

TECNOLOGIAS DE BAIXA EMISSÃO NO TRANSPORTE URBANO DESAFIOS E OPORTUNIDADES EM CORREDORES BRT

LOW-EMISSION TECHNOLOGIES IN URBAN TRANSPORT: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES IN BRT CORRIDORS

 <https://doi.org/10.63330/aurumpub.033-005>

Diego Sebastian Carvalho de Souza

Mestre em Engenharia Urbana e Ambiental, PUC-RJ
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

E-mail: dscs.gp@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-3440-8302>

Ricardo José Pereira Costa

Especialista em Direito Ambiental, PUC-RJ
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro PUC-RJ

E-mail: dscs.gp@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1653216254790571>

João Paulo de Almeida Figueiredo

Mestrado Profissional em Materiais (MEMAT)-RJ
Centro Universitário de Volta Redonda, UniFOA, Brasil

E-mail: eng.jpaf@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0822793648407303>

Thiago Sebastian Carvalho de Souza

Graduado em Administração, Universidade Veiga de Almeida
Universidade Federal Fluminense

E-mail: tsebastian@id.uff.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4825-227X>

Ricardo Augusto Teixeira Costa

Graduado em Engenharia Civil-RJ
Centro Universitário de Volta Redonda, UniFOA, Brasil

E-mail: ricardoatcosta@outlook.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0006-5308-7105>

Danielle Marçal Vilameá de Souza

Graduada em Arquitetura, Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

E-mail: danielle.marcal.souza@uerj.br

Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-4288-760X>

Julia Graziella Costa Vidal

Graduada em Engenharia de Produção pelo CEFET/RJ

Universidade do Estado do Rio de Janeiro

E-mail: juliagraziella8@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0009-6181-1572>

RESUMO

A mobilidade urbana sustentável constitui um dos principais desafios das grandes metrópoles, especialmente no município do Rio de Janeiro, onde o sistema Bus Rapid Transit (BRT) foi implantado como alternativa de transporte coletivo de alta capacidade, com menor custo de implantação em relação a outros modais. Contudo, apesar dos avanços operacionais, o uso predominante de ônibus movidos a óleo diesel ainda representa significativa fonte de emissão de poluentes atmosféricos. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade técnica da implantação experimental de ônibus elétricos movidos por energia renovável no corredor BRT TransOlimpica, no trecho compreendido entre o Terminal Recreio e o Terminal Centro Olímpico. A metodologia baseia-se em revisão bibliográfica, análise de estudos técnicos da COPPE/UFRJ e FETRANSPOR, avaliação de parâmetros operacionais, energéticos, ambientais e econômicos, além da análise das características físicas do corredor selecionado. Os resultados indicam que a adoção de ônibus elétricos pode proporcionar redução significativa das emissões de CO₂ e poluentes locais, diminuição dos custos operacionais por quilômetro rodado e melhoria da eficiência energética do sistema. Conclui-se que a implantação experimental apresenta viabilidade técnica e ambiental, podendo contribuir para políticas públicas de transporte urbano sustentável e para a modernização do sistema BRT no município do Rio de Janeiro.

Palavras-chave: Mobilidade urbana; BRT; Ônibus elétrico; Energia renovável; Sustentabilidade.

ABSTRACT

Urban sustainable mobility is one of the main challenges faced by large metropolitan areas, particularly in the city of Rio de Janeiro, where the Bus Rapid Transit (BRT) system was implemented as a high-capacity public transport alternative with lower implementation costs compared to other transport modes. However, despite operational improvements, the predominant use of diesel-powered buses remains a significant source of atmospheric pollutant emissions. In this context, this study aims to analyze the technical feasibility of the experimental implementation of electric buses powered by renewable energy on the BRT TransOlimpica corridor, specifically between the Recreio Terminal and the Olympic Center Terminal. The methodology is based on a literature review, analysis of technical studies conducted by COPPE/UFRJ and FETRANSPOR, evaluation of operational, energy, environmental and economic parameters, and assessment of the physical characteristics of the selected corridor. The results indicate that the adoption of

electric buses can significantly reduce CO₂ emissions and local air pollutants, lower operational costs per kilometer traveled, and improve the system's energy efficiency. It is concluded that the experimental implementation is technically and environmentally feasible, contributing to sustainable urban transport policies and to the modernization of the BRT system in the city of Rio de Janeiro.

Keywords: Urban mobility; BRT; Electric bus; Renewable energy; Sustainability.

1 INTRODUÇÃO

Estudos sobre o espaço urbano apontam que, a falta de mobilidade urbana é um dos grandes desafios de qualquer metrópole do planeta. No Rio de Janeiro, essa problemática afeta diretamente a economia da cidade, a qualidade de vida da população e a política habitacional. Nesse sentido, a Cartilha da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, intitulada Gestão de Alto Desempenho, no âmbito do Plano Estratégico 2013–2016, já destacava a mobilidade urbana como um eixo central de intervenção da administração pública municipal.

Como resposta a esse cenário, o poder público adotou o sistema Bus Rapid Transit (BRT) como uma solução moderna e de implantação acessível. Criado inicialmente em Curitiba (PR) e amplamente aplicado com sucesso em diversas cidades ao redor do mundo, o BRT baseia-se na operação de ônibus articulados de alta capacidade, que circulam em corredores exclusivos, livres de interferências do tráfego geral, com estações específicas para embarque e desembarque e áreas de manobra dedicadas.

Na cidade do Rio de Janeiro, a implantação do sistema resultou na criação de quatro novos corredores viários, voltados principalmente ao atendimento das zonas Norte e Oeste, regiões caracterizadas por intenso crescimento populacional. A proposta original previa a integração do BRT aos demais modais de transporte, como trem e metrô, com o objetivo de atender mais de 60% da população carioca e mitigar os congestionamentos nos horários de pico. Entre as principais vantagens apontadas à época, destacaram-se a rapidez de implantação e o menor custo de investimento, estimado em cerca de 10% do necessário para a construção de um sistema metroviário equivalente. Esperava-se, assim, a redução das emissões de gases poluentes, a diminuição do consumo de combustíveis fósseis e a consequente melhoria da qualidade de vida urbana. Em 2012, um estudo realizado pela COPPE/UFRJ² em parceria com a FETRANSPOR, também do Rio de Janeiro, apontou que:

“No mundo todo, o transporte responde pelo consumo de mais de 50% dos derivados de petróleo (IEA, 2010). No Brasil, no ano de 2009, aproximadamente 87% das viagens de passageiros realizadas por modais coletivos ocorreu por meio de ônibus movidos a óleo diesel de petróleo (ANTP, 2009), os quais foram responsáveis pela emissão de 27,8 milhões de toneladas de CO₂ (MMA, 2011). Assim, na tentativa de minimizar os impactos ambientais causados pelo uso desse combustível e, ao mesmo tempo ampliar a segurança energética nacional, o país avançou na busca por novas alternativas energéticas e tecnologias aplicadas aos sistemas de propulsão de veículos rodoviários.”

Este estudo analisa a viabilidade técnica e econômica da implementação experimental de ônibus movidos a energia renovável no BRT TransOlímpica (Rio de Janeiro), especificamente no trecho entre o Terminal Recreio e o Parque Olímpico. Baseada em experiências de grandes eventos (Copa 2014 e Olimpíadas 2016) e no uso de combustíveis como B20, AMD10 e GNV, a pesquisa destaca: Impacto Financeiro: Estima-se um aumento de 8% a 16% no investimento inicial (chassi) e de 1,4% a 3% nos custos operacionais. Critérios de Seleção: A busca pela melhor alternativa equilibra a redução de poluentes (CO₂) e custos operacionais (\$/km) com a eficiência no transporte de passageiros. Objetivo Central: Identificar uma solução de baixo risco de implantação que atenda aos limites de emissão, conciliando interesses políticos, técnicos e as necessidades dos usuários.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O BRT – O QUE É O BRT?

A mobilidade urbana é um dos relevantes temas atuais cujo estudo visa a diminuição do tempo de viagem dos passageiros. O BRT, termo em inglês que significa Transporte Rápido por Ônibus (*Bus Rapid Transit*), é o modelo de transporte articulado que utiliza faixa – “corredor” exclusivo para tráfego de passageiros. Atualmente, no Rio de Janeiro pode-se afirmar que se trata de um dos principais modais administrados por um consórcio de empresas privadas, que presta o serviço de transporte diário de pessoas.

O BRT, de acordo com o Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento - ITDP, pode ser entendido como:

“sistema de transporte por ônibus, de alta qualidade, que oferece um rápido, confortável e custo-efetivo serviço de mobilidade urbana ao disponibilizar infraestrutura segregada e prioritária, operações rápidas e frequentes, e excelência em *marketing* e serviço ao consumidor”. (ITDP, 2007).

A análise da eficiência do sistema considera os critérios estabelecidos no Padrão de Qualidade BRT, respeitando o ranking de classificação de acordo com a qualidade dos serviços prestados pelas empresas consorciadas, que passam a receber pontuação de 0 a 100, sendo classificados em Ouro, Prata, Bronze e Básico.

Este sistema caracteriza-se pela infraestrutura segregada e com faixa prioritária para circulação de ônibus, alinhamento das vias de ônibus que circulam por um corredor central independente e exclusivo,

emprego de marketing por uso de veículos de baixa emissão de gases, cobrança de tarifa nas estações e não nos ônibus, integração com outros meios de transportes, proibição à circulação de outros veículos em sua faixa de rolamento, plataformas dos veículos alinhadas ao piso do ônibus facilitando e agilizando o acesso dos passageiros.

Desta forma o sistema BRT é considerado pelo poder público como alternativa viável para a solução dos problemas de transportes existentes na cidade do Rio de Janeiro, que por sua vez, necessitam de mudanças radicais para atingir o nível adequado aos padrões mundiais de deslocamento de passageiros com maior conforto, menor tarifa como também, no menor tempo possível.

Ademais, as pesquisas realizadas pela COPPE/FETRANSPOR indicaram a necessidade de desenvolvimento de novas tecnologias, como por exemplo os sistemas alternativos de propulsão que reduzem o consumo de combustível (híbridos diesel-elétricos), bem como a utilização de ônibus articulados que consomem menos energia por passageiro transportado e que têm este benefício maximizado em regimes operacionais que propiciam maiores velocidades médias, como no caso dos BRT (*Bus Rapid Transit*) e BRS (*Bus Rapid System*), também implantado no Município do Rio de Janeiro, apresentando-se como opções aplicáveis à realidade das cidades brasileiras.

O estudo da COPPE/FETRANSPOR no sistema BRT (*Bus Rapid Transit*) da cidade do Rio de Janeiro, considera primordial a utilização de veículos de alta capacidade, com potencial possibilidade de emprego de energias mais limpas que os ônibus convencionais, bem como o uso da faixa de segregação longitudinal total (corredores exclusivos), possibilitando desta forma agilidade no embarque e desembarque de passageiros por meio de plataformas elevadas em veículos nivelados com o piso das estações e adoção de sistema de pré- pagamento de tarifas fora dos veículos.

Neste sistema as linhas “alimentadoras” são as responsáveis pela “alimentação” desses mesmos troncais, que se conectam, preferencialmente, por meio de terminais de integração, ligando os centros de comércio e serviços, bem como os centros de alcance local aos centros de alcance metropolitano e/ou municipal, estando essas últimas linhas operadas por veículos de média ou baixa capacidade.

No que tange à pesquisa da COPPE/FETRANSPOR, esta considera as linhas interbairros como responsáveis pela ligação secundária entre centros de alcance local, centros de comércio e serviços, centros de alcance metropolitano e municipal, podendo conectar-se com linhas alimentadoras e linhas troncais, preferencialmente por meio de terminais de integração, operados com veículos de média ou baixa capacidade.

Assim, a pesquisa em questão suscitou à época que:

“uma prática operacional em implantação no Município do Rio de Janeiro, o BRS (Bus Rapid Service), que considera faixas parcialmente segregadas para transporte coletivo, sendo necessária a reordenação dos pontos de parada dos ônibus e uma adequação dos locais de embarque e desembarque, poderia ser classificada como linha alimentadora ou interbairros, dependendo sua função. Cada uma das linhas (troncais, alimentadoras e interbairros) citadas acima possui características de operação próprias, de modo que se deve utilizar tipos de veículos que sejam adequados a sua operação, como por exemplo, micro-ônibus, mini ônibus, midi ônibus, ônibus convencional tipo 1, ônibus convencional tipo 2, ônibus padron e ônibus articulado, dotados de sistema de propulsão convencional ou alternativo, (...) , “tanto os veículos que possuem sistema de propulsão convencional, quanto os que possuem sistema de propulsão híbrido devem atender aos limites de emissão estabelecido pelo PROCONVE, (...).”

A utilização de sistemas alternativos de propulsão redutores do consumo de combustível (híbridos diesel-elétricos), bem como a utilização de ônibus articulados que consomem menos energia por passageiro transportado, com benefício maximizado em regimes operacionais que propiciam maiores velocidades médias, apresentam-se como opções aplicáveis à realidade das cidades brasileiras, especialmente no Rio de Janeiro.

2.1.1 Qual o escopo do projeto?

O escopo do projeto abrange o trecho TransOlímpica, indo desde o Terminal Recreio ao Terminal Centro Olímpico, que é constituído pelas estações Terminal Recreio, Catedral do Recreio, Tapebuias, Ilha Pura, Olof Palme e Terminal Centro Olímpico.

A justificativa para a escolha do referido trecho para implantação de ônibus elétrico, movido por energia limpa e renovável de forma experimental é a pequena extensão do corredor, bem como a viabilidade de áreas de manobras nos Terminais do Recreio e do Centro Olímpico.

Estas medidas visam estimular as políticas públicas sustentáveis de transporte público movido à energia solar, tornando o BRT uma forma de transporte mais atraente, eficiente e barata para a população.

O projeto inicial BRT foi dividido em quatro áreas distintas de transporte de massa, voltados a atender a população em seus trajetos, os quais apresentavam extensão total de mais de 160Km, dispondo de 145 estações, atendendo a cerca de 1.630.000 de habitantes/dia.

Assim, foi previsto à época de seu projeto/implantação quanto à cada trajeto/local, uma redução de tempo estimada em: TransOeste – de 100min para 40min. TransCarioca: – de 100min para 60min. TransOlímpica – de 100min para 40min. TransBrasil (em construção) – de 100min para 50min.

2.1.2 O BRT e sua implantação

O sistema de Transporte Rápido por Ônibus (*Bus Rapid Transit* - BRT) na cidade do Rio de Janeiro teve como trecho inicial o corredor TransOeste, sendo a primeira fase inaugurada no ano de 2012, interligando a Barra da Tijuca a Santa Cruz, na Zona Oeste, tendo sofrido ampliação do trecho para Campo Grande e Paciência. Em 2016, foi incluído o Lote Zero, realizando integração com a Linha 4 do Metrô no

Terminal Jardim Oceânico, totalizando cerca de 60 quilômetros de pista exclusiva.

Em 2014, antecedendo a Copa do Mundo no Brasil foi inaugurado novo trecho do corredor expresso interligando o terminal Alvorada, na Barra da Tijuca ao Aeroporto Internacional Tom Jobim, na Ilha do Governador, ampliando o corredor de ônibus em mais 39 quilômetros, 45 estações, passando, desde então, por 27 bairros da zona norte e oeste, sendo integrado com o trem da Supervia (estações Manacéia e Olaria), bem como com a Linha 2 do Metrô na estação de Vicente de Carvalho.

O trecho do corredor TransOlímpica, com 26 quilômetros de pista, foi inaugurado em 2016, sendo composto por 18 estações e mais 3 terminais - Recreio, Centro Olímpico e Sulacap. A conservação deste trecho é realizada pela Concessionária ViaRio S.A., diversamente da conservação dos trechos TransOeste e TransCarioca que é realizada pela prefeitura do Rio de Janeiro. Como visto na Tabela 1.

Tabela 2: vantagens e desvantagem das baterias

Corredor	Principais Bairros Atendidos	Nº de Estações	Horário de Funcionamento
TransOeste	Santa Cruz, Campo Grande, Guaratiba, Recreio, Barra da Tijuca, Jardim Oceânico	74	5h–1h (troncais) / 24h (alguns serviços)
TransCarioca	Barra da Tijuca, Jacarepaguá, Madureira, Penha, Ramos, Cidade Universitária, Galeão	45	24h
TransBrasil	Centro, Caju, Maré, Ramos, Vigário Geral, Irajá, Guadalupe, Deodoro	44	24h
TransOlímpica	Recreio, Curicica, Taquara, Jardim Sulacap, Magalhães Bastos, Vila Militar, Deodoro	18	24h

Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/BRT_do_Rio_de_Janeiro>

2.1.3 Equilíbrio do projeto – Social, Econômico, Ambiental, Urbanístico, Financeiro, Técnico-operacional

O sistema de Transporte Rápido por Ônibus (*Bus Rapid Transit* - BRT) deverá incluir o maior número de usuários e transportá-los no menor intervalo de tempo possível, ante às grandes distâncias percorridas por esta parcela da população que sofre diariamente com os grandes congestionamentos no percurso casa-trabalho-casa.

O sistema tarifário deverá atender simultaneamente, sendo o Grupo 1 o mais abrangente, por incluir o equilíbrio econômico, social, ambiental e urbanístico, enquanto o Grupo 2, abrange apenas o equilíbrio técnico-operacional, porquanto o Grupo 3 restringe-se ao equilíbrio financeiro.

Neste sentido o sistema financeiro-tarifário deverá levar em consideração, o menor valor da tarifa, o menor tempo de acessibilidade à estação, o menor tempo de viagem, o menor headway entre Veículos, a maior regularidade do headway, tanto menor o tempo de espera na plataforma, e um melhor nível de conforto na estação. Desta forma os estudos da COOPE/FETRANSPOR apontaram na ocasião que:

“No caso dos SPA, foram feitas comparações entre veículos convencionais movidos a óleo diesel e veículos híbridos (diesel-elétricos) e/ou veículos elétricos a célula combustível (movidos a hidrogênio). Do mesmo modo que no item anterior pode-se verificar que tais pesquisas tiveram como foco os aspectos custo, rendimento energético e emissões de poluentes atmosféricos de forma isolada ou conjuntamente.

Para os veículos híbridos diesel-elétricos, os estudos analisados apresentaram resultados de rendimento energético variando entre -11% a +37% e de custos operacionais variando entre + 46% a + 92% em relação aos veículos convencionais movidos a óleo diesel. Em relação ao custo de manutenção, verificou-se um aumento de +76% a +150% quando comparados aos veículos convencionais movidos a diesel.

No que tange as emissões de poluentes atmosféricos foi possível observar que as experiências analisadas relatam redução na emissão de CO (entre 70% e 90%), HC (entre 80% e 90%) e MP (cerca de 90%). No caso do NO_x, não foi possível verificar tendência de redução.

Ao analisar os estudos onde foram feitas comparações entre veículos convencionais movidos a óleo diesel e os veículos elétricos a pilha de combustível, verificou-se que este último apresenta custo de manutenção superior ao veículo convencional movido a óleo diesel, variando de + 67% a + 134%, e tendo chegado a + 450% no caso de testes com protótipos de veículos.”

Em relação aos aspectos técnicos do BRT, é pertinente a reflexão quanto a viabilidade técnica e a capacidade de atendimento da demanda referentes a 3 itens: veículos, equipamentos, combustíveis e aditivos. Em contrapartida, relevante se faz também a análise ambiental em relação a emissão de poluentes atmosféricos locais (CO, MP, NO_x e HC) e CO₂, bem como a análise dos níveis de emissão dos referidos gases pelo sistema de BRT atual.

Por fim, ressalte-se o aspecto urbanístico ante a necessidade de integração desse modal com os demais tipos pré-existentes, bem como a construção de estações e terminais de BRT adequados e dimensionados para a demanda de usuários locais.

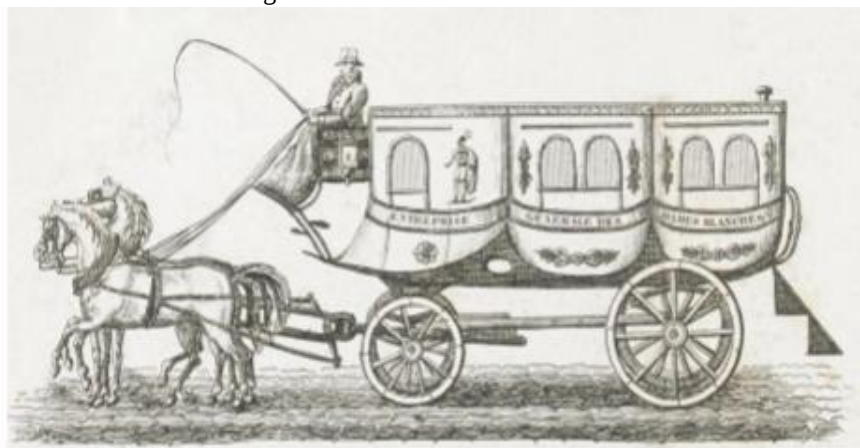
2.2 CONCEITO E CONCEPÇÃO: ENTENDENDO O ÔNIBUS ELÉTRICO E O PROJETO

2.2.1 Breve histórico da evolução do ônibus até chegar ao Ônibus Elétrico

Guenther (2016) explica o que o ônibus surgiu com o objetivo de ser um veículo para transporte de um elevado número de pessoas. Historicamente o primeiro serviço de ônibus foi idealizado por Blaise Pascal em 1662. Com efeito, em sua estreia não era caracterizado por ser um serviço popular, pois suas tarifas eram consideradas caras para época o que levou sua utilização apenas pelas classes dominantes da época. Após de 20 anos de funcionamento o serviço encerrou e não se teve mais registros até o século XIX.

Para Guenther (2016) a partir de 1820, John Greenwood, adquiriu alguns cavalos, e uma carruagem com vários assentos com objetivo de transportar passageiros por um trajeto que ligava a cidade de Manchester a Liverpool, na Inglaterra. Na mesma época, na França, um serviço de transporte semelhante mas chamado Paris omnibus, começou a transportar a passageiros, assim deu-se origem deste nome, pois vinha o trajeto de partida desta linha que ficava em frente a uma loja de chapéus contendo a seguinte frase em sua fachada Omnes Omnibus que do latim significa "tudo em todos". Modelo apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Ônibus de Paris em 1828



Fonte: Guenther. Estudo de Viabilidade para Substituição de Veículos a Combustão por Veículos de Tração Elétrica em uma linha de Ônibus de Curitiba. 2016

Segundo Guenther (2016) o processo evolutivo continuaria e a partir de 1830 surgiram os primeiros ônibus movidos à vapor, mais rápidos e que causariam na época menos danos às ruas das cidades. Entretanto estes veículos, este tipo de transporte não obteve continuidade pelos custos de pedágios e limites de velocidades impostos em alguns países da Europa.

O ônibus à combustão interna teve seus primeiros registros de operação a partir de 1890. Sua expansão deu-se em Londres e impulsionou a produção em escala do primeiro modelo de ônibus à combustão, o **B-Type**. Sua produção iniciou-se 1910 e após 10 anos mais de 3.000 unidades já haviam sido construídas. Como apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Primeiro ônibus à combustão a ser produzido em escala



Fonte: Guenther. Estudo de Viabilidade para Substituição de Veículos a Combustão por Veículos de Tração Elétrica em uma linha de Ônibus de Curitiba. 2016

O primeiro veículo elétrico foi construído em 1835 em Vermont – Estados Unidos, pelo ferreiro Thomas Davenport. Guenther (2016) explica que desta época até início do século 20, uma grande quantidade de veículos elétricos que andavam sobre trilhos foi produzida, sendo que em 1900, 28% dos

veículos produzidos nos Estados Unidos era elétrico.

Para o autor Thomas Edison, em 1908, ele apresentou uma bateria que combinava níquel e placas de ferro, muito mais eficiente que as baterias de chumbo ácido da época, porém o custo para a produção era muito elevado, tornando-se inviável. Como visto na Figura 3.

Figura 3 - Veículo elétrico de edison de 1908



Fonte: Guenther. Estudo de Viabilidade para Substituição de Veículos a Combustão por Veículos de Tração Elétrica em uma linha de Ônibus de Curitiba. 2016

Os irmãos Siemens, em 1881, apresentaram o primeiro conceito de Trólebus, um ônibus elétrico que funcionaria conectado à rede de alimentação urbana, ou seja, um ônibus comum seria conectado por dois fios à rede de energia elétrica, permitindo contatos rolantes transmitirem a corrente até o bonde, sem a necessidade de correr sobre trilhos e sim nas ruas.

Figura 4 - Primeiro trólebus construído no mundo



Fonte: Guenther. Estudo de Viabilidade para Substituição de Veículos a Combustão por Veículos de Tração Elétrica em uma linha de Ônibus de Curitiba. 2016.

No Brasil, os primeiros trólebus apareceram na cidade de São Paulo em 1949. Nos anos seguintes, entre 1950 e 1960, outras cidades como Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Porto Alegre e Fortaleza investiram nesta tecnologia.. Como apresentado na Figura 5.

Figura 5 - Primeiro trólebus fabricado no Brasil



Fonte: Guenther. Estudo de Viabilidade para Substituição de Veículos a Combustão por Veículos de Tração Elétrica em uma linha de Ônibus de Curitiba. 2016.

Neste trabalho a concepção que utilizamos é a do ônibus a bateria de preferência articulados que são veículos movidos somente com a utilização de motores elétricos, os quais são alimentados por um conjunto de baterias. Possui sistema de frenagem regenerativa, estes modelos de ônibus podem ser recarregados durante as paradas finais das linhas, durante a noite. Por não apresentar motor a combustão, destaca-se por ser ecologicamente correto, com emissão zero de poluentes e apresentar baixo ruído podem ser recarregado através de energia solar. Como apresentado na foto abaixo o ônibus da empresa “Build Your Dreams”- **BYD**, cuja tradução é construindo sonhos, que possui 15 metros e irá atuar em São Paulo. Como demonstrado na Figura 6.

Figura 6 – Ônibus elétrico a bateria.

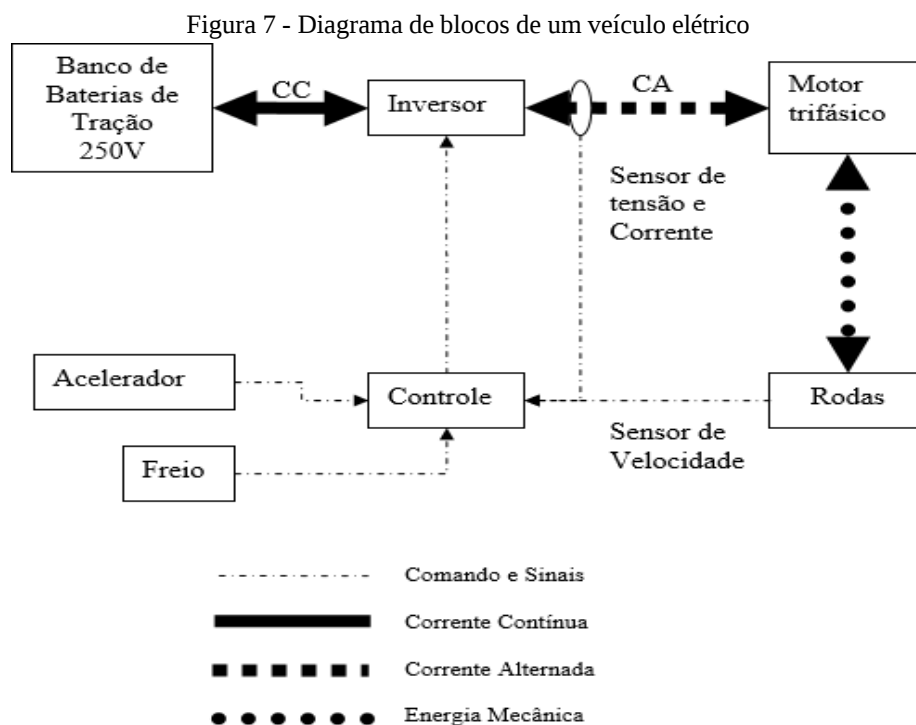


Fonte: <https://diariodotransporte.com.br/2017/04/07/fabrica-de-onibus-eletricos-da-byd-campinas-ja-nasce-com-encomendas-diz-empresa/> acesso 01/01/2018.

2.3 PARÂMETROS TÉCNICOS

2.3.1 Modelos gerais de funcionamento dos veículos elétricos

Segundo Noce (2010), um veículo que utiliza corrente contínua da bateria e corrente alterada no motor, apresenta geralmente o seguinte diagrama de blocos, mostrado de modo simplificado.

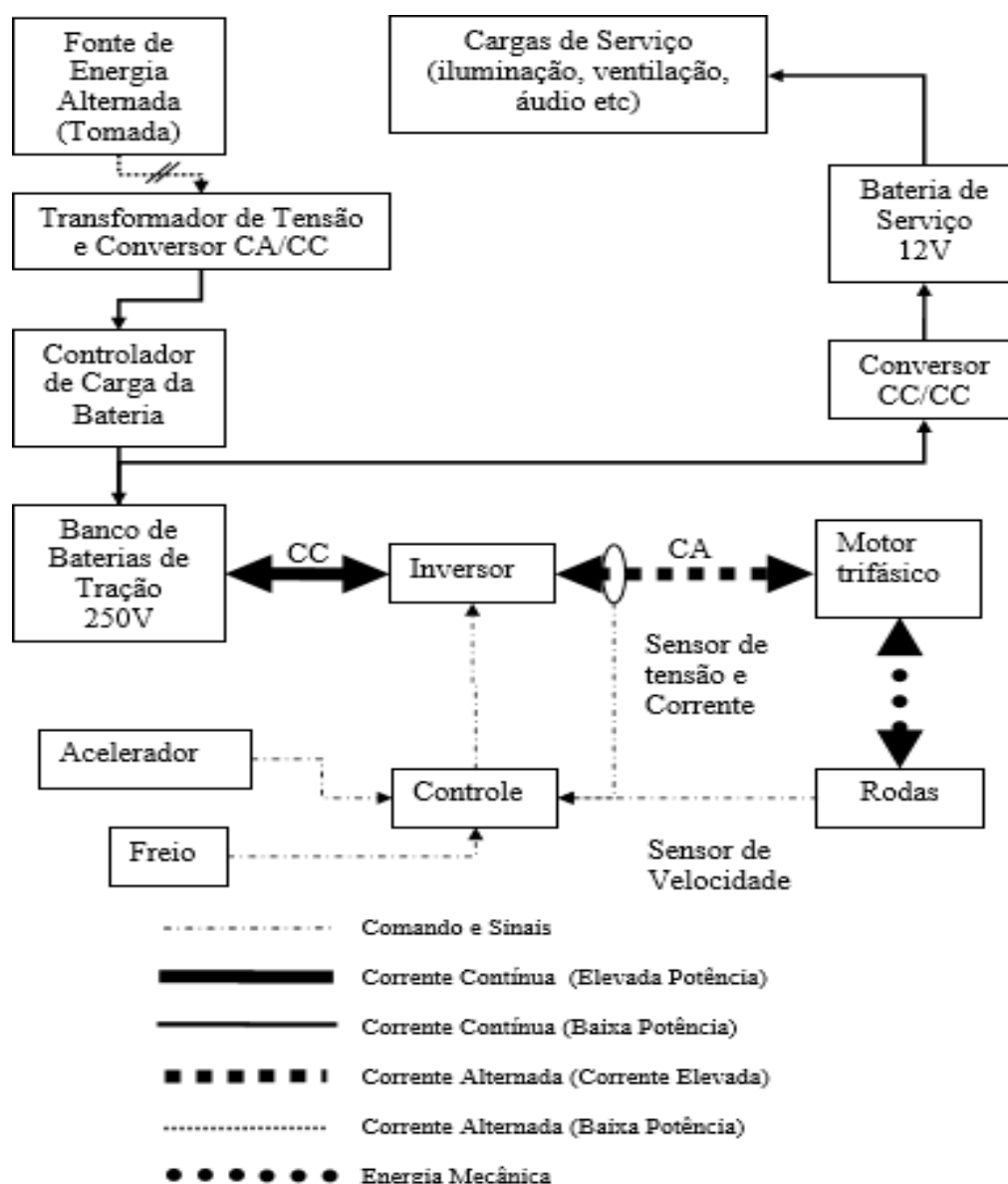


Fonte: NOCE, Toshizaemom. Estudo do funcionamento de veículos elétricos e contribuições ao seu aperfeiçoamento. Belo Horizonte, 2010.

Na Figura 7, supracitada neste modelo de bloco, idealizado por Noce (2010), verifica-se uma seta dupla entre o banco de baterias, o inversor, entre o motor trifásico e as rodas. Isso indica que o fluxo de energia ocorre nos dois sentidos, ou seja, o banco de baterias de tração também é responsável pela energia para a movimentação do veículo e, quando em frenagem, recupera parte da energia cinética do veículo sob a forma de energia eletroquímica, no banco de baterias de tração. Segundo Noce (2010) um dos principais atrativos propostos nos veículos elétricos é a possibilidade de extrapolar a recuperação de energia através das interfaces presentes no próprios veículos, como exemplo o carregamento do banco de baterias de tração e da bateria de serviço (de 12V).

Por que são encarregadas de armazenar e fornecer energia para o sistema elétrico convencional do veículo, ou seja, gera energia para o sistema composto pelas cargas dos sistemas de iluminação, ventilação, arrefecimento, áudio e alarme, dentre outros, conforme mostrado na Figura 8.

Figura 8 - Diagrama de blocos de um veículo elétrico - conversor CC/CC e cargas de serviço.

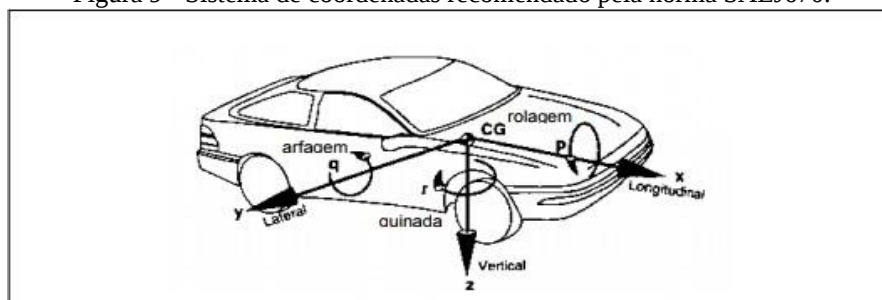


Fonte: NOCE, Toshizaemom. Estudo do funcionamento de veículos elétricos e contribuições ao seu aperfeiçoamento. Belo Horizonte, 2010.

2.3.2 Dinâmica geral de funcionamento dos Motores elétricos

A dinâmica veicular é o movimento das forças atuantes sobre os veículos e sobre suas respostas. Sendo assim, seu estudo refere-se ao entendimento realizado em dois níveis: baseado em ensaios experimentais e o analítico. Com efeito. O comportamento de qualquer veículo terrestre é o resultado das interações entre o condutor, o veículo e o meio ao seu redor. O entendimento da dinâmica de um veículo terrestre dar-se - a pela compreensão das forças e movimentos, para tal há normas e parâmetros, que fazem jus ao processo científico, daí o uso de um sistema de coordenadas fixo ao centro de gravidade do veículo no caso da Figura abaixo é norteado pelo sistema europeu. Como visto na Figura 9.

Figura 9 - Sistema de coordenadas recomendado pela norma SAEJ670.



Fonte: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/13750/13750_4.PDF, acesso 15/01/2018.

Noce (2010) destaca que os estudos clássicos de dinâmica veicular foram desenvolvidos, majoritariamente, com base em veículos equipados com motores de combustão interna. Contudo, o avanço tecnológico e a crescente necessidade de redução da poluição atmosférica têm impulsionado a consolidação dos veículos elétricos como uma tendência no setor de transportes. Nos primeiros modelos de veículos elétricos, as limitações relacionadas à menor densidade energética das baterias, quando comparadas aos combustíveis fósseis, resultavam em menores velocidades e autônomoas. Dessa forma, conforme explica Noce (2010), tornava-se essencial o uso eficiente da energia armazenada, o que reforça a importância da análise da dinâmica veicular para identificar a contribuição das forças resistivas no consumo energético.

Segundo Noce (2010), uma das principais vantagens dos motores elétricos está na sua capacidade de fornecer torque máximo desde a rotação nula, eliminando a existência de um limite mínimo de funcionamento. Essa característica possibilita a redução ou até a eliminação de transmissões de múltiplas velocidades e do acoplamento convencional entre motor e transmissão, diferentemente do que ocorre em veículos com motores de combustão interna. Embora o autor não tenha como foco a análise do impacto dessa mudança no comportamento do condutor, torna-se evidente a necessidade de compreender as diferenças operacionais entre os dois sistemas. Assim, a comparação entre o torque transmitido às rodas em função da velocidade do veículo, apresentada na Figura 10, permite evidenciar as distinções fundamentais entre veículos elétricos e veículos a combustão, contribuindo para a compreensão da dinâmica veicular e de seus efeitos no desempenho e na eficiência energética.

Figura 10 - Comparação do Torque

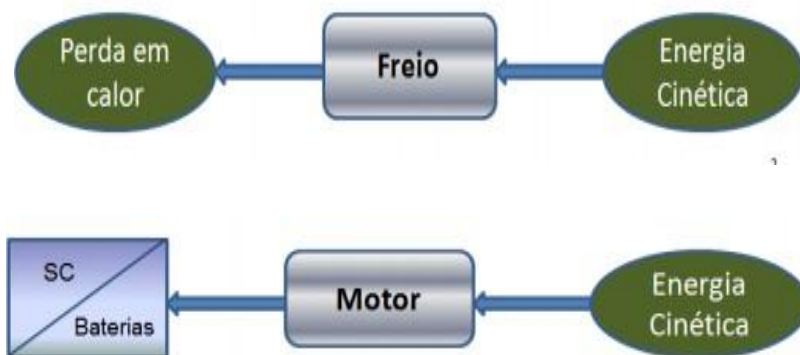


Fonte: NOCE, Toshizaemom. Estudo do funcionamento de veículos elétricos e contribuições ao seu aperfeiçoamento. Belo Horizonte, 2010.

Noce (2010) apresenta as seguintes vantagens dos motores elétricos em relação aos de combustão interna: a primeira é a maior eficiência energética em função da maior eficiência de transformação da energia elétrica, armazenada as baterias sob a forma de energia química, em energia mecânica. Explica-se porque a energia química armazenada no combustível deve passar por um processo termodinâmico para prover energia mecânica às rodas. Com efeito, só há o consumo da energia quando em movimento, já que no motor elétrico a energia é transformada de maneira mais adequada à característica de funcionamento urbano do automóvel, sem a limitação de rotação mínima de funcionamento; a manutenção menos frequente e mais simplificada: Como as temperaturas dos sistemas de transformação de energia dos sistemas são baixas, ocorre menor degradação dos elementos de atrito, lubrificação e vedação, além da grande simplificação no número de peças;

Ainda como vantagem tem-se segundo o uso de frenagem regenerativa tem como objetivos a recuperação da energia cinética e a minimização do desgaste dos freios mecânicos. Em um veículo elétrico, a redução da velocidade normalmente faz a máquina elétrica passar a operar como gerador, havendo um retorno de energia para as fontes, a depender da topologia e do comando aplicado ao conversor eletrônico de potência como apresentado na Figura 11.

Figura 11 – Fluxo de energia: freio mecânico versus regenerativo



Fonte: Paredes, Pérez. Frenagem Regenerativa em Veículo Elétrico Acionado por Motor de Indução: Estudo, Simulação e Verificação Experimental

Para Perez (2013) a utilização da frenagem regenerativa tem como objetivos a recuperação da energia cinética e a minimização do desgaste dos freios mecânicos. Consta-se que em um veículo existe uma redução da velocidade que normalmente faz a máquina elétrica passar a operar como gerador, sendo assim, ocorre um retorno de energia para as fontes, em termos lógicos, depende da topologia e do comando aplicado ao conversor eletrônico de potência. Com efeito, o sistema de frenagem regenerativa mostra-se mais eficiência para o veículo, como também potencialmente há melhor desempenho de frenagem.

Noce (2010) apresenta algumas desvantagens para os motores e veículos elétricos, sendo a principal a reduzida autonomia dos veículos e alto tempo de recarga. Isso se explica segundo a autora:

“a energia específica, em Wh/kg, de uma bateria é da ordem de 60 vezes inferior à da gasolina, para se atingir uma autonomia comparável ao automóvel tradicional, a massa das baterias torna-se inviável tecnicamente, além de seu elevado custo de produção.”

Para Noce (2010) é a principal razão pela qual o foco dos veículos elétricos sejam os centros urbanos, sendo que para percursos extra-urbanos torna-se necessário algum tipo de hibridização da propulsão elétrica com algum combustível, tendo se em vista atingir autônominas mais elevadas.

“Como a energia armazenada em mais de 47kg de baterias modernas equivale apenas àquela presente em um litro de gasolina, o uso desta energia deve ser bem determinado a fim de se garantir uma autonomia adequada ao veículo elétrico. Um veículo com desempenho mais contido e adequado ao trânsito urbano maximiza a transformação da energia elétrica em movimento, uma vez que as forças resistivas aumentam com velocidade.”

Para Noce (2010) o projeto de um veículo elétrico urbano, deve-se prever desempenhos mais adequados à condução urbana que um veículo à combustão.

“As velocidades máximas permitidas nos grandes centros brasileiros oscilam de 60 a 90km/h, com raras exceções. Um veículo elétrico voltado para uso urbano, com velocidade máxima superior à recomendada por lei, pode contribuir para a redução de sua autonomia de maneira sensível. Para acompanhar o trânsito urbano das grandes cidades brasileiras, uma aceleração de 0-60km/h entre 12 a 15 segundos é adequada.”

Com o avanço da tecnologia os veículos elétricos estão sendo estudados e criados para serem autônomos como será demonstrada a seguir no caso de sucesso, essa autonomia se dará pela utilização de energia fotovoltaica com baterias eficientes.

2.3.3 Baterias de Lítio

O lítio, identificado pioneiramente pelo brasileiro José Bonifácio em 1790, consolidou-se como o metal mais leve e menos denso da natureza. Segundo Castro et al. (2011), suas propriedades físico-químicas — como a baixa massa atômica (6,94) e o elevado potencial de redução (3,045V) — tornam as baterias de íon-lítio a tecnologia mais promissora para o transporte sustentável.

Diferente de sistemas convencionais, essa categoria de baterias destaca-se pela alta densidade energética, recarga rápida e ausência de efeito memória. Castro et al. (2011) detalha que a versatilidade dessas baterias reside na variedade de materiais dos eletrodos: enquanto o anodo utiliza geralmente grafite, o catodo pode variar entre ligas como LFP (adotada pelos ônibus Orion/Mercedes e BYD), NCA (utilizada pela Tesla) e NMC (presente no GM Volt). Abaixo, na Tabela 2, apresenta-se uma síntese das características técnicas das principais variantes citadas por Castro et al. (2011):

Tabela 2: vantagens e desvantagem das baterias:

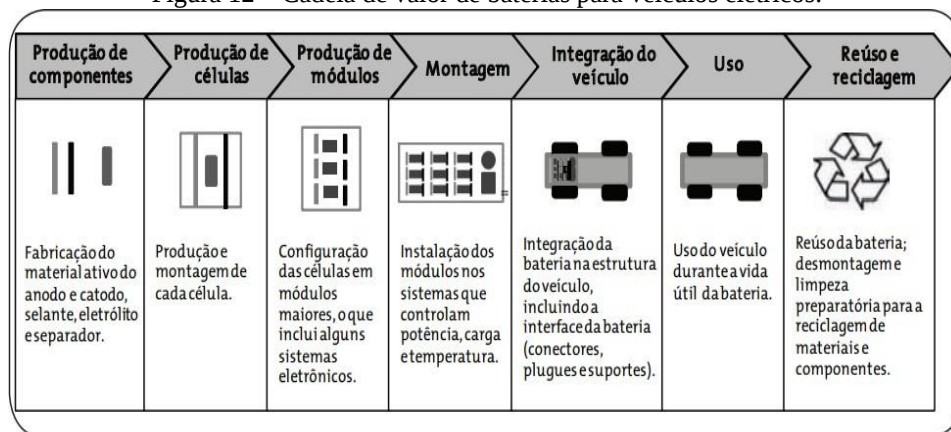
Química	Principais vantagens	Principais desvantagens	Uso em veículos elétricos
NMC (LiNiMnCoO₂)	Bom custo-benefício; alta densidade energética	Menor estabilidade térmica; degradação na ciclagem	Eletrônicos e protótipos de VE
NCA (LiNiCoAlO₂)	Alta densidade energética	Baixa estabilidade térmica; pico exotérmico elevado	Alguns veículos de série
LMO (LiMn₂O₄)	Menor custo; menor impacto ambiental	Perda progressiva de capacidade	VE de série (Leaf, Volt, i-MiEV)
LFP (LiFePO₄)	Alta estabilidade; baixo custo; longa vida útil	Menor densidade energética	VE de série (ex.: Fisker EV)

Fonte: Castro. *et. al.* Baterias automotivas: panorama da indústria no Brasil, as novas tecnologias e como os veículos elétricos podem transformar o mercado global. BNDES. 2011.

Para Castro. *et.al.* (2011) o mais importante dos desafios do desenvolvimento tecnológico está relacionado com a segurança e a operação equilibrada quando as células são interligadas em série e/ou em paralelo, pois o eletrólito opera em uma faixa bem-definida de tensão. Explica que se os limites forem ultrapassados, podem ocorrer reações exotérmicas, culminando na explosão.

O componente básico de uma bateria é a célula. Dependendo do veículo as células são agrupadas em módulos, que posteriormente são agrupados em *packs*. Sendo assim a arquitetura dos *packs* deve variar conforme o modelo do veículo. Para que seja entendida a importância dos *packs* na Figura 12, apresenta-se a cadeia de valor de baterias para veículos elétricos. Condição necessária para avaliação da bateria.

Figura 12 – Cadeia de valor de baterias para veículos elétricos:



Fonte: Castro. *et. al.* Baterias automotivas: panorama da indústria no Brasil, as novas tecnologias e como os veículos elétricos podem transformar o mercado global. BNDES. 2011.

Segundo Castro. *et. al.* (2011) os principais componentes são catodo, anodo, eletrólito e separador e respondem por cerca de 80% do custo de matéria-prima das células. Os demais custos de uma célula são diretamente proporcionais à escala de produção sendo de suma importância as pesquisas serem realizadas com o material que compõe o catodo.

Castro. *et. al.* (2011) destaca a mineração de lítio como forma mais corriqueira de extração. Com efeito, para Castro. *et. al.* (2011) o uso em transportes resulta em menos de 1% do mercado global de lítio,

porém, há projeções apontando para uma inversão dessa participação.

Castro. *et. al.* (2011) esclarece a questão da mineração do Lítio. Quando apresenta as quatro empresas que concentram o mercado de exploração e extração: a *Talison* (australiana, com participação no mercado global de 28%), *SQM* (chilena, com 25%), *Chemetall* (alemã, com 17%) e *FMC* (norte-americana, com 14%). Para Castro. *et. al.* (2011) a receita deste mercado é estimado em cerca de US\$ 1 bilhão, para maiores produtores de lítio. Entretanto, o custo de entrada é relativamente alto, o que reduz a atratividade para mineradoras maiores. Segundo Castro. *et. al.* (2011) com o crescimento do mercado, que deve triplicar até 2020, e assim, pode ser possível atratividade para empresas como a empresa Vale do Rio Doce.

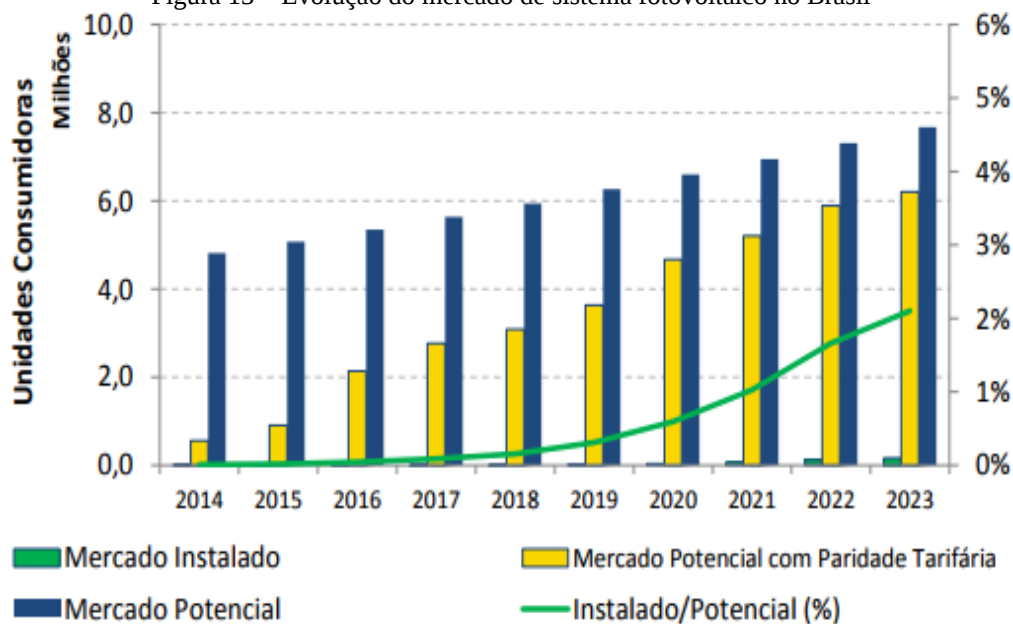
2.3.4 Energia solar no Brasil

Segundo Nascimento (2017), o Brasil produziu em 2016 o equivalente a 81 MWp de energia solar fotovoltaica o que representa cerca de 0,05% da capacidade instalada total no país. Neste ano 24 MWp correspondiam à geração centralizada e 57 MWp à geração distribuída. A utilização da energia solar no Brasil não é expressiva pelas condições favoráveis ao desenvolvimento da fonte no país.

Para Nascimento (2017), o Brasil, possui altos níveis de insolação e grandes reservas de quartzo de qualidade, que podem gerar importante vantagem competitiva para a produção de silício com alto grau de pureza, células e módulos solares, produtos esses de alto valor agregado.

O Brasil possui elevado potencial solar, com níveis médios de radiação entre 1.500 e 2.500 Wh/m², superiores aos de países europeus como Alemanha, França e Espanha, onde a energia solar é amplamente explorada. Entretanto, Nascimento (2017) destaca que, apesar desse potencial, a participação da fonte solar na matriz elétrica brasileira ainda é pouco representativa quando comparada a outras fontes renováveis, como a eólica e a biomassa, que já alcançaram maior grau de desenvolvimento. Segundo o autor, nos últimos anos o país passou a adotar políticas de incentivo à energia solar, como leilões específicos, descontos tarifários e a ampliação das possibilidades de comercialização. Como resultado dessas iniciativas, foram contratados aproximadamente 2,6 GWp de capacidade instalada em leilões realizados em 2014 e 2015, contribuindo de forma significativa para o avanço da fonte no Brasil.

Figura 13 – Evolução do mercado de sistema fotovoltaico no Brasil

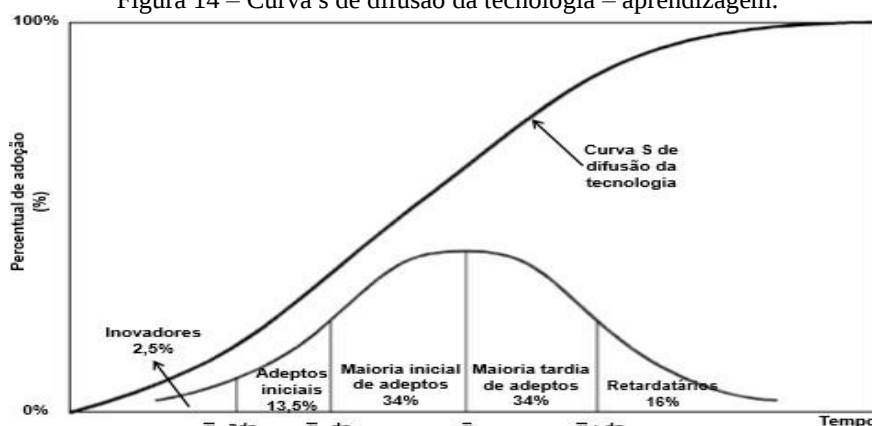


Fonte: Ministério de Minas de Energia. 2014

Em estudo realizado, a EPE (2014), Figura 13, prevê uma provável expansão do mercado da energia fotovoltaica que deve contribuir para prolongar o cenário de redução de custos da fonte verificado nos últimos anos. Com isso deve gerar impactos no custo da tecnologia, com efeito, este aumento de escala de produção pode diminuir o custo trazer para a indústria a viabilidade dos sistemas.

Para o estudo da EPE (2014) a difusão tecnológica iniciada pelos inovadores e adeptos iniciais. Estes usualmente representam 2,5% e 13,5% das adoções, respectivamente. Em todo processo de aprendizagem tecnológico os adeptos iniciais por característica são líderes de capazes de disseminar as informações e afetar as taxas de adoção de forma significativa. Com efeito, gradualmente entram em cena a maioria inicial tardia e por fim os retardatários.

Figura 14 – Curva s de difusão da tecnologia – aprendizagem.



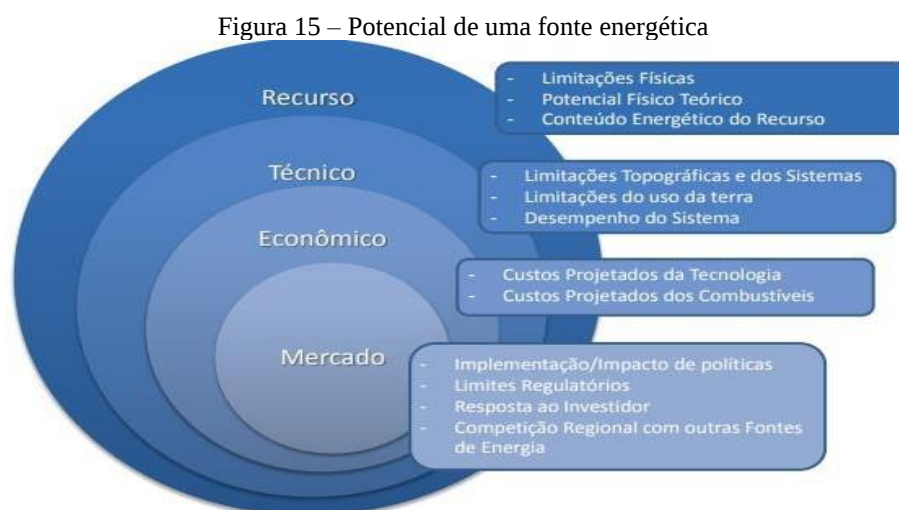
Fonte: EPE. BRASIL. Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos. Ministério de Minas de Energia. 2014

No estudo realizado pela EPE (2014), estimou-se, a partir de dados históricos, uma taxa de aprendizagem que visa mensurar com que velocidade os custos tendem a cair dado o aumento de capacidade acumulada. expansão do mercado da energia fotovoltaica contribui para prolongar o cenário de redução de custos da fonte verificado nos últimos anos. Para mensurar o impacto que este aumento de escala de produção pode trazer para a indústria, diversos autores estimaram, a partir de dados históricos, uma taxa de aprendizagem que visa mensurar com que velocidade os custos tendem a cair dado o aumento de capacidade acumulada.

2.3.4.1 Energia Solar e Geração Distribuída

Para Shayan (2006) a Geração distribuída é a geração elétrica feita perto do local do consumo, independente da dimensão, tecnologia ou da fonte primária de energia. Com este tipo de geração pretende-se maximizar os ganhos com a redução de perdas nas linhas de transmissão e com a possibilidade de co-geração.

O potencial de uma fonte energética pode ser classificado, segundo o esquema mostrado na, em recurso, potencial técnico, potencial econômico e potencial de mercado apresentado na Figura 15.



Fonte: EPE. BRASIL. Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos. Ministério de Minas de Energia. 2014

Shayan (2006) acredita que a argumentação de que a configuração distribuída trará maiores benefícios social é insuficiente para mudar a estrutura econômica do setor energético. Por que a maior parte do consumo de eletricidade é através de hidrelétricas. Entretanto, segundo Shayan (2006), diversas estão em fase de construção e paralisadas devido ao dano ambiental gerado pelas barragens. Todavia o país necessita de energia para crescer e o poder político sobrepuja o social e o ambiental com isso, provavelmente estas usinas serão concluídas.

Shayan (2006) explica que vantagem da energia solar é a sua possibilidade de utilização de forma distribuída, com isso, promove o desenvolvimento social e econômico em todas as regiões, como também diminui os gastos e impactos ambientais nas construções e operações de linhas de transmissão. Segundo Shayan (2006) precisa de tempo para a mudança de paradigma. A sociedade deve aos poucos entender que os sistemas de abastecimento de eletricidade atualmente utilizados não são necessariamente a única maneira possível de fornecer energia. Com isso, devem-se proliferar projetos diversos utilizando do recurso solar, seja de maneira centralizada ou distribuída. Sendo assim, conclui que existe incoerência na utilização do recurso hídrico, criação de barragens, pois aproveitam uma fonte naturalmente dispersa, concentrando-a em uma determinada localidade, para depois distribuí-la através de linhas de transmissão, não é óbvia para os planejadores em geral, uma vez que desafia o modelo atual.

2.4 ASPECTO E IMPACTOS AMBIENTAIS

Guarieiro (2011) explica grandes quantidades de compostos químicos são emitidas para a atmosfera pelas indústrias, veículos e decorrentes de outras atividades humanas. São mais de 3000 diferentes compostos provenientes da ação antrópica já foram identificados na atmosfera, sendo a maior parte deles orgânicos.

Para Guarieiro (2011) essa mistura complexa de poluentes causa preocupação devido ao impacto à saúde e ao ambiente. Sendo assim, a determinação sistemática da qualidade do ar deve ser restrita ao número de poluentes, definidos pela sua importância. A escolha recai sempre sobre um grupo de poluentes que servem como indicadores de qualidade do ar, que são regulamentados e de uso universal: dióxido de enxofre (SO_2), material particulado (MP), monóxido de carbono (CO), ozônio (O_3) e óxidos de nitrogênio (NO_x).

Com efeito, os efeitos da poluição do ar podem ser caracterizados pela alteração de condições consideradas normais e pela potencialização de problemas já existentes, se manifestam na saúde, no bem-estar da população, na vegetação, na fauna, e sobre os materiais.

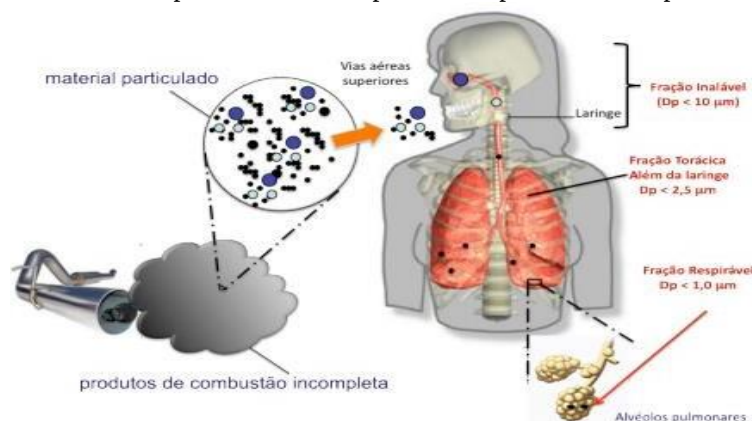
Segundo Guarieiro (2011) o estudo das partículas também é de interesse, pois elas exercem um papel relevante para a vida e envolvem vários domínios do conhecimento e dependendo do seu tamanho, podem se instalar em diferentes regiões do sistema respiratório.

Guarieiro (2011) explica que as partículas inaláveis grossas (fração inalável) são as que possuem o diâmetro aerodinâmico médio (dp) entre 2,5 e 10 μm (MP_{2,5} e MP₁₀) e as partículas finas ou respiráveis (fração torácica) são as inferiores a 2,5 μm (MP_{2,5}). Segundo Guarieiro (2011) estudos epidemiológicos associaram a exposição às partículas à incidência de mortes prematuras, asma crônica e aumento de internações hospitalares de crianças e pessoas idosas.

Com efeito, Guarieiro (2011) explica que em áreas urbanas, veículos a diesel são importantes fontes

de emissão de partículas ultrafinas e finas que pertencem à fração respirável. Então as partículas ultrafinas e as nanopartículas (diâmetro aerodinâmico $< 0,01 \mu\text{m}$) encontram-se na faixa de partículas finas, onde estão envolvidos diversos processos na sua formação e crescimento, como: vapores, condensação de partículas primárias, coagulação, agregados de partículas, conversão química de gases, gases voláteis, nucleação homogênea, crescimento de núcleos de condensação, e gotículas.

Figura 16 - Representação das áreas de depósito do material particulado proveniente de processos de combustão incompleta

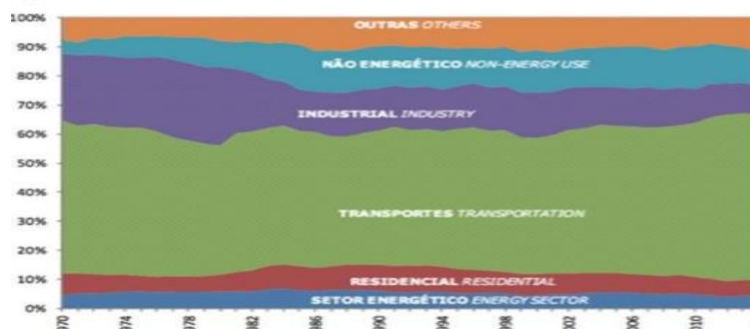


Fonte: Poluentes Atmosféricos Provenientes da Queima de Combustíveis Fósseis e Bicombustíveis: Uma Breve Revisão

Os padrões atuais de mobilidade urbana, marcada por uma crescente motorização individual, têm elevados custos sociais, econômicos e ambientais. Apesar disso, ações que priorizam a redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) na mobilidade urbana não fazem parte da política efetiva na maioria dos países – mesmo que cada vez mais presentes nos discursos políticos de países desenvolvidos. O consumo apresentado na figura 17.

De acordo com o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), o Brasil emitiu 1.246.477 Gg de CO₂ em 2010. Cerca de 32% dessas emissões foram atribuídas ao setor de energia, do qual o setor de transporte representou 41,9% e o transporte rodoviário, 38,5%.

Figura 17 - Composição setorial do consumo de derivados de petróleo no Brasil



Fonte: Guenther. Estudo de Viabilidade para Substituição de Veículos a Combustão por Veículos de Tração Elétrica em uma linha de Ônibus de Curitiba. 2016

Comparando as emissões de motores de ciclo diesel utilizando diesel e biodiesel, em geral, o uso do biodiesel emite menos CO (60%) que o óleo diesel, mais NOx (80%) e aumenta o potencial de formação de ozônio. Com efeito, Segundo Guarieiro (2011) as emissões de benzeno e aldeídos também são maiores quando se utiliza biodiesel. Entretanto, as emissões de aldeídos e HPA, e de outros poluentes não regulamentados precisam ser mais investigadas para se poderem avaliar melhor os impactos do uso de combustíveis alternativos.

Apesar dos autores apresentarem diferentes pontos de vistas para os impactos causados pelo transporte, a poluição do ar é uma unanimidade entre os estudos, além disso, a poluição sonora também é um consenso entre os efeitos do transporte urbano. Os ruídos gerados pelo transporte urbano dependem de diferentes fatores como, tamanho do motor, tipo de condução do motorista, estado de conservação do veículo. Como pode ser visto na Tabela 3..

Tabela 3 - Efeitos ambientais externos do transporte

Categoria de impacto	Exemplos recorrentes citados
Ambientais	Poluição do ar, poluição da água, ruído, vibração, lixo sólido, perda/uso do solo
Urbanos e territoriais	Congestionamento, estacionamento, expansão urbana, destruição urbana, impacto visual
Socioeconômicos	Acidentes, valor da terra/propriedade, recursos naturais
Mobilidade e tráfego	Perturbação do tráfego, efeito “barreira”, consumo de energia
Patrimônio e paisagem	Impacto em construções históricas, paisagem urbana

Fonte: Guenther. Estudo de Viabilidade para Substituição de Veículos a Combustão por Veículos de Tração Elétrica em uma linha de Ônibus de Curitiba. 2016

Segundo a Prefeitura do Rio de Janeiro a redução de emissões de GEE é um dos projetos estabelecidos como estratégicos da Cidade. Metas de redução de emissões foram definidas e consolidadas pela Lei Municipal de Mudanças Climáticas e Desenvolvimento Sustentável, publicada em janeiro de 2011. As metas foram fixadas tendo como referência as emissões totais verificadas em 2005. Os objetivos de redução foram assim definidos: evitar 8% das emissões de 2005 em 2012 (0,959 Mt CO₂e), 16% em 2016 (1,9 Mt CO₂e) e 20% (2,43 Mt CO₂e) em 2020.

3 METODOLOGIA

O estudo adota uma abordagem qualitativa aplicada, estruturada a partir de uma análise técnico-comparativa multicritério, amplamente utilizada em pesquisas sobre mobilidade urbana sustentável e tecnologias de transporte de baixa emissão (Banister, 2021; Litman, 2022). Essa abordagem justifica-se pela complexidade do objeto de estudo, que envolve simultaneamente dimensões técnicas, ambientais, operacionais, econômicas e institucionais, não passíveis de avaliação por um único indicador quantitativo.

A pesquisa caracteriza-se como aplicada por buscar subsidiar decisões práticas relacionadas à adoção de ônibus elétricos em corredores urbanos de alta capacidade. Conforme Creswell e Poth (2021), abordagens qualitativas são adequadas para avaliar a viabilidade de soluções tecnológicas em contextos reais. Metodologicamente, o estudo combina revisão narrativa da literatura, análise documental e estudo de caso exploratório, procedimentos recorrentes em estudos recentes sobre eletrificação do transporte coletivo (Bowen, 2020; UITP, 2022; IEA, 2023).

A revisão da literatura permitiu identificar o estado da arte sobre sistemas BRT, tecnologias de propulsão elétrica e armazenamento de energia, enquanto a análise documental concentrou-se em planos de mobilidade urbana, relatórios técnicos e documentos normativos. O estudo de caso, de caráter exploratório e instrumental, tem como recorte espacial o corredor BRT TransOlímpica, no município do Rio de Janeiro, selecionado por suas características operacionais e potencial para implantação de infraestrutura de recarga. Segundo Yin (2024) e Flyvbjerg (2020), o método de estudo de caso é apropriado para analisar intervenções em sistemas de transporte urbano em contextos reais e complexos.

A análise dos dados foi conduzida por meio de uma abordagem multicritério qualitativa, organizada em três grupos de critérios: (i) sociais, ambientais, econômicos e urbanísticos; (ii) técnicos e operacionais; e (iii) financeiros e de risco, conforme recomendações da literatura internacional sobre planejamento integrado de transportes (ITF/OECD, 2022; IEA, 2023). O procedimento analítico consistiu na comparação qualitativa entre o sistema BRT convencional e a alternativa de ônibus elétrico, buscando identificar vantagens, limitações e condicionantes técnicos. Reconhece-se como limitação a ausência de análises quantitativas detalhadas; contudo, conforme o World Bank (2023), análises qualitativas exploratórias são fundamentais nas etapas iniciais de avaliação de inovações em transporte urbano.

4 CONCLUSÃO

É certo que chegado o século XXI, a demanda por mobilidade urbana tem sido palavra de ordem às administrações públicas mundo afora. Não importa o grau de desenvolvimento alcançado, vez que essa necessidade se apresenta indistintamente e principalmente nos grandes conglomerados urbanos ao redor do planeta.

Na cidade do Rio de Janeiro não foi diferente, principalmente, por quanto se fez necessário o desenvolvimento de uma modernização nos transportes urbanos de massa em face dos eventos – Copa do Mundo de 2014 e Olimpíadas de 2016 – que diante da proximidade de suas realizações imprimiu um ritmo de solução eficaz e moderna ao meio de transporte coletivo até então utilizado.

O BRT findou por sair do papel e tomar as ruas, dispondo de trajetos próprios, exclusivos, e pensados por conta de uma maior modernidade e eficiência a baixo custo, o que não impede sua constante evolução na busca de uma maior eficácia, seja em matéria de custos, equilíbrio social e ambiental e

atualização técnica.

Por conta disso e visando sempre a evolução dos transportes de massa o presente trabalho propõe em um primeiro momento a substituição escalonada dos veículos desse modal (BRT), os quais, embora modernos, com queima de combustível mais eficiente, apresentam ainda que reduzidas emissões de partículas e contaminantes que comprometem de qualquer sorte, mesmo em grau menor dos que seus antecessores, a qualidade do ar que circunda os grandes conglomerados urbanos, onde a cidade do Rio de Janeiro não é exceção.

Assim, a implantação de um veículo movido à energia renovável (solar, elétrica, etc.), por conta de emissões zero (0%) de partículas de contaminantes atmosféricos prevenindo doenças respiratórias, além da drástica diminuição do ruído externo e interno desses veículos não alterará significativamente as características do sistema BRT, haja vista a utilização das vias exclusivas por este empregadas, devendo tão somente serem construídas pequenas centrais elétricas de energia para os veículos que não empreguem captação de energia fotovoltaica (solar).

Diante de tal proposta entende-se a “modernidade” como um processo contínuo que busca acima de tudo, através de uma política pública de transportes voltada aos interesses sociais, a efetivação de uma maior qualidade de vida àqueles que utilizam os transportes públicos urbanos no seu “ir e vir”, independentemente de seus destinos.

REFERÊNCIAS

CASTRO. et. al. Baterias automotivas: panorama da indústria no Brasil, as novas tecnologias e como os veículos elétricos podem transformar o mercado global. BNDES, 2011.

EPE. Brasil. Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos. Ministério de Minas de Energia, 2014.

GUARIEIRO. L. L. N. Poluentes Atmosféricos Provenientes da Queima de Combustíveis Fósseis e Bicomcombustíveis: Uma Breve Revisão. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), 2011.

GUENTHER. PAULO RENATO. Estudo de Viabilidade para Substituição de Veículos a Combustão por Veículos de Tração Elétrica em uma linha de Ônibus de Curitiba. Universidade Federal do Paraná, 2016.

LTC/PET/COPPE/UFRJ, Laboratório de Transporte de Carga; FETRANSPOR. Alternativas tecnológicas para ônibus no Rio de Janeiro, 2012. <disponível em:<http://www.fetranspordocs.com.br/downloads/37Alternativastecnologicas.pdf>, acesso em: 15.jan.2018>

NASCIMENTO. Rodrigo Limp. Energia Solar no Brasil: situação e perspectivas. Câmara dos Deputados Brasil, 2017.

NOCE, Toshizaemom. Estudo do funcionamento de veículos elétricos e contribuições ao seu aperfeiçoamento. Belo Horizonte, 2010.

PAREDES. Pérez. Frenagem Regenerativa em Veículo Elétrico Acionado por Motor de Indução: Estudo, Simulação e Verificação Experimental, 2013.

RIO DE JANEIRO, Prefeitura da Cidade do. Gestão de Alto Desempenho, 2012.

SILVA, Eduardo Fernandez. Meio Ambiente & mobilidade urbana. São Paulo: Editora SENAC, 2014.

SHAYAN. Rafael Amaral. Comparação do Custo entre Energia Solar Fotovoltaica e Fontes Convencionais. Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. Brasília, 2006.

<http://energiatecsolar.com.br/page/8/>, acesso. Acesso, 15/01/2018.

<https://diariodotransporte.com.br/2017/04/07/fabrica-de-onibus-eletricos-da-byd-campinas-ja-nasce-com-encomendas-diz-empresa/>. Acesso 01/01/2018.

<http://noticias.ufsc.br/2017/11/onibus-eletrico-alimentado-por-energia-solar-da-ufsc-completa-o-equivalente-a-uma-volta-ao-mundo/>. Acesso 22/01/2018.

<http://fotovoltaica.ufsc.br/sistemas/fotov/blog/2017/04/24/onibus-eletrico/>. Acesso 15/01/2018

<http://www.healthdata.org/>. Acesso 15/01/2018

<http://www.rio.rj.gov.br/web/guest/orgaos-municipais>. Acesso 15/01/2018