MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL:
Transporte Coletivo com Propulsão Elétrica e Híbrida

CELSO RIBEIRO BARBOSA DE NOVAIS

FOZ DO IGUAÇU
2015

CELSO RIBEIRO BARBOSA DE NOVAIS

MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL:
Transporte Coletivo com Propulsão Elétrica e Híbrida

Estudo acerca das principais alternativas de tecnologias de mobilidade urbana para o transporte coletivo com ênfase na propulsão elétrica e híbrida.

Foz do Iguaçu
2015

O PROFISSIONAL

Celso Ribeiro Barbosa de Novais é engenheiro eletricista, graduado em 1984 na Universidade de Taubaté. Iniciou sua carreira na empresa EMBRATEL, na área de sistema digital de telecomunicação. Também trabalhou na empresa FURNAS CENTRAIS ELETRICAS S.A., atuando na área de sistema de supervisão e controle como responsável (i) pelo laboratório de manutenção de hardware (ii) e pelo desenvolvimento de software para as proteções digitais e sistema de controle do HVDC (link de corrente contínua em alta tensão) do Sistema de Transmissão da Energia da Usina de ITAIPU, para onde se transferiu posteriormente.

Na ITAIPU, executou atividades de desenvolvimento de hardware e software de sistemas digitais do Departamento Digital da Usina, merecendo destaque o desenvolvimento de todo hardware de aquisição e controle bem como o software básico do sistema de supervisão da Operação. Ainda pela ITAIPU, foi chefe da Divisão de Engenharia Eletrônica e Sistema de Controle da Superintendência de Engenharia de ITAIPU e realizou trabalhos na Europa visando melhorias no controle de qualidade do desenvolvimento de hardware e software de sistemas digitais a serem implantados na usina.

Desenvolveu patente internacional na área de eficiência energética, com patrocínio do BIRD e da ELETROBRAS, dentro do programa PROCEL, para criação de um sistema de iluminação pública inteligente gerenciada remotamente por computadores. Prestou, em duas oportunidades, serviços de engenharia e consultoria para empresas brasileiras, sendo a primeira no desenvolvimento de equipamento destinado à fabricação de isoladores de alta tensão e a segunda no desenvolvimento de sistema de monitoramento digital de protótipos de ar condicionado automotivo.

Adicionalmente, prestou serviço de consultoria ao grupo KWO, na Suíça, coordenando a produção de unidade geradora para a usina hidrelétrica de Grimsel I, com prestação de serviços de engenharia nos EUA, Brasil, Alemanha e Suíça.

Atualmente, é o chefe da Assessoria de Mobilidade Elétrica Sustentável da ITAIPU Binacional, vinculada ao Diretor Geral Brasileiro; atua também como Coordenador Geral do Convênio de Cooperação Tecnológica Internacional firmado entre a ITAIPU e a KWO; e como Coordenador Geral Brasileiro do Programa Veículo Elétrico pela ITAIPU.

Representa a Eletrobrás no IEC-e8, grupo constituído pelas 10 maiores empresas de energia mundial, nos quesitos Smart Grid e Veículos Elétricos.

ABREVIATURAS e SIGLAS

ABS - Anti-blocking System

ASR - Anti-slip Regulation

BEN - Balanço energético nacional

BRS - Bus Rapid Service - Serviço Rápido de Ônibus

BRT - Bus Rapid Service – Serviço Rápido de Ônibus

CA - Corrente Alternada

CC - Corrente Contínua

DERIN - Departamento de Relações Institucionais

DOD - Depth of Discharge - Profundidade de Descarga

EBS - Electronic Braking System

EMTA - Associação das Autoridades Européias de Transporte Metropolitano

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

EUCAR - European Council for Automotive R&D

EVCU - Unidade de Controle e Gerenciamento do Veiculo

FETRANSPOR - Federação das Empresas de Transportes Rodoviários do Leste-Meridional do Brasil

GPS - Global Positioning System - Sistema de Posicionamento Global

IEA - International Energy Agency - Agência Internacional de Energia

MCI - Motor de Combustão Interna

MT - Ministério dos Transportes

NREL - National Renewable Energy Laboratory

NTU - Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos

OEHE - Ônibus Elétrico Híbrido Plug-in a Etanol

SPNT - Secretaria de Política Nacional de Transportes

URBS - Urbanização de Curitiba

UITP - International Association of Public Transport

USABC - U.S. Council for Automotive Research LLC

VE - Veículo Elétrico

VEHP - Veículo Elétrico Híbrido Plug

VH - Veículo Híbrido

VLP - Veículo Leve sobre Pneu

VLT - Veículo Leve sobre Trilhos

ZEBRA - Zero Emission Batteries Research Activity

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Emissões de CO2 14
Figura 2 - Gráfico: Oferta Interna de Energia 15
Figura 3 - Gráfico: Utilização de energia no Brasil em 2013 16
Figura 4 - Consumo de energia nos transportes 16
Figura 5 – Vantagens da Utilização da Bicicleta 20
Figura 6 - Faixa Exclusiva para ônibus – Rio de Janeiro 23
Figura 7 - Implantação de BRS no Rio de Janeiro - 2013 24
Figura 8 - BRT em Curitiba - Pr 26
Figura 9 - VLT Low-floor "A1200-Kei" (*) em via reservada. 30
Figura 10 - VLT na cidade de Brest, França (*) 30
Figura 11 - VLT (Baselland Transport) em Hüslimatt, Suíça: Circulando (a) via reservada e em via exclusiva. 31
Figura 12 - (C) Light Rail Atlas/Rob van der Bijl, The Hague (NL), 25/12/2009 31
Figura 13- (C) Light Rail Atlas/Axel Kuehn, Camden (NJ) USA, 10/06/2005. 32
Figura 14 - Diagrama do trilho-guia(verde) e rodas guias (vermelho) 32
Figura 15 - Pneus guiados por trilhos: sistema utilizado no VLP Translohr 33
Figura 16 -VLP Translohr, da Alstom. 33
Figura 17 – Gabarito: BRT vs. VLP (modelo Translohr SP Prime) 34
Figura 18 - Raio de Curva: BRT vs. VLP (modelo Translohr SP Prime) 34
Figura 19 - Truque do material rodante do "MP 89" do Metrô de Paris 35
Figura 20 - Lausanne Metro line M2 based on MP 89 (Paris Métro). 35
Figura 21 - Trem "MP 89 CC" na linha 1 de estação de Bastille, Paris. 36
Figura 22 - Material rolante com pneus 36
Figura 23 - Ônibus articulado O-Bahn na Rota 544 37
Figura 24 - Roldana-Guia 37
Figura 25 - Sistema de direção dos ônibus guiados por canaleta 38
Figura 26 – Trem metropolitano – São Paulo 40
Figura 27 – Metrô – São Paulo 42
Figura 28 - Monotrilho de Las Vegas. 45
Figura 29 - Exemplo de alguns tipos de monotrilho 46
Figura 30 - Construção das guias do sistema monotrilho de Las Vegas 46
Figura 31 - Composição do monotrilho de Las Vegas 47
Figura 32 - Monotrilho de São Paulo 48
Figura 33 - Linha 15-Prata do Metrô de São Paulo sendo construída como o sistema de monotrilho 48
Figura 34 – Primeiro protótipo do Aeromóvel 51
Figura 35 – Diagrama esquemático do veículo estacionado. 51
Figura 36 – Desenho esquemático de um Bloco Padrão. 52
Figura 37 – MAGLEV COBRA. 56
Figura 38 – Levitação. 57
Figura 39 - Motores Elétricos Industriais 61
Figura 40 – Configuração Híbrido Série 68
Figura 41 – Configuração Híbrido Paralelo (Fonte: Lucena, 2011 68
Figura 42 - Configuração Híbrido Série-Paralelo 69
Figura 43 - Configuração Híbrido Complexo ou de Potência Dividida 70
Figura 44- Rotas para Produção de Hidrogênio 77
Figura 45- Mecanismos das diferentes CaCs 79
Figura 46 – Velocidade vs. Viagens (na Direção e Horário de Pico) 82
Figura 47 – Capacidade de Transporte de diferentes modos 83
Figura 48 – Comparação entre os meios de transporte usados nas grandes cidades do mundo 84
Figura 49 - Consumo Energético dos Sistemas de Transporte 85
Figura 50 – Quadro Resumo de Comparação de Modalidades 86
Figura 51 - Custo para implantação 88
Figura 52 – Voo inaugural do 1º Avião Elétrico 100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Os 12 maiores carregamento de Metro no mundo.....43
Tabela 2 - As 10 maiores linhas de Metro do mundo 44
Tabela 3 - Avaliação dos Sistemas de Propulsão Elétrica.....64
Tabela 4 – Características de diversos tipos de Veículos Elétricos. 66
Tabela 5 - Comparação do desempenho de alguns sistemas de bateria. 72
Tabela 6 – Comparativo entre tipos de bateria de lítio. 74
Tabela 7 - Tipos de Células a Combustível, Propriedades e Principais Aplicações 78
Tabela 8 – Comparações de Tecnologias de Células a Combustível 80
Tabela 9 - Tabela Comparativa: BRT, VLT, Monotrilho e Metrô 85
Tabela 10 – Alguns exemplos de projetos pilotos com ônibus com células a combustível 117

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO **12**

1. MOBILIDADE URBANA: ABORDAGEM SOB O PONTO DE VISTA ENERGÉTICO E AMBIENTAL **14**

2. MODOS DE TRANSPORTE URBANO **18**

2.1. NÃO MOTORIZADOS **18**

2.1.1. Pedestre **18**

2.1.2. Bicicleta **19**

2.2. MOTORIZADOS **20**

2.2.1. Ônibus **21**

2.2.1.1. Vantagens **21**

2.2.1.2. Desvantagens **22**

2.2.1.3. Capacidade **22**

2.2.1.4. Aplicação **22**

2.2.1.5. Custo de implantação **22**

2.2.1.6. Opinião do autor **22**

2.2.2. Bus Rapid Service **23**

2.2.2.1. Vantagens **24**

2.2.2.2. Desvantagens **24**

2.2.2.3. Capacidade **25**

2.2.2.4. Aplicação **25**

2.2.2.5. Custo de Implantação **25**

2.2.2.6. Opinião do autor **25**

2.2.3. Bus Rapid Transit **25**

2.2.3.1. Vantagens **27**

2.2.3.2. Desvantagens **27**

2.2.3.3. Capacidade **27**

2.2.3.4. Aplicação **27**

2.2.3.5. Custo de Implantação **27**

2.2.3.6. Opinião do Autor **28**

2.2.4. Veiculo Leve Sobre Trilhos **28**

2.2.4.1. Tipos de VLT **29**

2.2.4.1.1. Exemplos **30**

2.2.4.1.2. Veículo Leve Sobre Pneus **32**

2.2.4.1.3. Outros sistemas de pneus guiados por trilhos **35**

2.2.4.1.4. Ônibus Guiados **36**

2.2.4.2. Vantagens **38**

2.2.4.3. Desvantagens **38**

2.2.4.4. Capacidade **38**

2.2.4.5. Aplicação 39
2.2.4.6. Custo de Implantação 39
2.2.4.7. Opinião do Autor 39
2.2.5. Trem 39
2.2.5.1. Tipos 40
2.2.5.1.1. Trens de turismo: 40
2.2.5.1.2. Trens regionais: 41
2.2.5.1.3. Trens de alta velocidade: 41
2.2.5.2. Vantagens 41
2.2.5.3. Desvantagens 41
2.2.5.4. Capacidade 41
2.2.5.5. Aplicação 41
2.2.5.6. Custo de Implantação 42
2.2.5.7. Opinião do Autor 42
2.2.6. Metrô 42
2.2.6.1. Vantagens 44
2.2.6.2. Desvantagens 44
2.2.6.3. Capacidade 44
2.2.6.4. Aplicação 44
2.2.6.5. Custo de Implantação 45
2.2.6.6. Opinião do Autor 45
2.2.7. Monotrilho 45
2.2.7.1. Projeto de Monotrilho na cidade de Sao Paulo. 47
2.2.7.2. Vantagens 49
2.2.7.3. Desvantagens 50
2.2.7.4. Capacidade 50
2.2.7.5. Aplicação 50
2.2.7.6. Custo de Implantação 50
2.2.7.7. Opinião do Autor 50
2.2.8. Aeromóvel 50
2.2.8.1. Vantagens 53
2.2.8.2. Desvantagens 53
2.2.8.3. Capacidade 53
2.2.8.4. Aplicação 53
2.2.8.5. Custo de Implantação 54
2.2.8.6. Opinião do Autor 54
2.2.9. MAGLEV 54
2.2.9.1. Técnicas de Levitação. 55
2.2.9.1.1. Levitação Eletrodinâmica (EDL) 55

2.2.9.1.2. 2.2 Levitação Eletromagnética (EML) 55
2.2.9.1.3. 2.3 Levitação Magnética Supercondutora (SML) 55
2.2.9.2. Projeto MAGLEV COBRA. 56
2.2.9.3. Vantagens 57
2.2.9.4. Desvantagens 58
2.2.9.5. Capacidade 58
2.2.9.6. Aplicação 58
1.1.1.1. Custo de Implantação 59
1.1.1.2. Opinião do autor 59
3. TECNOLOGIAS ASSOCIADAS À MOBILIDADE 59
3.1. TECNOLOGIAS DE TRAÇÃO ELÉTRICA 60
3.1.1. Principais Tipos de Máquinas Elétricas 61
3.1.1.1. Motores de Corrente Contínua 62
3.1.1.2. Motores de Indução – Tipo Gaiola de Esquilo 62
3.1.1.3. Motores Síncronos de Ímã Permanente 63
3.1.1.4. Motores de Relutância 63
3.1.2. Algumas Considerações Para Seleção Do Tipo De Motor 64
3.1.3. Veículos Elétricos e Híbridos 65
3.1.3.1. Tipos de Veículos Elétricos Híbridos 66
3.1.3.1.1. Arquiteturas 67
3.1.3.1.1.1. Hibrido série 67
3.1.3.1.1.2. Hibrido Paralelo 68
3.1.3.1.1.3. Hibrido Série-Paralelo 69
3.1.3.1.1.4. Hibrido Complexo ou Híbrido de Potência DivididA 69
3.1.3.1.2. Grau de Hibridização 70
3.1.3.1.2.1. Híbrido Micro (Micro Hybrid) 70
3.1.3.1.2.2. Híbrido Leve (Mild Hybrid) 70
3.1.3.1.2.3. Híbrido Pleno (Full Hybrid) 71
3.2. TECNOLOGIAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA 71
3.2.1. Baterias Chumbo-Ácido 73
3.2.2. Baterias de Níquel (Alcalinas) 73
3.2.3. Baterias de Lítio 74
3.2.4. Baterias Lítio-Íon 74
3.2.5. Lítio-Polímero 75
3.2.6. Bateria de Sódio 75
3.2.7. Bateria NaNiCl 75
3.3. TECNOLOGIA DO HIDROGÊNIO 76
3.3.1. Produção de Hidrogênio e Células a Combustível 77
3.3.2. Célula a Combustível 78

4. MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL 81
4.1. COMPARAÇÃO ENTRE MODALIDADES 82
4.2. DIRETRIZES PARA FOMENTO 90
4.2.1. Linhas de pesquisa Interessantes para o Brasil 91
4.2.1.1. Sistemas Elétricos Híbridos **92**
4.2.1.2. Materiais Ferromagnéticos com Terras Raras **93**
4.2.1.3. Gestão Digital de mobilidade **93**
4.2.1.4. Acessibilidade universal para o transporte público **94**
4.2.2. Cadeia de produção 96
4.2.2.1. Principais dificuldades da indústria nacional **99**
4.2.2.2. Grandes Oportunidades **99**
CONSIDERAÇÕES FINAIS 103
BIBLIOGRAFIA 105
APENDICE 110

APRESENTAÇÃO

O objetivo deste estudo é apresentar informações acerca das principais alternativas de tecnologias de mobilidade urbana para o transporte coletivo com ênfase na propulsão elétrica e híbrida.

O público alvo deste relatório constitui-se de técnicos, analistas e gestores de órgãos de fomento com interesse na inserção de tecnologia em benefício da mobilidade urbana.

O relatório abrange aspectos diversos da mobilidade urbana focando o uso da tecnologia, considerando as questões de acessibilidade e de integração de modais de mobilidade, para viabilizar um transporte público eficiente e de qualidade.

A estrutura deste relatório fornece conceitos e informações acerca das modalidades usadas para a mobilidade urbana nos capítulos 1 e 2, reservando os capítulos de 3 a 5 para analisar as tecnologias e a questão da sustentabilidade e, por fim, os capítulos 6 e 7 para indicar linhas de pesquisa interessantes, apontar às áreas promissoras e apresentar as considerações finais.

O capítulo 1 pretende abordar a Mobilidade Urbana sob o ponto de vista energético e ambiental. No capítulo 2 buscou-se apresentar os principais componentes do sistema de mobilidade urbana.

Os capítulos 3 e 4 demonstram as principais tecnologias associadas à mobilidade. Os aspectos sustentáveis da mobilidade são tratados no capítulo 5.

O capítulo 6 aponta diretrizes que merecem apoio da FINEP, indicando as áreas nas quais a FINEP pode fazer a diferença, prestando seu apoio, visando a melhoria da mobilidade.

Finalmente, nas considerações finais, são apresentadas as respostas às questões levantadas e outros apontamentos possíveis com base no resultado da pesquisa.

O Engenheiro Celso Ribeiro Barbosa de Novais visou não só contribuir, através deste estudo, para a consistência técnica necessária para o processo de elaboração do Planejamento Operacional para o período 2015 a 2018 do Departamento de Fomento aos Institutos de Pesquisa, mas também agregar conhecimento e criar novos paradigmas sobre o tema.

INTRODUÇÃO

O termo “mobilidade” está intrínseco à existência humana, sendo que a urbanização acentuou a necessidade de uma mobilidade eficiente para viabilizar que os cidadãos executem as atividades básicas do dia a dia.

O continuo crescimento das populações, requer ações de ordem pública para garantir o equilíbrio entre a oferta e a demanda de transporte público de qualidade, para evitar um colapso nos meios de transporte, que é cada vez mais eminente pela adoção prioritária de transportes individuais, surgindo desta forma um dos grandes desafios das cidades contemporâneas em todas as partes do mundo: ofertar uma mobilidade urbana de qualidade.

A Constituição Federal de 1988 atribui à União, através do artigo 21, inciso XX, o dever de instituir diretrizes para o desenvolvimento das cidades. Este dever foi cumprido com a instituição da Política Nacional de Mobilidade Urbana – PNMU, através da Lei 12.587/2012.

Esta lei, levando em consideração o inciso XX do art. 21 e o art. 182 da Constituição Federal, tem como objetivo integrar os diferentes modos de transporte e melhorar a acessibilidade e a mobilidade das pessoas e cargas no território municipal.

Outrossim, a mobilidade urbana é um tema bastante amplo, pois vai além da discussão acerca de transporte urbano e alcança outras questões de desenvolvimento urbano, como o uso e a ocupação do solo, disponibilidade de infraestrutura, características do povoamento, enfim, vários fatores que impactam diretamente na saúde e na qualidade de vida das pessoas.

Considerando a amplitude do tema este estudo teve como foco, sem contrariar as demais vertentes da Lei 12.587/2017, um princípio, uma política e um objetivo da PNMU. São eles:

- Princípio: Art 5º, item II - desenvolvimento sustentável das cidades, nas dimensões socioeconômicas e ambientais;
- Política: Art 6º, item V - incentivo ao desenvolvimento científico-tecnológico e ao uso de energias renováveis e menos poluentes; e
- Objetivo: Art 7º, item IV - promover o desenvolvimento sustentável com a mitigação dos custos ambientais e socioeconômicos dos deslocamentos de pessoas e cargas nas cidades.

Considerando que, de acordo com o IBGE (2010), 80% da população brasileira vive em cidades e que o modelo de urbanização aqui empregado não possui, em geral, o planejamento como direcionados, a questão da mobilidade urbana deve ser avaliada não somente por um único

aspecto e sim de forma conjunta com vários fatores: como a quantidade de veículos, transporte individual, transporte público, adensamento residencial e populacional, infraestrutura viária, engenharia de transito, legislações e educação de transito e, especialmente, as questões tecnológicas e ambientais.

Neste sentido, o presente estudo, após uma explanação acerca do cenário atual e as principais modalidades de transporte urbano, apresenta como objetivo geral, apontar as principais alternativas de tecnologias de mobilidade urbana para o transporte coletivo com ênfase, sem abrir mão das demais, na propulsão elétrica e híbrida.

Quanto aos objetivos específicos, apresentam-se os seguintes:

a. Mapear o estágio evolutivo do tema proposto e do conjunto de tecnologias abrangidas;

b. Destacar as vantagens e desvantagens destas tecnologias;

c. Identificar gargalos e resultados esperados com a solução dos mesmos;

d. Apontar adequabilidade das tecnologias à realidade brasileira;

e. Identificar os principais atores envolvidos e relacionar as principais referências sobre o tema; e

f. Recomendar ações na cadeia produtiva para viabilizar a utilização efetiva dessas inovações.

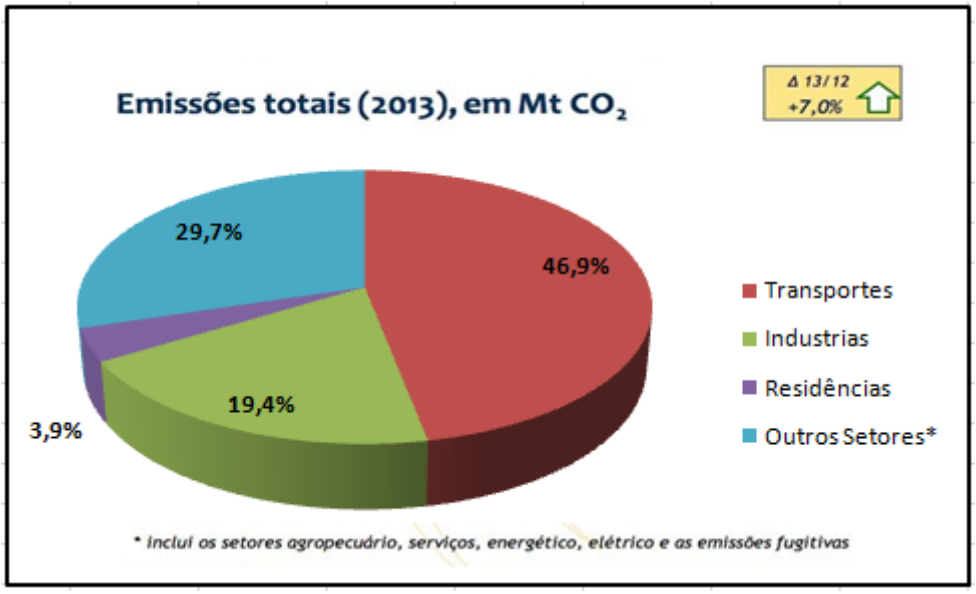
1. MOBILIDADE URBANA: ABORDAGEM SOB O PONTO DE VISTA ENERGÉTICO E AMBIENTAL

A mobilidade sustentável está intimamente ligada ao consumo eficiente da energia, tendo como consequência a redução dos custos de transporte e/ou a queda dos índices de emissões. O consumo eficiente de energia e a redução de emissões estão intimamente ligados à adoção de tecnologias de propulsão elétrica.

Em 2013, a oferta interna de energia no Brasil (total da energia demandada) atingiu 296,2 Mtep (Milhões de toneladas equivalentes de petróleo). As emissões antrópicas associadas à matriz energética atingiram 459 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (Mton CO_2-eq), sendo a maior parte 215,3 Mton CO_2 gerados no setor de transporte.

Considerando que no Brasil o setor de transporte é responsável por 46,9% das emissões, ações tecnológicas efetivas para reduzir as emissões devem concentrar esforços principalmente neste setor.

Figura 1 - Emissões de CO2



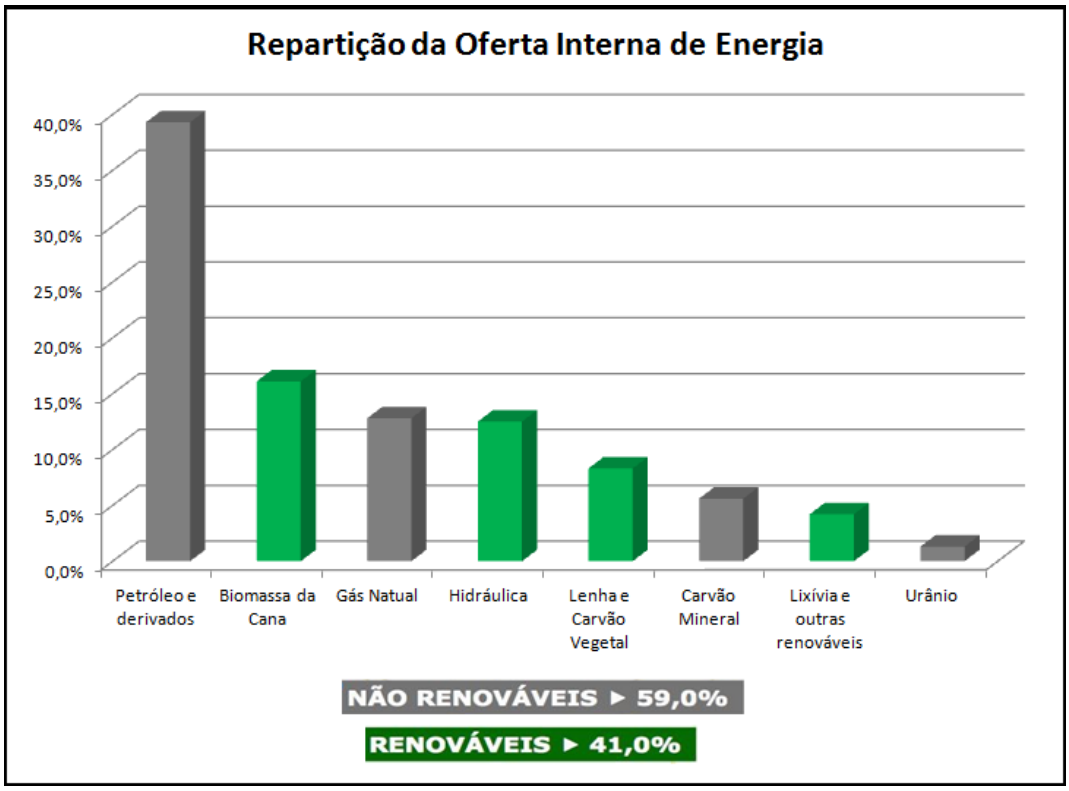
Fonte: Autoria própria com dados da EPE – BEN 2014

Nas ultimas décadas, o crescimento desordenado alcançado com o uso irracional dos recursos naturais tem, especialmente devido ao aquecimento global, direcionado o planeta a caminho de um colapso.

Estudos realizados pelo International Energy Agency (IEA), 2012, no artigo Energy Technoliogy Perpectives, indicam que atualmente, a mobilidade das pessoas e dos bens é responsável por 20% do uso total de energia primária do planeta e 1/4 das emissões de CO_2.

Segundo informações do Balanço Energético Nacional de 2014 elaborado pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética), que reúne as informações consolidadas do uso de energia ano base 2013 no Brasil, a oferta de energia no Brasil em 2013, foi composta de 41% de energia renováveis, merecendo destaque a biomassa da cana (16,1%) e a hidroeletricidade (12,5%), e 59% de fontes não renováveis, dentre as quais o petróleo e seus derivados aparecem com uma discrepante liderança, uma vez que apresenta 39,3% de participação.

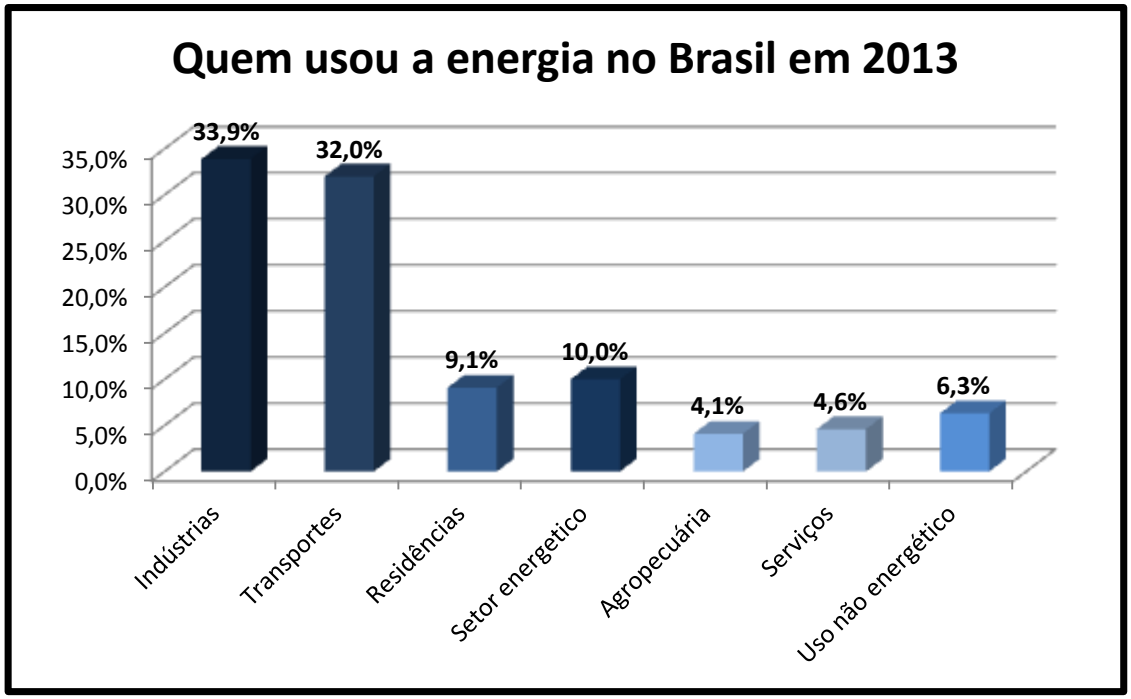
Figura 2 - Gráfico: Oferta Interna de Energia



Fonte: Autoria própria com dados da EPE – BEN 2014

O EPE apresenta o transporte como o segundo maior consumidor de energia no Brasil, com 32% do consumo, posicionando-se apenas 1,9% abaixo do parque Industrial que, como maior consumidor, necessitou de 33,9% da energia brasileira.

Figura 3 - Gráfico: Utilização de energia no Brasil em 2013

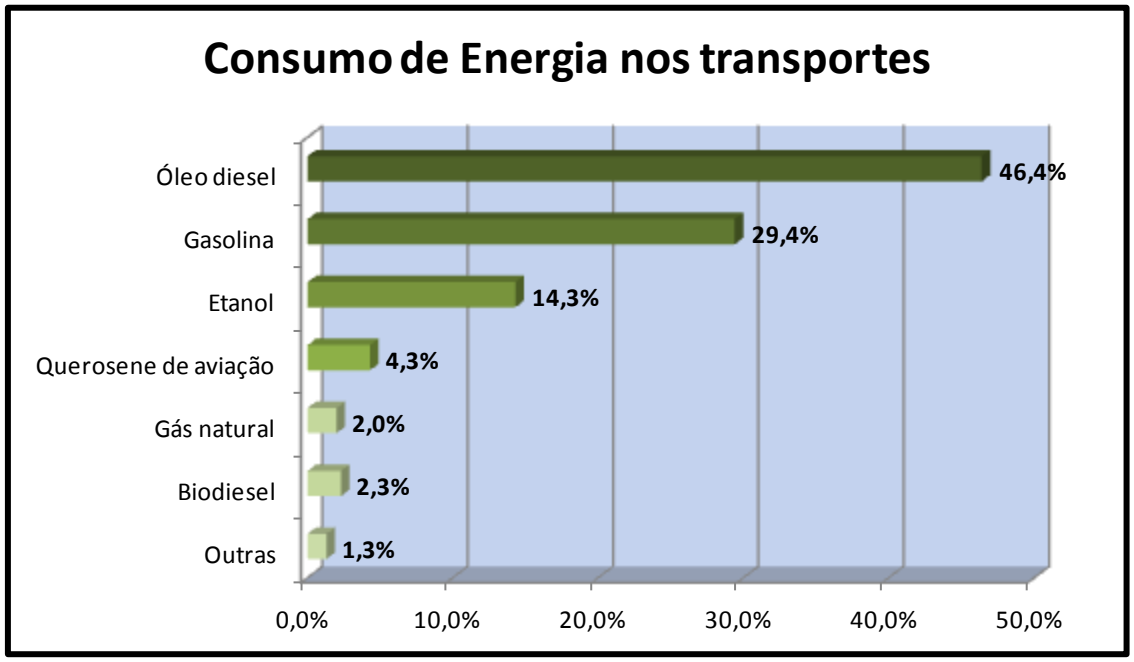


Fonte: EPE - BEN 2014

Aproximadamente 75% da energia consumida nos transportes foram supridas por Diesel e Gasolina, seguidos de longe pelo Etanol.

Vale lembrar que a energia elétrica, que representa apenas 0,19% do total, está inclusa na parcela denominada outros que representa apenas 1,3% do total, conforme demonstrado abaixo:

Figura 4 - Consumo de energia nos transportes



Fonte: Autoria própria com dados da EPE – BEN 2014

A opção pela mobilidade individual, feita por grande parte da população residente nos grandes conglomerados urbanos, demonstra não ser uma solução eficiente diante da necessidade de circulação. Uma vez que, além do desperdício de tempo e combustível, a poluição gerada pela queima de combustíveis fósseis para mover tantos veículos, contribui para o aumento dos problemas de saúde, perda de produtividade e má ocupação dos espaços públicos, causando os não raros engarrafamentos e até à paralisia do trânsito.

Entretanto, a escolha pelo transporte individual é fruto da deficiência do transporte público, que é insuficiente e nem sempre devidamente integrado. Tal precariedade leva as pessoas a trabalhar com afinco e determinação visando à aquisição de um automóvel, mesmo antes de adquirir um imóvel, utilizando suas economias ou contraindo dívidas, com a ilusão de se livrar da dependência do transporte público e conquistar a mobilidade de qualidade. Porém, ao alcançar este objetivo, particularmente nos grandes centros, o cidadão inclui no sistema viário um veiculo que pesa mais de 1000 kg, para transportar, em media, 1,4 pessoa, que ficará travado no meio de enormes congestionamentos, gastando energia e gerando poluição adicional à cidade, o que não é nem um pouco sustentável.

2. MODOS DE TRANSPORTE URBANO

Este capítulo apresenta os modos de transporte urbano. Indicando suas características, pontos fortes e fracos, capacidade e aplicabilidade. Os modos de transporte são divididos em modos não motorizados e motorizados.

2.1. NÃO MOTORIZADOS

Responsável por, de acordo com informações da ANTP, 2012, 40% dos deslocamentos urbanos no Brasil, o modo não motorizado é composto por deslocamentos à pé e de bicicleta e, geralmente, é utilizado para deslocamentos entre pontos de menor distância entre si. O relevante número de 2 em cada cinco deslocamentos pode-se justificar no fato de que, de acordo com o IBGE, 2010, 70% dos municípios brasileiros terem menos de 20.000 habitantes e, também, porque 35% da população brasileira reside em cidades de até 50.000 habitantes.

2.1.1. Pedestre

O deslocamento a pé faz parte de vida de todos brasileiro, seja para se deslocar ao trabalho, à padaria, ou até mesmo, até o local onde embarcará em outro modo de transporte. Nas cidades menores grande parte das pessoas não utiliza nenhum meio motorizado para se deslocar, realizando com seu próprio esforço os deslocamentos necessários para realização das atividades de seu dia a dia.

Apesar da importância deste modo de deslocamento, muitas vezes ele é esquecido pelos tomadores de decisão e não conta com investimento necessário para que as calçadas, passarelas, calçadões, faixas de pedestre e pontos de acessibilidade para pessoas com mobilidade reduzida, ofereçam a segurança, a praticidade e o conforto que a parcela da população que usa esta modalidade de deslocamento merece.

Desta forma, a falta de segurança e de infraestrutura adequada apresentam-se como pontos fracos deste modo de deslocamento, enquanto que a não emissão de poluentes, a possibilidade de realizar atividades físicas periódicas e a flexibilidade surgem como os pontos positivos.

Grandes cidades do mundo são pródigas de exemplos de ruas e avenidas que, tornando-se exclusivas para pedestres, proporcionaram redução de acidentes na região central e impulsionaram os ganhos econômicos do comércio de varejo.

Portanto, a realização de manutenção das calçadas, a melhoria das condições de iluminação pública, a programação semafórica priorizando o pedestre e a exclusão de desníveis e obstáculos no local de trânsito de pedestres, funcionariam como um estímulo a este importante tipo de deslocamento e, consequentemente, diminuiria o número de veículos nas ruas e os, inevitáveis, engarrafamentos.

2.1.2. Bicicleta

A Lei 12.567/2012, visando a melhora na qualidade de vida do cidadão e a redução dos congestionamentos, prevê, em seu artigo 23, que os sistemas de mobilidade urbana favoreçam, entre outras alternativas, o uso das bicicletas.

De acordo com a SeMob, a bicicleta é um dos meios mais eficientes já inventados: a tecnologia mais apropriada para distâncias curtas com baixíssimo custo operacional. Além disso

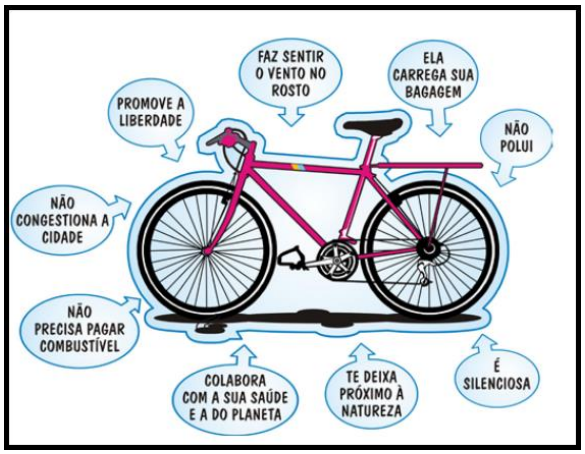
> "Uma pessoa pedalando viaja duas vezes mais rápido, carrega quatro vezes mais carga e cobre três vezes a distância percorrida por uma pessoa caminhando. A bicicleta não emite poluentes e contribui para fazer da cidade um espaço livre de congestionamentos. Do ponto de vista urbanístico, o uso da bicicleta nas cidades reduz o nível de ruído no sistema viário; propicia maior equidade na apropriação do espaço urbano destinado à circulação; libera mais espaço público para o lazer; contribui para a composição de ambientes mais agradáveis, saudáveis e limpos; contribui para a redução dos custos urbanos devido à redução dos sistemas viários destinados aos veículos motorizados; e aumenta a qualidade de vida dos habitantes, na medida em que gera um padrão de tráfego mais calmo e benefícios à saúde de seus usuários".(BRASIL, 2015)

Em todo o mundo o uso de bicicletas vem crescendo significativamente. A Holanda, por exemplo apresenta um cenário no qual um a cada quatro deslocamentos são realizados utilizando-se a bicicleta. A capital alemã, por sua vez, orgulha-se de contar com mais de 700Km de ciclovias. Outro exemplo de boa prática pode ser encontrado na França, onde empresas, visando estimular o uso de bicicletas por parte dos empregados, pagam vinte e cinco centavos de euro por quilometro rodado no deslocamento casa-trabalho.

No Brasil, as 60 milhões de bicicletas são utilizadas, principalmente, nos pequenos centros urbanos, tendo seu potencial não aproveitado nos grandes centros por motivos como a falta de infraestrutura e a falta segurança. O uso das bicicletas acaba sendo priorizado apenas pelas classes de renda baixa, que economizam o valor do vale transporte, utilizando, geralmente, a bicicleta no deslocamento de casa para o trabalho, especialmente em viagens de pequena distância.

De acordo com a SeMob, a bicicleta é um dos meios mais eficientes já inventados: a tecnologia mais apropriada para distâncias curtas.

Figura 5 – Vantagens da Utilização da Bicicleta



Fonte: CREA- ES

Contudo, por ser um dos modos de deslocamento mais frágeis do cenário urbano, esta modalidade apresenta como oportunidade de melhoria a necessidade de uma maior segurança física dos seus usuários no trânsito e a proteção dos veículos contra furto ou roubo.

Portanto, um modo de deslocamento com inúmeras vantagens para o complicado cenário atual da mobilidade urbana acaba sendo subutilizado por deficiências estruturais e de planejamento. Fazendo-se necessário a adoção de medidas específicas para tornar o modo mais seguro, como a redução de velocidade nas vias, e a criação de infraestrutura, como estabelecimento de estacionamentos em local específico de modo a integrar a modalidade à outros de alta capacidade para aumentar a viabilidade desta modalidade e acima de tudo proporcionar a melhora da qualidade de vida da população.

2.2. MOTORIZADOS

Composto por automóveis, motos e pelo transporte coletivo, de acordo com dados da ANTP, 2012, o modo motorizado de transporte urbano é responsável por 60% dos deslocamentos urbanos no Brasil.

Ainda neste modo de transporte urbano, é possível dividir os sistemas de mobilidade em dois grupos: Grupo 1 - Os sistemas rigidamente guiados e Grupo 2 - Os sistemas não rigidamente guiados.

Os Sistemas Rigidamente Guiados são compostos pelos meios de transportes orientados por trilhos, cabos, corredores ou tuneis, não se fazendo necessária a presença de um motorista

para definir a direção. Normalmente, eles possuem condutores com a função de supervisão e atuação em casos de emergência, além de definição da velocidade, fechamento e abertura de portas nas estações, partidas e paradas dos veículos, emissão de alertas e, em alguns casos, interação com os passageiros. Este grupo é composto, basicamente, por Veículo Leve sobre Trilhos - VLT, Monotrilhos, Veículos Leves sobre Pneus - VLP, Metrô e trens de media ou alta velocidade.

Os Sistemas Não Rigidamente Guiados são compostos pelos meios de transporte nos quais é imprescindível o motorista para definir a direção, velocidade, parada e partida entre outras funções típicas. Este grupo é composto por *Bus Rapid Transit* - BRT, Sistema de Ônibus convencional, Corredores Reservados de Ônibus, vans, táxis e todos os demais veículos com aplicação de transporte urbano.

2.2.1. Ônibus

O ônibus pode ser considerado o meio de transporte urbano mais difundido no mundo. De acordo com a Mercedes Bens do Brasil (1987), as causas desta ampla difusão são:

- Requer menor investimento inicial do que sistemas sobre trilhos;
- Por sua natureza, ser meio essencial de transporte;
- Flexibilidade na adequação de itinerários e expansão de trajetos;
- Rapidez de implantação;
- Possibilidade de, em condições prioritárias, transportar demandas elevadas e atingir altas velocidades; e
- Ser operado, em sua maioria, por empresas privadas e apenas regulamentado por órgãos públicos.

De acordo com a Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos (NTU), a frota de ônibus no Brasil é de 107.000 veículos, operados por 1800 empresas que geram 537.000 empregos e atendem 40 milhões de passageiros por dia.

2.2.1.1. Vantagens

O sistema convencional de ônibus possibilita implantação em curto prazo e baixo custo, não apresenta necessidade de desapropriação e pode atender demanda de passageiros residentes em áreas remotas e de difícil acesso.

2.2.1.2. Desvantagens

Quando empregado no sistema convencional de transporte, ou seja, realizando operação em tráfego misto, contando com estrutura simplificada de embarque e desembarque, apresenta as seguintes desvantagens: Embarque e desembarque demorado, baixa velocidade operacional, limitação de atendimento a altas demandas e sistema viário precário para as necessidades de trafegabilidade deste tipo de veículo.

2.2.1.3. Capacidade

Utilizando vias compartilhadas, o sistema convencional pode transportar até 4.800 passageiros por hora por sentido (NTU, 2009).

2.2.1.4. Aplicação

Apesar das desvantagens já demonstradas, o sistema convencional deve ser utilizado como alimentador para os Terminais Intermodais de Transporte, alcançando locais de difícil acesso para as outras modalidades.

2.2.1.5. Custo de implantação

Não há custo de implantação de infraestrutura, uma vez que utiliza as vias já existentes. Restando, desta forma, o custo da frota, da adequação do sistema viário, quando necessário, da criação dos pontos de parada e da garagem de ônibus, não ultrapassando R$ 5,5 Milhões/Km.

2.2.1.6. Opinião do autor

O aumento da eficiência e eficácia do transporte coletivo urbano realizado por ônibus, que pode ser obtido modernizando-se o veículo, a infraestrutura e a forma de utilização, além de sua integração às demais modalidades de transporte e avanços tecnológicos relativos à redução de emissões, apresenta-se como uma solução simples e pouco onerosa para garantir a acessibilidade da população ao trabalho, à oferta de serviços, enfim, às oportunidades oferecidas pelo conglomerado urbano.

2.2.2. Bus Rapid Service

O Serviço Rápido de Ônibus (BRS – Bus Rapid Service), a popular faixa exclusiva para ônibus, consiste em um sistema de transporte coletivo de passageiros, de baixo custo de implantação, que apresenta sensível eficácia e consiste na priorização e racionalização do transporte, permitindo um aumento na velocidade do deslocamento e, consequentemente, redução no tempo de viagem dos passageiros.

Figura 6 - Faixa Exclusiva para ônibus – Rio de Janeiro

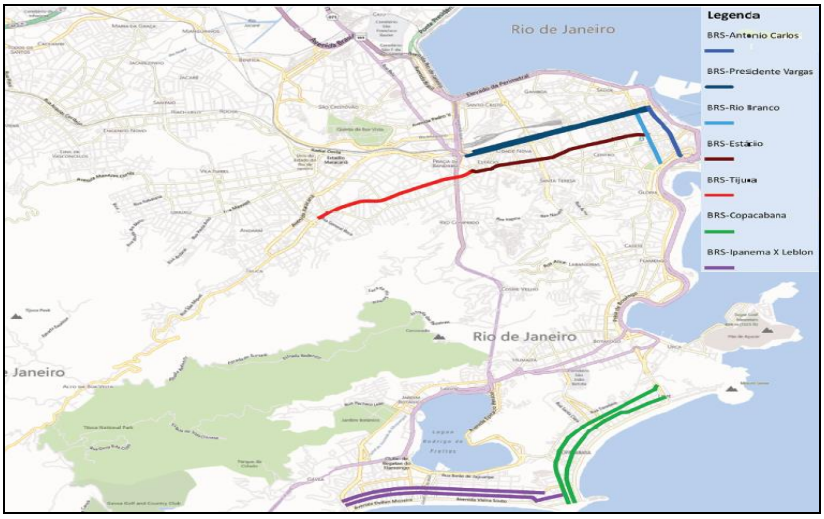


Fonte: FETRANSPOR

As principais características do BRS são:

- Sistema viário priorizar o transporte coletivo, com implantação de faixas exclusivas, possibilitando maior fluência e aumento da velocidade operacional;
- Otimização da frota, reduzindo o número de viagens, escalonando os pontos de parada e ampliando a ocupação dos ônibus;
- Ampla sinalização (horizontal e vertical) e fiscalização; e
- Fornecimento constante de informações aos usuários.

Figura 7 - Implantação de BRS no Rio de Janeiro - 2013



Fonte: FETRANSPOR

De acordo com a FETRANSPOR, 40% dos usuários de ônibus do Rio de Janeiro são, atualmente, beneficiados pelo BRS, sendo importante ressaltar que pesquisa realizada em 2012 pela mesma instituição indica que 63% dos entrevistados avaliam o BRS, implantado no Rio de Janeiro, como bom ou ótimo. Além, disso outra questão desta mesma pesquisa aponta que para 65% dos entrevistados a principal vantagem do BRS é diminuir o tempo do percurso.

2.2.2.1. Vantagens

As principais vantagens deste sistema são: Redução de emissões de poluentes e do consumo de combustível; baixo custo e curto prazo de implantação; redução de engarrafamentos; aumento da velocidade operacional, redução no tempo das viagens e não apresentar necessidade de desapropriações.

2.2.2.2. Desvantagens

Contudo, ao implantar um sistema de BRS enfrenta-se uma restrição diante do atendimento de altas demandas e evidencia-se uma vulnerabilidade de invasões à faixa exclusiva por veículos particulares. Além disso, apresentam-se como desvantagens desta modalidade:

- Pouca eficiência das linhas de ônibus no corredor;
- Velocidades médias no corredor prejudicada pela formação de filas nos pontos de parada e/ou pela não priorização nos cruzamentos;
- Confusão no embarque e desembarque, pois não há um local específico para a parada; e

- Falsa demanda nas plataformas, pois os passageiros não são atendidos por qualquer veículo, mas, somente por uma linha específica.

2.2.2.3. Capacidade

Não apresenta grandes avanços em relação ao sistema convencional, pois os maiores ganhos em detrimento àquele sistema é a redução do tempo das viagens e redução de custos. Sendo que, 10.000 pass/hora/sentido apresenta-se como uma capacidade satisfatória para sistemas que operam com linhas convencionais.

2.2.2.4. Aplicação

O sistema de corredores apresenta-se como uma solução intermediária em cidades, ou em locais de determinada cidade que não possuam demanda para um BRT. De acordo coma NTU, é recomendável para casos de sobreposição de serviços e fluxo de veículos superiores a 200 veículos por hora e sentido.

2.2.2.5. Custo de Implantação

Considerando que o sistema BRS difere em poucos pontos do sistema convencional, mantendo os problemas de pagamento da passagem dentro do veículo, de embarque confuso e fora de nível, o custo de implantação apresenta-se como bastante similar ao sistema convencional.

2.2.2.6. Opinião do autor

Desta forma, os benefícios são sensíveis no que se refere ao menor tempo de viagem para os passageiros de ônibus e o menor custo operacional do sistema, devido á economia de combustível e menor desgaste dos ônibus. Entretanto, para a resolução dos problemas apresentados por este sistema, juntamente com as intervenções físicas e operacionais, seria necessário racionalizar o sistema de modo à transformá-lo em um BRT, possibilitando, deste modo, o atendimento à maiores demandas.

2.2.3. Bus Rapid Transit

O Transporte Rápido por Ônibus (BRT – Bus Rapid Transit) consiste em um sistema de transporte coletivo de passageiros que, baseado na combinação de características que lhe garante conforto, seguro e rapidez, oferece uma mobilidade urbana voltada ao atendimento das necessidades dos usuários. De acordo com o Manual do BRT, 2008, isto é possível devido à

provisão de infraestrutura segregada com prioridade de passagem, operação rápida e frequente, além de excelência em marketing e serviço do usuário.

Figura 8 - BRT em Curitiba - Pr



Fonte: URBS

As principais características que classificam um sistema de transporte como BRT são:

- Ônibus de alta capacidade, atendendo até 270 passageiros, nos casos de veículos biarticulados, com velocidade operacional satisfatória por rodar em vias exclusivas e, com isso, reduzir o tempo da viagem;
- Estações de embarque e desembarque protegidas contra intempéries, apresentando maior segurança e, em alguns casos, conveniências;
- Tempo de embarque reduzido através do embarque em nível e da cobrança referente à viagem ocorrer antes do embarque no veículo; e
- Sistemas efetivos de controle, possibilitando sincronização dos semáforos e fornecimento de informações precisas e em tempo real aos usuários.

Este sistema, com as características acima descritas, mas, ainda não possuindo este nome, teve sua origem em Curitiba, na década de 1970, porém enfrentou certa resistência, uma vez que especialistas questionavam sua aplicabilidade em cidades de grande porte. Apenas no ano 2000, quando Bogotá implantou um sistema de BRT que atende, dependendo da fonte, de 30.000 a 42.000 passageiros/hora/sentido, porém demonstrando problemas quando o *headway*

(intervalo entre ônibus) é inferior a 1 minuto, e tornou-se, junto com a capital paranaense, referência mundial no tema e atestou, de certa forma, que o BRT pode ser utilizado em cidades de grande porte.

De acordo com o BRT Data, atualmente, o BRT atende, aproximadamente, 32 milhões de passageiros por dia, em 190 cidades, espalhadas pelos cinco continentes e alcançando 4,9 mil quilômetros de extensão, sendo, de acordo com a NTU, 919,9 Km no Brasil em 27 cidades.

2.2.3.1. Vantagens

Por outro lado, o sistema BRT, apesar de ser um sistema de ônibus, opera nos mesmos moldes do metrô, entretanto, de acordo com o Manual do BRT, 2008, custando de 4 a 20 vezes menos que um sistema de veículos leves sobre trilho (VLT) ou, ainda, entre 10 a 100 vezes menos que um sistema de metrô. Além disso, considerando os controles existentes, é possível adequá-lo a um aumento de demanda, colocando ônibus numa frequência bastante alta, deixando entre eles uma lacuna de segundos. Outra vertente bastante atrativa é a questão ambiental, pois a substituição da frota pode ser realizada adotando-se novas tecnologias, ampliando, cada vez mais, a redução na emissão de gases que contribuem para o efeito estufa.

2.2.3.2. Desvantagens

Entretanto, o BRT apresenta como objeção os, não raros, processos de desapropriação, necessários para adequação do território devido à necessidade de ampliar a largura das vias.

2.2.3.3. Capacidade

Sem reduzir o *headway* a ponto de apresentar problemas, a capacidade do sistema de BRT gira em torno de 25.000 passageiros por hora por sentido.

2.2.3.4. Aplicação

A implantação do BRT, sozinho, em cidades de médio porte, ou em parceria com o metrô e/ou outras modalidades de transporte coletivo, dependendo das particularidades da localidade e da demanda a ser atendida, permite a concretização de um projeto de substituição permanente do trânsito individual pelo transporte coletivo.

2.2.3.5. Custo de Implantação

O custo de implantação de um sistema de BRT varia de R$ 11 milhões à R$ 30 milhões por quilômetro, dependendo das características do local da implantação.

2.2.3.6. Opinião do Autor

Os sistemas BRT apresentam um enorme potencial para reduzir as emissões de CO2. Sua correta implantação exige a otimização das rotas existentes, a redução de paradas e ainda possibilita a substituição da frota de veículos de combustão interna de combustíveis fósseis, para veículos com reduzida taxa de emissão de CO2, movidos por fontes de energia sustentáveis.

2.2.4. Veiculo Leve Sobre Trilhos

Em linhas gerais, o sistema de veículo leve sobre trilhos (VLT) pode ser considerado como um sistema de **bondes modernos**, com capacidade de transporte intermediária entre ônibus e metrô. O bonde (*streetcar, tram, tramway, trolley, trolley car*) é definido como um veículo urbano para transporte de passageiros, geralmente com apenas uma composição, movida por eletricidade e que circula sobre trilhos (Priberam).

Na realidade, o (VLT) apresenta-se como um **meio de transporte híbrido** que pode combinar características das três modalidades tradicionais de transporte guiadas por trilhos: o bonde, o trem e o metrô (Lightrail.com, 2015). O trem e o metrô são considerados meios de transporte ferroviário pesado (Bijl, 2013).

A principal característica do VLT é a flexibilidade de integrar-se com o meio urbano e paisagístico, e é visto como um projeto associado a renovação urbana. É possível encontrar exemplos de VLTs de diferentes dimensões e pesos, utilizando diferentes tecnologias de acordo com o grau de segregação e o sistema de operação adotado. Desse modo é possível encontrar VLTs compartilhando espaços com pedestres nos calçadões, com veículos pelas ruas e avenidas em espaços reservados, ou podem estar completamente segregados das vias públicas. (Alouche)

Algumas de suas características podem ser mais facilmente comprendidas, a partir do esclarecimento acerca dos diferentes tipos de “direito de passagem” ou prioridade para o trânsito de veículos (Gunnarsson, 2001).

- **Prioridade Compartilhada:** significa o espaço é compartilhado com outros meios de transporte nas ruas, tais como carros, bicicletas e caminhões, e também pedestres. Não há prioridade nos cruzamentos e intersecções, podendo ser afetado por engarrafamentos e congestionamentos como qualquer outro tipo de meio de transporte.
- **Prioridade Reservada:** significa que há um espaço específico reservado nas ruas para esse veículo, mas outros meios de transporte podem utilizar esses espaços, tais como automóveis que necessitam virar, mas não há uma

barreira física para prevenir invasão nessas pistas. Poderá haver prioridade nos cruzamentos e intersecções.

- **Prioridade Exclusiva:** possui o seu próprio espaço com barreira física para prevenir invasão na pista. Possui prioridade nos cruzamentos e intersecções dificilmente poderiam ser atingidos por congestionamentos.

Em 1983, a comissão da UITP (International Association of Public Transport) emitiu a seguinte definição sobre sistemas VLT:

> "O veículo leve sobre trilhos (Light Rail) é um meio de transporte que pode ser desenvolvido em etapas desde o bonde moderno até um sistema de transporte rápido, cada qual operando em sua própria prioridade (direito de passagem), seja subterrâneo, em superfície ou elevado." (UITP, 2001) (tradução livre, adaptada pelo autor)

Baseada numa pesquisa realizada em cooperação com a provedora de infraestrutura holandesa, ProRail, e a Railforum, que é um rede independente que representa mais de 85 companhias holandesas que operam no setor ferroviário, a Associação das Autoridades Européias de Transporte Metropolitano (EMTA) adotou a seguinte definição para o sistema VLT (Van der Bijl et al., 2010):

> "O veículo leve sobre trilhos (Light Rail) é um meio de transporte público, guiado por trilhos, para as cidades e regiões urbanas. Ao contrário do trem (heavy rail - transporte ferroviário pesado) e do metrô (subterrâneo), o VLT é principalmente capaz de ser integrado no domínio público, compartilhando o espaço público com outro tráfego até certa extensão." (tradução livre, adaptada pelo autor)

2.2.4.1. Tipos de VLT

- **VLT de Superfície** (segregação parcial): pode possuir prioridade compartilhada com outros meios de transporte e/ou pedestres que circulam pelas ruas
- **VLT com segregação total**: Metro Leve (prioridade exclusiva)
- **VLT Regional**: interliga cidades, pode ser diesel ou diesel-elétrico (híbrido)

2.2.4.1.1. Exemplos

Figura 9 - VLT Low-floor “A1200-Kei” (*) em via reservada.



(*) VLT circulando pelas ruas de Sapporo, Japão. Possui 17m e capacidade para transportar 71 pessoas.
Fonte: A1200-Kei Low-Floor Street Car, acessado em 07/05/2015.

Figura 10 - VLT na cidade de Brest, França (*)



(*) Frota de 20 VLTs de 32 metros percorrendo 14.3km com 28 estações. 27 % dos lares e 38% dos postos de trabalho na cidade estão dentro de 450m da estação do VLT.
Fonte:http://www.railjournal.com/index.php/light-rail/brest-light-rail-arrives-in-style.html.

Figura 11 - VLT (Baselland Transport) em Hüslimatt, Suíça: Circulando (a) via reservada e em via exclusiva.




Fonte: http://www.blt.ch/en/company/media/download-centre/tram-images.html

Figura 12 - (C) Light Rail Atlas/Rob van der Bijl, The Hague (NL), 25/12/2009



Fonte: http://www.lightrail.nl/lightrailatlas/archive/

Figura 13- (C) Light Rail Atlas/Axel Kuehn, Camden (NJ) USA, 10/06/2005.



(*) DMU (Diesel Multiple Unit) europeu pela rua beira-rio de Camden, NJ, EUA.
Fonte: http://www.lightrail.nl/lightrailatlas/archive/e_ln9806.htm

2.2.4.1.2. Veículo Leve Sobre Pneus

O veículo leve sobre pneus podem apresentar-se de duas formas:

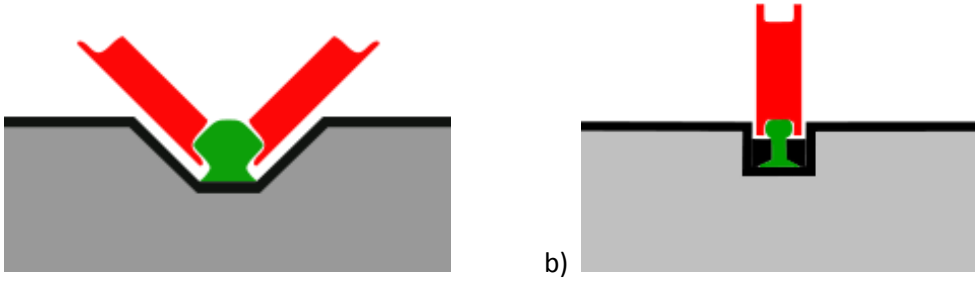
1) VLT sobre pneus
2) BRT ou BRS (ônibus articulados e biarticulados à combustão ou tipo trólebus)

O VLT sobre pneus utiliza a tecnologia de sistemas guiados por trilhos, porém utilizando pneus no lugar das rodas de aço. No caso do VLP, o peso do veículo é suportado pelos pneus se movem sobre uma pista de rolagem.

Enquanto que o VLT tem capacidade de atende rampas de até 6% e realizar curvas com raio de 30 m, o VLT sobre pneus é capaz de superar rampas de até 13% e realizar curvas com raio de 10,5 m.

Figura 14 - Diagrama do trilho-guia(verde) e rodas guias (vermelho)

a) b)



a) Sistema da Translohr, com rodas perpendiculares entre si para segurar o trilho.
b) Sistema do GLT (Guided Light Transit) da Bombardier.
Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Guided_bus

Figura 15 - Pneus guiados por trilhos: sistema utilizado no VLP Translohr



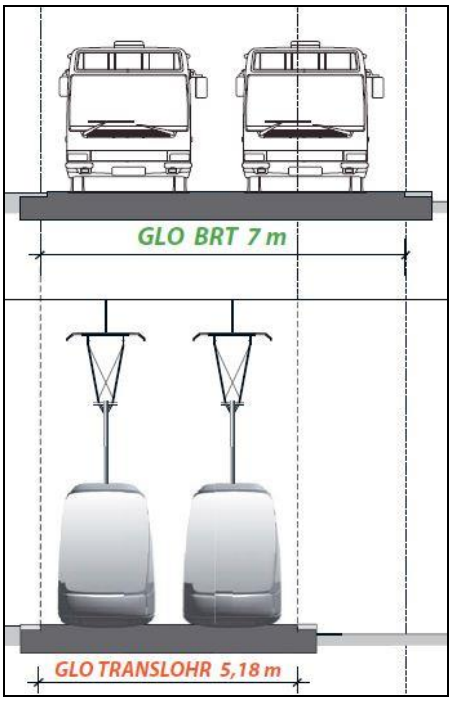
Fonte: http://www.funimag.com/wordpress/wp-content/uploads/20061013-002.jpg

Figura 16 -VLP Translohr, da Alstom.



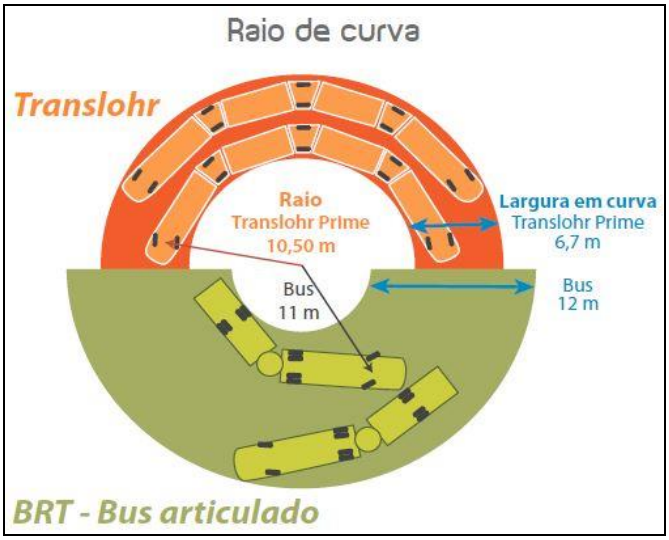
Fonte:http://www.alstom.com/pt/press-centre/2014/12/alstom-e-sua-subsidiaria-ntl-inauguram-a-linha-de-vlt-t6-em-ile-de-france-/

Figura 17 – Gabarito: BRT vs. VLP (modelo Translohr SP Prime)



Fonte: http://www.newtl.com/po/um-verdadeiro-tramway/

Figura 18 - Raio de Curva: BRT vs. VLP (modelo Translohr SP Prime)



Fonte: http://www.newtl.com/po/um-verdadeiro-tramway/

2.2.4.1.3. Outros sistemas de pneus guiados por trilhos

Figura 19 - Truque do material rodante do “MP 89” do Metrô de Paris



Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Rubber-tyred_metro

Figura 20 - Lausanne Metro line M2 based on MP 89 (Paris Métro).



Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Rame_m2_lausanne.JPG

Figura 21 - Trem “MP 89 CC” na linha 1 de estação de Bastille, Paris.



Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/MP_89#/media/File:Metro-Paris-Rame-type-MP89-.jpg

Figura 22 - Material rolante com pneus: Sistema guiado por trilhos, operado pela Sapporo City Transportation Bureau, Japão, e construído pela Kawasaki Heavy Industries Rolling Stock Company



Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Rubber-tyred_metro

2.2.4.1.4. Ônibus Guiados

Este tipo de VLP refere-se a ônibus guiados por um meio externo, normalmente utilizando pista de rolagem dedicada (canaleta). O sistema de condução do veículo pode ser feito através de roldanas-guias orientadas pelo meio-fio ou por uma barra-guia. Essa roldana-guia empurra o mecanismo de direção, fazendo com que o ônibus fique centralizado na pista. Isso permite que o ônibus desenvolva uma velocidade elevada ocupando em guias estreitas e posicionamento preciso nas plataformas de embarque.

Figura 23 - Ônibus articulado O-Bahn na Rota 544 - Deslocamento, de Greenwith a Cidade aproximando-se na passarela Meadowvale Road, Modbury. 27/01/200.



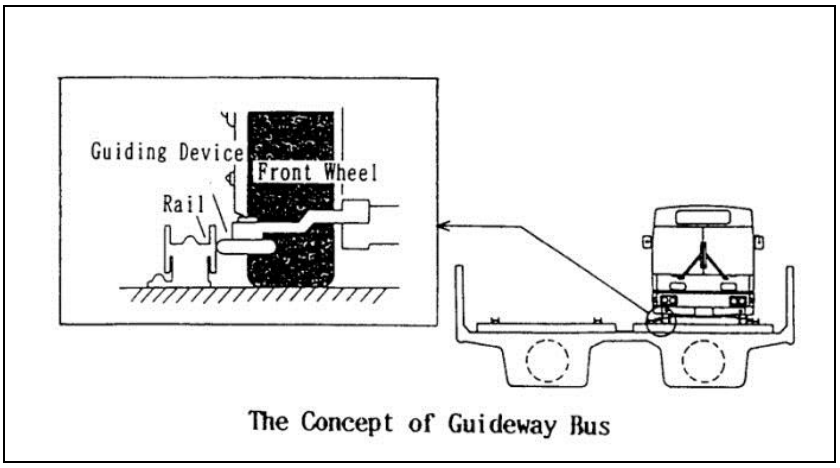
Fonte: http://xaragmata.dyndns-web.com/album/bus/obahn/slides/obhn544m.html

Figura 24 - Roldana-Guia



Fonte: EMBARQ Brasil

Figura 25 - Sistema de direção dos ônibus guiados por canaleta



Fonte: www.linearcity.org/new_web/i_transtech/guided-bus.jpg

2.2.4.2. Vantagens

- Tração elétrica: emissão zero (para VLT alimentados via catenária ou terceiro trilho)
- Acessibilidade: VLTs com piso baixo (*low floor*) possibilitam acesso ao nível da rua, facilitando a locomoção de pessoas com dificuldades de locomoção (cadeirantes, idosos, etc).
- Seguro, rápido e confortável.
- Ocupa uma área mais estreita nas pistas em comparação ônibus
- Itinerário facilmente identificado pelos usuários e pessoas que visitam a cidade.
- Possui maior atratividade para usuários de automóveis
- Senso de perenidade, o que incentiva o desenvolvimento do entorno.

2.2.4.3. Desvantagens

- Velocidade comercial reduzida em função da interferência nos cruzamentos.
- Necessita de uma infraestrutura complexa complementar ao material rodante.

2.2.4.4. Capacidade

Esta modalidade pode ser caracterizada como um transporte de média capacidade, atendendo de 15 a 35 mil pessoas/hora/sentido.

2.2.4.5. Aplicação

A implantação do VLT, sozinho, em cidades de médio porte, ou em parceria com o metrô e/ou outras modalidades de transporte coletivo, dependendo das particularidades da localidade e da demanda a ser atendida, permite a substituição permanente do trânsito individual pelo transporte coletivo, uma vez que possibilita uma boa integração com o espaço urbano e permite que a operação ocorra sem emissão de poluentes.

2.2.4.6. Custo de Implantação

O custo de implantação de um sistema de VLT chega à R$ 60 milhões por quilometro.

2.2.4.7. Opinião do Autor

O VLT, além de ser uma modalidade consolidada, com exemplos no mundo todo, destaca-se por vertentes simples, porém, que fazem grande diferença. Esta modalidade possui acessibilidade universal, seu piso baixo, permite o aceso ao nível, garantindo acesso a todos os passageiros, inclusive os que possuem mobilidade reduzida. Além disso, esteticamente, ele harmoniza-se com a urbanização da cidade e ainda é ambientalmente correto, pois, geralmente, utiliza energia limpa e renovável.

Por isso, o VLT tem sido adotado em diversos países pela sua flexibilidade para atendimento à demandas de baixa a média capacidade, por seu custo ser menor que o custo de sistemas de metrô e seu baixo impacto ambiental.

2.2.5. Trem

O transporte ferroviário de alta velocidade, bastante difundido da Europa e na Ásia, apresenta como diferenciais, menores tempos de viagem, em pequenos deslocamentos, e maior conforto e comodidade, em comparação ao transporte aéreo, nos trajetos de média distância.

Cabe destacar que o Brasil, através do Departamento de Relações Institucionais, possui, com o objetivo de promover o atendimento regional, social e turístico, onde viável, além de geração de emprego e renda, um Programa de Resgate do Transporte Ferroviário de Passageiros.

Fazem parte deste programa intervenções para implantação de trens modernos para transporte de passageiros regionais e interestaduais, especialmente, entre cidades de alta concentração populacional.

Figura 26 – Trem metropolitano – São Paulo



Fonte: Agencia Estado

O modo trem metropolitano é, tecnicamente, bastante próximo do metrô, sendo apresentadas abaixo, suas principais características:

- funcionamento em superfície;
- economicamente viável no longo prazo.
- espaçamento entre estações de cerca de 1.000/1.500m, proporcionando maior velocidade operacional e utilização de trens maiores que os usados pelo metrô;
- Torna-se viável em áreas de alta demanda, geralmente aproximando o subúrbio e periferias metropolitanas do centro dos conglomerados urbanos; e
- utilização de equipamento de tração elétrica ou diesel-elétrica, permitindo redução nas emissões.

2.2.5.1. Tipos

2.2.5.1.1. Trens de turismo:

A implantação visa geração de emprego e renda e desenvolvimento do turismo nas cidades servidas. Desperta a nostalgia dos antigos passeios de trem, permitindo a preservação do patrimônio histórico rodoviário.

2.2.5.1.2. Trens regionais:

Esta modalidade promove a integração regional, através da oferta de mais uma opção de deslocamento para a população, além disso, minimiza a ociosidade de trechos ferroviários e possibilita o desenvolvimento de empreendimentos imobiliários e de serviços ao longo do trecho.

2.2.5.1.3. Trens de alta velocidade:

A redução do tempo de viagens neste modal cria uma saudável concorrência com o modal aéreo nos deslocamentos de média distância e que apresentam alta demanda. No Brasil podemos citar os trechos Rio de janeiro x São Paulo e Brasília x Goiânia como potenciais receptores de trens de alta velocidade.

2.2.5.2. Vantagens

O transporte ferroviário é mais econômico, menos poluente e mais eficiente que outros modais. Tem baixo custo de manutenção, não gera implantação de pedágios e não causa desgaste nas rodovias, possibilita a ocupação planejada da região onde atravessa e insere uma outra opção de mobilidade.

Adicionalmente, possibilita simples e rápidas operações de embarque e desembarque e suas frequências sofrem poucas interferências de inconsistências climáticas.

2.2.5.3. Desvantagens

As ferrovias urbanas, normalmente, apresentam altos custos de implantação e sérios problemas devido à ocupação de áreas operacionais por ocupações irregulares como as favelas. Este cenário gera grandes riscos de acidentes para os moradores e prejudica a operação, reduzindo o desempenho.

2.2.5.4. Capacidade

Esta modalidade pode atender de 50.000 à 100.000 passageiros por hora por sentido.

2.2.5.5. Aplicação

Devido sua alta capacidade, os trens urbanos devem ser implantados entre cidades de alta concentração populacional, que apresentem curtas distâncias entre si, geralmente de mesma região metropolitana, ou, ainda, entre bairros periféricos de alta densidade populacional e terminais de integração com outro modal de transporte como o metrô.

2.2.5.6. Custo de Implantação

A estrutura segregada exige alto investimento que o torna viável economicamente somente há longo prazo, uma vez que os custos de implantação variam de R$ 200 milhões à R$ 400 milhões por quilômetro.

2.2.5.7. Opinião do Autor

A implantação de trens urbanos apresenta-se como uma solução interessante para alimentar os sistemas de metrô das grandes metrópoles. Inicialmente ela não substitui o metrô pelo fato de necessitar de via segregada em superfície o que, geralmente, é impossível em grandes conglomerados urbanos, que possuem os centros já saturados pelo sistema viário e edificações. Outro ponto interessante é a questão ambiental, pois as reduzidas emissões permitem uma melhora na qualidade de vida da população.

2.2.6. Metrô

Esta modalidade de transporte está presente na maioria das capitais brasileiras, com sua maior linha implantada na cidade de São Paulo.

Figura 27 – Metrô – São Paulo



Fonte: https://pt.wikipedia.org/

O metro pode ser definido como um sistema elétrico de transporte maciço urbano por trilhos, totalmente independente de outro tráfego ou de vias públicas, usado, em alta frequência, ou seja, com intervalo máximo de dez minutos, para possibilitar a mobilidade dentro da cidade.

Entretanto, desde meados do Século XX, as diferenças entre ferrovias, metrôs e bondes pesados estão reduzindo-se cada vez mais.

Os metrôs e os trens leves evoluíram gradualmente dos bondes ou ferrovias regionais, e os trens híbridos novos podem interconectar sistemas diferentes. Isto, às vezes, torna difícil decidir se uma linha de trem deve ser contada como um metrô ou não.

Os novos trens híbridos facilitam a inclusão de seções de metrô em linhas férreas de trilho pesado. Em outros casos, os metrôs evoluíram gradualmente das linhas anteriores dos bondes ou de ferrovias, e por este motivo, muitas vezes, se torna difícil estabelecer com precisão o comprimento ou a data real da inauguração de um sistema de metrô.

Tabela 1 - Os 12 maiores carregamento de Metro no mundo

Cidade	País	Passageiros/dia
Tókio	Japão	8,7 milhões
Moscou	Rússia	6,55 milhões
Seul	Coréia do Sul	5,61 milhões
Nova Iorque	EUA	4,33 milhões
Paris	França	4,05 milhões
Pequim	China	3,99 milhões
Cidade do México	México	3,88 milhões
Hong Kong	China	3,62 milhões
Xangai	China	3,56 milhões
Londres	Reino Unido	2,99 milhões
Osaka	Japão	2,36 milhões
São Petersburgo	Rússia	2,25 milhões

Fonte: http://download.rj.gov.br/documentos/10112/424129/DLFE-33546.pdf/01.MetronoMundo.pdf

Tabela 2 - As 10 maiores linhas de Metro do mundo

Cidade	País	Extensão
Xangai	China	420,0 km
Londres	Reino Unido	408,0 km
Nova Iorque	EUA	368,0 km
Tókio	Japão	304,5 km
Moscou	Rússia	302,0 km
Seul	Coréia do Sul	286,9 km
Madri	Espanha	284,0 km
Pequim	China	227,6 km
Paris	França	213,0 km
Cidade do México	México	201,7 km

Fonte: http://download.rj.gov.br/documentos/10112/424129/DLFE-33546.pdf/01.MetronoMundo.pdf

2.2.6.1. Vantagens

Os principais benefícios do metrô são:

- Alta frequência: Reduzindo o tempo de espera;
- Alta capacidade de transporte, ocupando reduzido espaço urbano;
- Independência em relação ao restante do tráfego, possibilitando excelente velocidade operacional; e
- Zero emissão de poluentes.

2.2.6.2. Desvantagens

Por outro lado, a implantação de um sistema de metrô apresenta um alto custo, sua manutenção também necessita de altos investimentos, bem como, a obras de implementação são demoradas e a renovação da frota onera sensivelmente os operadores do sistema.

2.2.6.3. Capacidade

O Metrô atende demandas de 25 a 80 mil passageiros/hora/sentido.

2.2.6.4. Aplicação

Deve ser implantado em grandes cidades que apresentem altas demandas.

2.2.6.5. Custo de Implantação

Os custos de implantação variam de R$ 280 milhões à R$ 500 milhões por quilômetro.

2.2.6.6. Opinião do Autor

As metrópoles modernas, cada vez mais densas e verticalizadas, não poderiam existir sem metrôs, pois o sistema viário e o comércio implantado no centro impossibilitam a implantação de modalidade de transporte de alta capacidade que alcance o centro.

Apresentam tempo de viagens reduzidos e, quando implantado de modo compatível com a necessidade, oferece conforto ao usuário. Cabe destaque que a operação ocorre plenamente sem emissão de poluentes.

2.2.7. Monotrilho

O monotrilho é um meio de transporte coletivo elétrico típico para atender transporte urbano de media capacidade, sendo viável em termo de custos e rapidez de construção de infraestrutura, uma vez que, os sistemas, quase sempre, elevados, reduzem custos e impactos sobre o transito.

Figura 28 - Monotrilho de Las Vegas.



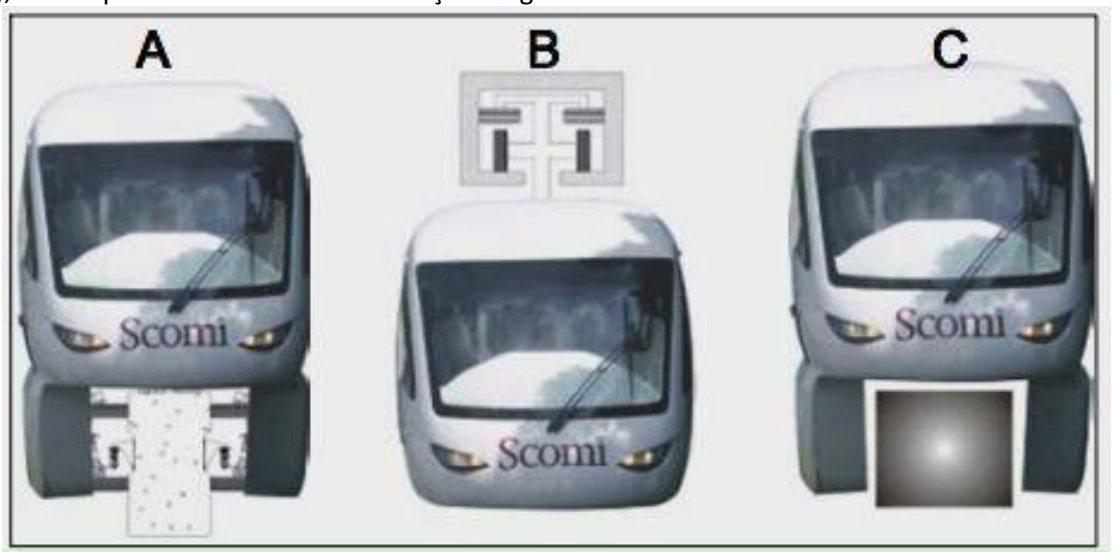
Fonte: Bombardier Transportation.

Pode atender entre 100 a 440 passageiros por carro, dependendo do modelo ofertados pelos principais fabricante disponíveis atualmente no mercado (Bombardier, Hitachi, Scomi), com velocidade entre 70 a 90km/h, podendo realizar raios de curvatura de entre 45 a 100 m e atender

percursos com gradiente de elevação de 6% a 6,5%, em geral o monotrilhos podem acomodar de 4 a 9 carros na composição, trafegando em vias elevadas de 6 a 12 metros em relação ao solo.

Outra característica do sistema é que os carros do monotrilho são sempre mais largos do que o trilho que o sustenta, sendo que esses literalmente “abraçam” o trilho da via circulante.

Figura 29 - Exemplo de alguns tipos de monotrilho. A- do tipo Stadle Beam (viga em concreto pré moldado), B – Suspenso Invertido e C – Levitação Magnética



Fonte: Scomi Rail Co.

Figura 30 - Construção das guias do sistema monotrilho de Las Vegas



Fonte: Bombardier Transportation.

Figura 31 - Composição do monotrilho de Las Vegas sendo construido com detalhe para o sistema de tração abraçando a viga de circulação.



Fonte: Bombardier Transportation.

A Bombadier tem o sistema monotrilho mais utilizado no mundo, que encontra-se instalado na Walt Disney Word , que atende aproximadamente 200.000 passageiros por dia, embora tenha pouca experiência no transporte publico urbano de massa.

Hitachi possui sistema mais flexíveis em capacidade de passageiros com a faixa de 30.000 a 300.000 passageiros por dia, seu monotrilho operam no Japao desde 1957 com sistema de transportes distribuído nas cidades de Toquio, Shoan, Chiba e Osaka.

A Scomi e tradicional na soluções de transporte publico embora tenha poucas experiências de monotrilho, possuído apenas a linha da Malasia (Kuala Lumpur) e atualmente tem maiores projeto do mundo para monotrilho destinado ao transporte publico na cidade de Mumbai na India.

2.2.7.1. Projeto de Monotrilho na cidade de Sao Paulo.

Para agilizar o processo e ampliar a oferta de transporte público, o Governo de São Paulo vem utilizando o sistema de monotrilho, que fica pronto mais rápido e é mais barato, além de não interferir em redes subterrâneas de esgoto.

Figura 32 - Monotrilho de São Paulo



Fonte: Revista Grandes Construções; Nº39; Julho/2013

A principal diferença do monotrilho é sua estrutura. O metrô subterrâneo utiliza túneis para não atrapalhar o trânsito da superfície. O monotrilho, com o mesmo objetivo, usa uma estrutura elevada. Seus vagões circulam por estruturas suspensas, como passarelas, instaladas sobre os canteiros centrais de avenidas.

Um dos projetos, que foi internacionalmente premiado pela UITP (União Internacional dos Transportes Públicos), na categoria Inovação em Intermodalidade, é o da Linha 15-Prata, que vai conectar as estações Ipiranga e Cidade Tiradentes, na zona leste de São Paulo, em um percurso de 25,8 km, com 18 estações e capacidade para transportar 500 mil passageiros por dia.

Figura 33 - Linha 15-Prata do Metrô de São Paulo sendo construída como o sistema de monotrilho



Foto: Edson Lopes ©

A linha também será equipada com um sistema de controle automático de trens, que permite um intervalo de circulação entre trens de apenas 75 segundos. E possui um percurso que hoje é feito em mais de duas horas será reduzido para 50 minutos.

O Metrô utiliza ainda o sistema de monotrilho na Linha 17 - Ouro, que vai ligar o Jabaquara, na zona sul, à futura estação São Paulo-Morumbi, passando pelo Aeroporto de Congonhas.

2.2.7.2. Vantagens

Segundo Oliveira, 2009, o monotrilho possui as seguintes vantagens:

- Muito adaptável a cidades com pouco espaço, tanto na horizontal como na vertical, sendo normalmente construídos em elevados, ocupando menos espaço no chão, sendo este limitado praticamente ao pilares de sustentação;
- Devido ao pouco espaço que ocupam no chão, são mais simples de serem implantados que os sistemas elevados convencionais e visualmente “menos agressivos” a paisagem urbana;
- Flexibilidade quanto a capacidade pode ser usado desde monotrilhos de baixa até grandes capacidades;
- Menor nível de ruído (aproximadamente 65 db) por usarem pneus de borracha;
- Maior capacidade de subir, descer e virar, mais rapidamente que os trens convencionais;
- Maior segurança já que as rodas abraçam os trilhos, dificultando o descarrilamento e pôr serem construídos em vias elevadas minimizam atropelamento de pessoas, animais e outros veículos;
- Maior capacidade se comparado ao BRT e VLT;
- Menor interferência com o trânsito de automóveis por serem na maior parte das vezes construídos em vias elevadas;
- Menor custo, tempo e dificuldade de implantação do que os sistemas concorrentes, em especial se comparado com o metro;
- Menor necessidade de desapropriações por usar canteiros centrais das vias já existentes; e

- Ecologicamente corretos por terem reduzida emissão de carbono em função de serem movidos a energia elétrica.

2.2.7.3. Desvantagens

Ainda segundo Oliveira, 2009, o monotrilho apresenta as seguintes desvantagens:

- Tecnologia menos testada do que o sistema VLT;
- Maior custo de implantação médio do que um sistema VLT em superfície;
- Maior impacto na paisagem urbana em função das vias elevadas; e
- Maior dificuldade para evacuação de passageiros.

2.2.7.4. Capacidade

O Monotrilho possui capacidade para atender demandas de 20 a 50 mil passageiros/hora/sentido.

2.2.7.5. Aplicação

Monotrilho um modal de média capacidade complementar a malha existente, pode ser utilizado como um sistema de transporte publico troncal, sendo integrado aos terminais rodoviários existentes que permitem integração entre as modalidades.

2.2.7.6. Custo de Implantação

Os custos de implantação variam R$ 80 milhões à R$ 180 milhões por quilômetro.

2.2.7.7. Opinião do Autor

Apesar de estar em fase inicial no Brasil, a experiência internacional nos disponibiliza inúmeros exemplos através dos quais confirma-se que implantação de soluções de mobilidade em plano elevado não causaram danos à paisagem urbana. Isto se deve ao fato do monotrilho ser elétrico, o que mitiga sensivelmente ruídos e emissões de gases poluentes característicos dos veículos de combustão interna.

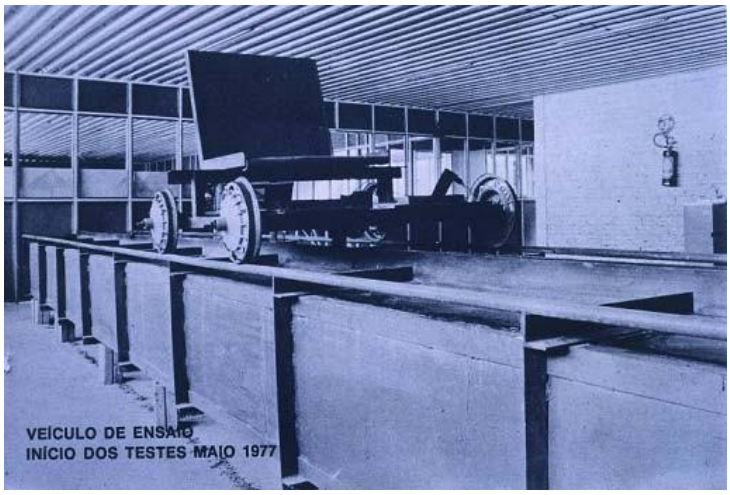
2.2.8. Aeromóvel

Inventado pelo engenheiro brasileiro Oskar Coester, O sistema aeromóvel surgiu a partir dos problemas enfrentados pelo transporte de superfície que, enfrentando situações críticas, acabam apresentando baixas velocidades médias.

A modalidade adota o conceito de vias segregadas em nível elevado e maximiza a eficiência através da redução do peso do veículo e utilização da energia do vento para se movimentar. Na prática, o ar é soprado por ventiladores centrífugos industriais de alta eficiência energética e a propulsão pneumática se dá através da movimentação de ar forçado dentro de um duto. O vento empurra um componente, denominado aleta, semelhante a uma vela de barco, que, fixada ao veículo, faz com que ele se movimente sobre rodas de aço em trilhos.

O primeiro protótipo data de 1977 e se constituiu de uma cadeira que, pressionada por um ventilador, corria sobre duas guias.

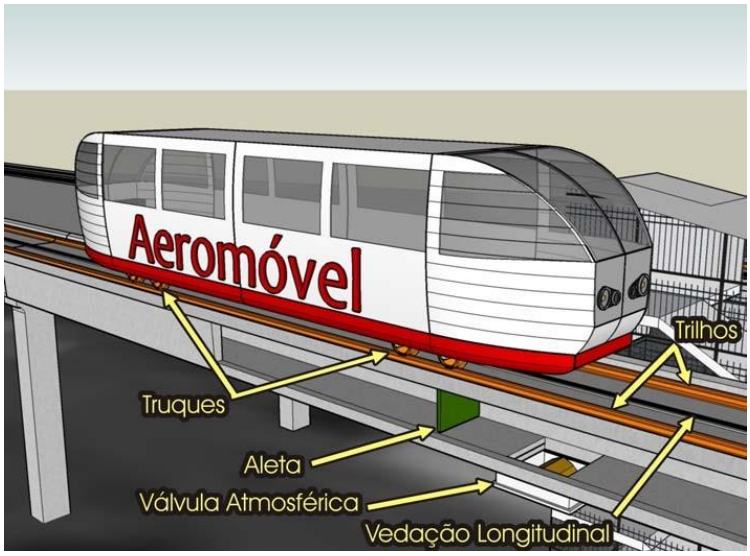
Figura 34 – Primeiro protótipo do Aeromóvel



Fonte: Aeromóvel, 2007

O sistema atual comporta-se de modo semelhante a um grande pistão pneumático, ou seja, fornecendo pressão a um dos lados da câmara ao passo que esvazia o outro o conectando com a atmosfera, através da movimentação das válvulas.

Figura 35 – Diagrama esquemático do veículo estacionado.



Fonte: Aeromóvel, 2007

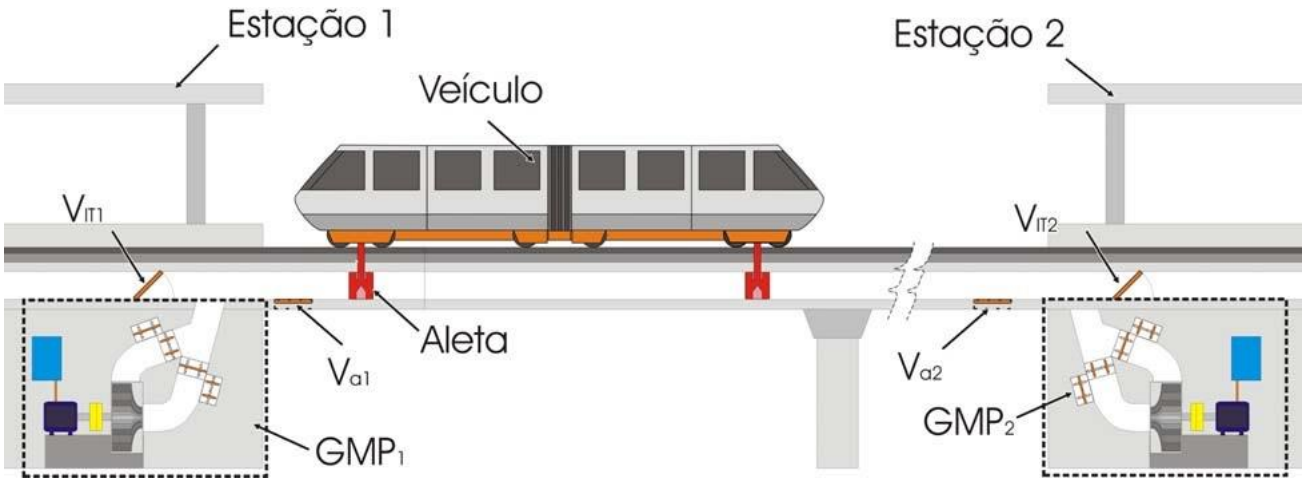
A figura anterior apresenta o diagrama esquemático do veículo quando estacionado em uma estação, com seus trilhos, truques e vedação. O corte realizado em uma secção da viga permite a visualização da aleta e da válvula atmosférica.

O Aeromóvel utiliza a mesma tecnologia aplicada no modal ferroviário em sua interface entre o veículo e o solo, possibilitando um menor consumo energético pelo fato de o atrito metal (trilho) com metal (truque) ser inferior ao atrito borracha (pneu) concreto (pavimento).

Uma das vertentes de segurança do aeromóvel é explicita nos sistema ABS (anti-blocking brake system) utilizado em suas "rodas" para desaceleração e parada do veículo.

Outro ponto bastante peculiar é que o sistema de tração, descrito na figura abaixo, localiza-se fora do veículo. A unidade de potência do sistema é composta, basicamente, pelo sistema de acionamento, elétrico formado pelo motor e o transformador, e o sistema de geração de potência fluídica, composto por um ventilador industrial e um conjunto de válvulas que, podendo executar a insuflação ou a exaustão do ar, controlando a pressão e a força imposta ao veículo.

Figura 36 – Desenho esquemático de um Bloco Padrão.



Fonte: Aeromóvel, 2007

Segundo Aeromóvel, 1999, o sistema completo ideal de transporte pode ser segmentado em trechos compreendidos por duas estações, sendo estes denominados de "Blocos-Padrões". O Bloco Padrão é formado por dois GMP´s, um em cada estação, duas VIT´s, duas VA´s e um veículo. Esta configuração permite três tipos de operação do sistema, que são:

- Operação por Pressão ("Push") – o veículo é "empurrado" pela pressão provocada pela operação do GMP à montante do veículo. Na câmara a jusante do veículo a VA está aberta, comunicando o duto à atmosfera.

- Operação por Depressão (“Pull”) – o veículo é “puxado” pela depressão provocada pela operação do GMP à jusante do veículo. Na câmara a montante do veículo a VA está aberta, comunicando o duto à atmosfera.
- Operação por Pressão-Depressão (“Push-Pull”) – Os dois GMP´s estão conectados ao duto e as duas válvulas atmosféricas estão fechadas. Assim o veículo se locomove pela pressão a montante e a depressão a jusante do veículo. Nesta forma de operação o veículo pode desenvolver as maiores velocidades.

2.2.8.1. Vantagens

O aeromóvel apresenta-se como mais barato em relação aos demais sistemas do gênero, como o BRT, VLT e metrô, pois, de acordo com o ECOD, não há necessidade de pagamento de *royalties* (a concepção da tecnologia é brasileira);

Além disso, apresenta uma maior velocidade média de deslocamento, produz baixo nível de ruído, não enfrenta engarrafamentos, possibilita interligações com outras modalidades e, através da redução do peso morto em relação à carga útil, reduz o consumo de energia e o desgaste de peças.

Com tecnologia de construção e operação 100% nacional, oferece acessibilidade total, com espaço para cadeirantes e idosos e facilidade de embarque.

Por fim, o sistema é totalmente movido a ar, não consumindo combustíveis fósseis e,, desta forma, não emitindo gases poluentes.

2.2.8.2. Desvantagens

O Aeromóvel não possui tradição no transporte de grandes massas, como o metrô, por exemplo, e apesar de ter nascido no Brasil, falta know-how com esta alternativa no país.

2.2.8.3. Capacidade

De acordo com a AEROMOVEL® Global Corporation (AGCO or AEROMOVEL®) o aeromóvel é projetado para transportar até 10.000 passageiros por hora por sentido.

2.2.8.4. Aplicação

Considerando suas características, a aplicabilidade do aeromóvel situa-se na integração entre modalidades, atuando como alimentador de modalidade de transporte de massa. Na configuração atual, está comprovada sua adequação para pequenos deslocamentos (menores de

10 km). Por exemplo, interligar um aeroporto ao sistema de metrô.

Outra aplicação seria para atendimento de pontos com dificuldade de acesso devido à edificações já existentes, pois o aeromóvel realiza curvas com menores raios que os trens convencionais, que têm rodas fixas nos eixos, o que inviabiliza que os mesmos cheguem em determinados locais.

2.2.8.5. Custo de Implantação

O custo de implantação, operação e manutenção foi um dos critérios da escolha do sistema aeromóvel para integrar as obras de infraestrutura para sede Porto Alegre da Copa do Mundo do Brasil. De acordo com Diego Abs, diretor de engenharia da Aeromóvel Brasil, devido ao baixo peso e por utilizar tecnologia 100% nacional, o valor de sua implantação é até quatro vezes menor do que outros modais do tipo Automated People Mover (APM). O engenheiro acrescenta que

> "Incluindo obras civis, veículos, estações com portas de plataforma e ar-condicionado, propulsão e controle automático, o custo médio do modal é de R$ 35 milhões por quilômetro de via simples ou R$ 65 milhões por quilômetro de via dupla, enquanto o custo médio do quilômetro do seu concorrente direto, o Veículo Leve sobre Trilhos (VLT), varia de R$ 80 milhões a R$ 100 milhões. Já a comparação com o metrô não é possível, pois esse é um modal de altíssima capacidade de transporte, enquanto o aeromóvel possui capacidade intermediária, similar ao VLT ou ao monotrilho, servindo para alimentar os sistemas troncais. (ABS, 2013)"

2.2.8.6. Opinião do Autor

Um sistema rápido, seguro, confortável, econômico e sem prejuízo ao meio ambiente. Além da redução no congestionamento nas vias terrestres, proporciona a uma sensível diminuição da poluição sonora e atmosférica e reduz o tempo e o custo das viagens.

Acredito que por ser tratar de uma tecnologia relativamente nova, no quesito aplicação comercial, com o acompanhamento técnico da operação no dia a dia, surgiram proposta de atualizações que promoverão a robustez, eficiência e também a flexibilidade para atender a descolamentos maiores.

2.2.9. MAGLEV

O sistema de levitação magnética ou MAGLEV baseia-se na propriedade dos ímãs se repelirem quando colocados próximos de outro. A levitação proporcionada pelos ímãs permite a movimentação sem atrito com o solo através de um motor linear, disponibilizando, desta forma,

um sistema rápido, seguro, confortável, econômico e sem prejuízo ao meio ambiente.

O principal Maglev em atividade comercial, atualmente, localiza-se em Shanghai, China, utilizando tecnologia alemã, ele percorre os 30km, distância da cidade ao aeroporto em pouco mais de 7 minutos, atingindo a velocidade máxima de 431 km/h.

2.2.9.1. Técnicas de Levitação.

As técnicas de levitação magnética podem ser subdivididas em três grupos:

2.2.9.1.1. Levitação Eletrodinâmica (EDL)

Este método necessita do movimento de um campo magnético nas proximidades de um material condutor, onde correntes elétricas serão induzidas. Estas correntes geram um outro campo magnético o qual, pela lei de Lenz, opor-se-á à variação do campo criado pelo material magnético. A interação entre ambos gerará uma força de repulsão responsável pela levitação.

A proposta japonesa (RTRI) de trem de levitação está calcada neste princípio. Neste sistema, um trem com características convencionais (rodas e trilhos) viaja ao longo de corredores onde estão instaladas bobinas condutoras. Após atingir cerca de 120 km/h, o trem começa a levitar. Uma linha experimental de 18,4 km foi inaugurada em abril de 1997, local onde este trem bateu o recorde de velocidade terrestre (581 km/h) em dezembro de 2003.

2.2.9.1.2. 2.2 Levitação Eletromagnética (EML)

Esta abordagem tem na proposta alemã Transrapid, que está atualmente implantada em Xangai, na China, numa conexão de 30 km entre o aeroporto internacional de Pudong e o centro da cidade, seu maior exemplo de sucesso. Velocidades de até 480 km/h são alcançadas. O fundamento físico básico explora a força de atração que existe entre um eletro-imã e um material ferromagnético. A estabilização só é possível com uma malha de realimentação e regulador devidamente sintonizado.

2.2.9.1.3. 2.3 Levitação Magnética Supercondutora (SML)

Este tecnologia baseia-se na propriedade diamagnética dos supercondutores para exclusão do campo magnético do interior dos supercondutores. No caso dos supercondutores do tipo II, esta exclusão é parcial, o que diminui a força de levitação, mas conduz à estabilidade, dispensando sistemas de controle sofisticados ou rodas. Esta propriedade, que representa o grande diferencial em relação aos métodos EDL e EML, só pôde ser devidamente explorado a

partir do final do século XX com o advento de novos materiais magnéticos, como o Nd2Fe14B (NdFeB), e de pastilhas supercondutoras de alta temperatura crítica, como o YBa2Cu3OX (YBCO).

Nesta ocasião, os projetos japonês e alemão mencionados anteriormente estavam muito avançados para serem redirecionados. Os novos supercondutores de alta temperatura crítica podem ser resfriados com nitrogênio liquido (temperatura de ebulição –196oC) enquanto os supercondutores convencionais necessitam de hélio liquido (temperatura de ebulição –269oC), o que torna a refrigeração onerosa.

Por se tratar da tecnologia mais recente, ainda não existe linha de teste em escala real. Em outros países, como no Brasil, existem linhas em modelo reduzido. No protótipo brasileiro, construído pelo grupo proponente deste projeto, o formato oval tem 30 metros de extensão, com guia linear formada por imãs de NdFeB compondo o circuito magnético e interagindo com os supercondutores de YBCO para levitação. O MagLev é acionado por motor linear síncrono (LSM) de armadura longa, alimentado com inversor de freqüência.

Segundo Bezerra, 2007, um Maglev, transportando 360 passageiros, necessitaria de uma potência inferior a 50 HP para ter uma aceleração de 1,0 m/s2 e manter uma velocidade constante de 100 km/h no plano e tangente, 10% da potência exigida pelo sistema VLT para o mesmo desempenho.

2.2.9.2. Projeto MAGLEV COBRA.

O Maglev Cobra, um projeto de pesquisa que busca incorporar desde o início soluções sustentáveis ou de baixo consumo energético para todo o sistema. Desde os terminais de passageiros até o suprimento de energia para os trens e principalmente para o motor linear, localizado nas vias, que seria alimentado somente nos trechos por onde o trem estivesse passando, num sistema inteligente e integrado.

A solução tecnológica brasileiro aplicada no veiculo MagLev Cobra, que prevê uso em meio urbano, funciona bem, porém ainda existem pontos a serem aperfeiçoados para que este produto possa ser produzido em escala industrial.

O projeto piloto de teste em escala real nas instalações da UFRJ tem tido papel fundamental na identificação de pontos passíveis de aperfeiçoamento.

Figura 37 – MAGLEV COBRA.



Fonte: COPPE

A levitação ocorre em função de instalação de vários módulos que são caixas com cerâmicas chamados popularmente de garrafas térmica, que quando permeadas com nitrogênio, cria uma força repulsiva a imãs, capaz de suportar pressões de compressão de até 250kg cada um por aproximadamente 24hs. Obtido a levitação um motor DC linear produz a força de movimentação no sentido desejado. A alta eficiência do movimento se dá devido a levitação por não existir o atrito.

Figura 38 – Levitação.



Fonte: COPPE

Semelhante ao projeto da Coppe, que usa a tecnologia SML para o desenvolvimento de trem de levitação, há outros dois no mundo. Ambos também estão em fase de testes, porém com percursos menores, sendo sete metros em Chengdu – China e trinta metros em Dresden – Alemanha.

2.2.9.3. Vantagens

Além da redução no congestionamento nas vias terrestres, proporciona a uma sensível diminuição da poluição sonora e atmosférica e reduz o tempo das viagens. Sendo que suas principais vantagens são:

- Não há emissão de poluentes;
- Por não existir contato mecânico, não há emissão de ruídos e a eficiência mecânica é otimizada;
- Possibilidade de subida de alto grau de inclinações;
- Baixo impacto nas características urbanas da localidade;
- Alto nível de eficiência energética; e
- Baixo nível de desgaste, pela ausência de atrito, aumentando a vida útil das peças e reduzindo a necessidade de manutenção.

2.2.9.4. Desvantagens

A principal desvantagem é o custo de implantação do sistema, devido a necessidade da utilização de uma grande quantidade de super imã, oriundos de terras raras, ao longo do percurso nas duas laterais da via onde o trem levita (similares ao trilho porém planos fino e no chão), bem como o complexo mecanismo para manter as condições de levitação, pois o sistema de refrigeração para os supercondutores usados para levitar o trem exigem alguma intervenção para controle da temperatura. A operação eleva a temperatura do SCM (Superconducting Magnets) a níveis altíssimos, sendo necessário a utilização de Hélio líquido, ou similar, para que o sistema seja arrefecido a uma temperatura de 4 Kelvin

2.2.9.5. Capacidade

Devido ao estágio atual de desenvolvimento da tecnologia do Maglev que utiliza a tecnologia SML, não é possível indicarmos a capacidade, pois os sistemas já implantados no mundo utilizam outra tecnologia e são utilizados em aplicações fora das áreas urbanas alcançando velocidades extremamente altas.

2.2.9.6. Aplicação

O Maglev, embora não seja classificado como transporte de massa, pode ajudar na capilaridade do sistema de metrô, já que o custo de implantação é menor. Outro ponto que deve ser levado em consideração é o estágio da estrutura ferroviária, pois o Maglev não pode ser inserido na rede já existente. Deste modo, sua aplicação é preferível onde não há uma rede ferroviária desenvolvida, pois necessitará de uma rede específica para ele.

1.1.1.1. Custo de Implantação

De acordo com o Professor Richard M. Stephan, coordenador do projeto Maglev Cobra, ainda é cedo para termos um custo exato, mas estima que, para cada quilômetro de Maglev, com a tecnologia adotada no Projeto Maglev Cobra, o custo total gire em torno de R$ 30 milhões.

1.1.1.2. Opinião do autor

O projeto em desenvolvimento no COPPE apresenta-se como promissor. Entretanto, faz-se necessária sua adaptação para uma escala maior e, deste modo, trazer a avaliação dos requisitos técnicos a serem transpostos ao patamar próximo da real aplicação do mesmo.

Trata-se de uma tecnologia inovadora em fase embrionária para os meios de transporte, com grande potencial para ser utilizado no futuro, porém existem uma série de desafios tecnológicos a serem vencidos, que com recursos básicos, podem consumir no mínimo de 8 anos, para se tornar um produto comercial, passando por diversas etapas.

Deste modo, considero importante como uma primeira etapa, o patrocínio de um plano de negócios que contemple o estudo de viabilidade técnica e econômica, bem como o projeto básico da instalação e uma versão do Maglev com maior área de abrangência, para que este plano de negocio seja usado na captação de investimentos da iniciativa pública e privada na implantação de novas etapas do projeto Maglev.

Acredito que as soluções técnicas de parte dos problemas operacionais, podem ser melhores e mais rapidamente equacionadas com o acompanhamento dos pesquisadores em modelos reduzidos.

3. TECNOLOGIAS ASSOCIADAS À MOBILIDADE

É sabido que a mobilidade puramente elétrica é a mais eficiente e a que menos contribui para a emissão de CO2, porém, muitas vezes, o custo de implantação e/ou falta de tecnologia que viabilize atender aos requisitos típicos do transporte urbano nas cidades, força a utilização de outras opções de mobilidade como, por exemplo, a elétrica híbrida.

Neste contexto, uma importante ação para ajudar a solução dos problemas de mobilidade é a promoção da Mobilidade Urbana Sustentável, com ênfase no Transporte Coletivo em detrimento ao individual, especialmente, com propulsão Elétrica e Híbrida, colocando a tecnologia a serviço da melhora na qualidade da população e da eficiência do transporte público.

Por esta razão, faz-se importante a realização de estudos específicos na área de

Mobilidade Urbana Sustentável, com ênfase no Transporte Coletivo com propulsão elétrica e híbrida, que busquem e apresentem alternativas para que o Brasil possa atuar neste novo seguimento, reduzindo a dependência internacional e, porque não, reposicionando o país como exportador de equipamentos e/ou tecnologia de mobilidade, atendendo, desta forma, demandas internas, e se preparando para a competição no mercado global, nos mesmos moldes em que são realizados na área de aviação com a empresa EMBRAER.

Deste modo, a opção híbrida se torna essencial para as aplicações onde o veículo necessita transportar consigo sua fonte de energia para propulsão, diferente das aplicações de metrôs, trólebus e outros modais em que a energia não faz parte da carga a ser transportada.

Para a melhor compreensão das soluções aplicadas à mobilidade elétrica e hibrida, faz-se necessário uma visão global das principais tecnologias associadas a este tema, tais quais são abordadas nos próximos tópicos.

3.1. TECNOLOGIAS DE TRAÇÃO ELÉTRICA

A indústria automobilística constantemente tenta criar um novo projeto de motor de combustão interna ou aprimorar o existente. No entanto, a tecnologia de máquinas térmicas está restrita a um limite fundamental da eficiência, o limite de Carnot, que estabelece um limite absoluto sobre a eficiência na qual a energia do calor pode ser convertida em trabalho útil. Atualmente, os motores de combustão interna para uso automotivo têm eficiência da ordem de 20% ou menos, quando comparada com o seu limite de Carnot, que é de 37%. (Chandler, 2010).

Desse modo, avanços na eficiência dos veículos convencionais são extremamente restringidas pelas limitações físicas dos motores de combustão interna.

Além do benefício da não emissão de gases não poluentes, uma das características mais importantes do motor elétrico é a elevada eficiência na conversão de energia, que pode varia de 85% a 97%, o que supera em muito o limite de Carnot para MCI automotivos (37%). Em condições reais o rendimento do MCI automotivo é da ordem de 15% a 20%.

Adicionalmente, a eficiência do motor elétrico sofre pouca variação em função da carga, ao passo que a eficiência do MCI é altamente suscetível á variação da carga.

Para aplicações em VEH, além das questões relacionadas a eficiência, confiabilidade e custo, outros três fatores que influenciam na determinação do motor mais adequado são: a expectativa do condutor, as restrições do veículo e a fonte de energia (Zeraoulia, 2006).

De acordo com Zeraoulia, 2006, os principais requisitos para o sistema de tração elétrica de VEH elencadas na literatura especializada são:

a) Potência instantânea e densidade de potência elevadas;

b) Torque elevado em baixas rotações para partida e subidas, assim como potência elevada em altas rotações para velocidade de cruzeiro;

c) Faixa de operação bem ampla para velocidade, incluindo regiões de torque constante e potência constante;

d) Rápida resposta de torque;

e) Elevada eficiência em ampla faixa de operação de torque e velocidade

f) Alta eficiência na frenagem regenerativa

g) Alta confiabilidade e robustez em vários modos de operação, e;

h) Custo razoável.

Outro cuidado especial, do ponto de vista industrial, diz respeito à aceitação do tipo de motor no mercado, que está também está diretamente relacionado ao seu custo e disponibilidade de conversores eletrônicos de potência aplicados a cada tipo de motor.

É importante lembrar que o regime de trabalho do motor elétrico é completamente distinto, conforme tipo configuração: híbrido série, híbrido paralelo, híbrido série-paralelo ou híbrido complexo.

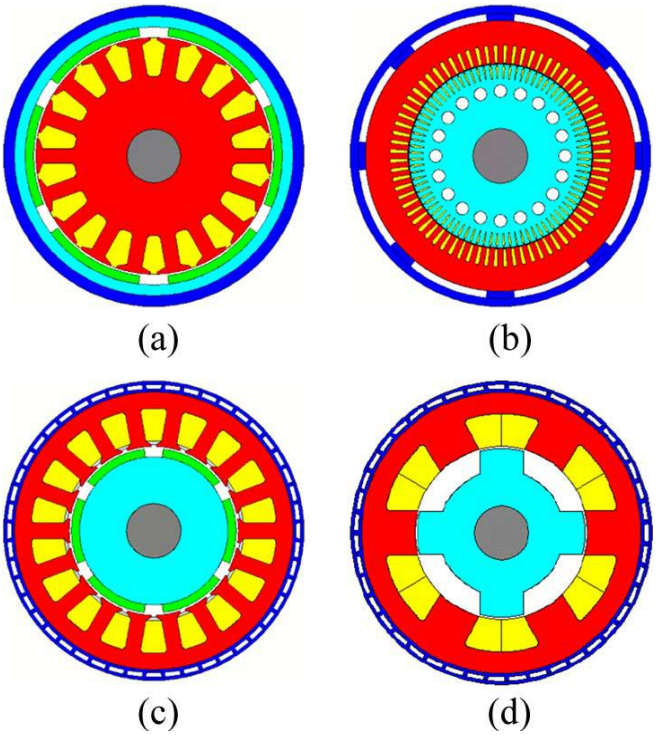
3.1.1. Principais Tipos de Máquinas Elétricas

Nesse tópico, serão apresentados principais tipos de motores que tem sido utilizado para tração veicular e que tem sido foco de pesquisa, tanto do ponto de vista de aprimoramento construtivo e de materiais, bem como técnicas de acionamento que otimizem seu desempenho conforme tipo de aplicação.

Os quatros tipos de motores que serão abordados são:

- motor de corrente contínua;
- motor de indução de gaiola de esquilo (motor de corrente alternada)
- motor síncrono de imã permanente (motor de corrente alternada)
- motor de relutância variável

Figura 39 - Motores Elétricos Industriais; (a) Motor de Corrente Contínua; (b) Motor de Indução; (c) Motor Síncrono de Ímã Permanente; (d) Motor de Relutância Variável



Fonte: Zeraoulia,2006

3.1.1.1. Motores de Corrente Contínua

O motor de corrente contínua (CC) é amplamente utilizado para tração veicular de uso industrial, tais como carrinhos elétricos e empilhadeiras, pois apresenta características de torque e velocidade adequados para tal aplicação e possuir controle de velocidade simples. No entanto, os motores CC são volumosos, possuem baixa eficiência e frequente necessidade de manutenção, principalmente devido a presença de comutadores mecânicos (escovas). (Zeraoulia,2006)

O avanço da tecnologia no desenvolvimento de dispositivos semicondutores de potência, bem como dos microprocessadores para a realização do controle dos motores viabilizou a utilização dos motores de corrente alternada (CA) de forma abrangente na indústria.

3.1.1.2. Motores de Indução – Tipo Gaiola de Esquilo

O motor de indução, tipo gaiola de esquilo, apresenta-se como uma das alternativas mais interessantes para aplicação veicular. O motor de indução é a tecnologia dominante na indústria, devido a sua robustez, confiabilidade, manutenção zero, capacidade de operar em condições agressivas e possuir um dos menores custos de produção dentre os diversos tipos de motores. Utilizando técnicas de acionamento por variação da frequência, em particular, o controle vetorial, o uso dos motores de indução foi viabilizado em aplicações que exigiam alto desempenho

dinâmico, com variações de torque e velocidade em toda a faixa de operação do motor, inclusive possibilitando torque nominal à velocidade zero. (Zeraoulia,2006)

Os motores de indução possuem elevada densidade de potência e elevada confiabilidade no acionamento por se tratar de uma tecnologia bem madura devido a sua ampla utilização na indústria. Adicionalmente, os motores de indução não possuem força contra-eletromotriz que necessite cuidados especiais quando operando em altas velocidades. (Chan, 2007)

3.1.1.3. Motores Síncronos de Ímã Permanente

Os motores síncronos de ímã permanente são os que apresentam maior densidade de potência e também apresentam a maior eficiência, dentre os motores apresentados. No entanto, os benefícios em termos de peso e eficiência vem acompanhados do elevados custo devido ao uso de terras raras, ou seja, neodímio, que estão disponíveis predominantemente na China (Frieske, 2013).

Uma das desvantagens inerentes aos motores de ímã permanente é a sua estreita faixa de operação em potência constante, que é limitado pelo campo magnético constante. Para estender sua operação em velocidades mais elevadas, o campo magnético somente pode ser enfraquecido através do campo do estator. No entanto, este recurso tem limitações devido ao risco de desmagnetização dos ímãs. Outro problema a ser considerado em altas velocidades, é que o inversor deve resistir à máxima força contra-eletromotriz gerada pelo estator. Devido a existência dos ímãs no rotor, o sistema pode ter problemas em caso ocorra falha de curto-circuito no enrolamento do estator.(Chan, 2007)

3.1.1.4. Motores de Relutância

Os motores de relutância tem recebido maior atenção como mais uma possível alternativa para a aplicação em VEH, por possuir construção robusta e simples, tolerante a falhas, controle simples e larga faixa de operação em potência constante. No entanto, esse tipo de motor também apresenta uma série de desvantagens, tais como geração de ruído acústico, torque oscilante (ripple), necessidade de conversor eletrônico com topologia especial, ripple muito elevado no barramento de corrente e geração de interferência eletromagnética. Além do custo relativamente elevado em relação ao motor de indução, todas essas desvantagens são relativamente críticas para aplicação veicular. (Chan, 2006).

3.1.2. Algumas Considerações Para Seleção Do Tipo De Motor

Segundo Zeraoulia,2006, a seleção da tecnologia mais adequada depende diretamente do regime de trabalho ao qual o motor será submetido e portanto, depende da configuração do VEH. No estudo apresentado em Chan, 2006, para cada tipo de motor, foram pontuados (de 1 a 5) as principais características que devem ser avaliadas para orientar a escolha do motor. Na tabela a seguir, a característica apresenta melhor desempenho recebe cinco pontos. Todas as características foram ponderados com pesos iguais com objetivo de cobrir uma ampla gama de aplicações. No entanto, esses valores podem ser alterados de acordo com a aplicação.

Tabela 3 - Avaliação dos Sistemas de Propulsão Elétrica

	Sistema de Propulsão			
Características	**Motor CC**	**Motor de Indução**	**Motor de Imã Permanente**	**Motor de Relutância**
Densidade de Potência	2,5	3,5	5	3,5
Eficiência	2,5	3,5	5	3,5
Controlabilidade	5	5	4	3
Confiabilidade	3	5	4	5
Maturidade Tecnológica	5	5	4	4
Custo	4	5	3	4
TOTAL	22	27	25	23

Fonte: Zeraoulia,2006

Pela avaliação realizada, o motor de indução apresenta-se como tecnologia com melhores características para ser aplicado na propulsão elétrica veicular. O motor de ímã permanente também apresenta-se como uma boa alternativa, caso atribuído maior peso às características de eficiência e densidade de potência. Para aplicações nos quais a potência, como é o caso do ônibus, os motores de indução apresentam rendimento da ordem 92%, reduzindo a diferença desse quesito com relação aos motores de ímã permanente.

3.1.3. Veículos Elétricos e Híbridos

O avanço das pesquisas vem ampliando significativamente a acessibilidade às diversas fontes alternativas de energia, às tecnologias para sua conversão/utilização e às formas de armazenamento dessa energia. Contudo, dificilmente encontra-se uma alternativa capaz de suprir todas as necessidades apresentadas, sendo necessário a combinação dessas diferentes tecnologias para atender demandas mais complexas.

Como a tecnologia de veículos elétricos e híbridos é um tema multidisciplinar bem abrangente, faz-se necessário detalhar algumas definições, uma vez que o tais conceitos podem causar alguma confusão.

De acordo com a IEC 61851-1, ed. 2.0 (2010-11), o veículo elétrico (VE) é definido como qualquer veículo impulsionado por motor elétrico alimentado por uma bateria recarregável ou por outro dispositivo portátil de armazenamento de energia (recarregável, que utilize fonte de energia externa ao veículo tais como serviço de energia elétrica pública ou residencial).

Já o veículo elétrico híbrido plug in (VEHP) é definido como qualquer VE que pode recarregar o seu dispositivo armazenamento de energia a partir de uma fonte externa de energia elétrica e também obter parte de sua energia de outra fonte.

A Agência Internacional de Energia (IEA – International Energy Association) define um veículo híbrido (VH) como aquele cuja energia para propulsão está disponível a partir de dois ou mais tipos de armazenamento de energia, fontes, ou conversores, e que ao menos uma delas deve estar embarcada no veículo, (IEA-HV, 2011).

O veículo elétrico híbrido (VEH) é, portanto, um caso particular de veículo híbrido no qual pelo menos um dos armazenadores de energia, fontes ou conversores fornece energia elétrica.

Desse modo, para o VEH, sob as definições acima, desde que haja pelo menos um elemento que forneça energia elétrica, é possível realizar diferentes combinações que podem incluir, baterias, supercapacitores, células/pilhas a combustível, reformadores, motores de combustão interna (gasolina, etanol, diesel, biodiesel, h2, etc), acumuladores pneumáticos/hidráulicos, flywheels, entre outros.

Tabela 4 – Características de diversos tipos de Veículos Elétricos.

Tipos de VE	VE a bateria (elétrico puro)	VE Híbrido	VE movidos a Célula a Combustível
Propulsão	Motor Elétrico	Motor elétrico; Motor de Combustão Interna;	Motor elétrico;
Sistema de Energia	Bateria; Ultracapacitores;	Baterias; Ultracapacitores; Motor de Combustão Interna;	
Fonte de Energia e Infraestrutura	Instalações elétricas públicas ou residenciais;	Instalações elétricas públicas ou residenciais; Postos de Gasolina;	Hidrogênio; Produção de hidrogênio e infraestrutura de transporte
Características	Emissão Zero; Independência do petróleo; Autonomia de 100-200 km; Custo inicial elevado; Comercialmente disponível;	Emissão baixa; Dependente de combustível; Maior autonomia; Mais caro; Mais complexo; Comercialmente disponível;	Emissão Zero ou Emissão ultra Baixa; Eficiência Elevada; Independência do petróleo (se fonte de H2 não seja gasolina); Autonomia satisfatória; Custo elevado; Em desenvolvimento;
Maiores Problemas	Bateria e gerenciamento da bateria; Propulsão de alto desempenho; Serviço de recarga em locais públicos	Gerenciamento de múltiplas fontes de energia; Dependente do ciclo de uso; Dimensionamento e gerenciamento da bateria.	Custo, ciclo de vida e confiabilidade da célula a combustível, Infraestrutura para H2

Fonte: Chan, 2007

3.1.3.1. Tipos de Veículos Elétricos Híbridos

Como o conceito de VEH é amplo, para este trabalho, o termo VEH será utilizado apenas para se referir aos veículos elétricos que combinem MCI e baterias como fontes de energia. A classificação dos tipos de VEHs tem convergido dois grandes grupos:

1) Quanto à arquitetura, ou seja, como as tecnologias de propulsão são combinadas, e;

2) Quanto ao grau de hibridização, ou seja, potência elétrica e da função do motor elétrico.

Cada uma das possíveis configurações de integração do MCI e do motor elétrico apresenta vantagens e desvantagens e diferentes níveis de complexidade. Assim, diferentes estratégias de controle são necessárias para regular o fluxo de potência dos diferentes componentes. Essas estratégias visam atender principalmente os seguintes objetivos:

- Aumento da economia de combustível;
- Minimização emissões;
- Minimização dos custos do sistema;
- Bom desempenho ao dirigir (torque, velocidade, autonomia, conforto).

Desse modo, conforme o tipo de utilização ao qual o veículo se destina, haverá uma configuração que melhor se ajuste para o atendimento dos objetivos supracitados.

3.1.3.1.1. Arquiteturas

Quanto a forma como o MCI e o motor elétrico são combinados, os VEHs foram classificados em quatro configurações:

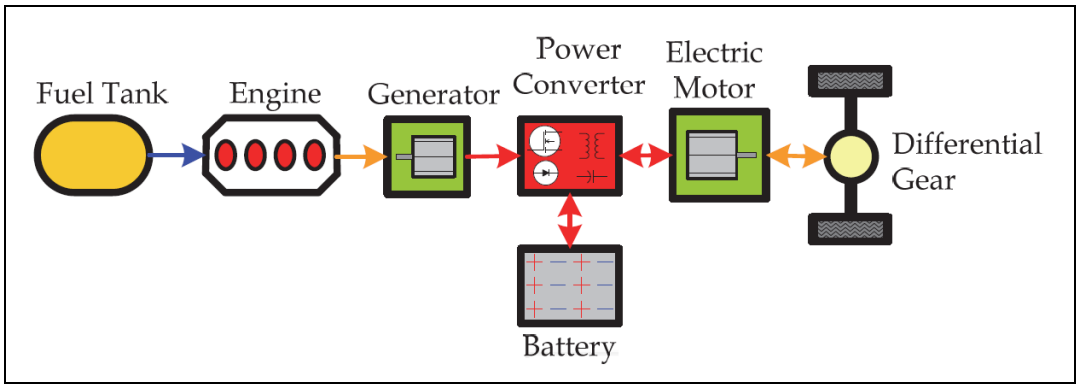
- Híbrido série;
- Híbrido paralelo;
- Híbrido série-paralelo; e
- Híbrido complexo.

3.1.3.1.1.1. Hibrido série

Na configuração híbrido série, a propulsão do veículo é realizada exclusivamente através do motor elétrico de tração, portanto deverá ser dimensionado para a máxima potência requerida. O MCI é acoplado apenas gerador para produzir energia elétrica para que seja utilizada para recarregar as baterias ou para acionar o motor elétrico de tração.

Desse modo, o MCI poderá trabalhar no seu ponto de máxima eficiência, pois não possui acoplamento direto com as rodas do veículo. O motor elétrico, por sua vez, também poderá atuar como gerador para devolver energia à bateria quando utilizado como freio regenerativo.

Figura 40 – Configuração Híbrido Série



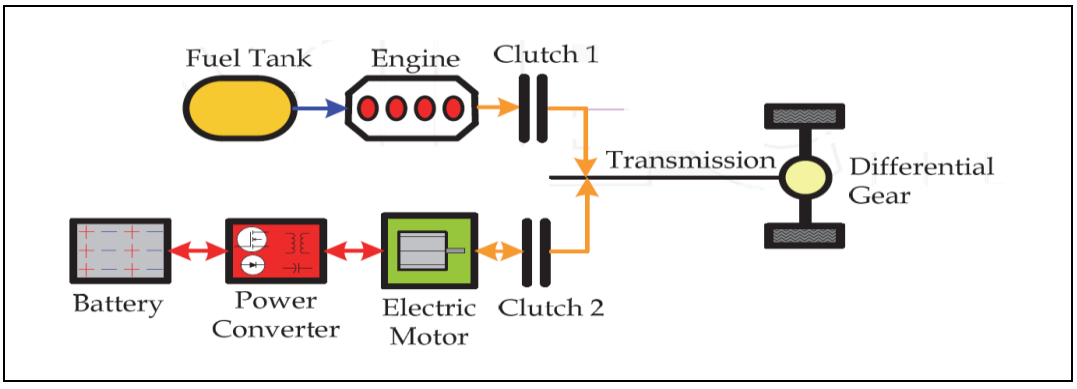
Fonte: Lucena, 2011

3.1.3.1.1.2. Hibrido Paralelo

Na configuração híbrido paralelo, a propulsão do veículo pode ser realizada independentemente tanto pelo MCI quanto pelo motor elétrico ou com os dois operando ao mesmo tempo, uma vez que ambos estão acoplados ao eixo das rodas.

O motor elétrico poderá atuar como gerador para recarregar a bateria pela frenagem regenerativa ou absorvendo energia do MCI quando sua potência de saída for superior à necessária para mover as rodas do veículo (Chan, 2002). Como o motor elétrico e o MCI trabalham em paralelo, o dimensionamento de ambos pode ser realizado de modo que a soma seja igual à máxima potência requerida, sem perda de desempenho até o momento que a bateria esteja completamente descarregada.

Figura 41 – Configuração Híbrido Paralelo (Fonte: Lucena, 2011

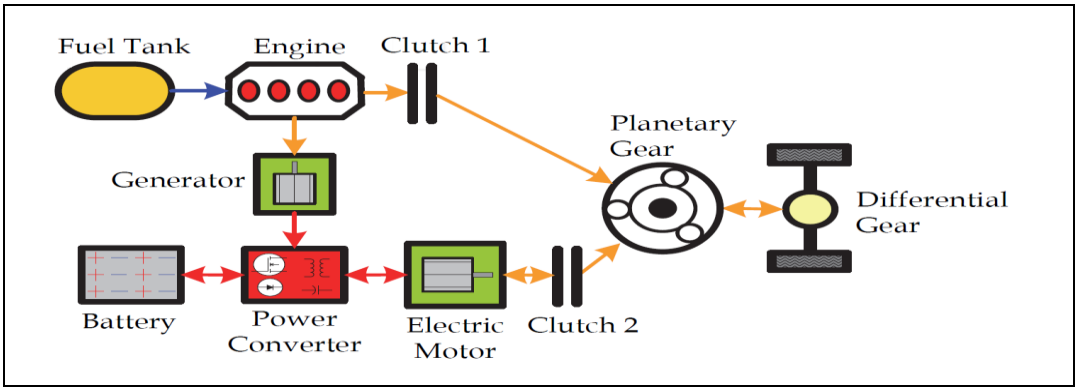


Fonte: Lucena, 2011

3.1.3.1.1.3. Hibrido Série-Paralelo

Segundo Lucena, 2011, a configuração híbrido série-paralelo, busca incorporar os recursos das configurações série e paralelo, no entanto, envolve um acoplamento mecânico adicional quando comparado com o híbrido série e um gerador adicional quando comparado com o híbrido paralelo. Esta configuração proporciona um grau maior de modos de operação que as configurações série ou paralela, o que envolve um esforço maior no desenvolvimento do controlador e na realização dos testes.

Figura 42 - Configuração Híbrido Série-Paralelo



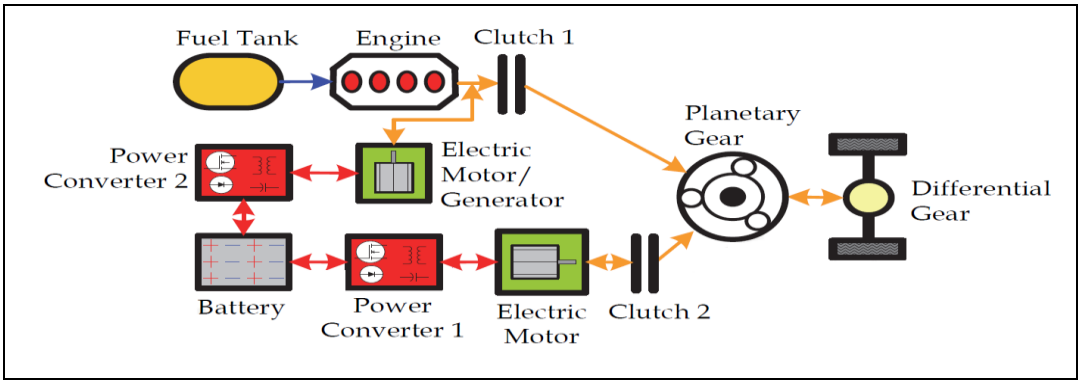
Fonte: Lucena, 2011

3.1.3.1.1.4. Hibrido Complexo ou Híbrido de Potência DivididA

Esta designação é reservada para configurações que não se enquadra nas arquiteturas anteriores. O híbrido complexo se assemelha ao híbrido série-paralelo. No entanto, a principal diferença está no fluxo de potência através do gerador acoplado ao MCI, que é apenas unidirecional no híbrido série-paralelo.

No caso do híbrido de potência dividida, o gerador acoplado ao motor de Combustão interna também pode ser utilizado como motor elétrico, ou seja, o fluxo de potência é bidirecional. Portanto esta configuração possui três mecanismos de propulsão (um MCI e dois motores elétricos), o que propicia um número maior de combinações entre os sistemas de tração e geração/recuperação de energia. Desse modo, assim como no híbrido paralelo, esta configuração envolve um nível de maior de complexidade e de custos.

Figura 43 - Configuração Híbrido Complexo ou de Potência Dividida



Fonte: Lucena, 2011

3.1.3.1.2. Grau de Hibridização

Segundo Chan, 2007, de acordo com a função do motor elétrico e da sua potência, os VEHs de passeio podem ser classificados em 3 categorias:

3.1.3.1.2.1. Híbrido Micro (Micro Hybrid)

A potência do motor elétrico para um veículo de passeio “micro hybrid” é da faixa de 2,5 kW à 12V. Em essência, envolve da integração do motor de partida e do alternador ao MCI. A função do motor elétrico é atuar apenas na partida e na parada do veículo. Nas cidades, o ciclo de condução do veículo é caracterizado por frequentes partidas e paradas. Nesse regime de trabalho, a economia de energia pode variar entre 5% e 10%.

3.1.3.1.2.2. Híbrido Leve (Mild Hybrid)

A potência do motor elétrico para um veículo de passeio “híbrido leve” é da faixa de 10-20 kW (de 100-200 V). Nesse caso, o motor é projetado com um formato mais achatado e acoplado diretamente ao MCI. Devido ao diâmetro proporcionalmente maior em relação ao comprimento, possibilita ao motor elétrico possuir inércia elevada possibilitando ser utilizado no lugar do volante-motor original do MCI. Desse modo o motor elétrico poderá atuar na propulsão, como na configuração híbrido paralelo. Nesta configuração, em ciclo urbano, o veículo tipicamente pode obter economia de energia na faixa de 20% a 30%, no entanto, o seu custo também aumentará de 20% a 30%.

3.1.3.1.2.3. Híbrido Pleno (Full Hybrid)

A potência do motor elétrico para um veículo de passeio “full hybrid” é de cerca 50 kW (de 200-300 V). As configurações mais comumente utilizadas são o híbrido série-paralelo e o híbrido complexo. Tipicamente, o veículo “full hybrid”, em ciclo urbano pode economizar de 30% a 50% de energia, enquanto que os custos aumentam de 30% a 40%.

3.2. TECNOLOGIAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

Um dos elementos críticos para a tecnologia de veículos elétricos é o sistema de armazenamento de energia. Dentre elas, a bateria é a principal tecnologia a ser considerada, pois além da capacidade de prover energia e potência para o sistema de propulsão, também possibilita a recuperação de energia a partir do processo de frenagem regenerativa, bem com do MCI.

De acordo com Chan, 2002, uma vez identificado como um dos principais obstáculos para a comercialização de VEs, as pesquisas na área de baterias tem se intensificado com objetivo de melhorar as seguintes características:

1) Capacidade de Armazenamento: Alta energia específica (kWh/kg) e densidade de energia (kWh/L);
2) Capacidade de cargas e descargas rápidas: Alta potência específica (kW/kg) e densidade de potência (kW/L);
3) Vida útil (número de cargas e descargas e idade);
4) Baixa taxa de autodescarga e elevada eficiência de recarga;
5) Segurança;
6) Manutenção;
7) Ecologicamente correto (fabricação e reciclagem); e
8) Relação custo-benefício.

Tabela 5 - Comparação do desempenho de alguns sistemas de bateria.

Sistema	Energia Específica (Wh/kg)	Densidade de Energia (Wh/l)	Potência Específica (W/kg)	Densidade de Potência (W/l)	No. de Ciclos
Chumbo-Ácido					
VE	35-50	90-15	150-400	400-1000	500-1000
VEH	27	774	350	900	?
Nickel-Cádmio					
VE	60	115	225	400	2500
Nickel-Metal					
VE	68	165	150 (80% DOD)	430 (80% DOD)	600-1200
VEH	50	125	750 (50% DOD)	>1600(50% DOD)	?
Sódio-Enxofre					
VE	117	171	240	351	800
Sódio-Metal					
VE	94	147	170	266	>1000
Lítio-Íon (LMO) Módulo de bateria para VE	93	114	350	429	800(40°C)
Lítio-Polímero Módulo de bateria para VE	155	220	315	447	600

* DOD – *Depth of Discharge* (Profundidade de Descarga)

Fonte: Tackeray, 2004

Os valores são apenas para referência, uma vez que tais valores podem variar em função dos constantes avanços tecnológicos.

Segundo Thackery, 2004, as baterias são um conjunto de células (pilhas) eletroquímicas, associadas em série e/ou em paralelo para aumentar a tensão e a capacidade de corrente da bateria. As células individuais consistem de um eletrodo negativo (ânodo) e um eletrodo positivo (cátodo) separados por um eletrólito (que pode ser líquido, sólido ou pastoso). Durante a descarga, uma reação de oxidação ocorre no ânodo e a carga iônica é transportada para o cátodo através do eletrólito, onde ocorre uma reação de redução; a mesmo tempo, há uma transferência de elétrons do ânodo para o cátodo através de um circuito externo para assegurar que a neutralidade de cargas seja mantida. Para (recarregáveis) baterias secundárias, estes processos são revertidos durante a carga.

3.2.1. Baterias Chumbo-Ácido

A bateria chumbo ácido (Pb-A) existe comercialmente a mais de 100 anos e pode ser encontrado em diversas aplicações. Na indústria automobilística, esta bateria é utilizada para dar partida no MCI, além de fornecer energia elétrica para demais sistemas do veículo. Também é amplamente utilizado como baterias tracionárias em veículos elétricos industriais, tais como empilhadeiras, carrinhos de golfe, entre outros, nos quais o peso não é a principal preocupação.

De acordo com Thackeray, 2004, apesar de seu baixo custo e apresentar elevada capacidade de descarga, devido à sua baixa densidade de energia e vida útil curta, esta bateria é menos indicada para aplicações de VE de alto desempenho (uso rodoviário e/ou urbano). Além disso, a recarga dessas baterias pode ser perigosa, pois o processo resulta na liberação de hidrogênio e oxigênio. Outro risco inerente dessas baterias é o eletrólito de ácido sulfúrico, que é corrosivo e pode causar graves queimaduras químicas.

3.2.2. Baterias de Níquel (Alcalinas)

Diversos tipos de baterias a base de níquel foram desenvolvidas, dos quais podemos citar níquel-ferro, níquel-zinco, níquel-cádmio (NiCd) e níquel-metal-hidreto (NiMH).

As baterias níquel-ferro, apesar de apresentar capacidade de prover elevado número de descargas profundas, eram limitadas pela baixa densidade de potência, baixo desempenho a baixa temperatura e pobre retenção de carga e liberação de gás quando armazenado. A principal limitação da bateria níquel-zinco está relacionada a severas alterações na forma do eletrodo de zinco que ocorre durante os ciclos de carga e descarga; e a formação de dendritos que podem causar curto-circuito. Adicionalmente, a corrosão do eletrodo de zinco libera hidrogênio.

Thackeray. 2004, afirma que a bateria NiMH foi desenvolvida como uma alternativa ecologicamente aceitável para a bateria de NiCd. O eletrodo formado pelo elemento tóxico cádmio (Cd) foi substituído eletrodo de metal-hidreto. As vantagens das baterias NiCd, quando comparadas com baterias de NiMH, são menor custo, maiores taxas de descargas e operação a menores temperaturas. Contudo, a toxidade do cádmio e as baixas densidades de potência e de energia disponibilizado pela baterias NiCd, em comparação às baterias NiMH, são os principais fatores que evitaram o seu crescimento no mercado. As baterias NiMH perdeu significativamente participação de mercado para as baterias de lítio-íon, que oferecem significativamente maior tensão por célula e maior energia específica.

3.2.3. Baterias de Lítio

De acordo com Bossche, 2005, as baterias a base de lítio tem sido considerada por muitos fabricantes como uma das mais promissoras tecnologias para aplicações em veículos elétricos. A tecnologia de lítio pode ser implementada em diversas versões, das quais as mais interessante são a lítio-íon e a lítio-polímero.

3.2.4. Baterias Lítio-Íon

A células de lítio-íon, são formados pelo eletrodo negativo de grafite e um eletrodo positivo de LiCoO2. Esse sistema propicia elevada tensão para as células e elevada densidade de potência devido à utilização de eletrodos leves. No entanto, os eletrodos tornam-se altamente reativos quando completamente carregados. Se as células forem sobrecarregadas, existe a possibilidade de reações exotérmicas que podem representar sérios riscos a segurança. No caso de fuga térmica e acúmulo de gases, a célula pode se abrir, romper e entrar em conbustão. Desse modo, segundo Thackeray, 2004, cada uma das células deve ser monitorada individualmente, a fim de preveni-las do risco de sobrecarga, o que tornam mais cara a sua utilização.

Comparados com outros sistemas, as baterias de lítio-íon são muito versáteis quanto a sua química, permitindo a utilização de outras combinações para a formação do eletrodo positivo, em lugar do cobalto, tais como, níquel (Ni), manganês (Mn), titânio (Ti), ferro-fosfato (FePO4). No entanto, de acordo com Chen, 2012, cada uma dessas alternativas apresenta algum tipo de restrição (ões) em quesitos relacionados a densidade de energia e de potência, segurança nas condições de sobrecargas e descargas, confiabilidade e durabilidade para aplicações automotivas. Além disso, ainda há questões relacionadas ao custo da matéria-prima e questões ambientais.

Tabela 6 – Comparativo entre tipos de bateria de lítio.

Especificação	LCO	LMO	LFP	NMC
Tensão Nominal	3.90 V	3.70 V	3.40 V	3.60-3.70 V
Carga Limite	4.20 V	4.20 V	3.60 V	4.20 V
Ciclos de Vida	500	500-1000	1000-2000	1000-2000
Temp. de Operação	Médio	Médio	Bom	Bom
Energia Específica	155	100-120	160	200
Potência Específica	1 C	10 C 40 C	35 C	10 C
Fuga Térmica	150 ^{o}C	250 ^{o}C	270 ^{o}C	210 ^{o}C
Segurança	Ruim	Médio	Muito Bom	Bom
Custo	Alto	Baixo	Moderado	Moderato

Fonte: Chen, 2012

3.2.5. Lítio-Polímero

Baterias de lítio que contenham eletrodo negativo de lítio metálico acoplado via eletrólito polimérico sólido podem oferecer bem maior capacidade quando comparado com as de eletrodo de grafite. No entanto, de acordo com Thackeray, 2004, a condutividade iônica do eletrólito é comprometida em baixa temperatura ambiente. Outra limitação refere-se a crescimento de detritos de lítio durante a carga que podem levar a curto-circuito internos, restringindo o número de ciclos desse tipo de bateria.

3.2.6. Bateria de Sódio

Trata-se de baterias de alta temperatura. Nessa categoria, a que possui características adequadas para aplicação veicular é a base de sódio-níquel –cloro (NaNiCl), também conhecida com bateria ZEBRA® (Zero Emission Batteries Research Activity). Outra bateria de sódio conhecida é sódio-enxofre (NaS), que tem uma série de desvantagens que que é aplicada apenas para uso estacionário.

As baterias de sódio utilizam um eletrólito sólido (material cerâmico), descoberto em 1967, chamada beta-alumina, que possui elevada condutividade específica aos íons de sódio (0,2 S/cm à 300°C), o que é comparável à eletrólitos líquidos (por exemplo, 3,75 M H2SO4 possui 0,8 Sm/cm à temperatura ambiente).

3.2.7. Bateria NaNiCl

A bateria NaNiCl ou bateria ZEBRA®, utiliza cloreto de níquel ou sal comum e níquel como eletrodo positivo; e um segundo eletrólito líquido (NaALCl4) para prover condução iônica dentro do eletrodo positivo. Durante a carga o sal (NaCl) e o níquel (Ni) são transformados em cloreto de níquel (NiCl) e sódio metálico(Na). Na descarga, essa reação ocorre no sentido inverso regenerando o sal e o níquel. (Manzoni, 2008).

A USABC (U.S. Council for Automotive Research LLC) e a EUCAR (European Council for Automotive R&D) definiram testes de segurança para baterias de VE com o objetivo de compreender as implicações de segurança de uma tecnologia de baterias em condições de pior caso a fim de evitar surpresas. Estes testes são: impacto da queda, deformação, intrusão, volume de negócios, fogo, imersão em água, sobrecarga, curto-circuito, inversão. Segundo Dustmann, 2009, as baterias NaNiCl2 passaram nesses testes já no início dos anos noventa e um abrangente relatório é publicado pela NREL (TRICKETT).

De acordo com Manzoni et Al., 2008, uma das desvantagens consideradas na bateria ZEBRA é a necessidade de gestão térmica, que deve operar com temperatura em na faixa dos 270°C a 350° C para uma operação eficiente. Acondicionada numa caixa isolada a vácuo com isolante térmico (espuma de SiO2), as perdas de calor são muito baixas (0,006W/mK) e uma simples resistência de aquecimento interna pode mantê-la em temperatura de operação. Durante a operação da bateria, a própria resistência interna da bateria pode mantê-la aquecida. No entanto, operar com temperatura interna elevada trazem algumas vantagens:

- Vida útil e desempenho independente da temperatura ambiente;
- Sistema de refrigeração simples e eficiente;
- Quando inativa e fria, a bateria pode ficar armazenada indefinidamente.
- É importante lembrar que qualquer tipo de bateria tem resistência interna e em todas as baterias, o calor gerado internamente deve ser removido para evitar superaquecimento.
- Como vantagem dessa bateria pode-se citar:
- Densidade energética similar a das baterias de lítio
- Vida útil da ordem 10 anos e 1000 ciclos
- Capacidade de 100% de profundidade de descarga
- Tolerante a curto-circuito
- Célula falha típica torna-se curto-circuito, permitindo que a corrente continue fluindo pelas demais células e evitando a de toda a bateria fique inoperante.

3.3. TECNOLOGIA DO HIDROGÊNIO

Na década de 90, no USA e na Europa, iniciaram as pesquisas voltadas a aplicação de hidrogênio para propulsão de veículos. O hidrogênio era visto com uma perspectiva de médio prazo para solucionar as questões ambientais e principalmente para fazer frente as grandes oscilações de preço do petróleo, controlada pela Organização dos Países Exportadores de Petróleo – OPEP, que tornava o resto do mundo dependente das deliberações deste grupo, com impactos preocupantes na economia dos países importadores.

Aplicações bem sucedidas com o uso de células a combustível realizados pela NASA em veículos espaciais, onde havia pequeno espaço e a necessidade produção de energia elétrica sem a produção de poluição e também pelo fato da água resultante do processo químico produzida

pela célula a combustível servia para o consumo dos tripulantes dos ônibus espaciais, tornaram a tecnologia do H_2 atrativa, inspirando os pesquisadores a utilizarem esta solução na mobilidade.

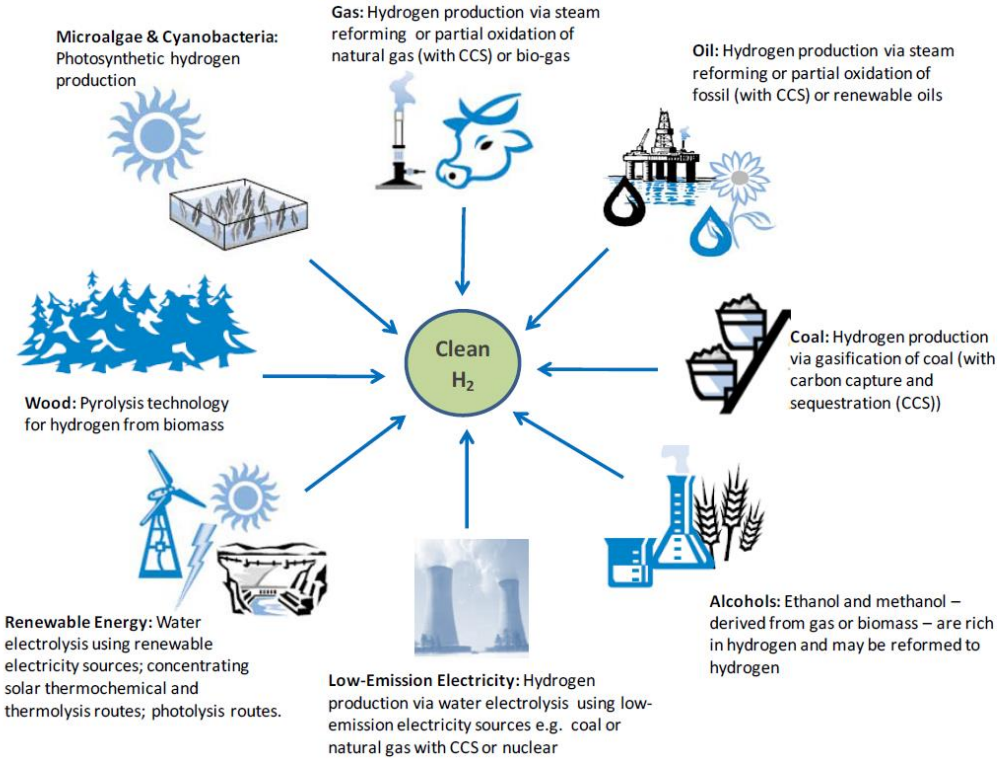
3.3.1. Produção de Hidrogênio e Células a Combustível

Nas discussões acerca da Economia do Hidrogênio, é importante ter em mente que hidrogênio e as células a combustível são dois temas que devem ser tratados formas distintas.

O hidrogênio é não é uma fonte de energia – é um vetor energético, assim como a eletricidade e os combustíveis líquidos. Desse modo, o hidrogênio necessita ser produzido a partir de outras substâncias utilizando-se fontes primárias de energia. Ou seja, é necessário consumir energia para produzir hidrogênio a partir de substâncias que contenham hidrogênio em sua composição. (Austrália, 2008)

Na figura a seguir, é apresentada uma variedade de processos para a produção de hidrogênio a partir de diferentes matérias-primas e utilizando diferentes fontes de energia (renováveis ou não). As tecnologias para cada um desses processos estão em diferentes estágios de desenvolvimento, e cada um oferece oportunidades únicas, benefícios e desafios. A disponibilidade local de matéria-prima, maturidade da tecnologia, aplicações de mercado e demanda, questões políticas, e os custos irão influenciar o momento e a escolha dentre as várias opções para produção de hidrogênio. (IEA, 2006)

Figura 44- Rotas para Produção de Hidrogênio



Fonte: Austrália 2008, adaptado de Riis, 2008;

Além da produção, outra questão que devem ser levados na economia de hidrogênio é a infraestrutura e tecnologias necessárias para o armazenamento, distribuição e entrega do hidrogênio até o consumido final.

3.3.2. Célula a Combustível

A célula a combustível é o dispositivo responsável por converter o hidrogênio em eletricidade, tendo como subprodutos água pura e calor. As células a combustível (CaCs) são classificadas de acordo com o tipo de eletrólito, uma vez que é este componente que determina os tipos de reações química que ocorrerão nas células, o tipo de catalisador requerido e a faixa de temperatura em que a célula irá operar, o tipo de combustível, entre outros fatores. Tais características afetam as aplicações para as quais essas células são mais adequadas. Existem diversos tipos de CaCs em desenvolvimento, cada qual com suas vantagens, limitações e potenciais aplicações.

Ao utilizar hidrogênio puro como combustível, todos os sistemas de células a combustível apresentam eficiência de geração de energia elétrica, na faixa de 45% a 55%. Contudo, considerando os combustíveis comumente disponíveis, tais como gás natural, que é composto principalmente por metano (CH4), as células a combustível de baixa temperatura (PEMFC, AFC e PAFC) possuem ineficiência devido ao processamento adicional de combustível que reduzem a sua eficiência para 30 a 40%.(Austrália, 2008)

Os seis principais tipos de células a combustível são apresentados na tabela a seguir.

Tabela 7 - Tipos de Células a Combustível, Propriedades e Principais Aplicações

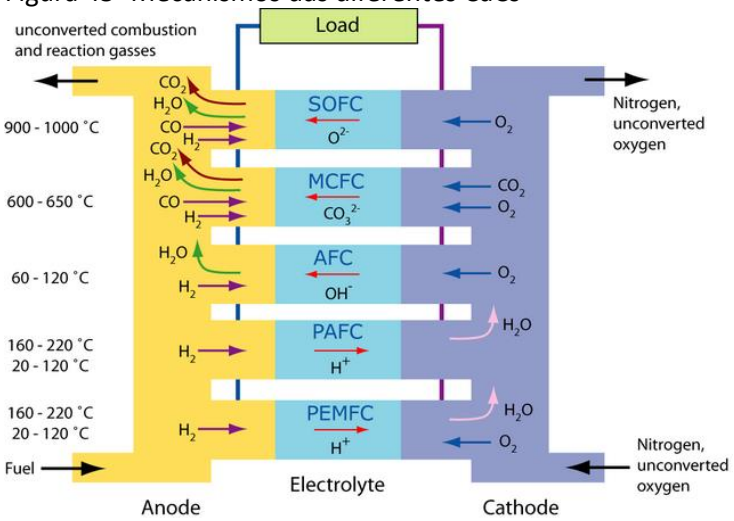
Tipo de Célula a Combustível	**DMFC**	**PEMFC**	**AFC**	**PAFC**	**MCFC**	**SOFC**
Tipo de Eletrólito	Membrana polimérica de troca de íons	Membrana polimérica de troca de íons	Solução alcalina	Ácido fosfórico	Carbonato fundido líquido	Cerâmica
Temperatura de Operação (°C)	20 – 90	30 – 100	50 – 200	~220	~650	500 – 1000
Transportador de Carga	H^+	H^+	OH^-	H^+	CO_3^{2-}	O^{2-}
Faixa de Potência (W)	1 – 100	1 – 100k	500 – 10k	10k – 1M	100k – 10M+	1k – 10M+
Aplicações e Principais Vantagens:						

Dispositivos Portáteis	Densidade de energia maior do que baterias e recarga mais rápida					
Carros, embarcações, naves espaciais		Emissão zero e maior eficiência.				
Cogeração Doméstica (Energia e Calor combinados)			Efficiency and reliability			
Geração distribuída, Cogeração, Ônibus					Eficiência, emissões e menos ruído	
Capacidade de reformar internamente o CH_4	×	×	×	×	√	√

DMFC = Direct Methanol Fuel Cell;
PEMFC = Proton Exchange Membrane Fuel Cell;
AFC = Alkaline Fuel Cells;
PAFC = Phosphoric Acid Fuel Cell;
MCFC = Molten Carbonate Fuel Cell;
SOFC = Solid Oxide Fuel Cell.
Fonte: Cambridge, 2012

A figura a seguir mostra os mecanismos pelos quais diferentes tipos de CaCs operam:

Figura 45- Mecanismos das diferentes CaCs



Fonte: Cambridge, 2012

Tabela 8 – Comparações de Tecnologias de Células a Combustível

Tipo de CaC	Eletrólito	Temperatura de Operação	Faixa de Potência	Eficiência Elétrica	Aplicações	Vantagens	Desafios
PEM	Ácido perfluoro-sulfonico	<120°C	<1 kW–100 kW	60% (H2 direto); 40% (combustível reformado);	• Energia reserva (backup); portáteis; • Geração distribuída; Transportes; Veículos especiais.	• Eletrólito sólido reduz a corrosão e problemas de gestão do eletrólito; baixa temperatura; Partida rápida; Acompanha variação rápida de carga	• Catalisadores caros; Sensível a impurezas no combustível
AFC	Solução alcalina	<100°C	1–100 kW	60%	• Militar; Aeroespacial; Energia reserve (Backup); • Transporte	• Maior variedade de materiais estáveis permite componentes de menor custo; • Baixa temperatura; • Partida rápida	• Sensível a presença de CO2 no combustível e no ar; • Gerenciamento do eletrólito (aquoso);
PAFC	Ácido fosfórico	150°–200°C	400 kW, módulo de 100 kW (PAFC líquido); <10 kW (membrana polimérica)	40%	• Geração distribuída;	• Adequado para cogeração; • Tolerante a impurezas do combustível	• Catalisadores caros; Partida lenta; • Sensível ao enxofre
MCFC	Carbonato fundido liquid	600°–700°C	300 kW–3 MW, módulo de 300 kW	50%	• Concessionária de energia; • Geração distribuída	• Alta eficiência; Flexibilidade de combustível ; Adequado para cogeração; Híbrido/turbina a gás	• Corrosão em alta temperatura e colapso dos componentes da célula; • Partida lenta; • Baixa densidade de energia
SOFC	Zircônio estabilizado com	500°–1,000°C	1 kW–2 MW	60%	• Sistemas auxiliares; Concessionária de energia; • Geração distribuída	• Alta eficiência; Flexibilidade de combustível; • letrólito sólido; • Adequado para cogeração; • Híbrido/turbina a gás.	• Corrosão em alta temperatura e colapso dos componentes da célula; • Partida lenta; • Número limitado de desligamentos

Fonte: DOE – Factsheet, 2006

4. MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL

Tendo em vista que sem mobilidade não haveria vida e considerando a precariedade dos sistemas de mobilidade implantados atualmente, cabe à humanidade buscar soluções tecnológicas visando uma mobilidade urbana de qualidade além de redução nas emissões geradas pelos deslocamentos necessários para que o cidadão tenha acesso aos benefícios oferecidos pelas cidades.

A tecnologia da mobilidade elétrica, seja pura ou híbrida, se torna uma alternativa interessante para reduzir a intensidade da participação do carbono na economia, uma vez que esta tecnologia encontra-se suportada por baixíssimas emissões e alta eficiência.

Cabe ressaltar que a intensidade de carbono na economia brasileira em 2013, foi de 0,20 kg CO_2/US$, o que representa 1,25 vezes menos intensa que o índice da economia europeia, 2 vezes menor que a americana e 4 vezes menos do que o índice da economia chinesa. Entretanto, mesmo, numa visão global, não sendo os maiores responsáveis pelas mudanças climáticas, não estamos isentos da responsabilidade de ajudar a salvar o planeta.

O planeta está doente e, portanto, é fundamental o estimulo a ações para promover a preservação do meio ambiente e uso racional dos recursos naturais, com finalidade de preservamos o planeta para as próximas gerações.

É importante ressaltar que ações globais para mudanças e melhorias nas questões de mobilidade tem ocupado a agenda da maioria do lideres políticos do mundo, não somente pela necessidade de promover uma mobilidade ambientalmente adequada e moderna, mas, principalmente, para buscar o uso eficiente da energia.

Para propiciarmos uma Mobilidade Urbana Sustentável, faz-se necessário a adição de soluções tecnológicas na produção dos produtos, através do incentivo à melhoria da performance dos motores e veículos, à redução de ruídos, à reciclabilidade, ao uso de matérias verdes, à redução de emissões atmosféricas e à aplicação de nanotecnologia e eletrônica embarcada, para obtenção de veículos mais leves e recicláveis com melhores desempenho e qualidade operacional.

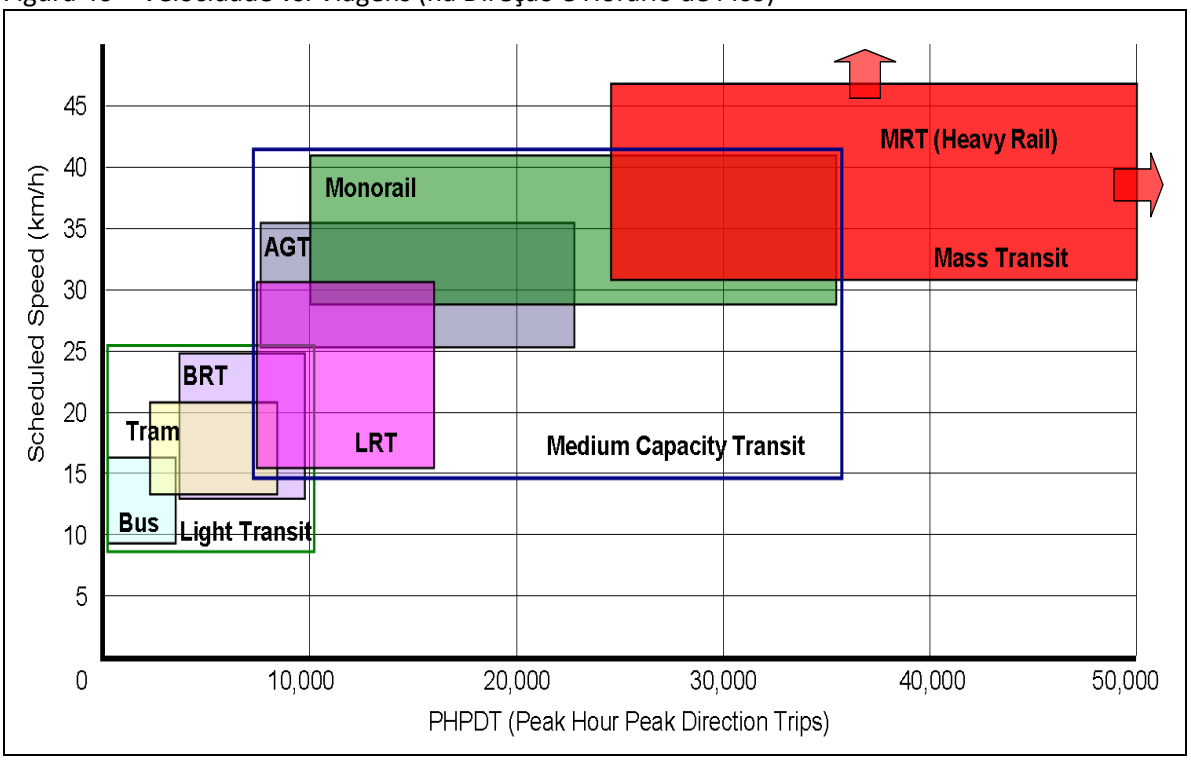
4.1. COMPARAÇÃO ENTRE MODALIDADES

Na comparação entre as diferentes tecnologias de transporte, cabe destacar que não existe uma tecnologia, certa ou errada, pois tudo depende das circunstâncias e locais onde serão aplicadas, além dos investimentos (infraestrutura), custos operacionais, desempenho, eficiência e os impactos econômicos, sociais e ambientais envolvidos na sua implantação.

Na tabela abaixo, apresentamos a comparação de capacidade de transporte em uma faixa de 8 metros de largura (passageiros/horas/sentido), divido os meios de transportes em três categorias: transporte leve (Light Transit) , transporte de média capacidade (Medium Capacity Transit) e transporte de massa (Mass Transit).

Na categoria de transporte leve encontra-se os Ônibus (bus), Bondes (Tram), BRT´s, na categoria de transporte de média capacidade os Veículos Leves sobre trilhos (LRT), os Monotrilhos (Monorail) enquanto que na categoria de transporte de massa temos os Trens (MRT).

Figura 46 – Velocidade vs. Viagens (na Direção e Horário de Pico)

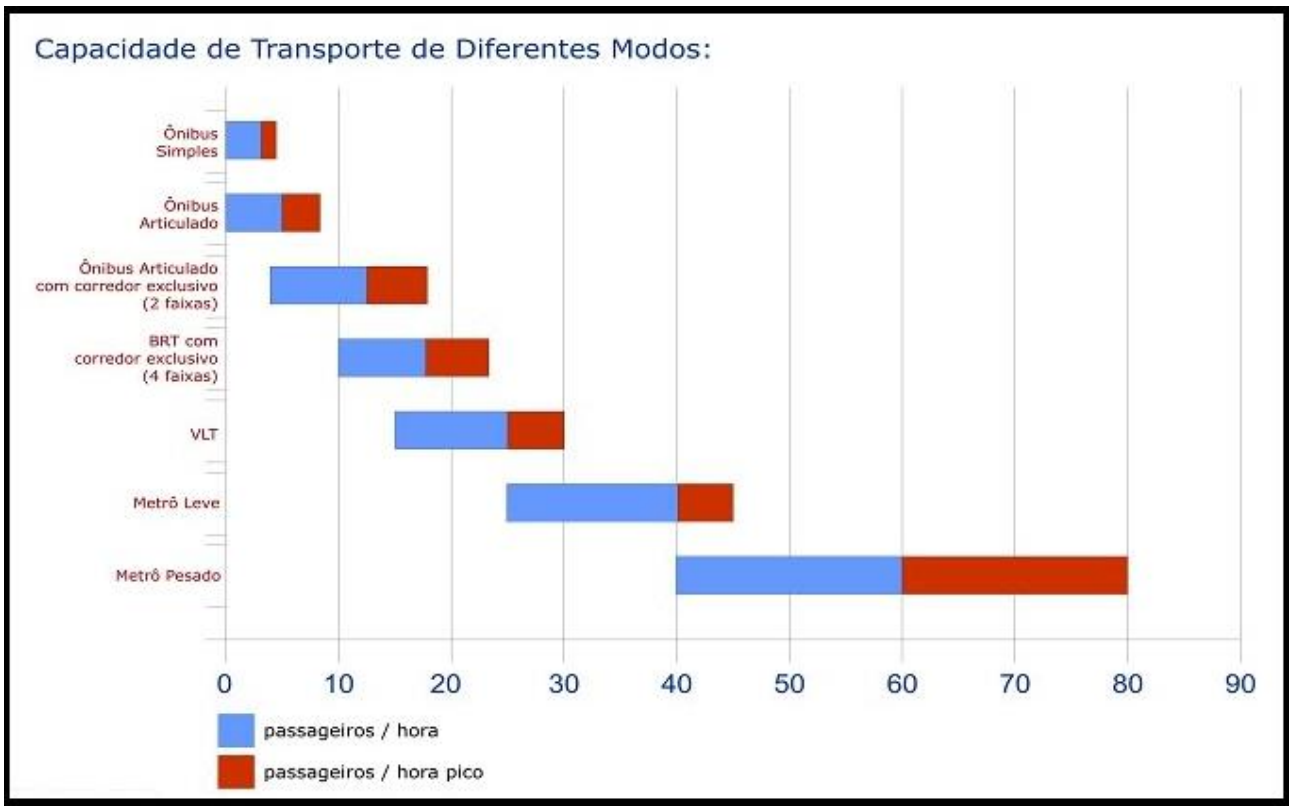


(*)PHPDT – Viagens (na direção e horário de pico)

Fonte: JICA, apud Medeiros, 2012

Neste sentido, para aprofundarmos a análise da capacidade de oferta das diferentes modalidades, faz-se necessário considerarmos as informações consolidadas por Alouche, 2014, na Transpo Latin América.

Figura 47 – Capacidade de Transporte de diferentes modos

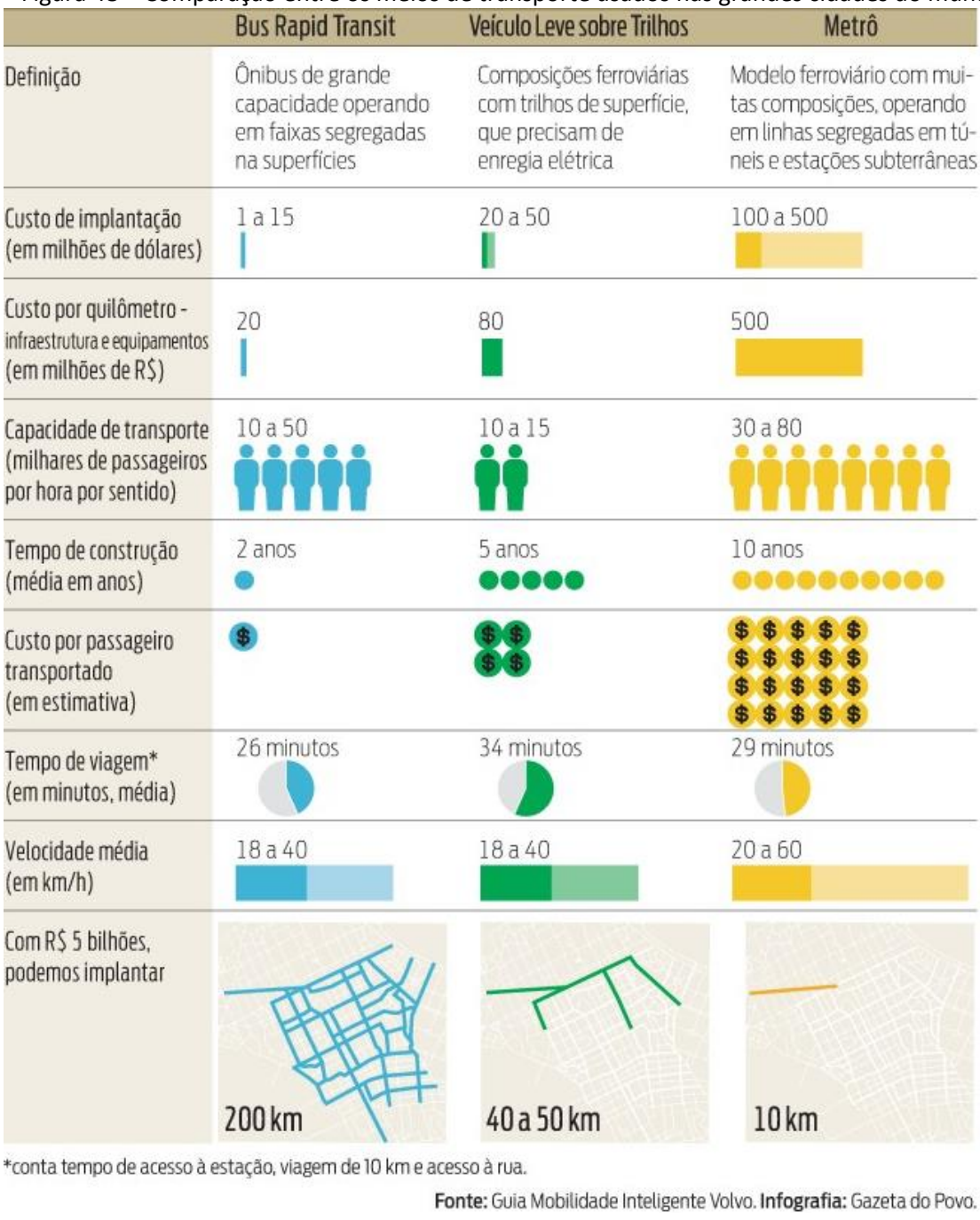


Fonte: http://www.antp.org.br/_5dotSystem/download/dcmDocument/2014/11/06/172DF139-AA0A-4292-A837-64901256AFA1.pdf

Outrossim, quando da análise para escolha da modalidade a ser implantada, faz-se necessário ponderações acerca da tecnologia utilizada pela modalidade, sobre a eficiência energética desta tecnologia, referente aos impactos ambientais, sociais e urbanísticos. Além disso, não deve-se deixar de considerar a visão do passageiro, ou seja, o conforto, o tempo de viagem, a velocidade média, a acessibilidade, entre outros.

Neste sentido, o Guia de Mobilidade Inteligente Volvo aponta que para escolher o modal de transporte mais adequado para a cidade é preciso avaliar o custo, a velocidade de implantação e a capacidade de transporte e apresenta uma comparação entre os principais meios de transporte usados nas grandes cidades do mundo.

Figura 48 – Comparação entre os meios de transporte usados nas grandes cidades do mundo.



Fonte: Gazeta do Povo

Da mesma forma, Oliveira, 2009, apresenta uma análise comparativa entre modalidades de média e alta capacidade, abordando vertentes importantes para a seleção da modalidade a ser implantada.

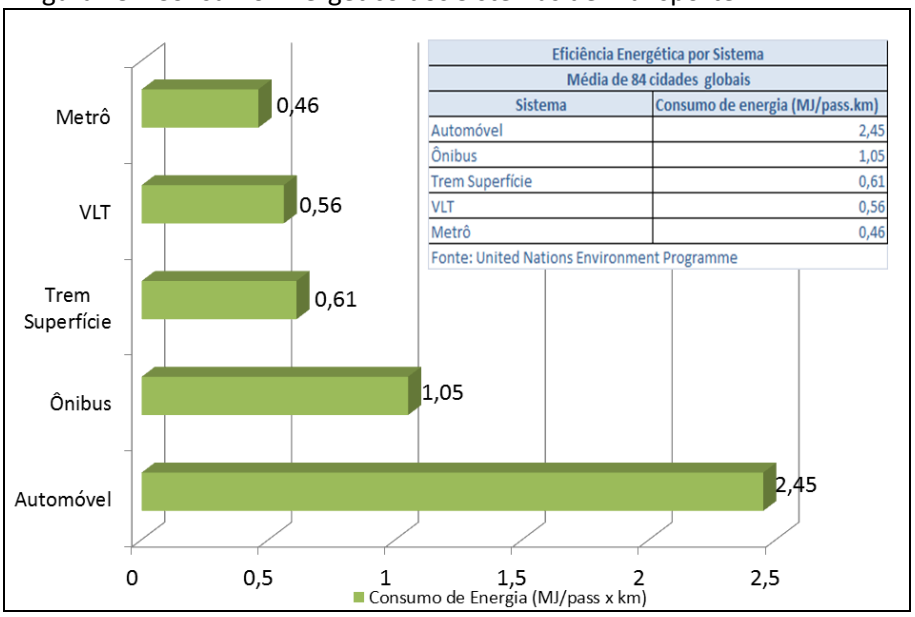
Tabela 9 - Tabela Comparativa: BRT, VLT, Monotrilho e Metrô

CARACTERISTICA	BRT (BUS RAPID TRANSIT)	VLT (VEICULO LEVE SOBRE TRILHOS)	MONOTRILHO	METRÔ
Custo médio de implantação (US$/km)	15 a 40	20 a 50	40 a 70	80 a 120
Capacidade máxima tipica de transporte (mil passageiroas/ hora)	10 a 30	10 a 40	15 a 50	25 a 80
Capacidade minima tipica (mil passageiroas/ hora)	2000	2000	3000	10000
Velocidade média (km/h)	25 a 60	25 a 40	40 a 60	40 a 90
Ruído (db)	70 a 90 (elevado)	60 a 80	60 a 80	75 a 100
Conforto	Menor conforto (sofre com interferencias de freadas e semaforos)	Conforto médio (sofre com a interferencia de semaforos e transito)	Maior conforto (para somente em estações, menor tempo de trajeto, passageiro pode apreciar a paisagem)	Maior conforto (para somente em estações, menor tempo de trajeto)
Interferencia no transito	Alta	Alta	Minima (se elevado)	Minimo (se subterraneo)
Custo previsto em desapropriação	Elevado	Elevado	Baixo	Médio
Interferencia durante construção	Elevada	Elevada	Média	Baixa
Capacidade de atrair usuários do transporte individual	Baixa	Média	Alta	Alta
Relação emição de carbono/ passageiro transportado	Alta	Média	Baixa	Baixa

Fonte: Oliveira, 2009

Adicionalmente, Medeiros, 2012, através do gráfico abaixo, apresenta a comparação de eficiência energética alcançada pelos principais meios de transporte.

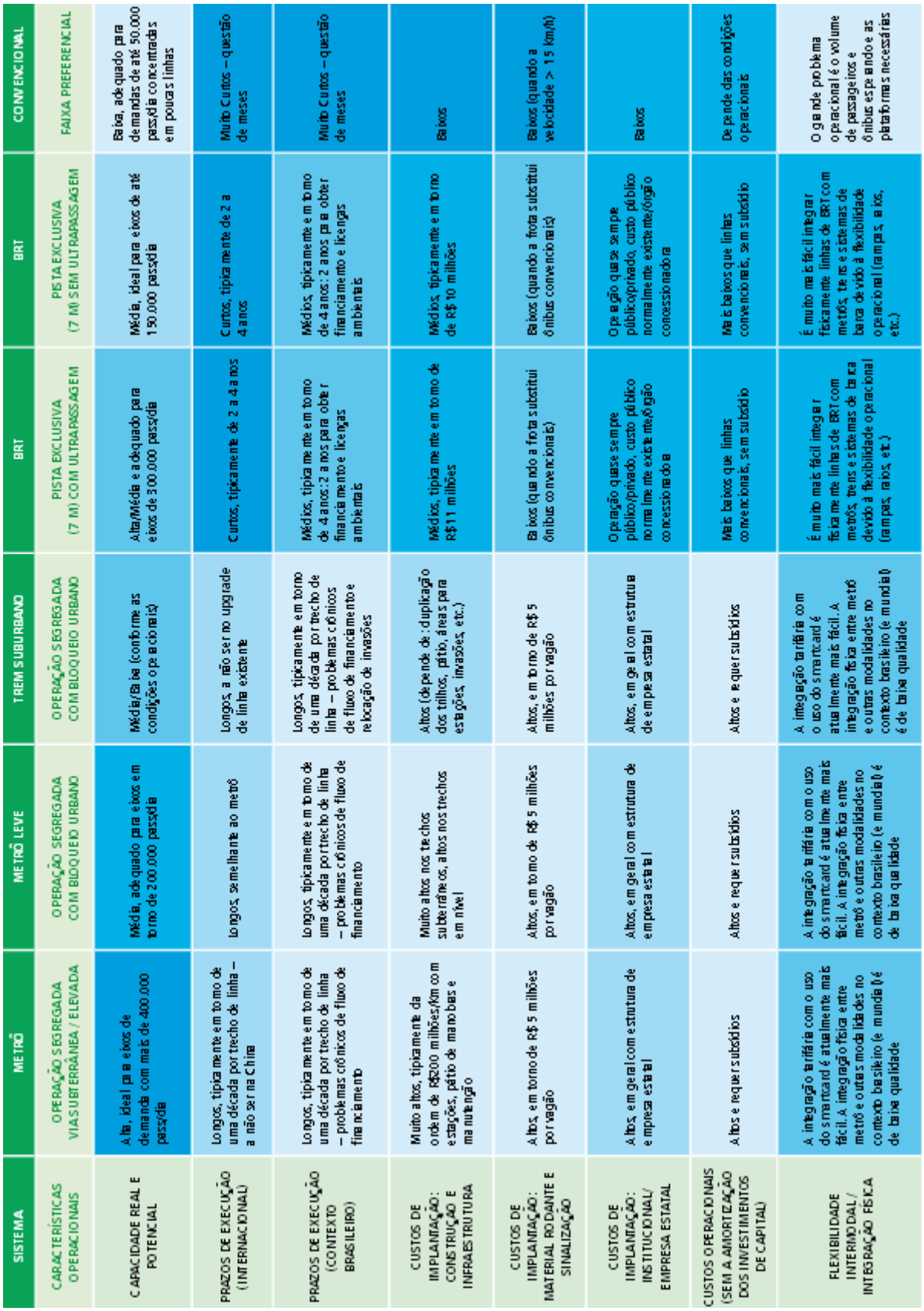
Figura 49 - Consumo Energético dos Sistemas de Transporte



Fonte: Medeiros, 2012

Lerner, 2009, por sua vez, apresenta, conforme quadro a seguir, uma análise bastante completa.

Figura 50 – Quadro Resumo de Comparação de Modalidades



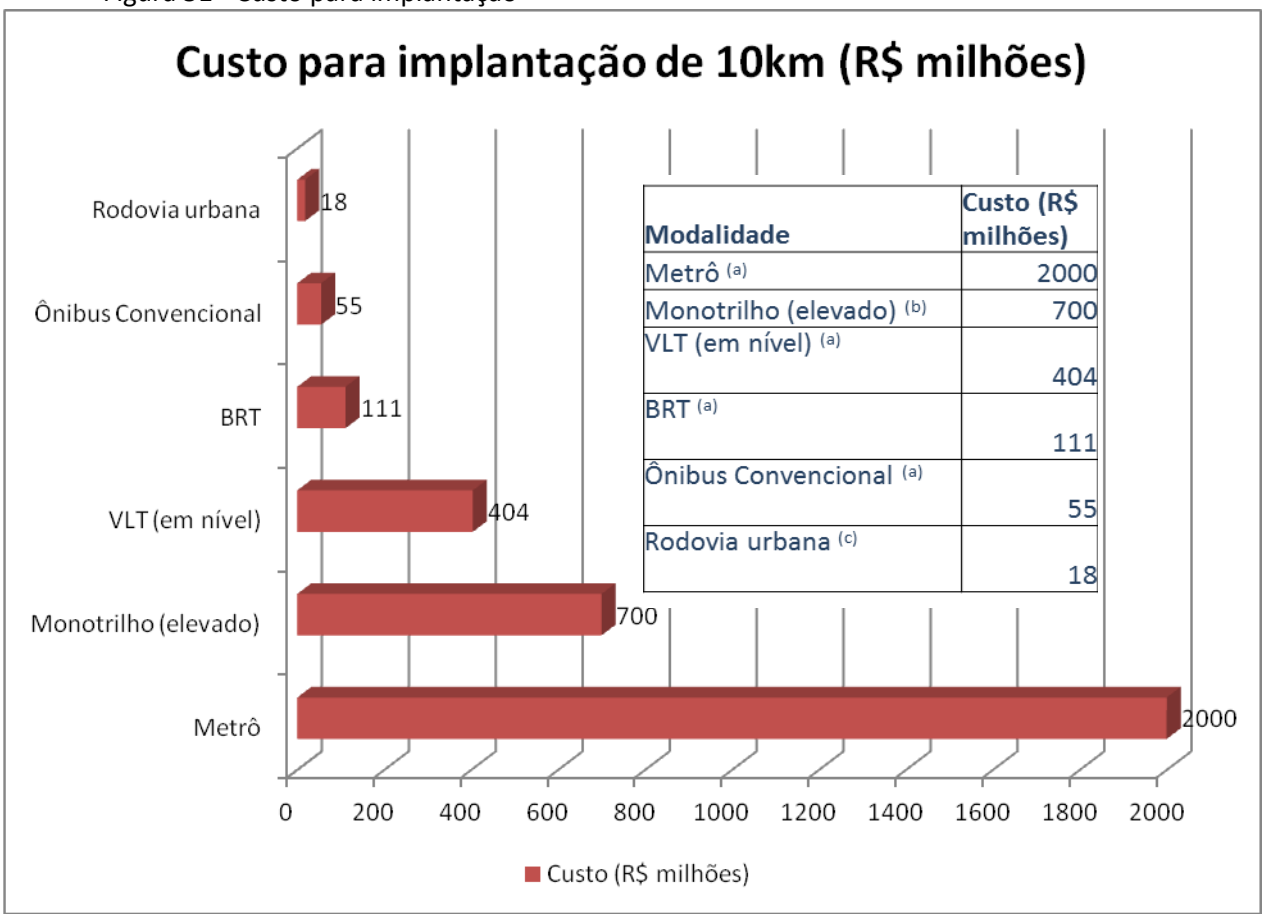
SISTEMA	METRÔ	METRÔ LEVE	TREM SUBURBANO	BRT	BRT	CONVENCIONAL
CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS	OPERAÇÃO SEGREGADA VIA SUBTERRÂNEA / ELEVADA	OPERAÇÃO SEGREGADA COM BLOQUEIO URBANO	OPERAÇÃO SEGREGADA COM BLOQUEIO URBANO	PISTA EXCLUSIVA (7 M) COM ULTRAPASSAGEM	PISTA EXCLUSIVA (7 M) SEM ULTRAPASSAGEM	FAIXA PREFERENCIAL
CAPACIDADE REAL E POTENCIAL	Alta, ideal para eixos de demanda com mais de 400.000 pass/dia	Média, adequado para eixos em torno de 200.000 pass/dia	Média/Baixa (conforme as condições operacionais)	Alta/Média e adequado para eixos de 300.000 pass/dia	Média, ideal para eixos de até 150.000 pass/dia	Baixa, adequado para demandas de até 50.000 pass/dia concentradas em poucas linhas
PRAZOS DE EXECUÇÃO (INTERNACIONAL)	Longos, tipicamente em torno de uma década por trecho de linha – a não ser na China	Longos, semelhante ao metrô	Longos, a não ser no upgrade de linha existente	Curtos, tipicamente de 2 a 4 anos	Curtos, tipicamente de 2 a 4 anos	Muito Curtos – questão de meses
PRAZOS DE EXECUÇÃO (CONTEXTO BRASILEIRO)	Longos, tipicamente em torno de uma década por trecho de linha – problemas crônicos de fluxo de financiamento	Longos, tipicamente em torno de uma década por trecho de linha – problemas crônicos de fluxo de financiamento	Longos, tipicamente em torno de uma década por trecho de linha – problemas crônicos de fluxo de financiamento e relocação de invasões	Médios, tipicamente em torno de 4 anos: 2 anos para obter financiamento e licenças ambientais	Médios, tipicamente em torno de 4 anos: 2 anos para obter financiamento e licenças ambientais	Muito Curtos – questão de meses
CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO: CONSTRUÇÃO E INFRAESTRUTURA	Muito altos, tipicamente da ordem de R$200 milhões/Km com estações, pátio de manobras e manutenção	Muito altos nos trechos subterrâneos, altos nos trechos em nível	Altos (depende de : duplicação dos trilhos, pátio, áreas para estações, invasões, etc.)	Médios, tipicamente em torno de R$ 11 milhões	Médios, tipicamente em torno de R$ 10 milhões	Baixos
CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO: MATERIAL RODANTE E SINALIZAÇÃO	Altos, em torno de R$ 5 milhões por vagão	Altos, em torno de R$ 5 milhões por vagão	Altos, em torno de R$ 5 milhões por vagão	Baixos (quando a frota substitui ônibus convencionais)	Baixos (quando a frota substitui ônibus convencionais)	Baixos (quando a velocidade > 15 km/h)
CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO: INSTITUCIONAL/ EMPRESA ESTATAL	Altos, em geral com estrutura de empresa estatal	Altos, em geral com estrutura de empresa estatal	Altos, em geral com estrutura de empresa estatal	Operação quase sempre público/privado, custo público normalmente existe mesmo com concessionadora	Operação quase sempre público/privado, custo público normalmente existe mesmo com concessionadora	Baixos
CUSTOS OPERACIONAIS (SEM A AMORTIZAÇÃO DOS INVESTIMENTOS DE CAPITAL)	Altos e requer subsídios	Altos e requer subsídios	Altos e requer subsídios	Mais baixos que linhas convencionais, sem subsídio	Mais baixos que linhas convencionais, sem subsídio	Depende das condições operacionais
FLEXIBILIDADE INTERMODAL / INTEGRAÇÃO FÍSICA	A integração tarifária com o uso do smartcard é atualmente mais fácil. A integração física entre metrô e outras modalidades no contexto brasileiro (e mundial) é de baixa qualidade	A integração tarifária com o uso do smartcard é atualmente mais fácil. A integração física entre metrô e outras modalidades no contexto brasileiro (e mundial) é de baixa qualidade	A integração tarifária com o uso do smartcard é atualmente mais fácil. A integração física entre metrô e outras modalidades no contexto brasileiro (e mundial) é de baixa qualidade	É muito mais fácil integrar fisicamente linhas de BRT com metrôs, trens e sistemas de barca devido à flexibilidade operacional (rampas, eixos, etc.)	É muito mais fácil integrar fisicamente linhas de BRT com metrôs, trens e sistemas de barca devido à flexibilidade operacional (rampas, eixos, etc.)	O grande problema operacional é o volume de passageiros e ônibus espaçando e as plataformas necessárias

SISTEMA	METRÔ	METRÔ LEVE	TREM SUBURBANO	BRT	BRT	CONVENCIONAL
CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS	OPERAÇÃO SEGREGADA VIA SUBTERRÂNEA / ELEVADA	OPERAÇÃO SEGREGADA COM BLOQUEIO URBANO	OPERAÇÃO SEGREGADA COM BLOQUEIO URBANO	PISTA EXCLUSIVA (7 M) COM ULTRAPASSAGEM	PISTA EXCLUSIVA (7 M) SEM ULTRAPASSAGEM	FAIXA PREFERENCIAL
FLEXIBILIDADE OPERACIONAL SE HOUVER ATRASOS NA EXECUÇÃO	Baixa: sem completar o trecho não pode operar	Baixa: sem completar o trecho não pode operar	Baixa: sem completar o trecho não pode operar	Alta, pode operar em trechos mais curtos ou no trânsito comum	Alta, pode operar em trechos mais curtos ou no trânsito comum	Alta
VELOCIDADES COMERCIAIS/ OPERACIONAIS / TEMPO TOTAL DE DESLOCAMENTO	Tipicamente em torno de 40 km/h; porém, como as estações são mais espaçadas, há mais tempo de caminhar e de acessar as plataformas	Tipicamente em torno de 40 km/h; porém, como as estações são mais espaçadas, há mais tempo de caminhar e de acessar as plataformas	Tipicamente em torno de 30 km/h; porém, como as estações são mais espaçadas, há mais tempo de caminhar e de acessar as plataformas	Tipicamente em torno de 27,5 km/h (média das linhas direta e parador), com menor tempo de acessar as plataformas	Tipicamente em torno de 18 a 20 km/h	Tipicamente em torno de 14 km/h
NÍVEL DE CONFORTO/ SEGURANÇA (CAPACIDADE NOMINAL)	Alto, porém depende do número de passageiros/m² e qualidade de acesso	Alto, porém depende do número de passageiros/m² e qualidade de acesso	Pode ser alto, porém depende do número de passageiros/ m² e qualidade de acesso; no contexto brasileiro é de baixa qualidade	Bom, contanto que a operação evite a sobrelotação. No contexto latino-americano, o BRT foi acompanhado por outras melhorias de conforto e segurança	Bom, contanto que a operação evite a sobrelotação. No contexto latino-americano, o BRT foi acompanhado por outras melhorias de conforto e segurança	Muito Baixo, a espera é longa e o embarque confuso
ÁREA DE INFLUÊNCIA DOS SISTEMAS / CAPTAÇÃO DE DEMANDA POTENCIAL	Tipicamente em torno de 1.000 m das estações a pé. Demandas mais distantes dependem da qualidade de integração	Tipicamente em torno de 1.000 m das estações a pé. Demandas mais distantes dependem da qualidade de integração	Tipicamente em torno de 1.000 m das estações a pé. Demandas mais distantes dependem da qualidade de integração	Tipicamente em torno de 1.000 m das estações a pé. Demandas mais distantes dependem da qualidade de integração	Tipicamente em torno de 1.000 m das estações a pé. Demandas mais distantes dependem da qualidade de integração	Iguais às linhas convencionais
CAPACIDADE/ FLEXIBILIDADE EM RELAÇÃO A EVENTOS/ SAÍDAS	Conforme a hora, pode ser mantida a operação máxima das horas de pico	Conforme a hora, pode ser mantida a operação máxima das horas de pico	Conforme a hora, pode ser mantida a operação máxima das horas de pico	Podem ser alocadas frotas especiais para atender um movimento atípico. A ultrapassagem simplifica a operação	Podem ser alocadas frotas adicionais	Podem ser alocadas frotas adicionais
ESTRUTURAÇÃO URBANA (TRANSIT ORIENTATED DEVELOPMENT)	Impacto forte e positivo	Impacto forte e positivo	Impacto médio no contexto brasileiro, onde as aglomerações já existem em torno dos trilhos	Impacto forte e positivo	Impacto forte e positivo	Pouco impacto
INSERÇÃO URBANA	Relocação de gás, água, esgoto, etc., grande pátio de manobras	Relocação de gás, água, esgoto, etc., grande pátio de manobras	Varia conforme o projeto	Dificuldade em locar o eixo dentro do sistema viário existente exige criatividade	Dificuldade em locar o eixo dentro do sistema viário existente exige criatividade	Reclamações dos outros usuários das vias
APLICABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO		MENOS INDICADO	>>>>			MAIS INDICADO

Fonte: Lerner, 2009

Entretanto, a decisão econômica acaba norteando de forma decisiva a escolha da mobilidade, buscando aliar melhor acessibilidade, maior conforto, maior segurança, menor tempo de viagem, redução das emissões. A tabela abaixo, apresenta a estimativa, de um dos estudos disponíveis, de custo da implantação de 10 km em milhões de reais.

Figura 51 - Custo para implantação



Modalidade	Custo (R$ milhões)
Metrô [a]	2000
Monotrilho (elevado) [b]	700
VLT (em nível) [a]	404
BRT [a]	111
Ônibus Convencional [a]	55
Rodovia urbana [c]	18

Fonte: Lerner (a), PWC (b) e DNIT (c)

Contudo, a análise acerca da implantação de soluções de mobilidade urbana acaba sempre atribuindo um maior peso para os custos e, com isso, soluções interessantes acabam sendo excluídas pela falta de recursos.

Entretanto, tendo em vista que o crescente problema de mobilidade urbana nas grandes cidades do Brasil e considerando que a utilização de automóveis para deslocamentos individuais, opção de grande parte dos brasileiros, geram grandes quantidades de calor e poluição, além de causar congestionamentos que prejudicam o tráfego do próprio transporte coletivo não segregado, o correto não seria questionar o custo da implantação, mas sim, qual é o preço que se paga por não implantar?

Caso contrário, não haveria implementação de sistemas de metrô, devido aos altos custos de implantação, porém os mesmos são inquestionáveis para o atendimento de altas demandas de transportes, especialmente pelo fato de não causar maiores interferências na questão urbanística das cidades e complementando, se o critério fosse somente o custo utilizaríamos somente sistemas convencionais de ônibus, o que, nem de longe, resolveria nosso problema de mobilidade.

Faz-se, então, necessário e importante ressaltar, a vertente “humanitária” do transporte coletivo, tornando-se imprópria qualquer avaliação que desconsidere as questões sociais e ambientais em detrimento aos custos.

Adicionalmente, cabe destacar que nas grandes metrópoles, devido às altas demandas, os sistemas de baixa e média capacidade de transporte, como ônibus, BRS, BRT, VLT, Aeromóvel, Maglev e monotrilho, devem, atuando como alimentadores, complementar os sistemas estruturadores de alta capacidade, como metrôs e trens metropolitanos. Por outro lado, nas cidades de médio porte, as modalidades de média capacidade que atuam como estruturadores, sendo as modalidades de transportes de baixa capacidade responsáveis por alimentá-los.

Como ponto pacífico nesta discussão figura somente a preferência pelo transporte coletivo em detrimento ao individual. Uma vez que, se deslocando de automóvel o cidadão consome, proporcionalmente, até 25 vezes mais combustível que consumiria caso se deslocasse de ônibus e ocupa 100 vezes mais espaço viário.

Abrindo, desta forma, espaço para a análise da eficiência energética dos deslocamentos, ou seja, a perspectiva de obter, para um mesmo nível de conforto, um consumo inferior de energia, com vantagens do ponto de vista econômico e ambiental.

Neste sentido, ratifica-se aqui a vantagem explicita que a tração elétrica apresenta em relação a sistemas de tração movidos por motores de combustão interna (MCI). Pois, além do benefício da não emissão de gases não poluentes, uma das características mais importantes do motor elétrico é a elevada eficiência na conversão de energia, que pode varia de 85% a 97%, o que supera em muito o limite de Carnot para MCI automotivos (37%), que, em condições reais, apresentam eficiência na ordem de 15% a 20%. Adicionalmente, é importante destacar, especialmente por tratar-se de transporte coletivo, que a eficiência do motor elétrico sofre pouca variação em função da carga, ao passo que a eficiência do MCI é altamente suscetível á variação da carga.

É importante ressaltar que tão importante quanto a seleção da modalidade a ser implantada é a escolha da tecnologia a ser usada, pois uma escolha inadequada prejudica a

qualidade de vida da população, devido aos níveis de emissões e ainda, pela baixa eficiência energética, paga para gerar calor e poluição.

Por fim, desta análise comparativa conclui-se que nem sempre o mais barato é a escolha adequada, mas sim o melhor, considerando os componentes do cenário envolvido. Desta forma, a discussão acerca da melhor modalidade de transporte para solucionar os problemas de mobilidade urbana não possui uma resposta válida para todos os casos, pois, cada cenário apresenta particularidades que pode fortalecer uma modalidade em detrimento a outras. Além disso, nenhum grande conglomerado urbano solucionará se problema de mobilidade urbana, sendo coerente a realização de investimentos em integração de modalidades, como metrôs, trens, VLTs, monotrilhos, aeromóveis, trens de levitação e os, velhos e importantes, ônibus, cada uma em sua faixa de aplicação (alta, média ou baixa capacidade) para atender, com conforto, segurança, capilaridade, flexibilidade, pontualidade e baixos tempos de viagens, ou seja, de modo satisfatório, a necessidade de deslocamento da população.

4.2. DIRETRIZES PARA FOMENTO

Neste capitulo vamos apresentar a nossa visão sobre as diretrizes tecnológicas que merecem apoio da FINEP, indicando as áreas nas quais a FINEP pode fazer a diferença e as ações que deverão ser priorizadas para fomento visando à melhoria da mobilidade.

A mobilidade urbana envolve inúmeros pilares, que vão desde a qualidade das calçadas nas ruas onde ficam as casas dos usuários, até os pontos de embarque e desembarque, passando pela disponibilidade do meio de transporte, pelas alternativas de integração, pelo serviço de cobrança, conforto, segurança, satisfação do usuário, transporte, informação, conexões possíveis, vias e o fluxo nas ruas e nas avenidas, picos de serviços, eficiência, relação com o meio ambiente e pela previsibilidade que o usuário necessita para seu planejamento, sem deixar de considerar, por outro lado, as operadoras, seus custos de manutenção, as dificuldades operacionais e sua margem de lucro.

Tendo em vista todas estas vertentes que envolvem a mobilidade urbana, faz-se necessário a adoção de ações complementares por parte do poder público federal, estadual e municipal para que os resultados alcançados pela adoção de tecnologias de ponta e soluções inovadoras, tenham impactos mais relevantes em benefício dos cidadãos.

Entretanto, é importante compreendermos que os componentes, produtos e/ou tecnologias indicados neste capítulo, não necessariamente representam produtos, componentes e/ou tecnologias que nunca tenham sido aplicados em nenhum tipo de projeto no Brasil.

Existem casos em que o Brasil já produz os componentes necessários, porém precisam evoluir para que motores elétricos e inversores avançados, por exemplo, possam ser aplicados no sistema de tração de meios de transporte do tipo automóvel, ônibus, trólebus, metrô, VLT, VLP, aeromóvel, trem, veículos com tecnologia de levitação entre outros veículos elétricos e/ou híbridos.

A necessidade de investimento em linhas de pesquisa em segmentos de negócios que o Brasil dispõe de produção na indústria local se dá com o intuito de viabilizar uma tecnologia moderna e avançada, não bastando o atendimento aos requisitos mínimos operacionais, mas sim, visando dispor de produtos com qualidade, robustez, baixo peso, dimensões reduzidas, alta confiabilidade e baixo custo que propiciem alto desempenho.

A experiência no Programa Veículo Elétrico é pródiga em exemplos para ratificar a situação descrita acima. Na fase de execução dos Projetos, na maioria das reuniões com empresários brasileiros, quando falamos sobre as novas tecnologias, ouvimos quase sempre a famosa frase: “temos um similar nacional”.

Contudo, infelizmente, muitas vezes, o que é descrito como similar nacional, de fato não atende os requisitos mínimos necessários para garantir o desempenho e a segurança desejada ou está aquém de seus concorrentes internacionais. Então, sempre nos deparamos com a tentativa do empresário brasileiro, com sua visão imediatista e acomodada, de convencer que a melhor alternativa para o país é a redução do requisito do projeto, sob a muleta da “valorização do produto nacional”, para que ele possa fazer a venda de sua tecnologia defasada em vez de buscar aprimoramento para competir no mercado mundial.

Entende-se que isto não ajuda o Brasil, pois ao ceder às pressões, acaba-se por produzir produtos com características inferiores, que desestimulam o uso da alta tecnologia, já disponível nos países desenvolvidos, devido a perda de qualidade, confiabilidade e robustez que prejudica o desempenho do produto e não colabora para o desenvolvimento tecnológico brasileiro.

Por outro lado, embora ocorram casos em número muito reduzido, alguns empresários brasileiros, preocupados com a conquista e a manutenção de suas posições no mercado, investem antecipadamente no acompanhamento global do que se passa no estado da arte dos principais concorrentes, enquanto paralelamente investem na pesquisa de novas tecnologias.

4.2.1. – Linhas de pesquisa Interessantes para o Brasil

Com objetivo de facilitar a identificação das linhas de pesquisa, iniciaremos classificando algumas tecnologias de mobilidade e aspectos correlatos que consideramos interessantes para o

Brasil e na sequencia serão fornecidos detalhes dos principais componentes e/ou insumos intrínsecos nestas tecnologias que necessitam ser aprimorados para viabilizar a adequada performance com produtos, componentes e insumos produzidos no mercado nacional.

Tecnologias de mobilidade sustentável interessantes para o Brasil

a) Ônibus elétrico puro;
b) Ônibus Elétricos Híbridos;
    i. Biocombustíveis (etanol, biodiesel, biometano);
    ii. Hidrogênio;
    iii. GNV, diesel
c) Veículo Leve sobre trilho ou pneu (VLT ou VLP)
d) Aeromóvel;
e) Trens de levitação;
f) Bateria de Sódio;
g) Materiais ferromagnéticos com uso de terras raras;
h) Gestão Digital de mobilidade; e
i) Opções visando acessibilidade universal para o transporte público.

Como já tratamos das modalidades de transporte e tecnologias, em capítulo específico, destinamos os próximos tópicos para abordagem dos assuntos indicados nas alíneas “g”, “h” e “i”, além de um destaque especial para sistemas elétricos híbridos que, em síntese, envolvem a integração de diversas tecnologias.

4.2.1.1. Sistemas Elétricos Híbridos

Conforme já abordado anteriormente, o uso de sistemas de tração elétrica propicia maior eficiência para a propulsão do veículo, resultando menor consumo dos recursos energéticos e redução ou eliminação das emissões.

Os motores de combustão interna aplicados de forma convencional para tração veicular já estão alcançando o limite de eficiência possível para este modo de operação e por se tratar de máquinas térmicas, esse limite é muito baixo.

O GNV, diesel e outros combustíveis fosséis, apesar de serem não-renováveis, são recursos energéticos importantes que não podem e nem devem ser descartados como insumo fundamental para a realização das atividades econômicas. Tais combustíveis podem ser utilizados com maior eficiência quando aplicado em motores de combustão alterando seu modo de

operação para uso integrado a tecnologias de mobilidade elétrica, que são muito mais eficientes. Este mesmo conceito de aumento da eficiência em também se aplica a combustíveis renováveis, tais como o etanol, o biodiesel e o biometano, inclusive o hidrogênio, que pode ser obtido de fontes renováveis e não renováveis. Particularmente, os veículos movidos hidrogênio que utilizam de pilhas/células à combustível (CaC) são veículos elétricos híbridos (quanto a fonte de energia), com sistema puramente elétrico, visto que nas CaC, não há combustão interna e sim recombinação do hidrogênio com o oxigênio, liberando energia elétrica, calor e água.

Desse modo, tendo em vista que existem diversas fontes de energia renováveis e não renováveis, e cuja disponibilidade e custos de produção e distribuição podem variar significativamente, o uso de tecnologias híbridas (elétrico+combustível) podem disponibiliza alternativa de uso eficiente seja qual for o recurso energético.

Cabe ressaltar que o desenvolvimento de veículos elétricos híbridos obrigatoriamente implica no desenvolvimento de veículos puramente elétricos, uma vez que esta tecnologia é parte integrante e fundamental dos sistemas híbridos.

4.2.1.2. Materiais Ferromagnéticos com Terras Raras

A terras raras tem especial aplicação para a produção de materiais ferromagnéticos, em particular, super-ímãs e núcleos de alta permeabilidade magnética. Esse tipo de insumo tem especial aplicação em tecnologias de pontas relacionadas a mobilidade elétrica, tais como trens de levitação magnética, e motores e geradores com alta densidade de potência.

Atualmente, esses materiais tem que ser importados da China e Alemanha. No entanto, o Brasil é rico em terras raras e, portanto, e com isso a indústria brasileira em desenvolver produtos de alto valor agregado e potencial de mercado (STEPHAN, 2008).

4.2.1.3. Gestão Digital de mobilidade

Embora as ações de gestões de mobilidade, não sejam tema deste estudo, não podemos deixar de citar que elas são importantes. Apresentando o potencial de, a baixo custo, produzirem efeitos significativos na melhora do serviço de mobilidade urbana.

A infraestrutura de comunicação implantada na maioria das cidades para o monitoramento de transito, que viabiliza interações remotas, seja com envio de mensagens em painéis públicos e/ou intervenção nas temporizações dos semáforos para controlar o fluxo, aliada à conectividade disponível nas casas e, principalmente, na mão de muitos usuários através de

smartphones, torna-se uma ferramenta extremamente poderosa para implementar a gestão da mobilidade podendo trazer grandes benefícios no uso do transporte público.

Para ilustrar esta situação, basta observar que as operadoras de transporte público dimensionam o número de ônibus para atender uma linha circular com base em estatísticas, que muitas vezes não são precisas, causando superlotações prejudicando o conforto dos passageiros ou excesso de ônibus em momentos de baixa demanda, com impacto no custo da operadora.

A gestão digital da mobilidade aumentaria a eficiência das atividades de uma operadora, que conhecendo sua demanda em tempo real, ou mesmo prevendo a demanda de serviço num dado horário do dia seguinte, otimiza seu planejamento, alocando apenas o recurso necessário para cada faixa de horário de uma determinada linha de circular.

Além disso, com a possibilidade de interação com usuários, é possível criar estimulos financeiros para que estes usuários ou parte deles informem com antecedência sua necessidade de deslocamento. O usuário, por sua vez, também pode receber informação em tempo real do momento que seu ônibus estará passando num determinado ponto, além de prever com base no fluxo de transito do dia, qual deverá ser o seu momento de chegado a um lugar especifico. Enfim, há uma infinidade de possibilidade a serem exploradas.

Diante do exposto, apresentam-se como interessantes também ações de fomento ao desenvolvimento de soluções para gestão da modalidade, que tenham como temas básicos :

a) Sistema de compartilhamento de meios de transporte públicos;
b) Integração de meios de transporte com uso de conectividade e uso de smartphones;
c) Interação em tempo real de informação de fluxo, horários e previsões de partidas e chegadas;
d) Planejamento de demanda e monitoramento dos serviços, além de informações aos os usuários em tempo real; e
e) Serviços de transportes dedicados a pessoas especiais.

4.2.1.4. Acessibilidade universal para o transporte público

A acessibilidade de pessoas com deficiência ao transporte coletivo tem sido motivo de grande preocupação por parte do poder publico, que tem criado normas e leis para assegurar que pessoas com deficiência possam ter acesso universal a estes serviços.

O transporte coletivo, para muitos usuários, apresenta-se como exercício de transposição de barreiras, principalmente pelo desenho dos veículos que apresentam formas de acesso por

meio de degraus de grande altura, pela disposição interna de corrimãos, assentos e mecanismos de controle de passageiros (catracas).

A concepção de boa parte dos ônibus utilizados no transporte coletivo que circulam nas cidades brasileiras, ainda, possui sua carroceria sobre um chassi de caminhão adaptada ao transporte urbano. Mesmo com a grande evolução tecnológica dos equipamentos de elevação, os custos ainda são altos, e os mecanismos tem apresentado uma alta taxa de falha, sendo operados pelo motorista ou cobrador, o que causa a necessidade de tempo extra para embarque e desembarque do deficiente físico.

Cabe destacar que a acessibilidade ao transporte público não se restringe apenas em dar condições de acesso ao ônibus, pois, a grande maioria dos usuários, somente poderá fazer uso do modo com caminhadas a pé, quer seja da origem até o ponto de embarque, estação ou terminal, quer seja destes ao destino. Portanto, é importante que edificações e calçadas das vias públicas, também sejam igualmente acessíveis.

As barreiras podem ser reduzidas com uso de tecnologias alternativas disponíveis, no mercado mundial, cujo uso vem se tornando obrigatório no transporte coletivo na maioria dos países da comunidade europeia, trata-se do chassi piso baixo.

O ônibus com piso baixo permite acesso ao seu interior no mesmo nível. Possui como característica construtiva o piso do compartimento interno rebaixado em qualquer uma de suas seções (dianteira, central, traseira ou total) em relação ao plano formado entre as linhas do centro das rodas, A utilização destes torna mais rápida a operação de embarque e desembarque, pois o piso do veículo, ao estacionar no ponto de parada, se posiciona a pequeno desnível em relação à calçada e na sequencia, através do uso da suspensão pneumática viabiliza o ajuste de nível do ônibus com a calçada.

A utilização de veículo com piso baixo como opção de acessibilidade tem encontrado grande resistência por parte das concessionárias de transporte público, que apresentam justificativas técnica e financeira para sua rejeição.

A justificativa técnica ancora-se nos aspectos de desenho e conservação das vias públicas, cheias de irregularidades e buracos e nos elevados ângulos de entradas e de saídas de algumas vias em pontos específicos das cidades.

Sob o aspecto financeiro, o que se destaca é a diferença de custo de aquisição do ônibus com o chassi piso baixo, que exige tecnologia de tração mais avançada e compacta com diferenças de preço na ordem de 20 a 30% do custo global do ônibus.

Na Europa há 20 anos atrás, quando os ônibus urbanos piso baixo, foi introduzido houveram as mesmas resistências pela operadoras de ônibus, porém gradativamente as empresas perceberam que os ganhos para o idoso e deficientes eram relevantes e passaram a adotar a opção piso baixo de forma expressiva, nos últimos anos a adoção passou a ser exigência legal em boa parte da comunidade europeia, o que provocou a diminuição do tempo de ciclo e de espera com aumento da frequência, contribuindo, dessa forma, com a melhora da qualidade do transporte coletivo.

Contudo, enquanto o poder público estiver resolvendo este assunto e refutando os interesses contrários, as pessoas com mobilidade reduzida continuarão tendo problema para embarque e desembarque em veículos de piso alto. Desta forma, como plano “B”, visando amenizar temporariamente este problema, enquanto não for implantado no Brasil a obrigatoriedade de uso de ônibus piso baixo, existe a possibilidade de uso de um pool de vans devidamente adaptadas que podem fazer o serviço de transporte de cadeirantes.

A utilização das “vans”, que viabilizam o transporte de até 3 cadeirantes por vez. no chamado sistema “porta a porta” e/ou também para atender demandas entre paradas e estação de transbordo que já dispõe de condições de interconexão adequados para o transporte dos cadeirantes, torna-se uma excelente opção.

No entanto, para que haja eficiência nas ações do pool de vans adaptadas é essencial a utilização de técnicas de gestão de mobilidade em tempo real, com uso tecnologia de comunicação móvel (smartphone), de modo que aplicações nos smartphones forneçam dados para viabilizar aos operadores o planejamento e traga informação de disponibilidade e programação para o uso eficiente do transporte pelo cadeirante.

4.2.2. Cadeia de produção

Considerando o aspecto da eficiência energética, neste tópico serão considerados os componentes necessários para o desenvolvimento de veículos de transporte coletivo de tração elétrica e híbrida.

O Brasil tem um grande parque industrial, com capacidade de produção de quase todos os insumos similares aos requeridos para a fabricação de um veiculo elétrico ou hibrido. Porém, em muitos casos, os produtos fabricados no mercado local ainda não dispõe das características técnicas desejadas para permitir um alto desempenho operacional, que são típicos da maior parte das soluções de mobilidade elétrica urbana utilizados na Europa e na América do Norte, por exemplo.

Alguns dos maiores fabricantes de motores elétricos do mundo possuem sedes no Brasil, porém, até o presente momento ainda não temos produção de motores elétricos com características avançadas, similares aos utilizados nos projetos de ônibus elétricos da Europa, que atendam os quesitos de baixo peso, elevado torque, pequena dimensão, alta potência e imunidade à água. Embora, o não atendimento destes quesitos não impeça a produção de ônibus elétricos, compromete a qualidade e o desempenho do produto final, na medida em que provoca o aumenta o peso, necessita de espaços adicionais e prejudica o uso dos veículos nas cidades brasileiras que sofrem com problemas de inundação.

Apesar disso, a indústria brasileira tem capacidade de desenvolver soluções avançadas para os motores elétricos de tração, porém muitas vezes a decisão do desenvolvimento encontra-se atrelada a demanda do mercado local, que ainda é pequena, e não na perspectiva de atender o mercado externo.

É importante destacar que, o fato de um ônibus híbrido transportar suas fontes de energia a bordo requer uma abordagem tecnológica diferente da empregada na produção de trens, trólebus ou VLT's. Tal particularidade faz com que vários países detentores de tecnologia para a produção de trens, trólebus e VLT´s ainda não dominem a tecnologia necessária para a produção de um ônibus híbrido.

É importante ressaltar que, em diversos casos, a barreira tecnológica só é vencida quando existe a demanda do mercado consumidor. Deste modo, para que o Brasil não seja um eterno importador destas tecnologias, cabe a intervenção do governo, atuando como promotores e patrocinadores de suas indústrias no desenvolvimento de novas tecnologias que, identificadas como promissoras, visando garantir a participação do país no futuro mercado. Dentre as possibilidades de incentivos governamentais está a criação de demandas públicas para alavancar indústrias e mercados nacionais.

Cabe destacar que a indústria da eletrônica, cada vez mais utilizada nos veículos convencionais, nos computadores de bordo, GPS, Conectividade sem fio para intercambio de dados e outras nas mais variadas formas, estarão cada vez mais presentes na tecnologia da mobilidade urbana do futuro, ajudando a definir percursos e orientando o fluxo do transito, de modo a possibilitar economia de tempo e recursos, além de melhor segurança de transito e dirigibilidade para os condutores.

Abaixo apresento a lista dos principais insumos industriais envolvidos na produção de um ônibus elétrico híbrido:

- Motores elétricos para tração;
- Inversores de potência;
- Caixas de redução;
- Conversores CC/CC, CC/CA, CA/CC;
- Unidade de Controle e Gerenciamento do Veiculo (EVCU);
- Cabos com blindagem especiais;
- Baterias auxiliares (tecnologia chumbo-ácido/convencional)
- Baterias avançadas de tração (modernas, com alta densidade de energia e de potência);
- Sistema de ar comprimido;
- Sistema de Freio ABS-EBS-EBC;
- Sistema de Ar condicionado;
- Grupo motor-gerador;
- Resistores de frenagem;
- Sistema de Ar comprimido;
- Bomba Hidráulica;
- Bombas de Água (sistema de refrigeração);
- Portas Elétricas;
- Carroceria;
- Chassi.

Adicionalmente, elenco alguns dos principais fabricantes de insumos para Ônibus Elétricos ou híbridos presentes no mercado nacional, que são:

- Carrocerias : Caio, Marcopolo, Mascarello, Neobus.
- Motores elétricos e/ou Inversores: WEG, Siemens, Kohlbach , Imobras, Semikron;
- Chassis : Iveco, Agrale, Man, Mercedes, Volvo, Tutto etc;.
- Sistemas de Freio: Wabco, Knorr-Bremse, Haldex;
- Sistema de Ar condicionado: Euroar; Recrusul,Denso,Spheros
- Sistema de Ar comprimido: Mattei, Borges, Atlas Copco;
- Suspencao Pneumatica : Wabco, Suspensys, Haldex;
- Baterias de Chumbo ácido: Moura, AC Delco, Heliar, Bosh;
- Caixa de Redução: Siemens,MKS, IBR, Geremia;
- Bomba de água : Calpeda, Megafleex;
- Portas Elétricas : Brapax, BMpproar;
- Resistores de Frenagem: Eletra, Denktherm;

- EVCU : Thoreb, Tiptronic, Actia, Spectra;
- Motores a combustão interna: Fiat; Mitsubishi, GM.

4.2.2.1. Principais dificuldades da indústria nacional

Em linhas gerais o Brasil possui um parque industrial moderno e capaz de absorver grande parte das demandas de componentes, produtos e insumos necessários para a fabricação das soluções de transporte público moderno.

No entanto, estas novas tecnologias trazem demandas específicas com características intrínsecas da aplicação que requerem a criação de novos produtos ou o aprimoramento de produtos existentes para obtermos o desempenho desejado na aplicação veicular.

Tanto na produção de novos produtos como no aprimoramento dos existentes, a indústria tem como principal obstáculo os investimentos necessários para atender as pequenas demandas iniciais, visto que o retorno de capital destes investimentos está atrelado apenas nas perspectivas de aumento da demanda em médio ou, muitas vezes, em longo prazo.

Outro aspectos que também intimidam os empresários na empreitada de fabricação de um novo produto para o mercado local é o preço dos produtos similares importados, que muitas vezes devido a escala de produção internacional e principalmente pelas técnicas de otimização do processo de produção os tornam demasiadamente competitivo, sendo mais confiáveis e baratos que o produto nacional, mesmo com todas as taxas inerentes do processo de importação.

A barreira tecnológica a ser vencida e a baixa escala da demanda destes novos produtos nas fases iniciais são os principais entraves para a decisão de produção no mercado nacional.

A decisão mais comum no meio empresarial, é de só iniciar pesquisa ou produção de novos produtos quando já houver demanda no mercado local, porém neste momento, a dificuldades para obter qualidade e preço para concorrer com as versões importadas são muito mais difíceis de serem vencidas.

4.2.2.2. Grandes Oportunidades

O parque industrial brasileiro é forte nos seguimentos elétrico, eletrônico, mecânico e eletromecânico, o que propicia grandes oportunidades para desenvolvimento de componentes avançados para serem aplicados nas tecnologias de mobilidade interessantes para o Brasil.

O Brasil produz praticamente todos os tipos de componentes necessários à aplicação nos projetos de mobilidade, porém na sua grande maioria os componentes nacionais não apresentam

o mesmo desempenho nos quesitos eficiência, robustez, dimensões e peso das versões importadas.

Ocorre que num projeto de mobilidade avançado a utilização de componentes ineficientes prejudica o desempenho e comprometem a adequado desempenho do meio de transporte.

O segredo da tecnologia está nos detalhes, por exemplo, fazer motores elétricos não aparentemente não representa grande desafio tecnológico. No entanto, desenvolver um motor elétrico capaz de prover 35kW (47,6 cv) pesando apenas 14 kg, para compor um sistema de propulsão com dois motores em paralelo, que seja robusto e eficiente, totalizando 70 kW (95,2 cv) e 28 kg , torna-se um grande desafio tecnológico.

No projeto do primeiro avião elétrico tripulado da América Latina, desenvolvido pela Itaipu e a empresa brasileira ACS Aviation com o patrocínio da FINEP, tivemos que buscar um motor elétrico duplo na Eslovênia.

Figura 52 – Voo inaugural do 1º Avião Elétrico



Fonte: Itaipu Binacional

Desta forma, a FINEP, deve, preferencialmente, aproximar-se de empresas estáveis que tenham atuação definida no mercado local na produção de produtos convencionais e que desejem investir no aprimoramento e/ou produção de novos produtos, para um mercado incipiente no presente e com grande perspectiva para o futuro. Sendo que a importância da contrapartida do empresário está em demonstrar o interesse na produção de novos produtos ou na inovação tecnológica a ser aplicada.

Entretanto, determinados casos, após a realização de análise pelos técnicos da FINEP, serão reprovados, pois, a alta escala de produção necessária para que seja competitivo aliada à independência de um único fornecedor, não justifique investimentos públicos para a produção nacional.

Como recomendação para o segmento de tecnologia na área de mobilidade, sugere-se que, para patrocinar uma pesquisa, a FINEP conheça claramente o produto referência no mercado mundial que se deseja produzir no Brasil, além de detalhes como quantas empresas o produz no mundo, qual e a tiragem mínima para que seja competitivo no mercado, quais são os concorrentes e qual é a importância deste produto no processo onde será aplicado.

Adicionalmente, é importante que os projetos patrocinados devam contemplar a entrega de produtos, não necessariamente a versão final do produto. Cada etapa e produto intermediário deve ser parte de um plano completo e detalhado que tenha como objetivo atingir a produção final a ser fabricado em escala industrial.

Por fim, a título de orientação para FINEP, podemos classificar os investimentos em pesquisas de tecnologia de mobilidade, relacionando o tempo de resposta (tempo necessário para beneficiar os usuários), a quantidade de recursos necessários e redução de impacto ambiental. Faz-se necessário esclarecer que para a análise abaixo foram consideradas as seguintes informações:

- **Tempo:** Curto Prazo (1 a 3 anos), Médio Prazo (4 a 6 anos) ou Longo Prazo (7 a 12 anos);
- **Investimentos:** Baixo (até R$ 1 milhão de reais), Médio (acima de R$ 1 milhão até R$ 20 milhões) ou Alto (superior a 20 milhões de reais); e
- **Redução de Emissões e Sustentabilidade:** Baixa (10 a 30%) ou Alta (acima de 70%).

Assim sendo, desta forma a prioridade deve ser dada conforme relação abaixo:

1. Para o curto prazo, baixo investimento e baixa redução de emissões:

   - Aperfeiçoamento dos motores diesel, GVN, etanol , biodiesel e Biometano;
   - Tecnologia do Start/Stop com supercapacitores e/ou baterias e uso da frenagem regenerativa;
   - Solução de mobilidade com ônibus hibrida convencional (Diesel);
   - Aperfeiçoamento de logísticas e integração de meios de transporte; e
   - Sistema de compartilhamento de veículos.

2. Para médio prazo, médio investimento e alta redução de emissões:

   - Soluções de mobilidade com ônibus hibrido a etanol;
   - Aperfeiçoamento do Aeromóvel;
   - Tecnologias de trólebus;
   - Desenvolvimento de VLT´s, monotrilhos elétricos; e
   - Soluções de mobilidade puramente elétrica.

3. Para longo prazo, alto investimento e alta redução de emissões:

   - Soluções de ônibus movido a H2; e
   - Soluções do Maglev.

Uma vez definida a tecnologia da mobilidade a ser priorizada, nos itens supracitados, deve-se levar em conta, que todos os sistemas (motores, inversores, baterias, etc.) e subsistemas (arrefecimento, ar condicionado, ar comprimido, periféricos, etc) que integram o produto relacionado com esta tecnologia de mobilidade, também devem ser pesquisados.

Por exemplo, o motor, inversor e baterias aplicadas a tecnologia Start/Stop possuem regime de trabalho, grau de complexidade e custos de desenvolvimentos distintos desses componentes quando aplicados para ônibus puramente elétrico.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Não existe uma única solução para todos os problemas de mobilidade urbana, as soluções consistem em uma ampla aplicação de modais, muitas vezes complementares, que podem ser otimizados com a integração, a adoção de tecnologias que apresentem baixos níveis de emissões e gestão em tempo real da sua utilização. Desta forma, No planejamento das ações em prol da mobilidade urbana sustentável, torna-se imprescindível o uso da tecnologia para viabilizar um transporte público de qualidade, que considere as questões de acessibilidade e de integração de modais de mobilidade.

Para contrapor ao crescimento da mobilidade individual, a longo prazo, deve ser feito um planejamento que ofereça moradias próximas aos locais de trabalho faz-se necessária disponibilização de um transporte público de qualidade abrangendo toda a cidade, com prioridade e privilégios em relação ao transporte individual, propiciando mobilidade para todos, incluindo os idosos e as pessoas com dificuldade de locomoção. Este sistema deve garantir deslocamentos de curta duração (em torno de 30 minutos) que não prejudiquem o meio ambiente e preserve a saúde pública, além de não comprometer a circulação dos pedestres e dos ciclistas, preservando os espaços públicos e melhorando a segurança e reduzindo a violência e os acidentes no tráfego.

Cumpre ressaltar que para alcançar a mobilidade urbana, considerando aspectos sustentáveis acesso físico aos meio de transporte, frequência do meio de transporte, integração de modalidades e custos de deslocamento são necessárias grandes mudanças culturais e estruturais, com o devido planejamento e observando o sistema como um todo, envolvendo os diversos segmentos da sociedade e, principalmente, o estado e seus desdobramentos.

Neste sentido, medidas interessantes para alcance deste cenário partiria dos órgãos governamentais, que deveriam tomar iniciativas para viabilizar; a longo prazo, o planejamento e oferta de moradia próximo aos locais de trabalho, em médio prazo, promover a utilização dos ônibus piso baixo no transporte público, realizando melhoria nas vias e readequação das mesmas quando necessário, além da implantação de soluções de mobilidade urbana selecionadas com base na demanda e, no curto prazo, incentivar a substituição dos veículos empregados no transporte coletivo por versões que utilizem tecnologias que não impactem o ambiente e garantam acessibilidade universal aos usuários.

O noticiário é pródigo de exemplos de aplicações de tecnologia em mobilidade urbana que alcançaram êxito quando implantadas para atender demandas adequadas. Porém, a questão orçamentária está sempre deixando o Brasil em um degrau abaixo destes países.

É essencial que se reverta isso e sejam ampliados investimentos em pesquisa para que estejamos, o quanto antes, colocando novas tecnologias de transporte a serviço dos cidadãos, uma vez que, o planejamento urbano atual considera, unanimemente, soluções que apresentem um menor impacto social e ambiental.

Quanto à adequabilidade das soluções de mobilidade para o Brasil, considero interessante, devido ao clima tropical, darmos preferencia aos projetos de ônibus elétricos e/ou híbridos que utilizem as baterias de sódio, que possuem projeto em desenvolvimento na Fundação Parque Tecnológico Itaipu, através de parceria da FINEP, com o CEPEL e a FPTI. Além disso, considerando a extensão territorial de nosso país e à força de nossa agropecuária, soluções de mobilidade que conjuguem a biomassa, etanol e biodiesel, desde que viáveis economicamente, também, devem ser priorizadas.

Deste modo, soluções que não comprometam a qualidade, a robustez e a eficiência, devem priorizar o uso de eletricidade oriunda de fontes renováveis, por exemplo, a energia solar e buscar o atendimento de aspectos relacionados com a acessibilidade, conforto e segurança, para o maior numero possível de passageiros por veículo. Adicionalmente, ao intensificar as pesquisas destas tecnologias, amplia-se o nível de conhecimento técnico dos brasileiros, gerando mão de obra qualificada e, consequentemente, emprego e renda, vinculados a serviços de alto valor agregado.

BIBLIOGRAFIA

ALOUCHE, L. P. **Corredores urbanos de transporte para altas demandas.** Seminário: Soluções Integradas de Transporte, Porto Alegre, 2007. Disponível em: <http://www.cbtu.gov.br/eventos/serie/portoalegre/tendencias.pdf>. Acesso em: 17 set. 2009.

ALOUCHE, Peter. **Sistemas Estruturais de Transporte de Alta e Média Capacidade**. Transpo Latin América, São Paulo, 2014. Disponível em <http://www.antp.org.br/_5dotSystem/download/dcmDocument/2014/11/06/172DF139-AA0A-4292-A837-64901256AFA1.pdf>. Acesso em: 21 jun 2015.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTE URBANO. **Dados do transporte público por ônibus.** Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.ntu.org.br/novo/AreasInternas.aspx?idArea=7>. Acesso em: 23 abr. 2015.

BAYLISS, B. **Transport Policy and Planning** – an integrated analytical framework. Development Institute of the World Bank, Washington, D.C. 68 p, 1992. Bombardier Transportation. Disponível em < http://www.bombardier.com/en/transportation>. Acesso em: 06 out. 2009.

BERGER; ABAM. **Technology Alternatives Narrowing Paper**, Seattle Monorail Project, 2001.

BOSSCHE, Peter Van den; VERGELS, Frederic, VAN MIERLO, Joeri; MATHEYS, Julien; VAN AUTENBOER, Wout; **SUBAT**: An assessment of sustainable battery technology, Journal of Power Sources, Elsevier Inc, 2005.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2014:** Ano base 2013. Rio de Janeiro: EPE, 2014.

BRASIL. Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, D.F., 4 jan. 2012. Seção 1, p. 1-3.

BRASIL. Ministério das Cidades. **PlanMob: construindo a cidade sustentável** – Caderno de Referência para Elaboração de Plano de Mobilidade Urbana. Brasília: Ministério das Cidades, 2007.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Manual BRT – Bus Rapid Transit –** Guia de Planejamento**.** Brasília: Ministério das Cidades, 2008.

BRASIL. Resolução CONAMA Nº 315/2002, de 29 de outubro de 2010. Dispõe sobre a nova etapa do Programa de Controle de Emissões Veiculares-PROCONVE - **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, D.F., 20 nov. 2002. Seção 1, p. 90-92.

BRASIL. Resolução CONMETRO Nº 06/2008, de 16 de setembro de 2008. Dispõe sobre a vinculação da norma ABNT NBR 15570:2008 – Especificações Técnicas para Fabricação de Veículos com Características Urbanas para Transporte Coletivo de Passageiros ao Decreto n.º 5.296/2004 e sobre a revogação da Resolução Conmetro n.º 01/93 - **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, D.F., 19 set. 2008. Seção 1, p. 100.

BRITTO, Joao Francisco Fleck Heck. **Modelagem dinamica do sistema aeromovel de transporte.** 2008. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pos Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008. Disponível em: < http://www.trabalhosfeitos. com/ ensaios/Modelagem-Dinamica-Aeromovel/52298375.html>. Acesso em: 29 maio 2015.

BRT – CENTRE OF EXCELLENCE, EMBARQ, IEA e SIBRT. **Global BRTdata.** Versão 3.2. Disponível em: <http://www.brtdata.org>. Acesso em: 06 maio 2015.

CERVERO, Roberto; KANG, Chang Deok. **Bus Rapid Transit Impacts on Land Uses and Land Values in Seoul, Korea.** Working Paper UCB-ITS-VWP, 2009. Disponível em <http://www.its.berkeley.edu/publications/UCB/2009/VWP/UCB-ITS-VWP-2009-4.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2015.

CHAN C. C. **The State of the Art of Electric Vehicles and Hybrid Vehicles;** Proceeding of the IEEE. vol 90. n° 2. 2002.

CHAN C. C. **The State of the Art of Electric, Vehicle, Hybrid and Fuel Cell Vehicles;** Proceeding of the IEEE. vol 95. n° 4. 2007.

CHANDLER, David L. **Explained:** The Carnot Limit. MIT News Office. 2010. Disponível em: <http://newsoffice.mit.edu/2010/explained-carnot-0519>. Acesso em: 27 out. 2014.

CHEN, Xiaopeng; SHEN, Weixiang; VO, Thanh Tu; CAO, Zhenwei, KAPOOR, Ajay; **An Overview of Lithium-ion Batteries for Electric Vehicles;** IEEE. IPEC - Conference on Power & Energy. 2012.

CICHINELLI, Gisele. Aeromóvel de Porto Alegre. **Infraestrutura Urbana: Projetos, Custos e Construção,** Porto Alegre, v. 1, n. 28, p.2-2, 01 jul. 2013. Mensal. Disponível em: <http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/28/artigo291143-2.aspx>. Acesso em: 11 jul. 2015.

CREA-ES. **De bicicleta você não polui o ambiente**. Disponível em: <http://www.creaes.org.br/ creaes/ Portals/0/Documentos/cartilhas/folder_ciclovias.pdf>. Acesso em: 14 jul 2015.

DE LUCENA, S. E.; **A Survey on Electric and Hybrid Electric Vehicle Technology**. En: Electric Vehicles – The Benefits and Barriers. 1ª Edição. Croácia: INTECH, 2011. Disponível em: <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/18661.pdf>. Acesso em: 29 set. 2014.

DEPARTMENT OF ENERGY, **Fact Sheet** - Fuel Cell Technologies Program, Novembro 2010; Disponível em: <http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/pdfs/fct_h2_fuelcell_ factsheet.pdf >. Acesso em: 27 out. 2014.

DUSTMANN, Cord-Henrich; **Li or Na**; Battery Consult sagl; Submetido à IAMF 2009; Disponível em: <http://www.gunnarmusan.de/Material/Li%20or%20Na.pdf>. Acesso em: 27 out. 2014.

ECODESENVOLVIMENTO. **EcoD Básico: Aeromóvel. 2011**. Disponível em: <http://www.ecodesen volvimento.org/posts/2011/junho/ecod-basico-aeromovel #ixzz3hfgR 2Q00>. Acesso em: 22 abr. 2015.

EMBARQ BRASIL. **DOTS Cidades-Manual de Desenvolvimento Urbano Orientado ao Transporte.** Porto Alegre. 2014. Disponível em <www.embarqbrasil.org/nosso-trabalho/publicacoes>. Acesso em: 27 abr. 2015.

FETRANSPOR. **Manual de implementação BRS - Bus Rapid Service**. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <http://www.antp.org.br/_5dotSystem/download/dcmDocument/2013/10/21/BF9A66B3-2FFA-4957-9AB5-6568CDDD7F65.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2015.

FRIESKE, Benjamin; KLOETZKE, Matthias; MAUSER, Florian; **Trends in Vehicle Concept and Key Technology Development for Hybrid and Battery Electric Vehicles;** EVS27 International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium; Barcelona, Spain, November 17-20, 2013.

GALLOWAY, R.; DUSTMANN, C. H. **ZEBRA Battery, Material Cost, Availability and Recycling**; World Electric Vehicle Association, EVS-20, Long Beach, California, 2003.

CORPORATION, Aeromovel® Global. **Aeromóvel.** Disponível em: <http://www.aeromovel.com/>. Acesso em: 01 jul. 2015.

GUNNARSSON, Björn; LÖFGREN , Andreas; **Light Rail – Experiences from Germany, France and Switzerland**; Master Thesis, Luleå University of Technology. 2001

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **Electric vehicle conductive charging system.** ed. 2.0. 2010-11.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Annual Report – 2012**. França, 2012. Disponível em: < https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/IEA_Annual_Report_publicversion.pdf>. Acesso em 01 maio 2015.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Implementing Agreement for co-operation on Hybrid and Electric Vehicle Technologies and Programmes;** Annual report of the Executive Committee and Annex I, 2010.

JAIME LERNER ARQUITETOS ASSOCIADOS. **Avaliação Comparativa das Modalidades de Transporte Público Urbano.** Curitiba: Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos, 2009. 92 p. Disponível em: <http://www.ntu.org.br/novo/upload/Publicacao/Pub635109537433018893.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2015

KENNEDY, R. R. **Considering monorail rapid transit for north american cities**. The Monorail Society, 41 p, 2007.

LISKAUSKAS, Suzana. **Brasil está no topo das pesquisas para fabricação de trens de levitação magnética para circulação urbana**. Jornal da Ciência. São Paulo. 06 abr 2015. Disponível em: < http://www.jornaldaciencia.org.br/brasil-esta-no-topo-das-pesquisas-para-fabricacao-de-trens-de-levitacao-magnetica-para-circulacao-urbana/>. Acesso: em 10 maio 2015.

MEDEIROS, Guilherme. **Sistemas de Média Capacidade para Transporte Público de Passageiros.** III Seminário Técnico de Planejamento e Mobilidade Urbana, 2012. Disponível em: < http://www2.spg.sc.gov.br/fmanager/spg/arquivos_seminarios/arquivo42_1.pptx >. Acesso em: 10/05/2015.

MERCEDES BENZ DO BRASIL. **Sistema de Transporte Coletivo por Ônibus** – Planejamento e Operação. São Paulo: Departamento de Sistemas de Trânsito e Transporte da Mercedes Benz do Brasil, 1987.

MIRANDA, Helen de Freitas. **Mobilidade urbana sustentável e o caso de Curitiba.** Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

MIKKO, Koskue; MARKUS, Talka. **Electric and Hybrid Buses;** FINPRO December 2010; Disponível em: http://www.finpro.fi/documents/10304/8ebf0d65-0855-4902-8f6d1d4c5dc 23c27. Acesso em 29 set. 2014.

NAUMANN S.; VOGELPOHL H.; **Deliverable 1.2: Technologies to enable fully electric busses.** Disponível em: <http://www.cactus-emobility.eu/CACTUS_Deliverable_ 1.2_Technologies-to-enable-fully-electric-busses.pdf >. Acesso em: 29 set. 2014.

OLIVEIRA, Uarlem José de Faria. **Proposta de Implantação de Sistema de Transporte de Passageiros do Tipo Monotrilho na Região Metropolitana de Vitória**. Espírito Santo: IFES - Instituto Federal do Espírito Santo, 2009.

PLUG IN AMERICA. **Memorandum to Puget Sound Regional Council and Washington State Dept. of Commerce.** Appendix D of Electric Vehicle Infrastructure: A Guide for Local Governments in Washington State. 2010.

RODRIGUES, Rafael. Transporte em rápida transformação. **Revista JC**, Rio de Janeiro, n. 172, dez.2012. Disponível em: < http://www.editorajc.com.br/2014/12/transporte-em-rapida-transformacao>. Acesso em: 29 abr. 2015.

ROSA, Rodrigo de Alvarenga. **Ferrovias:** Conceitos Essenciais. 1a. ed. Vitória: Instituto Histórico e Geográfico do Espírito Santo, 2004. v. 1. 154 p.

SCHEIN, Augusto Leonardo. **Sistema de Informação ao usuário como estratégia de fidelização e atração.** 2003. 148 f. Dissertação (Mestre em Engenharia de Produção) - Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

STONE, Thomas J., et al,. **The Las Vegas Monorail:** A Unique Rapid Transit Project for a Unique City, 2001.

THACKERAY M.M.; **Batteries, Transportation Applications**. Argone National Laboratory, Laboratory. Encyclopedia of Energy. Elsevier Inc. 2004.

TRENSURB. **Aeromóvel.** Disponível em: <http://www.aeromovel.com.br/>. Acesso em: 02 jul. 2015.

TRICKETT, D. **Current Status of Health and Safety Issues of Sodium/Metal Chloride (Zebra) Batteries.** National Renewable Energy Laboratory. 1998.

UITP. Light Rail for Liveable Cities; **UITP Focus Position**; June 2001; Disponível em: <http://www.uitp.org/sites/default/files/cck-focus-papers-files/01%20LIGHT%20RAIL%20FOR%20LIVEABLE%20CITIES .pdf>. Acesso: em 10 maio 2015.

VUCHIC, Vukan R. **Urban Public Transportation:** Systems and Technology. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ., 1981.

ZERAOULIA, Mounir; BENBOUZID, Mohamed El Hachemi; DIALLO, Demba; Electric Motor **Drive Selection Issues for HEV Propulsion Systems:** A Comparative Study; IEEE Transactions On Vehicular Technology. Vol. 55. No. 6. 2006.

APENDICE

1. ALGUNS PROJETOS DE ÔNIBUS HÍBRIDOS

Neste tópico, apenas como referência, estão sumarizados alguns projetos de ônibus elétricos híbridos realizados de alguns fabricantes pelo mundo.

1.1. CASTROSUA

Principais características:

- Modelo: Autobús Híbrido Tempus;
- Autonomia 300 km;
- Híbrido série;
- Tração exclusivamente elétrica;
- Possibilidade de diferentes combustíveis para produção de energia a bordo;
- Comprimento: 9 ~ 11 m (2 ou 3 portas);
- Largura 2,4 m;
- Carga máxima 17.850 kg (PBT);
- Tara 10.800 ~ 11.065 kg;
- Total de assentos 60 / 87;
- Velocidade máxima 70 km / h;
- Local de produção: Espanha;

1.2. SCANIA

Principais características:

- Motor: Scania de 9 litros motor diesel-etanol
  - Potência: 198 kW (270 hp) a 1.900 r / min
  - Torque: 1.200 Nm a 1.100-1.400 r / min
- Gerador: VolCox Elvo Drive, TFM Generator, refrigerado a água;
  - Torque: 1.250 Nm;
  - Potência: 220kW; 2400 r/min
- Motor de Propulsão: VolCox Elvo Drive, TFM Generator, refrigerado a água;
  - Torque: 1.800 Nm;
  - Potência: 150kW; 2400 r/min
- Armazenamento de energia:
  - supercapacitores Maxwell BOOSTCAP;

  - módulos: 4x125-Volt; Capacidade: > 400 Wh
- Velocidade Maxima: 78 km / h

1.3. MAN LION'S CITY HYBRID

Principais características:

- Sistema híbrido série: função start-stop e gerenciamento de energia inteligente
- Comprimento: 11.980 mm
- Largura: 2.500 mm
- Altura: 3.300 mm
- Entre-eixo: 5.875 mm
- Tara: 12.640 kg
- Peso Bruto: 18.000 kg
- Lugares: (28 + 1 assentos) + 49 em pé
- Motor Diesel: MAN D0836 LOH CR MAN PURE DIESEL® EEV
  - Saída: 184/250 kW/PS bei 2.300 rpm; 6.871 cm^3
  - Torque Máximo: 1.050 Nm bei 1.200 - 1.750 rpm
- Motores de Tração:
  - 2 x motores elétricos assíncronos, 75 kW (nominal) cada;
- Armazenamento de Energia: Ultracapacitores; seis módulos refrigerados a ar montados no teto;
- Pneus: Twin 275/70 22.5"
- Equipamentos de Segurança:
  - ABS – anti-blocking system;
  - EBS – electronic braking system;
  - ASR – anti-slip regulation;
- Sistema isolado de alta-tensão do veículo com monitoramento contínuo do isolamento;
- Todas as linhas e sistemas de alta tensão estão instaladas fora do compartimento dos passageiros;
- Interruptor de emergência para sistemas de alta tensão e de bordo.

1.4. VOLVO 7700 HYBRID

Principais características:

- Híbrido Paralelo
- Comprimento: 12,0 m

- Altura: 3,2 m
- Largura: 2,55 m
- Distância entre eixos: 5,95 m
- Peso bruto: 18.900 kg
- Suspensão: suspensão a ar
- Freios: Freios a disco EBS
- Número de portas: 3
- Menor altura de embarque: 25, 27, 27 centímetros
- O número máximo de passageiros: 95
- Sistema híbrido: Híbrido paralelo Volvo I-SAM
- Motor Diesel: Volvo D5, 210 cv, 800 Nm
- Motor elétrico: 160 cv, 800 Nm
- transmissão: I-Shift, sistema gearshifting automático, Divisor de 12 velocidades / redutor gama

1.5. ITAIPU BINACIONAL: ÔNIBUS HÍBRIDO PLUG-IN A ETANOL



Figura 6 – Protótipo de Ônibus Elétrico Híbrido a Etanol – Itaipu Binacional

O primeiro ônibus elétrico híbrido a etanol do mundo permite aliar a alta eficiência do motor elétrico com os benefícios ambientais do etanol. O objetivo é contribuir com a redução dos gases geradores do efeito estufa e otimizar a diversificação do uso de energia limpa e renovável.

O projeto, coordenado pela Itaipu Binacional, contou com a participação de importantes empresas do cenário brasileiro e mundial. Cada empresa foi responsável por um componente específico para a construção do veículo:

A Eletra coordenou as principais etapas do projeto, desde os acertos contratuais até a entrega do ônibus para Itaipu.

A Mitsubishi Motors do Brasil forneceu o motor a combustão V6, de tecnologia flexfuel. No caso do OEHE, é utilizado exclusivamente o etanol, combustível renovável proveniente de biomassa que captura dióxido de carbono durante o crescimento da planta (cana-de-açúcar).

Os ajustes necessários para o perfeito funcionamento do motor a combustão no OEHE foram feitos pela Magnet Marelli, empresa fornecedora do sistema de injeção eletrônica dos motores Mitsubishi com tecnologia flexfuel.

O motor a combustão interna fornece energia mecânica ao gerador elétrico fornecido pela WEG Equipamentos Elétricos, que participou também com o fornecimento do motor elétrico refrigerado a água e com o inversor de tração equipado com frenagem regenerativa, equipamentos especialmente desenvolvidos para esta aplicação e vitais para o bom funcionamento do veículo.

A carroceria foi construída pela Mascarello, utilizando a configuração interna de ônibus urbano Low Entry. Porém, sempre privilegiando o conforto e a segurança dos usuários, além da adequação para receber todos os equipamentos elétricos e mecânicos necessários em um veículo híbrido.

O chassi fornecido pela Tutto Trasporti faz o papel de estruturação do veículo, oferecendo muito conforto aos usuários a partir da suspensão pneumática, que pode ser rebaixada para facilitar o acesso.

O sistema eletrônico de ar-condicionado fornecido pela Euroar tem papel essencial e fundamental, já que o OEHE não tem janelas, seguindo as tendências mundiais de design e aerodinâmica.

Com todos os componentes funcionando em perfeito sincronismo, o OEHE demonstra ser um veículo confortável e com baixos níveis de emissão de ruído e de gases poluentes. O desempenho energético foi otimizado pelo fato de as baterias de cloreto de sódio possibilitar o recarregamento por meio de tomadas convencionais de 220 V.

O recarregamento das cinco baterias é feito em um tempo máximo de 8 horas e, quando carregadas, fornecem tensão de 600V e corrente de 32Ah, tendo como resultado uma capacidade de armazenamento energético de 100 kWh. A autonomia calculada é cerca de 300 km, considerando a operação em percurso típico de corredor.

1.5.1. DESCRIÇÃO DE FUNCIONAMENTO

Durante as acelerações, o sistema eletrônico de controle autoriza o motor elétrico de tração a utilizar a energia proveniente do gerador elétrico e das baterias para colocar o veículo em movimento.

Nas condições de veículo parado, descidas ou velocidade de cruzeiro, o gerador elétrico não fornece energia para o sistema de tração, pois o sistema de gerenciamento de energia identifica uma condição de baixa requisição carga e direciona a energia excedente para recarregar as baterias.

Nas frenagens, o motor elétrico se transforma em um gerador e parte da energia cinética do veículo é recuperada para recarregar as baterias. Este função é conhecida como “Frenagem Regenerativa”. A combinação das duas formas de recarga proporciona o acréscimo na autonomia do OEHE, dependendo do perfil topográfico e da forma de condução do veículo.

O OEHE pode ser operado também no modo puramente elétrico, ou seja, a tração será alimentada somente pelas baterias de tração desde que estas tenham sido carregadas previamente em uma tomada convencional 220 V. Nesta condição, o veículo tem autonomia máxima de até 60 km.

Em condições de emergência, o OEHE também esta apto a operar somente com a energia proveniente do grupo gerador composto pelo motor a combustão e o gerador elétrico. Nestas condições, o desempenho será limitado em função da potência disponível no sistema. Desta forma, OEHE está pronto para atender a demanda do transporte brasileiro de forma limpa e segura, oferecendo alto nível de tecnologia embarcada.

1.5.2. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS:

- Configuração: Híbrido Série
- Integração Eletra;
- Carroceria Mascarello Gran Via, 13m, 34 sentados + 54 em pé;
- Velocidade: 65 km/h;
- Chassi Tutto Trasporti Low Entry , 3 eixos;
- Sistema de Tração WEG Inversor CFG - 09 0030;
- Motor tração de 165 kW, Refrigerado a água;
- Grupo Gerador:
    - Motor Combustão Mitsubishi (Etanol) V6/24 SOHC, 3497 cc, 125 kW@3600 rpm, torque max: 33,5 kgf.m @ 3500 rpm;
    - Gerador WEG GTA 200, 130kVA@3600 rpm,
    - Controlador Magneti Marelli;

- Baterias FZ - Sonick – 5 unidades, 19,8 kwh, 600 VDC, tipo Zebra (NaNiCl - Sódio, Niquel e Cloro), carga total : 220 VAC, 8 horas; e
- Ar Condicionado Euroar: modelo E140T -140.000 BTU.

1.5.3. 40ª Cúpula De Presidentes Do Mercosul E Estados Associados – Cúpula Ñandeva

Em dezembro de 2010 o veículo realizou a sua primeira viagem oficial, para transportar o ex-presidente Luiz Inácio Lula da Silva e outros 11 chefes de Estado da América do Sul, participantes da 40ª Cúpula de Presidentes do Mercosul e Estados Associados – Cúpula Ñandeva, realizado nas instalações da Usina Hidrelétrica de Itaipu.



Figura 7 – Apresentação do Protótipo às Autoridades (16/12/2010 - Reunião de Cúpula do MERCOSUL em Foz do Iguaçu)

2. PROJETOS DE ÔNIBUS PURAMENTE ELÉTRICO OU COM CÉLULAS A COMBUSTÍVEL

Neste tópico, apenas como referência, estão sumarizados alguns projetos de ônibus puramente elétricos ou com células a combustível realizados por diversos fabricantes pelo mundo.

Tabela 5 - Sumário de Alguns Projetos de Önibus Puramente Elétricos Realizados no Mundo

Fabricante / País	Modelos	Passageiros	Tipo de Bateria	Capacidade	Autonomia	Velocidade Máxima	Comprimento
Solaris, Polônia	Urbino 8.9	21-29 assentos	Lilo	120 kWh	120 km	50 km/h	8,9 m
Solaris, Polônia	Urbino 12	23-34 assentos	Lilo	210 kWh	150 km	N/A	12 m
BYD, China	K9	60-70	LiFe PO4	324 kWh	150 km	N/A	12 m
Euracom, Alemanha	Euracom 600	86 (46 assentos)	LiFe PO4	218 kWh	250 km	80 km/h	11,5 m
Jiangsu Alfa, China	YS6120DH City	95 assentos	N/A	N/A	N/A	85 km/h	12,6 m
Jiangsu Alfa, China	YS6120DH New Enery	110 (66 assentos)	LiFe PO4	500 Ah	150 km	80 km/h	14,5 m
AB Volvo	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Bluekens, Holanda	Volvo 7700	86	LiFe PO4	120 kWh	288 km	N/A	12 m
Bluekens, Holanda	Blue Coach	32 (21 assentos)	N/A	85 kWh	125 km	90 km/h	8 m
Rampini, Italia	ALÉ	43 (10 assentos)	LiloFe	180 kWh	150 km	62 km/h	7,7 m
BredaMenarinibus, Italia	ZEUS	23 (9 assentos)	LiPoly	58 kWh	120 km	45 km/h	5,9 m
Hankuk Fiber, Coréia do Sul	e-Primus	49 assentos	LiloPoly	102 kWh	120 km	100 km/h	N/A
Hyundai-Kia, Coréia do Sul	Elec-City	51	LiloPoly	95 kWh	120 km	100 km/h	N/A
CTET, Coréia do Sul	N/A	20 assentos	N/A	N/A	120 km	80 km/h	N/A
Proterra, EUA	Eco Ride BE35	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	10,7 m
Ebus, EUA	Eletric 22-Foot	32 (22 assentos)	NiCd	60 kWh	72 km	N/A	6,7 m
Ebus, EUA	Eletric 40-Foot	N/A	LiFe PO4/ LiTi	120 kWh	N/A	N/A	12 m
Cobus, Alemanha	e.Cobus	N/A	LiFe PO4	150 kWh	160 km	N/A	N/A

Fonte:Naumann

Tabela 10 – Alguns exemplos de projetos pilotos com ônibus com células a combustível

Project	Year	Location	Program	Bus Manuf/Model	Engine type Fuel	Fuel Cell Mfr.	Fuel Cell Size/Type	Range	Max. Speed	Fuel Type
Expo Zaragoza	3 midi-buses, summer of 2008 persent	ExpoAqua Zarazoga,Spain	International Exposition 2008	Tecnobus Gulliver, 18-ft, 22 passenger	Hydrogenics	Fuel cell/ battery hybrid	12 kW PEM	124 ml/ 200 km	21 mph /33 km/h	Compress. Hydrogen @ 200 bar
Fuel Cell Czech Hydrogen Bus Project (FCZ H2-BUS)	2009	The bus will be deployed in Prague, Czech Republic	FCZ H2-BUS	Skoda Electric Pilsen trolley bus	Proton Motor	Triple hybrid: fuel cell/ Battery/ ultracapacitors	N/a	N/a	N/a	N/a
Hamburg Fuel Cell Bus fleet	10 Buses to be deployed in 2010	Hamburg, Germany	HySolutions	Daimler Citaro Fuel Cell Bus	Daimler	Fuel cell/battery hybrid	N/a	N/a	N/a	Hydrogen
Hyundai FCB II	Unveiled 2009	Seoul Motor Show	N/a	Hyundai Low Floor Aero City Bus platform	Hyundai Motor Co.	Fuel cell	200 kW	225 ml/360 km	62 mph /100 km/h	Compress. Hydrogen @ 350 bar
Iveco – Fuel Cell Bus	Planned	Fleet trials planned in Milan and Mantova, Italy	ISEM Project	Iveco Europolis bus	Nuvera	Fuel cell/battery hybrid	60 kW PEM	N/a	37 mph /60 km/h	Compress. Hydrogen @ 250 bar
Lightweight Fuel Cell Bus Project	Planned in 2011	1 bus will be deployed in New York state, Project with GE Research	FTA National FC Bus Program	N/a	Hydrogenics	Fuel cell/battery hybrid	50 kW	N/a	N/a	N/a
London Hydrogen Partnership - Fuel Cell Buses	2010	5 Fuel cell buses will be deployed in transit service in London, UK	N/a	N/a	N/a	Fuel cell	75 kW PEM	N/a	N/a	N/a
North Rhine Westphalia fuel cell city bus	2010	Cologne, Germany	Pamer-German Minister of Economic Affairs	60-ft bus	Nedstack	Fuel cell hybrid	N/a	N/a	N/a	N/a
Rampini - Hydrogenics fuell cell bus	2009	Two buses purchase by transit operator Vestische Strassenbahnen GmbH in Gladbeck, Germany	Rampini fuel cell bus project	Rampini ZEV bus	Hydrogenics	Fuel cell	N/a	N/a	N/a	N/a
SunLine Transit - Advanced Fuel Cell Bus Demonstration	2009 - 2011+	1 bus will be placed in regular transit service in the Coachell Valley, California	CARB ZEB/DOE Technology Validation	Thor/ El Dorado National EZ Rider low floor bus	Ballard	Fuel cell/ battery hybrid	75 Kw PEM	N/a	N/a	Compress. hydrogen

Fonte: Mikko, 2010