2	3
Control center	2	3
Located in top-ten corridors	2	2
Demand Profile	0	3
Hours of Operation	1	2
Multi-corridor network	2	2

Fonte: Elaboração própria, 2018.

4.1.3 Infraestrutura

Esta categoria trata de questões de sustentabilidade da infraestrutura e do sistema no médio e longo prazo, sendo avaliados elementos que contribuem para sua perenidade e adaptabilidade frente a aumentos de demanda.

As faixas de ultrapassagem nas paradas das estações são essenciais para permitir a convivência dos serviços expresso e local, além disso, elas permitem às estações receberem um grande número de ônibus sem o congestionamento das filas de ônibus que esperam para entrar na estação. O BRT Belém, por apresentar faixas de ultrapassagem em todas as estações, teve pontuação máxima nesse quesito.

As emissões dos ônibus são geralmente uma fonte muito intensa de poluição do ar em áreas urbanas, colocando particularmente em risco a saúde dos próprios passageiros e das pessoas que vivem ou trabalham próximo às vias por onde eles circulam. Em geral, as emissões de poluentes mais preocupantes dos ônibus urbanos são o material particulado (MP) e os óxidos de nitrogênio (NOx). O principal fator determinante dos níveis de emissão dos ônibus é o rigor das normas governamentais relativas a emissões. Alguns combustíveis, como o gás natural, tendem a produzir emissões mais baixas. Mas o uso de combustíveis “limpos” não garante níveis baixos de emissões de todo e qualquer poluente. Por isto a pontuação se baseia em normas certificadas de emissão, ao invés do tipo de combustível.

O BRT Belém conta com ônibus Mercedes Benz, modelo O-500 MA, motor OM-457 LA, em adequação à norma Proconve P-7 (Euro V). Apesar de no Brasil esta ser a última norma em vigência em termos de poluentes locais (material particulado e óxidos de nitrogênio), é desejável que o sistema de transporte público represente a vanguarda tecnológica. Considerando que se busca avaliar o BRT Belém a nível internacional, é importante considerar a norma mais atual existente. A não consideração desta questão poderia distorcer a avaliação e prejudicar a comparação do desempenho do sistema em relação a corredores em outros países. Nesse caso, o ideal seria a adoção do padrão de emissão Euro VI, em especial nos sistemas urbanos de transporte público de passageiros, o que melhoraria a qualidade do ar da cidade e a saúde dos cidadãos nos entornos do corredor. Por essa razão, não foi atribuída a pontuação máxima nesse quesito.

As estações devem estar afastadas no mínimo 26m, idealmente 40m, das interseções. Quando uma estação está localizada logo após uma interseção pode haver atrasos nos serviços e/ou operações, em função do ônibus parado na estação (pra embarque e desembarque dos passageiros) impedir a passagem de outros ônibus pela interseção. Se a estação se localizar

imediatamente antes da interseção, o semáforo poderá atrasar a saída de ônibus da estação e, assim, impedir que outros ônibus se aproximem dela. O risco de conflito continua agudo, particularmente com o aumento da frequência. Por isso, uma separação adequada entre as estações e interseções é essencial, tendo sido verificada positivamente ao longo do BRT Belém.

Uma única estação que serve a ambos os sentidos de tráfego do sistema de BRT torna as transferências mais fáceis e convenientes, algo que tem importância sobretudo quando se pretende ampliar a rede de BRT. Também tende a reduzir os custos de construção e minimizar a necessária prioridade de passagem. Mais de 80% das estações do BRT Belém têm plataformas centrais servindo às linhas em ambos os sentidos. Portanto, as estações atendem às características de estações bilaterais, atingindo pontuação máxima.

Um pavimento de boa qualidade garante um melhor serviço e operações por períodos mais longos, minimizando a necessidade de manutenção da via de ônibus. As vias com pavimento de pior qualidade terão de ser fechadas mais frequentemente para fazer reparos. Os ônibus também terão de ser conduzidos a menor velocidade e com mais cuidado quando o pavimento estiver danificado. Uma viagem confortável de ônibus é essencial para criar um serviço de alta qualidade que pode atrair e reter mais usuários. Para o BRT Belém, foram empregadas técnicas construtivas ao pavimento rígido de concreto simples ao longo de todo o corredor, o que leva à máxima pontuação neste quesito, mesmo que nos meses de março e abril de 2019, a imprensa local de Belém tenha anunciado a interdição de trechos para reparo.

A pontuação atribuída a esta categoria é apresentada na Tabela 12.

Tabela 12 – Componentes da categoria “Infraestrutura”.

Component	BRT System	Score per component
Passing lanes at stations	4	4
Minimizing bus emissions	2	3
Stations set back from intersections	3	3
Center stations	2	2
Pavement quality	2	2

Fonte: Elaboração própria, 2018.

4.1.4 Estações

Numa área de alta densidade construtiva, a distância entre as paradas nas estações pode ser considerada ótima em torno de 450m. Acima desse valor, estará sendo imposto aos usuários

mais tempo de caminhada do que se economizaria com velocidades mais altas dos ônibus. Abaixo dessa distância, a velocidade dos ônibus será reduzida mais do que o tempo economizado ao permitir caminhadas menores aos usuários. Assim, a fim de manter uma razoável coerência com o espaçamento ideal entre as estações, as distâncias médias entre elas não devem ser inferiores a 300m ou superiores a 800m. Dessa forma, o projeto BRT Belém alcança pontuação máxima.

Uma das características que diferenciam um sistema de BRT dos serviços de ônibus comuns é o ambiente seguro e confortável da estação. Quatro fatores contribuem para isto:

- **Largura:** As estações devem ser amplas o suficiente para os passageiros se movimentarem facilmente, sem sentirem-se aglomerados e comprimidos, enquanto esperam pelo veículo. Além do desconforto, furtos e outras perturbações da ordem têm maior probabilidade de acontecer em estações superlotadas. As estações devem ter uma largura interna de, pelo menos, 3m e larguras maiores em estações com maior volume de passageiros.
- **Proteção contra as intempéries:** As estações devem estar protegidas contra o sol, vento, chuva, neve e calor/frio, conforme for adequado às condições típicas de cada local.
- **Segurança:** Estações bem iluminadas, transparentes e com boa segurança – seja através de guardas ou câmeras – são essenciais para manter um alto nível de experiência do usuário.
- **Atratividade:** Uma intenção clara de criar estações atraentes também é importante para a imagem do sistema de BRT junto ao público, além de criar uma sensação de permanência e atratividade que atraia não só os passageiros, mas também novos investimentos e desenvolvimento do entorno. As estações devem ser consideradas como parte da infraestrutura urbana e promover o sentimento comunitário e cívico da população do local.

Dos quatro elementos supracitados, o BRT Belém não contempla o quesito segurança, pois as estações não são equipadas por câmeras e não há presença de guardas. Considerando o alto nível de criminalidade da região, esse aspecto é crítico aos usuários. Por apresentar 3 elementos supracitados, as estações do BRT Belém não alcançam pontuação máxima no quesito de segurança e conforto.

A rapidez do embarque e desembarque é função parcial do número de portas dos ônibus. De forma semelhante ao metrô, onde cada carro tem múltiplas portas largas, os ônibus também

precisam deste recurso para permitir a entrada e saída de grandes volumes de pessoas, economizando tempo para os usuários. Uma só porta ou portas estreitas se transformam em gargalos que atrasam o funcionamento de todo o sistema.

Os ônibus devem ter três ou mais portas no lado que dá para a estação, no caso de ônibus articulados, ou duas portas largas no caso de ônibus regulares (não articulados), e permitir o embarque por todas as portas para se qualificarem. Os pontos são conferidos com base na porcentagem de ônibus que usam a infraestrutura do corredor.

Em Belém, apesar do corredor ser utilizado por vários ônibus regulares de linha expressa, estes não param nas estações ao longo do BRT, por isso admitiu-se a este quesito apenas os veículos articulados do BRT, que fazem paradas ao longo do percurso, atribuindo-se pontuação máxima.

A reserva de espaço para múltiplas baias de acostamento dos ônibus e vários pontos de parada não só aumentam a capacidade da estação, economizando tempo aos usuários, mas também ajudam a estação a fornecer múltiplos serviços. No BRT Belém, apenas nas estações de maior demanda existe mais de uma baia de parada, cumprindo o requisito mínimo à pontuação.

As portas deslizantes pelas quais os passageiros entram e saem dos ônibus dentro das estações melhoram a qualidade do ambiente da estação, reduzem o risco de acidentes, protegem os passageiros contra as intempéries e impedem que pedestres entrem na estação por locais não autorizados. O BRT Belém as inclui em suas estações e por isso pontua nesse quesito (Tabela 13).

Tabela 13 – Componentes da categoria “Estações”.

Component	BRT System	Score per component
Distance between stations	2	2
Safe and comfortable stations	3	3
Number of doors on bus	3	3
Docking bays and sub-stops	1	1
Sliding doors in BRT stations	1	1

Fonte: Elaboração própria, 2018.

4.1.5 Comunicações

O sistema de BRT promete uma alta qualidade de serviço e experiência para o usuário, o que deve ser reforçado com uma marca e identidade únicas e especiais. A consolidação da marca do BRT Belém é cumprida, uma vez que todos os ônibus, linhas e estações do corredor adotam uma marca única, comum a todo o sistema.

Vários estudos já demonstraram que a satisfação dos passageiros é maior quando eles sabem quando o próximo ônibus chegará à estação na qual se encontram. Fornecer informações, portanto, é essencial para garantir uma alta qualidade de serviço e uma experiência geral positiva. As informações dadas aos passageiros em tempo real, baseadas em dados de GPS, incluem painéis eletrônicos, mensagens de áudio digital (“Próximo Ônibus” nas estações, “Próxima Parada” nos ônibus) e/ou informações dinâmicas em dispositivos móveis. As informações estáticas aos passageiros são aquelas veiculadas em letreiros e sinais nas estações e veículos, inclusive mapas sobre a rede de transportes, mapas dos itinerários, mapas das áreas próximas, indicações de emergências e outras informações aos usuários. Para se qualificarem a receber pontos, as informações aos passageiros têm que ser visíveis dos ônibus, das estações e das calçadas próximas.

Cada vez mais os passageiros acessam as informações online, inclusive mapas de rotas, horários de partida/chegada, e alertas de serviço. Existem várias formas de obter informações online, entre elas websites, aplicativos e redes sociais. Isto é cada vez mais importante para transmitir as informações aos usuários e para receber feedback e resolver problemas, usando os meios sociais especialmente para interagir com os clientes. Este tipo de informação deve fazer parte de um sistema completo de informações aos passageiros, mas para fins de contagem de pontos, o Padrão de Qualidade BRT só considera as informações aos passageiros fornecidas nas estações (ou próximo a elas) e nos ônibus (Tabela 14).

Tabela 14 – Componentes da categoria “Comunicações”.

Component	BRT System	Score per component
Branding	3	3
Passenger information	1	2

Fonte: Elaboração própria, 2018.

4.1.6 Acesso e Integração

Esta categoria avalia as condições de acesso às estações do BRT, por caminhada ou por bicicleta, e a integração do sistema com outros modais de transporte público.

As estações do BRT Belém são facilmente acessíveis a partir das quadras paralelas, com sinalização para pedestres e ciclistas. Em geral, verifica-se boa adequação da acessibilidade aos usuários, inclusive para pessoas com mobilidade reduzida.

Apesar de acessível, a segurança é frágil em função das constantes ocorrências de acidentes na pista do BRT, envolvendo pedestres, ciclistas, motociclistas e carros particulares, noticiados com frequência nos jornais locais. Um sistema de BRT pode ser extremamente bem projetado e funcionar muito bem, mas se os passageiros não puderem acessá-lo de forma segura, não cumprirá seus objetivos. É essencial que o projeto do sistema de BRT garanta acesso adequado aos pedestres. Além disso, um novo sistema de BRT é sempre uma boa oportunidade para melhorar o ambiente de pedestres nas ruas e espaços públicos no seu entorno e nas vias laterais que conduzem às estações. Um bom acesso ao corredor é vital para criar um alto nível de serviço e de experiência para os usuários.

A bicicleta é um complemento rápido e flexível para as viagens realizadas no BRT. Nota-se uma grande quantidade de deslocamentos por bicicletas ao longo do sistema, ainda assim, o BRT Belém não apresenta infraestrutura para receber a integração destes ciclistas.

Outra integração modal não verificada, apesar de anunciada, é com o porto de Icoaraci, que teria interligação direta com o BRT, que disponibilizaria uma estação em frente ao terminal hidroviário e contaria com o bilhete único.

A pontuação atribuída aos componentes da categoria “Acesso e Integração” é apresentada na Tabela 14.

Tabela 15 – Componentes da categoria “Acesso e Integração”.

Component	BRT System	Score per component
Universal access	3	3
Integration with other public transport	0	3
Pedestrian access	0	3
Secure bicycle parking	0	2
Bicycle lanes	2	2
Bicycle sharing integration	0	1

Fonte: Elaboração própria, 2018.

4.1.7 Deduções de Operação

As Deduções de Operação são relevantes somente para os sistemas já operacionais. Esses pontos foram introduzidos para diminuir o risco de reconhecer um sistema como de alta qualidade quando, na verdade, existem erros significativos no seu projeto ou surgiram deficiências na sua gestão e desempenho que não puderam ser identificadas facilmente durante a fase de projeto.

Em relação ao BRT Belém, esse quesito é o que mais contribui para a diminuição do Padrão Qualidade BRT. De uma forma geral, o projeto apresenta boas características, no entanto, a operação apresenta falhas que podem influenciar negativamente para o conceito do novo modal durante a experiência dos usuários.

A velocidade comercial média mínima é a média de velocidade do sistema como um todo e não a velocidade média no segmento mais lento. A maioria das características de projeto incluídas no sistema de pontuação geram sempre velocidades mais elevadas. No BRT Belém, não são observados prejuízos em relação à velocidade média esperada.

Os sistemas de BRT com níveis de utilização inferiores a 1.000 passageiros por hora e por sentido (pphps) durante a hora de pico transportam menos passageiros do que uma faixa normal de tráfego misto. Um nível de utilização muito baixo pode ser uma indicação de que outros serviços de ônibus continuam a operar paralelamente e em competição com o sistema de BRT, que é o atual cenário na RMB.

O sistema BRT pode ter um bom alinhamento e separação física, mas se não houver fiscalização da prioridade de passagem, as velocidades dos ônibus serão reduzidas, ou, ainda, acidentes poderão ser ocasionados. Esta penalidade é aplicada aos sistemas que não fiscalizam adequadamente as vias de ônibus de forma a evitar invasão por outros veículos. Os meios de fiscalizar as vias exclusivas com prioridade de passagem são vários e um pouco específicos ao contexto. Geralmente, o comitê recomenda a fiscalização com câmeras a bordo e o policiamento constante dos pontos de violação frequente, juntamente com a aplicação de altas multas aos infratores, de forma a minimizar a invasão das faixas por veículos não autorizados. A fiscalização somente pelo uso de câmeras em locais de alto risco é relativamente menos eficaz.

Muitos sistemas, apesar de geralmente bem projetados, ficam tão superlotados que começam a afastar os usuários. Em função da baixa frequência de ônibus BRT que saem da estação Mangueirão, em horários de pico, os carros chegam a ficar superlotados.

Mesmo um sistema de BRT bem construído e atraente pode degradar-se com o passar do tempo, uso e operação. É importante que as vias, ônibus, estações e sistemas de tecnologia

sejam mantidos regularmente. O BRT Belém, apesar de novo, tem indícios de falta de manutenção nos corredores, nas ciclovias e estações que apresentam, inclusive, sinais de depredação.

A frequência com que o ônibus passa durante o horário de pico e fora do horário de viagens é um bom indicador aproximado da qualidade de serviço. Para que o BRT seja realmente competitivo com outros modos alternativos de transporte, como o automóvel particular, os passageiros precisam ter a certeza de que seu tempo de espera será curto e que o próximo ônibus chegará em breve. Na atual fase de operação, a frequência de carros ainda é baixa, para os dois períodos: durante e fora do horário de pico.

O uso de bicicleta dentro dos corredores de BRT deve ser desencorajado, sendo perigoso em corredores de ônibus com limite de velocidade superior a 25 km/h e/ou com larguras inferiores a 3,8m. A presença de ciclistas no corredor de BRT nessas condições ainda é observada em Belém.

Tabela 16 – Componentes da categoria “Deduções de Operação”.

Component	BRT System	Score per component
Commercial speeds	0	-10
Peak passengers per hour per direction (pphpd) below 1,000	-5	-5
Lack of enforcement of right-of-way	0	-5
Significant gap between bus floor and station platform	-1	-5
Overcrowding	-5	-5
Poorly maintained busways, buses, stations, and technology systems	-6	-10
Low Peak frequency	-3	-3
Low Off-peak frequency	0	-2

Fonte: Elaboração própria, 2018.

4.2 Cenários de Emissões e Co-benefícios

Os cenários adotados neste estudo não têm o objetivo de descrever de forma precisa a situação futura mais provável, mas sim, apontar um cenário de referência tendo como base a conjuntura atual. O cálculo do modelo para o período de 20 anos avaliado fez uso de *inputs* que vão desde o comprimento do corredor e o número de passageiros do BRT, até a eficiência de combustível dos veículos, conforme a Tabela 17. A análise assume a introdução regular de ônibus e outros veículos mais eficientes ao longo do tempo em ambos os cenários.

Tabela 17 – Dados imputados para modelagem do estudo de caso.

Dado	Fonte
Demanda diária de passageiros para os corredores.	Atual e Projeção: Semob.
Transição modal para o BRT a partir de outros modos (carro, motocicleta, táxi, ônibus e van passageiro) e eventuais novas viagens ao BRT.	Atual: Pesquisa de campo em municípios semelhante (Ministério das Cidades, 2013). Projeção: Transferência modal de modos privados dobra a cada dez anos, dada eventual piora nas condições de mobilidade do corredor.
Distância média (km) percorrida no trecho com prioridade de passagem por passageiro transportado.	Atual: Semob; Projeção: Constante ao longo do tempo.
Velocidade média (km/h) por modo.	Atual: Semob; Projeção: Queda de 2 km/h a cada dez anos para modos público e privados que não contam com prioridade de passagem.
Ocupação (passageiro/veículo) por modo.	Atual: Para modos particulares, estimou-se ocupação média de 1,3 para carro, 1,1 para moto e 2,3 para táxi. Para modos públicos, ocupação média de 80% a partir da capacidade máxima; Projeção: Constante ao longo do tempo.
Tipo de tecnologia do motor (norma PROCONVE/PROMOT) por modo e por tipo de combustível.	Atual: Semob, Inventário de Emissões Automotoras (MMA); Projeção: Roadmap do ICCT.
Fonte de energia (gasolina, diesel, álcool, GNV) por modo.	Atual: Inventário de Emissões Automotoras (MMA). Projeção: Constante ao longo do tempo.
Fator de Consumo Energético Médio (gasolina, diesel, álcool, GNV) por modo, para veículo a 50 km/h.	Atual: Inventário de Emissões Automotoras (MMA), COPPE (2012). Projeção: Constante ao longo do tempo.
Fator de Emissão por fonte de energia (gasolina, diesel, álcool, GNV), por tipo de tecnologia do motor (PROCONVE/PROMOT) e por tipo de poluente (CO ₂ , MP e NO _x).	Atual: Inventário de Emissões Automotoras (MMA). Projeção: Constante ao longo do tempo.

Fonte: Elaboração própria, 2018.

A análise do projeto BRT Belém nos seus primeiros 20 anos de operação demonstra que ele terá potencial de redução nas emissões, na quilometragem percorrida pelos usuários e no consumo de combustível ao longo do corredor.

A análise do sistema BRT Belém revela uma importante redução das emissões atmosféricas. Na Tabela 18 são apresentados, de forma resumida, os resultados obtidos para as reduções de cada item avaliado durante o período 20 anos.

Tabela 18 – Resultados acumulados no período de 20 anos.

Item avaliado	Redução
Emissões de CO ₂	196.992,2 t
Emissões de MP	4,8 t
Emissões de NO _x	631,7 t
Consumo de combustíveis	79 milhões de litros
Quilometragem percorrida	230,5 milhões de quilômetros

Fonte: Elaboração própria, 2018.

Essa redução chegaria a 9.849,6 toneladas de CO₂ por ano, representando uma diminuição de 29% em relação ao cenário base (Tabela 19). Do total de emissões do cenário-base, 33,5% seriam resultantes da redução de viagens em carros particulares, que transportam um número significativamente inferior de pessoas por veículo do que os articulados do BRT.

Tabela 19 – Comportamento Anual de Emissões Atmosféricas do BRT Belém.

Item avaliado	Emissão anual média	Emissão anual média	Emissão anual evitada	
	Cenário-base	Cenário-BRT	Média anual	Percentual
Emissões de CO ₂	13.911,4 t	4.055,5 t	9.849,6 t	29%
Emissões de PM	0,28 t	0,04 t	0,24	16%
Emissões de NO _x	37,14 t	5,56 t	31,59 t	15%

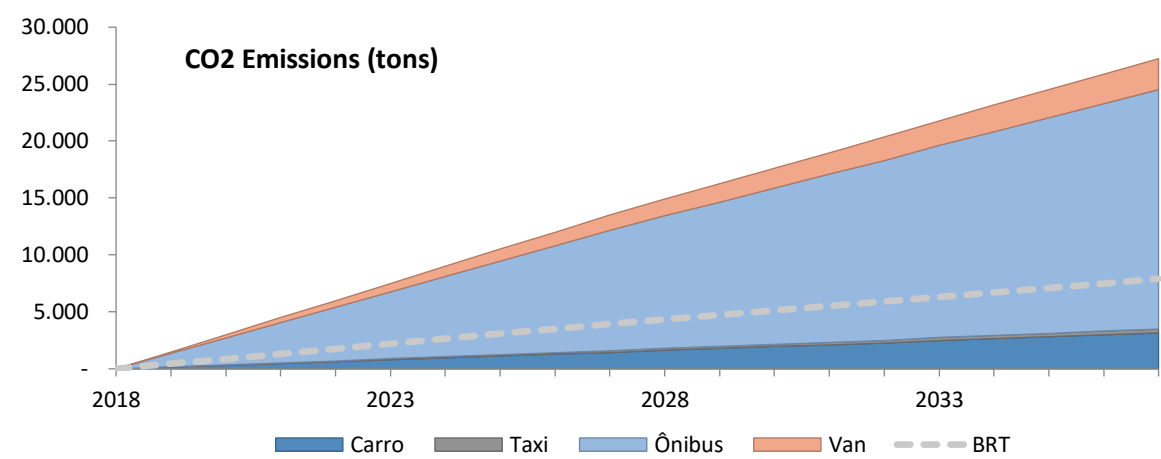
Fonte: Elaboração própria, 2018.

O material particulado pode ser reduzido em 0,24 toneladas por ano, representando uma diminuição de 16% em relação ao cenário base. As emissões de óxidos de nitrogênio podem ser reduzidas em 31,59 toneladas por ano, representando uma diminuição de 15% em relação ao cenário base. Para estes poluentes, a maior contribuição viria da melhor tecnologia empregada nos recém-adquiridos articulados, cujo motor respeita padrões de emissão mais eficientes ambientalmente do que os ônibus convencionais em circulação na metrópole. Do total de emissões do cenário-base, os ônibus contribuíram com 67% das emissões de material particulado e 65% das emissões de óxido de nitrogênio. O diesel é muito superior à gasolina em termos de emissão destes poluentes locais, o que explica a contribuição dos carros particulares ser menor.

Foi considerado que a percentagem de viagens em veículos privados dobraria a cada 10 anos, caso o BRT não fosse construído. Os resultados para cada um dos poluentes são apresentados abaixo (Figura 26, Figura 27 e Figura 28). A porção preenchida do gráfico se

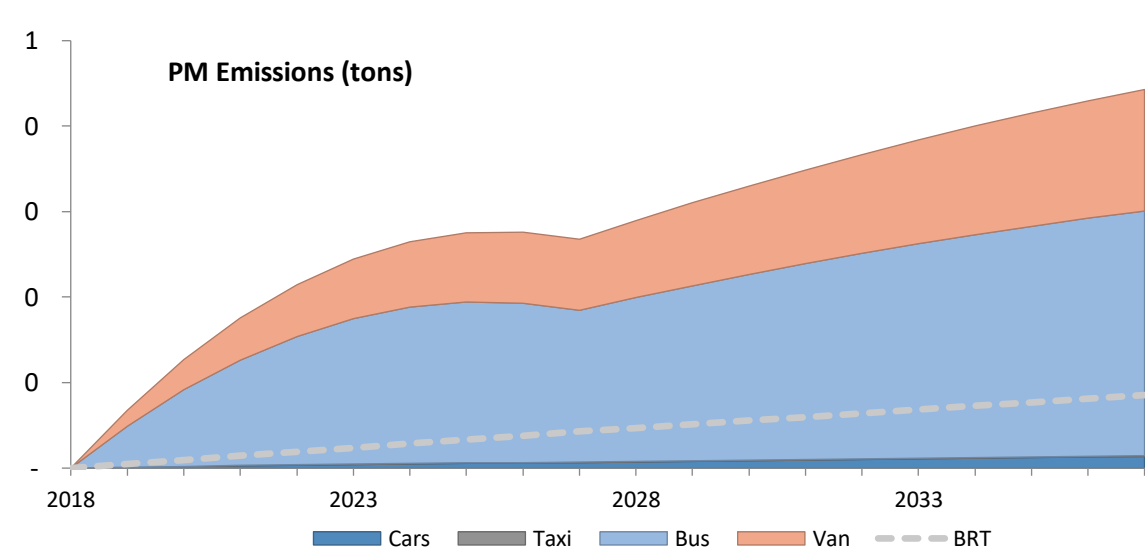
refere aos modos no cenário sem BRT. O cenário com o BRT é representado pela linha tracejada.

Figura 26- Emissão de CO₂ calculada



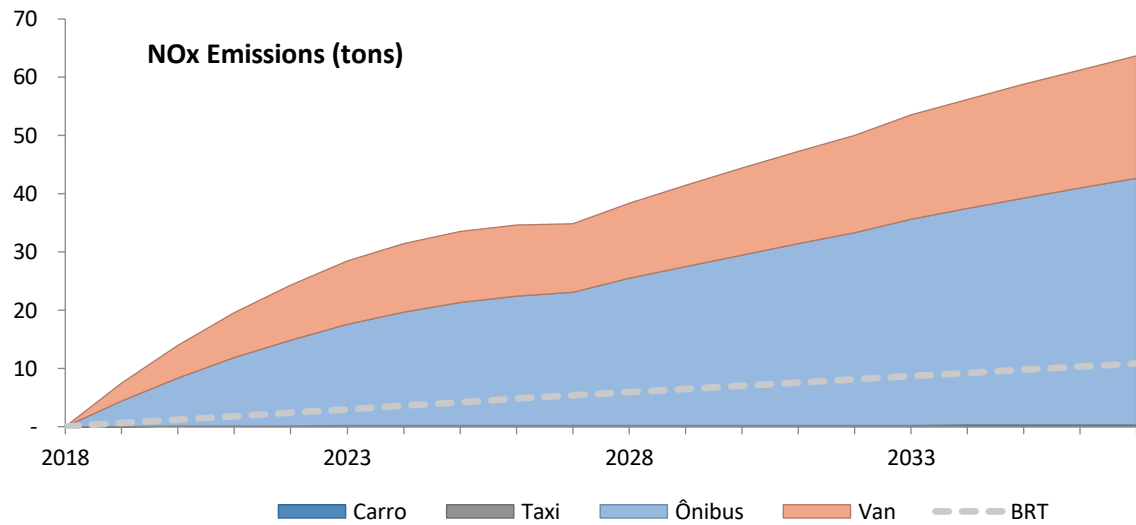
Note: Solid area portions refer to modes in a NO BRT Scenario. the impacts of the BRT are depicted by the line
Fonte: Elaboração própria, 2018.

Figura 27- Material Particulado calculado



Note: Solid area portions refer to modes in a NO BRT Scenario, the impacts of the BRT are depicted by the line
Fonte: Elaboração própria, 2018.

Figura 28- Emissão de NO_x calculada

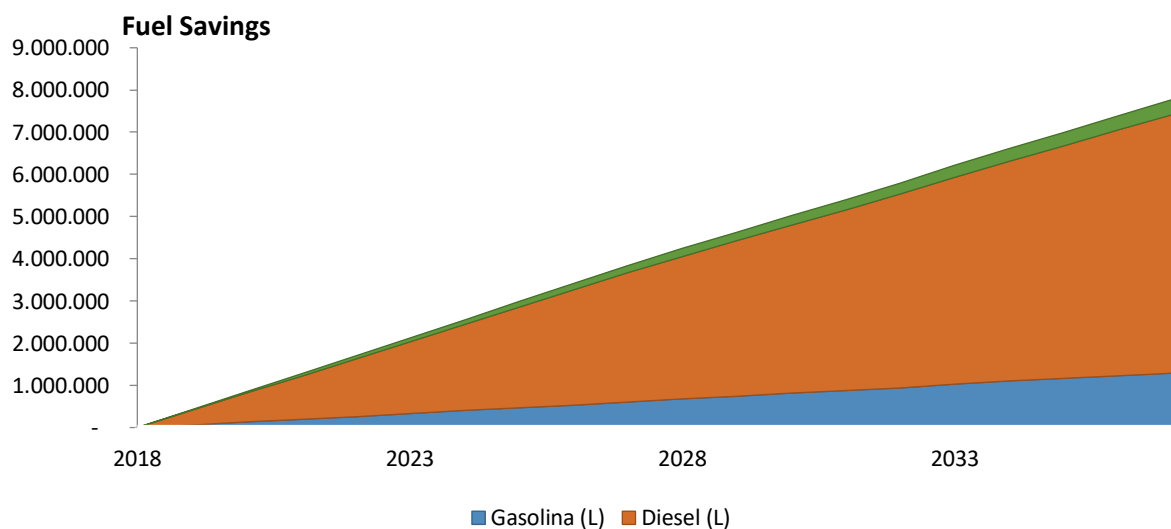


Note: Solid area portions refer to modes in a NO BRT Scenario, the impacts of the BRT are depicted by the line

Fonte: Elaboração própria, 2018.

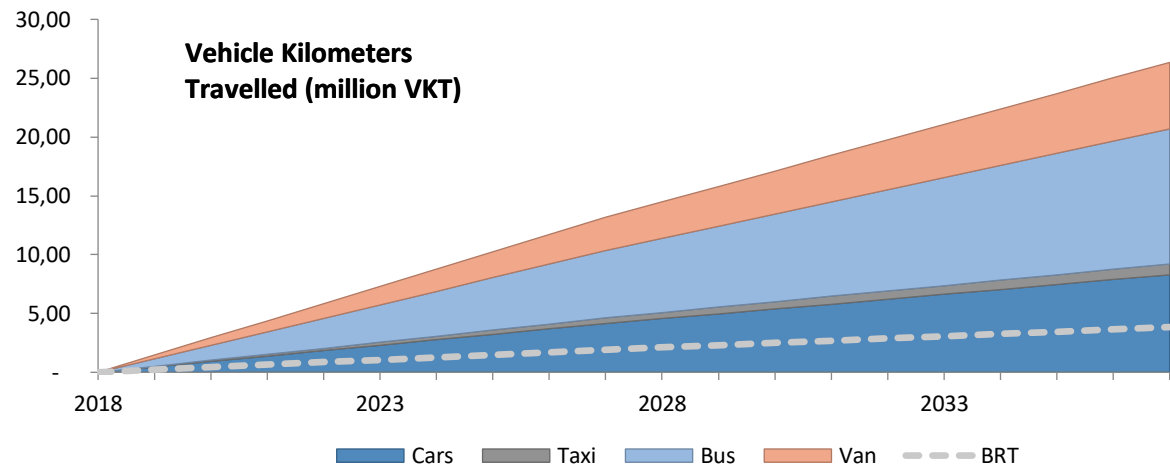
No total do período considerado (20 anos), estima-se que a quilometragem total percorrida com a implantação do BRT deva ser reduzida em 11,52 milhões de quilômetros por ano (Figura 29). Por fim, o BRT Eixo Sul pode reduzir o consumo de combustível em uma média de 5.980 litros por ano (Figura 30). A redução é resultado principalmente da maior eficiência por passageiro transportado do BRT em relação ao carro particular e aos ônibus convencionais.

Figura 29- Redução do consumo de combustíveis



Fonte: Elaboração própria, 2018.

Figura 30- Distância percorrida anual

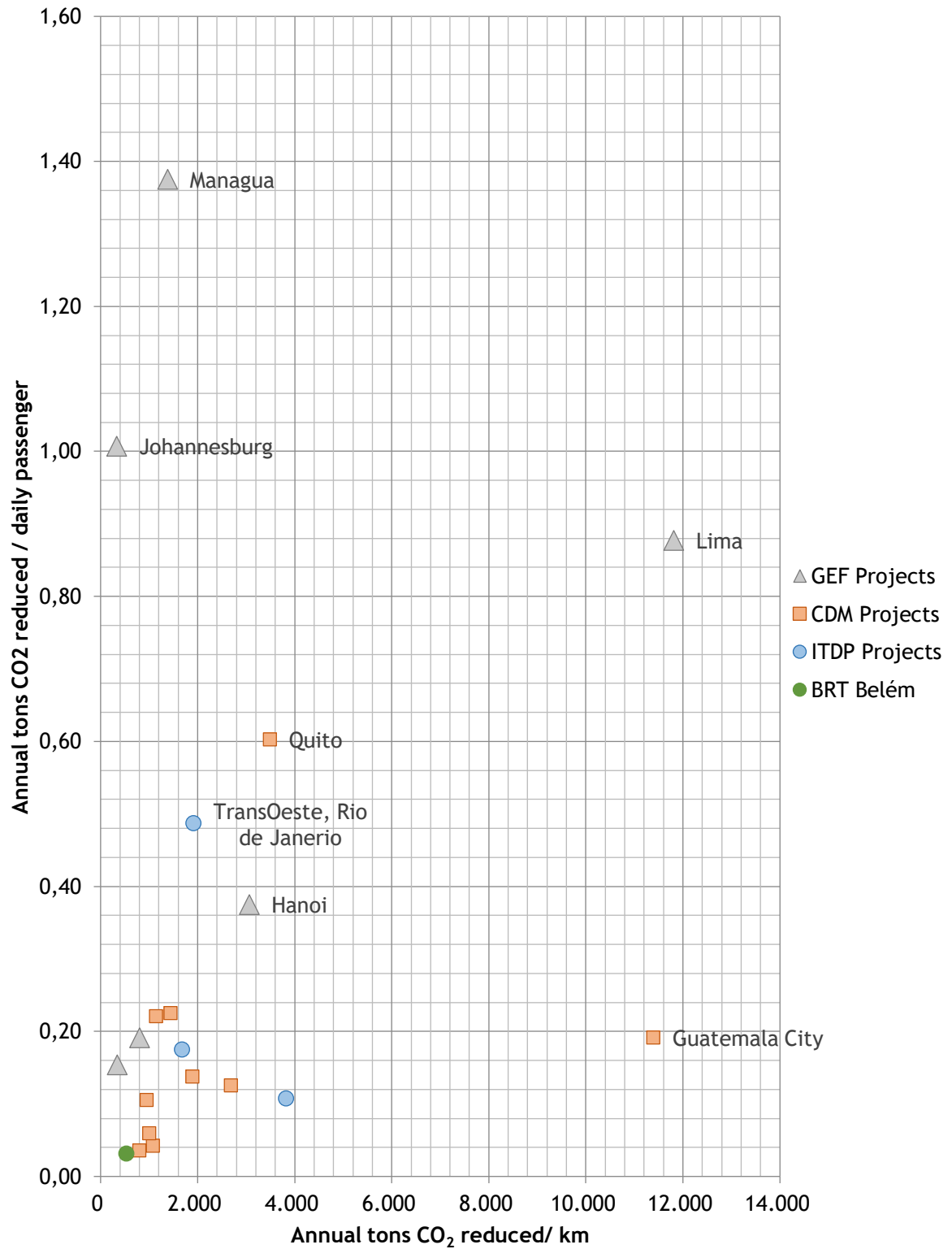


Note: Solid area portions refer to modes in a NO BRT Scenario. the impacts of the BRT are depicted by the line

Fonte: Elaboração própria, 2018.

Embora, de fato, os cenários aqui apresentados tenham indicado resultados positivos a respeito da redução de emissões atmosféricas e co-benefícios, ao compararmos ao potencial de desempenho de outros BRTs do Brasil e do mundo, é possível perceber que a previsão do cenário de reduções está aquém do potencial que esse tipo de equipamento poderia ter. Essa análise pode ser observada no gráfico da Figura 31.

Figura 31- Redução de emissões de CO₂ para diferentes sistemas BRT.



Fonte: Elaboração própria, 2018.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Corredores de transporte público de média e alta capacidade podem ser indutores de desenvolvimento urbano sustentável e inclusivo. O BRT Belém é o primeiro sistema dessa natureza na RMB e já constitui um dos grandes eixos estruturantes da cidade em termos de acesso, mobilidade e desenvolvimento urbano. Por isso, ao longo deste trabalho, buscou-se analisar os impactos da implementação do projeto nas emissões atmosféricas a partir da metodologia *Emissions Evaluation Models for Projects*.

Os resultados obtidos através do modelo TEEMP evidenciaram a capacidade do BRT de contribuir com a redução de emissões atmosféricas, estimando que sejam evitadas 196.992,2 toneladas de CO₂eq. em um horizonte de 20 anos. Em relação aos poluentes locais, foi calculada, para o mesmo período, a redução de 4,8 t de material particulado e 631,7 t de óxidos de nitrogênio, minimizando impactos ambientais em escala global e local.

Além disso, o método demonstra, também, a capacidade de contribuição do sistema BRT no aumento da eficiência do transporte público, dada a redução de quilometragem percorrida no corredor e do consumo energético.

Mesmo assim, os cenários previstos indicam o subaproveitamento do sistema na RMB, uma vez que o projeto desenhado para a região mostrou-se abaixo da média de outros corredores em relação à redução de emissões de GEE e GEL e seus co-benefícios.

A finalidade do planejamento de transportes é racionalizar os esforços públicos ou privados para transpor obstáculos espaciais à realização de atividades socioeconômicas. Este objetivo é satisfeito através de soluções tecnológicas, que são projetadas, implementadas e administradas considerando dimensões quantitativas e qualitativas de demanda. A transferência modal tem destaque no processo de reorganização do espaço urbano quando se analisa a distribuição percentual dos GEE emitidos por modo de transporte.

Por isso, vale lembrar que o projeto previsto para Belém não foi o adequado, pois houve a intenção de se replicar o modelo adotado em Curitiba. Consequentemente, as paradas e os terminais foram copiados para o projeto na capital paraense sem adequação suficiente. As diferenças climáticas e sócio espaciais entre Belém e Curitiba invalidaram o primeiro projeto, problematizando a execução e causando grande atraso na obra, que, somados aos problemas de processos judiciais, impactaram fortemente a imagem do projeto perante a população.

Por isso, neste estudo foram usadas taxas de transferências modais semelhantes às de municípios que passaram por contexto parecido. Isso contribuiu para que os cenários previstos

não contabilizassem grandes avanços especialmente quanto à transferência modal de veículos particulares para o BRT.

Uma boa estratégia para fortalecer a imagem do novo modal e atrair mais usuários, é considerar a avaliação feita com base no Padrão de Qualidade BRT, que neste estudo, possibilitou classificar o sistema como Padrão Bronze, sendo possível elencar pontos fortes e de melhoria.

Em suma, foi demonstrado que vários componentes estão em conformidade com os temas abordados. No entanto, alguns dos resultados obtidos indicaram que parte dos quesitos analisados não está alcançando desempenho satisfatório, especialmente em comparação às condições pré-existentes e projetadas e, ainda, fragilidades no desempenho operacional do sistema.

O BRT Belém tem boa infraestrutura ao planejamento de serviços; por contar com ultrapassagem, permite a adoção de múltiplas linhas e serviços expressos. Além disso, possui uma marca forte e padronizada, porém, em seu sistema de comunicação, ainda há espaço para melhorias. Sugere-se a instalação de mapas e a divulgação de mais informações estáticas nas estações, permitindo aos passageiros, encontrar com maior facilidade o caminho aos seus destinos. Além disso, informações específicas sobre o sistema BRT poderiam ser atualizadas em um site único ou um canal de mídia social, potencializando a imagem do sistema.

Ressalta-se, ainda, questões a serem aprimoradas ao melhor desempenho do corredor. Estão entre elas a integração de modais (incluindo hidroviários e ciclovias); a ampliação de frequência e horários de serviço (ao ponto de sistemas paralelos não serem necessários, aumentando o número de usuários); ações que conduzam à maior segurança no trânsito e nas instalações do BRT (garantindo o acesso, em segurança, de pedestres e ciclistas às estações); e a fiscalização e manutenção do sistema (de forma a preservar as estações, corredores e outros elementos essenciais ao alto desempenho esperado deste modal).

Por fim, ferramentas de ordenamento territorial baseadas nos princípios de DOTS podem ser aplicadas para que o corredor e suas estações incentivem um desenvolvimento local mais dinâmico em termos de oportunidades, mais amigável aos transportes ativos (caminhada e bicicleta) e mais inclusivo em relação às parcelas da população de faixas de renda baixas.

Assim, para se reduzir o CO₂ na mobilidade urbana é necessário mais do que melhorias tecnológicas em veículos e combustíveis, pois o processo tecnológico por si só não é o suficiente. As políticas com o objetivo de aumentar o número de usuários do transporte público devem promover a imagem, mas ao mesmo tempo o sistema precisa se tornar mais mercadologicamente orientado e competitivo.

Entender o comportamento de escolha modal é uma etapa essencial do planejamento de transportes, quando é necessário atentar aos atributos requeridos pelos usuários, a fim de atrair e incentivar a transferência para modais mais sustentáveis.

A intenção e o comportamento podem ser modelados por meio de técnicas baseadas em teorias comportamentais. Por isso, a recomendação final para trabalhos futuros seria, o desenvolvimento de um estudo que estime o potencial de redução de emissões atmosféricas e co-benefícios, considerando taxas de transferência modal calculadas a partir de dados primários coletados na RMB, de forma a prever um cenário mais próximo à realidade, pois cada projeto de infraestrutura tem um impacto diferenciado para cada cidade.

REFERÊNCIAS

- AFFONSO, Nazareno Sposito Neto Stanislaw (2016). **Mobilidade sustentável no Brasil: é possível?**. P86-95 In: ALMEIDA, Evaristo, org. Mobilidade Urbana no Brasil. São Paulo : Editora Fundação Perseu Abramo, 624 p.
- Aichholzer G., Allhutter D., Strauß S. (2012) **Using Online Carbon Calculators for Participation in Local Climate Initiatives**. In: Tambouris E., Macintosh A., Sæbø Ø. (eds) Electronic Participation. ePart 2012. Lecture Notes in Computer Science, vol 7444. Springer, Berlin, Heidelberg
- ALEXANDRE, R. W. C. (2010). **Preferências dos clientes de serviços especiais de transporte urbano por ônibus**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ.
- ALMEIDA, Evaristo, org (2016). **Mobilidade Urbana no Brasil**. São Paulo : Editora Fundação Perseu Abramo, 624 p.
- Autarquia de Mobilidade Urbana de Belém – AMUB (2013). **Apresentação do projeto BRT Belém**. Prefeitura de Belém.
- Artur D. Little & UITP (2014). **Future of urban mobility 2.0 – Imperatives to shape extended mobility ecosystems of tomorrow**. 100p. Disponível em <https://www.uitp.org/sites/default/files/members/140124%20Arthur%20D.%20Little%20&%20UITP_Future%20of%20Urban%20Mobility%202%200_Full%20study.pdf> Acesso em setembro de 2018.
- Artur D. Little & UITP (2018). **Future of urban mobility 3.0 – Reinventing mobility in the era of disruption and creativity**. 100p. Disponível em <http://www.adlittle.com/sites/default/files/viewpoints/adl_uitp_future_of_mobility_3.0_1.pdf> Acesso em setembro de 2018.
- Associação Nacional de Transportes Públicos – ANTP (2016). **Sistema de Informações da Mobilidade Urbana \ Relatório Comparativo 2003 – 2014**. Disponível em <http://files.antp.org.br/2016/9/3/sistemasinformacao-mobilidade--comparativo-2003_2014.pdf>. Acessado em julho de 2018
- Associação Nacional de Transportes Públicos – ANTP (2017). **Mobilidade humana para um Brasil urbano**. 288p.
- Associação Nacional de Transportes Públicos – ANTP (2018). **Relatório Geral 2016**. Sistema de Informações da Mobilidade Urbana - Simob/ANTP. Disponível em <<http://files.antp.org.br/simob/simob-2016-v6.pdf>>. Acessado em julho de 2018.
- AZEVEDO FILHO, Mário Ângelo Nunes de. **Análise do processo de planejamento de transportes como contribuição para a mobilidade urbana sustentável**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Área de Concentração em Planejamento e Operação de Sistemas de Transporte. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012

Azevedo Filho, Mário Ângelo Nunes de; Silva, Antônio Nelson Rodrigues da. **Uma avaliação retrospectiva de Belém do Pará sob a ótica da mobilidade sustentável**. TRANSPORTES v. 21, n. 2 (2013) p. 13–20. DOI:10.4237/transportes.v21i2.687.

BAUMBACH, G. Luftreinhaltung. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. 1991.

BICKMAN, L. & ROG, D.J. **Handbook of applied social research methods**. Thousand Oaks, Sage, 1997

BRASIL, Ministério das Cidades (2008). **Manual de BRT(Bus Rapid Transit): guia de planejamento**. Autores colaboradores: César Arias [et al]. Tradução de Arthur Szasz. New York: Institute for Transportation & Development Policy; Brasília.

BRASIL, Ministério das Cidades (2017). **Estudo Técnico Adaptação às Mudanças Climáticas na Mobilidade Urbana**. Elaboração: Ministério das Cidades, Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP Brasil), INPE. Brasília/DF. 82p.

BRASIL. Lei nº 12587. **Diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana**. Brasília: Presidência da República, 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12587.htm>. Acessado em julho de 2018.

BRASIL. Ministério das Cidades (2013). **Política Nacional de Mobilidade Urbana**. Brasília/DF. 37p.

BRASIL. Ministério das Cidades (2015). **PlanMob – Caderno de referência para elaboração de plano de mobilidade urbana**. Secretaria Nacional de transporte e Mobilidade – SeMob, Brasília/DF. 238p.

BRASIL. Ministério das Cidades (2017). **Programa de apoio à elaboração de planos de mobilidade urbana – Manual de apoio a municípios até 100 mil habitantes**. Brasília/DF. 24p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente – MMA (2016). **Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima**. Volume 2: Estratégias setoriais e temáticas. Portaria MMA nº 150 de 10 de maio de 2016. Brasília/DF. 295 p.

BRASIL. Ministério dos Transportes & Ministério das Cidades. (2013). **Plano Setorial de Transporte e de Mobilidade Urbana para Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima (PSTM)**. Brasília/DF. 118p.

BRASIL. Senado Federal – Secretaria de Comunicação Social. **Mobilidade urbana – Hora de mudar os rumos – Excesso de carros, má qualidade de transporte público coletivo e falta de investimento desafiam o futuro das grandes cidades brasileiras**. Em Discussão – Revista de Audiências Públicas do Senado Federal. Ano 4, nº18. Brasília, DF, 2013.

BRTdata (2018). **Panorama da Evolução (1990 - 2018)**. Disponível em: <<https://brtdata.org/panorama/evolution>> Acesso em setembro de 2018.

BULKELEY, H; CARMIN, J; BROTO, V C; EDWARDS, G A S; FULLER, S. (2013) Climate justice and global cities: Mapping the emerging discourses. **Global Environmental Change**, Volume 23, Issue 5, October 2013, Pages 914–925.

CARDOSO DE MELLO, J. M (1982). **Capitalismo tardio**. São Paulo: Brasiliense. In: FAGNANI, Eduardo (2016). Mobilidade urbana e subdesenvolvimento: soluções paliativas para problemas estruturais. p42-73 In: ALMEIDA, Evaristo, org. Mobilidade Urbana no Brasil. São Paulo : Editora Fundação Perseu Abramo, 624 p.

CASIMIRO, L. M. S. M. de & MELO, J. P. P. (2015) **Administração Pública no século XXI: planejamento, mobilidade urbana e desenvolvimento socioeconômico**. In: PONTES FILHO, V.; GABARDO, E. (Org.). Problemas emergentes da Administração Pública: Anais do XXVIII Congresso Brasileiro de Direito Administrativo. Belo Horizonte: Fórum, 2015.

Center for Transit-Oriented Development – CTOD (2010). **Transit Oriented Development and The Potential for VMT-related Greenhouse Gas Emissions Growth Reduction**. Disponível em < <http://ctod.org/pdfs/2010TODPotentialGHGEmissionsGrowth.pdf>>. Acessado em julho de 2018.

CERVERO, R; KANG, C.D. (2011) **Bus rapid transit impacts on land uses and land values in Seoul, Korea**. Transport Policy. Vol. 18, pp. 102-116.

Confederação Nacional do Transporte – CNT & Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos – NTU (2017). **Pesquisa mobilidade da população urbana 2017**. Brasília: CNTU:NTU, 2017. 96p.

Connolly-Boutin, L. & Smit, B. (2016). Climate change, food security, and livelihoods in sub-Saharan Africa. Reg Environ Change, Springer, 16: 385. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0761-x>.

COSTA, M. D. S. **Um índice de mobilidade urbana sustentável**. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

COSTA, M. D. S.; RODRIGUES DA SILVA, A. N. **Caracterização da mobilidade urbana sustentável em contextos distintos com recursos de MCSA-C**. In: XX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2006, Brasília. ANPET, p. 817-828

Diouf A., Gaye A.T. (2015) A Methodological Framework for Building an Index for Vulnerability Assessment in Rainfed Agriculture. In: Leal Filho W. (eds) Handbook of Climate Change Adaptation. Springer, Berlin, Heidelberg.

COSTA, A. C. L. **Variações Sazonais da Ilha de Calor Urbana na Cidade de Belém – PA**. Anais do XV Congresso Brasileiro de Meteorologia. São Paulo-SP. 2008.

GOODWILL, J; HENDRICKS, (2002). **Building Transit Oriented Development in Established Communities**. CUTR, Tampa, FL, USA.

EMBARQ (2013) Social, Environmental and Economic Impacts on BRT Systems: Bus Rapid Transit Case Studies from Around the World. Disponível em: <www.embarq.org> Acessado em setembro de 2018.

EMBARQ BRASIL DOTS Cidades. (2015). **Manual do Desenvolvimento Urbano Orientado ao Transporte Sustentável**. 2 ed.

Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2016) **O Compromisso do Brasil no Combate às Mudanças Climáticas: Produção e Uso de Energia**. Disponível em <<http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/NT%20COP21%20iNDC.pdf>> Acessado em maio de 2018

Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2018) **Balanço Energético Nacional – Relatório Síntese, ano base 2017**. Rio de Janeiro, Maio de 2018. Disponível em <<http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/NT%20COP21%20iNDC.pdf>> Acessado em junho de 2018

FAGNANI, Eduardo (2016). **Mobilidade urbana e subdesenvolvimento: soluções paliativas para problemas estruturais**. p42-73 In: ALMEIDA, Evaristo, org. Mobilidade Urbana no Brasil. São Paulo : Editora Fundação Perseu Abramo, 624 p.

FERRAZ, Antonio Clóvis “Coca” Pinto; TORRES, Isaac Guillermo Espinosa. **TRANSPORTE PÚBLICO URBANO**. 2. ed. São Carlos: Rima, 2004. 254 p. 300 f.

Galli, A., Wiedmann, T., Ercin, E., Knoblauch, D., Ewing, B., Giljum, S. (2012). **Integrating Ecological, Carbon and Water footprint into a “Footprint Family” of indicators: Definition and role in tracking human pressure on the planet**. Ecol. Indic. 16, 100-1012

GEF, & UNEP. (2012). **Calculating Greenhouse Gas Benefits of Global Environment Facility Transportation Projects**.

GOODMAN, L. **Snowball Sampling**. In: Annals of Mathematical Statistics, 32:148-170,1961.

Götz K. (2014) **Traffic Mobility**. In: Michalos A.C. (eds) Encyclopedia of Quality of Life and Well-Being Research. Springer, Dordrecht.

GOUVELLO, C. **Estudo de Baixo Carbono Para o Brasil**. Banco Mundial, 2010

GREENPEACE (2016) **Revolução Energética – Rumo a um Brasil com 100 % de energias limpas renováveis**. Disponível em

<<http://www.greenpeace.org/brasil/Global/brasil/image/2015/Dezembro/2016/Revolução%20Energética%202016.%20Greenpeace%20Brasil.pdf>> Acessado em outubro de 2017.

Harvard Business Review – HBR (2016). **The Rise of WhatsApp in Brazil Is About More than Just Messaging**. Disponível em < <https://hbr.org/2016/04/the-rise-of-whatsapp-in-brazil-is-about-more-than-just-messaging>> Acessado em maio de 2018

HENSHER, D.A., (2007). **Bus Transport: Economics, Policy and Planning, Research in Transportation Economics**, 18. Elsevier, Oxford.

HUGHES, Colin K. (2013). **Introdução ao Modelo de Avaliação de Emissões dos Transportes para Projetos – BRT**. Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP). Disponível em

<<http://www.fetranspordocs.com.br/downloads/24IntroducaoModeloAvaliacao.pdf>> Acesso em maio de 2018.

International Energy Agency - IEA (2009) **Transport, Energy and CO₂ – Moving Toward Sustainability**. France (p. 29). Disponível em <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/transport2009.pdf>> Acesso em setembro de 2018.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2012). **Síntese de Indicadores 2012**. Disponível em <https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2012/sintese_defaultpdf_rendimentos.shtm> Acessado em julho de 2018

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2018). **Acesso à Internet e à televisão e posse de telefone móvel celular para uso pessoal em 2016**. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua. Disponível em <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101543.pdf>> Acessado em julho de 2018
 Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA (2015). **Estimativa dos Custos dos Acidentes de Trânsito no Brasil com Base na Atualização Simplificada das Pesquisas Anteriores do Ipea. Relatório de Pesquisa**. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Disponível em <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7456/1/RP_Estimativa_2015.pdf> Acessado em julho de 2018

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA (2016). **Aspectos regulatórios e conceituais das políticas tarifárias dos sistemas de transporte público urbano no Brasil**. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Disponível em <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/6635/1/td_2192.pdf> Acessado em julho de 2018

Instituto de Políticas de Transporte & Desenvolvimento – ITDP Brasil (2018). **O acesso de mulheres e crianças à cidade**. Janeiro 2018 - Versão 1.0. Disponível em <http://2rps5v3y8o843iokettbxnya.wpengine.netdna-cdn.com/wp-content/uploads/2018/01/ITDP-Brasil_-O-Acesso-de-Mulheres-e-Crianças-a-Cidade_-JAN-2018-1.pdf> Acessado em julho de 2018

Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento – ITDP. (2017) **TOD Standard – Padrão de qualidade DOTS**. Disponível em <<http://itdpbrasil.org.br/publicacoes/guias-e-manuais/>>. Acesso em Julho de 2018

Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira – INEP (2017). **Censo da Educação na Educação Superior 2016 (Notas Estatísticas)**. Ministério da Educação, Brasília – DF. Disponível em <http://download.inep.gov.br/educacao_superior/censo_superior/documentos/2016/notas_sobre_o_censo_da_educacao_superior_2016.pdf> Acessado em Julho de 2018

International Transport Forum - ITF (2017), ITF Transport Outlook 2017 (Summary in Portuguese), OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/aac913ef-pt>.

Instituto de Desenvolvimento Econômico, Social e Ambiental do Pará – IDESP (2013) **Governança Metropolitana no Brasil. Relatório de Pesquisa 1.2: Análise Comparativa das Funções Políticas de Interesse Comum**. Região Metropolitana de Belém. IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Disponível em

<http://www.ipea.gov.br/redeipea/images/pdfs/governanca_metropolitana/rmbbelem.pdf>
Acessado em Novembro de 2018.

ITDP (2013) **Impact Analysis of Transoeste Bus Rapid Transit System in Rio de Janeiro**. Disponível em: <<http://itdpbrasil.org.br/>> Acessado em setembro de 2018.

ITDP (2015) **Análise de Impacto do BRT TransCarioca na Mobilidade Urbana do Rio de Janeiro**. Disponível em: <<http://itdpbrasil.org.br/>> Acessado em setembro de 2018.

ITDP (2015). **Análise de Impacto do BRT TransCarioca na Mobilidade Urbana do Rio de Janeiro**. p72.

John Antonakis (2017) On doing better science: From thrill of discovery to policy implications, *The Leadership Quarterly*, 10.1016/j.leaqua.2017.01.006, 28, 1, (5-21), (2017).

KAEWKLUENGKLOM, R; SATIENNAM, W; JAENSIRISAK, S; SATIENNA, T; FUKUDA, A (2017). **Intention of Using Bus Rapid Transit (BRT): Comparing the Theory of Planned Behaviour model between Thai and Japanese young adults**. In EASTS - Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vietnam, 2017.

LERNER, J.(2009). **Avaliação Comparativa das Modalidades de Transporte Público Urban**. NTU, 2009.

LIMA, Gleiphyson Santana de (2013). **Metodologia de avaliação econômico-ambiental das emissões veiculares na implantação de um sistema BRT**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia - IME. Rio de Janeiro.

LINKE, Clarisse; OBERLING, Daniel; ROCHA, João Pedro M. (2016). **Mobilidade urbana e mudanças climáticas: orientações para medidas asaptativas**. In: II IPTMU - Encontro sobre Impactos Potenciais de Desastres Naturais em Infraestruturas de Transporte e Mobilidade Urbana. São José dos Campos, Brasil, 2016.

Macleane R., Jagannathan S., Panth B. (2018) Introduction. In: **Education and Skills for Inclusive Growth, Green Jobs and the Greening of Economies in Asia**. Technical and Vocational Education and Training: Issues, Concerns and Prospects, vol 27. Springer, Singapore.

OLIVEIRA, G. T.; ANDRADE, C. E. S.; LEAL, I. C. L.; NASSI, C. D. e LINKE, C. C. (2014) **Redução de Emissões de Dióxido de Carbono com a Implementação do BRT Transoeste na cidade do Rio de Janeiro**. Anais do XXVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Curitiba.

Pandey, D., Agrawal, M. & Pandey, J.S. (2011). **Environ Monit Assess**. 178: 135. Springer, <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1678-y>.

PEREIRA, Henrique de Almeida (2009). **Transporte público e mudanças climáticas em belo horizonte: avaliação do impacto do projeto Bus Rapid Transit (BRT) para redução de emissão de gases de efeito estufa**. Monografia de Pós-graduação em Saneamento, Meio

Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte, 2009.

SANCHEZ, Z. Van der Meer; NAPPO, S. A. **Sequência de drogas consumidas por usuários de crack e fatores interferentes**. In: Revista Saúde Pública, 36(4), p. 420-430, 2002.

Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade – SEMAS – PA (2016) **Plano de Controle da Poluição por Veículos em Uso – PCPV do Estado do Pará**. Disponível em <https://www.semas.pa.gov.br/wp-content/uploads/2016/07/PCPV_IM_PA_16062016_FINAL.pdf>. Acessado em outubro de 2018.

SOARES, LUCÉLIA DOS REIS SANTOS (2017). **A dispersão metropolitana e seus efeitos sobre a mobilidade urbana nos principais corredores viários da região metropolitana de Belém-PA**. Dissertação (Mestrado). Instituto de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal do Pará, Belém.

TOBIAS, M.S.G.; RODRIGUES, B.N.; BORDALO, A.O. **Abordagem Comparativa da Mobilidade Individual por Ônibus na RMB: uma retrospectiva de 10 anos**. UNAMA. 2013.

Tyrinopoulos, Y. & Antoniou, C. (2013) **Factors affecting modal choice in urban mobility**. European Transport Research Review. Vol. 5: pp 27-39. <https://doi.org/10.1007/s12544-012-0088-3>.

UNDP (2017), **Human Development Report 2016: Human Development for Everyone, United Nations**, New York. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.18356/b6186701-en>>. Acessado em Maio de 2018.

UNFCCC (2015). **The Paris Agreement. Conference of the Parties Twenty-first session Paris, 30 November to 11 December 2015**. Disponível em <<http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/10a01.pdf>> Acessado em Maio de 2018.

United Nations (2015) **Transforming our world: the 2030 Agenda for sustainable development**. Disponível em <<https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld/publication>>. Acessado em Maio de 2018.

Wilson J. (2014) **Ecological Footprint**. In: Michalos A.C. (eds) Encyclopedia of Quality of Life and Well-Being Research. Springer, Dordrecht.

Vincent, William & Jerram, Lisa C. 2006. **The Potential for Bus Rapid Transit to Reduce Transportation-Related CO₂ Emissions**. Journal of Public Transportation, 9 (3): 219-237. DOI: <http://doi.org/10.5038/2375-0901.9.3.12>