

# Concepção de um veículo elétrico com recarga rápida para utilização em transporte público

**Vinícius Secchin de Melo**

Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Serra – Brasil  
[secchin@ifes.edu.br](mailto:secchin@ifes.edu.br)

**Jussara Farias Fardin**

Universidade Federal do Espírito Santo – Brasil  
[jussara.fardin@ufes.br](mailto:jussara.fardin@ufes.br)

**Lucas Frizera Encarnação**

Universidade Federal do Espírito Santo – Brasil  
[lucas@ele.ufes.br](mailto:lucas@ele.ufes.br)

**Walbermark Marques dos Santos**

Universidade Federal do Espírito Santo – Brasil  
[walbermark.santos@ufes.br](mailto:walbermark.santos@ufes.br)

## ABSTRACT

*The increasing level of pollution in large urban centers due to the circulation of vehicles with internal combustion engine, it becomes important to use new forms of primary energy for vehicles. One of the main and most common energy form after fossil fuels is electricity. However, there are still major obstacles to the autonomy of these vehicles, especially in the case of large vehicles, and in particular public transportation vehicles that need a large bank of energy storage elements. This work presents an electric system for a electric vehicle to public transportation with rapid recharge with a reduced bank of energy storage elements. The recharge is done at the bus stops, or during the regenerative electric braking process. Its features are presented and the logic of operating is analyzed.*

**Keywords:** *Electric vehicle, supercapacitors, regenerative braking, public transportation.*

## 1. INTRODUÇÃO

Em virtude do crescente nível de poluição nas grandes cidades devido a veículos a combustão interna, em particular veículos destinados ao transporte público, segundo BARRETO, 2008, novas alternativas de utilização de energia limpa para transporte de passageiros têm sido investigadas na atualidade. Entre elas, a energia elétrica tem sido grandemente utilizada em sistemas de trens elétricos, porém sua implantação requer uma infraestrutura própria, criando consideráveis modificações urbanas e possíveis impactos sociais, como desapropriações, pois na maioria das vezes não é possível utilizar as rodovias e ruas existentes nas áreas urbanas.

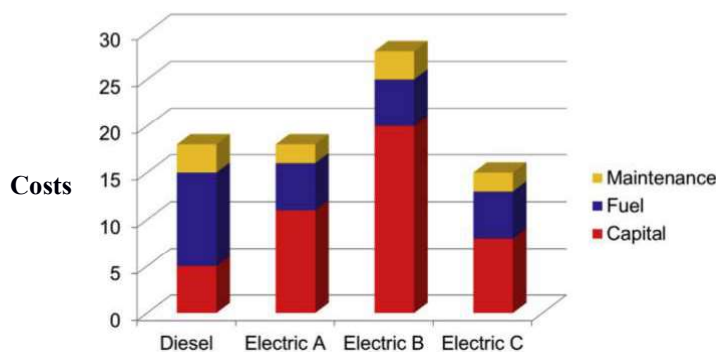
O presente trabalho propõe uma topologia para um veículo elétrico destinado ao transporte público possuindo como elementos armazenadores de energia os supercapacitores e baterias. Esta forma mista de utilização de elementos armazenadores de energia elétrica são comuns segundo PAY, 2003, ZHIGUO, 2006 e ARAÚJO, 2013, porém não com a utilização de uma configuração que possibilite a rápida recarga. A ideia central consiste em aproveitar o período de tempo de parada nas estações para recarregar os supercapacitores.

O banco de supercapacitores deverá ser projetado para suprir a quantidade de energia no trecho entre paradas que exigir a maior demanda, isto garante que nos demais trechos o banco sempre possuirá energia suficiente para perfazer o trajeto. Esta estratégia faz com que as dimensões do banco de supercapacitores diminua consideravelmente, pois não haverá mais a necessidade de se possuir um banco que supra todo o percurso do veículo, tendo como principais vantagens a redução do volume e peso do banco, bem como seus custos. O processo de recarga também poderá ser realizado durante a frenagem elétrica regenerativa. As estações de recargas não serão abordadas neste trabalho, porém as recargas poderiam ser realizadas por meio de pantógrafos ou pelo sistema wireless, tecnologia esta já utilizada em veículos elétricos conforme ODELL, 2013.

## 2. REVISÃO

Em MILES, 2014, é feito um estudo de viabilidade de utilização de veículos elétricos para transporte público com recarga rápida utilizando apenas baterias. Isto torna o custo total do veículo menor que os modelos elétricos tradicionais (sem recarga rápida) e até mesmo do que veículos diesel no prazo de 5 anos. A **Figura 1** ilustra esta situação. O caso A representa um veículo elétrico que possui mesmos custos finais que um diesel, porém com autonomia bem menor. O caso B representa um veículo com mesma autonomia que o diesel, porém observa-se um grande aumento no custo devido o acréscimo de bancos de baterias. Já no caso C é mostrado um veículo com um banco de baterias menor que o tradicional, porém utilizando recargas rápidas, obtendo-se assim a mesma autonomia que o veículo diesel porém com menor custo.

**Figura 1.** Custos em 5 anos para veículos elétricos comparados ao diesel.



Fonte: Yoong, 2010

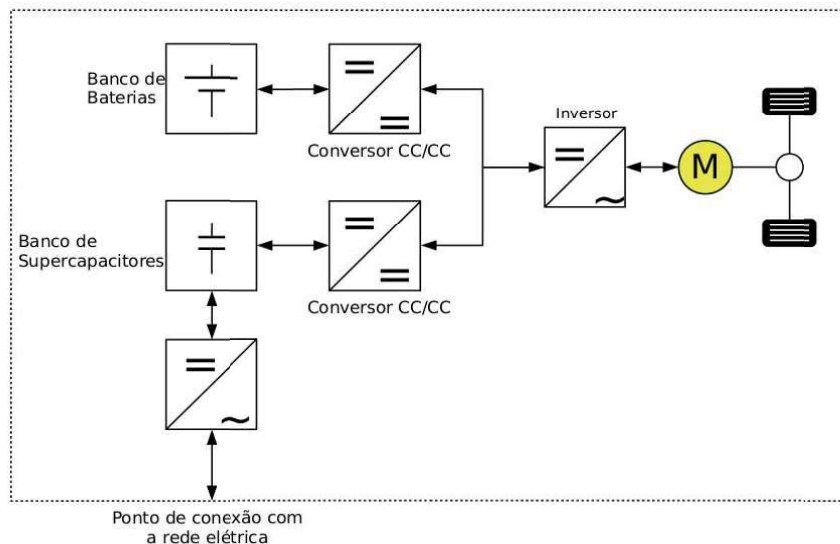
PAY, 2002 e ARAÚJO 2013 apresentam algumas propostas de utilização de baterias na tração elétrica onde são feitas simulações não levando em consideração o comportamento dinâmico do veículo durante a frenagem elétrica com recuperação de energia, e TEYMOURFAR, 2012 aborda a utilização de supercapacitores no sistema metroferroviário, porém o veículo ainda se mantém conectado a uma catenário por pantógrafos.

## 3. METODOLOGIA

A topologia do sistema elétrico proposto é apresentado na **Figura 2**, sendo composto por um motor elétrico em corrente alternada acionado por um inversor, dois conversores interfaciando os

elementos armazenadores de energia sendo proposto por um arranjo de baterias e supercapacitores. Esta combinação proporciona a alta densidade de energia, armazenada em baterias e alta densidade de potência dada pelos supercapacitores, conforme mostrado em um gráfico da **Figura 3**.

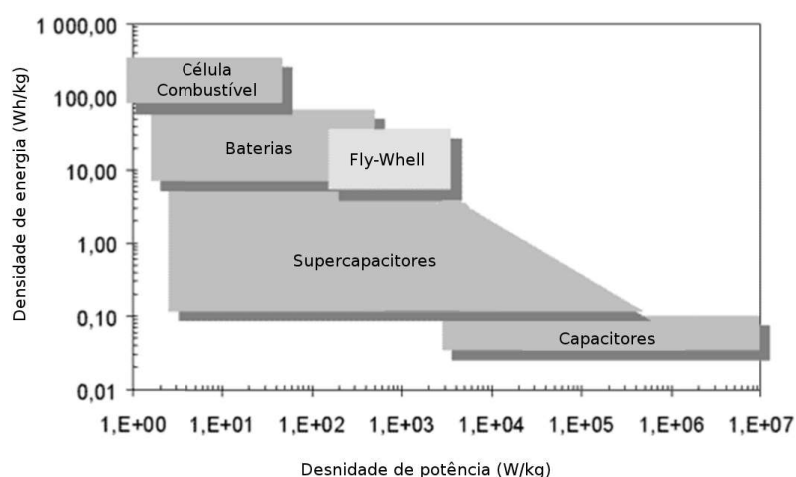
**Figura 2.** Topologia proposta para o veículo elétrico de transporte público.



**Fonte:** Autor

A energia armazenada nos supercapacitores será utilizada exclusivamente para tração do veículo, podendo a bateria ser também um suporte caso necessário. A recarga das baterias acontecerá via supercapacitor, ou quando o veículo for conectado a rede elétrica através dos conversores. Propõe-se que nas paradas em pontos finais, o banco de baterias seja recarregado até sua carga total.

**Figura 3.** Relação Densidade potência versus Densidade de energia [5]



**Fonte:** Zoran, 2012

A utilização de baterias hoje ainda é um ponto relevante relacionado ao custo do veículo, porém o seu uso combinado aos supercapacitores, faz com que sejam reduzidos os custos financeiros, pois as baterias não serão utilizadas durante todo o trajeto reduzindo assim o tamanho do banco destas. Vale

também ressaltar que em 2009 na Europa foi feita uma estimativa de custos de baterias para veículos elétricos em função do desenvolvimento de tecnologias. A Tabela 1 mostra a evolução até 2030.

**Tabela 1.** Evolução dos custos em Euros das baterias em função do desenvolvimento tecnológico.

	Densidade de energia (Wh/kg)	Densidade de potência (W/kg)	Custos (Euro/kWh)
2010	100	1000 - 1500	1000 - 2000
2015	150	1000 - 1500	250 - 300
2020	200 - 250	1000 - 1500	150 - 200
2030	500	1000 - 1500	100

Fonte: Technology Roadmap, 2009

No sistema proposto, dois conversores CC/CC serão utilizados para adequar os níveis de tensão nos supercapacitores e nas baterias, sendo utilizados para recarregar as baterias/supercapacitores para a utilização do veículo em modo tração. Esta recarga também poderá ser feita pela recuperação da energia gerada pelo motor elétrico de tração durante o modo de frenagem regenerativa. Esta energia produzida na frenagem será armazenada nos supercapacitores, devido sua característica de suportar elevados fluxos de energia em ambos os sentidos sem que ocorram danos, operação esta que não seria possível se fossem utilizadas baterias.

Um conversor CA/CC será utilizado para conexão com a rede elétrica fornecendo tensão adequada ao banco de supercapacitores em cada ponto de parada para o carregamento dos mesmos, caso seja necessário.

## 4. RESULTADOS E DISCUSÕES

### 4.1 Lógica de funcionamento

Por se tratar de um veículo atípico e destinado ao transporte público de passageiros, para o seu correto funcionamento, são observadas algumas premissas que devem ser obedecidas:

1. Conduzir o veículo até a próxima estação utilizando o máximo de energia armazenada nos supercapacitores;
2. Alcançar o final do trajeto com reserva de energia nas baterias, se necessário;
3. Durante a frenagem regenerativa proporcionar a recarga dos supercapacitores.

Para se estabelecer o controle do gerenciamento de energia, deve-se conhecer o estado de carga dos supercapacitores e baterias, e a posição do veículo em seu trajeto. O conhecimento da posição é importante, pois através dela pode-se calcular a autonomia dos supercapacitores e do conjunto de baterias. Deve-se estabelecer uma reserva mínima de energia nos supercapacitores, evitando que os mesmos cheguem até a próxima estação com seu nível abaixo de um valor mínimo.

O processo de carga dos supercapacitores poderá ser realizado de duas formas: Durante a frenagem regenerativa ou durante as paradas nos pontos de ônibus, que deve ter um tempo mínimo e

suficiente para que a carga total dos mesmos seja realizada. Já o banco de baterias será recarregado através de um gerenciador de carga, que irá fazer o controle da tensão no barramento das baterias de tal forma que a energia armazenada nos supercapacitores seja também compartilhada no modo tração. Nada impede que, mesmo não havendo solicitações de parada em uma próxima estação, o veículo não possa parar para recarregar o sistema. Para isto, o sistema de gerenciamento de energia enviará um alarme ao condutor do veículo solicitando uma parada para recarga do sistema.

A recarga das baterias ocorrerá via supercapacitores, ou via rede elétrica utilizando assim os conversores para isto. Isto será possível sempre que o veículo estiver em seu “ponto final”, ou seja, nos terminais, onde o tempo de espera para um novo percurso será suficiente para a total recarga.

#### 4.2 Discussões

Os veículos elétricos sempre foram objeto de estudo e pesquisa ao longo dos tempos devido suas vantagens em relação aos veículos a combustão interna, tais como menor consumo de energia, gerando uma economia em torno de 30% a 40%, de acordo com GUALOUS, 2010, e zero de emissão de poluentes no caso do veículo 100% elétrico. Mesmo assim, o setor de transporte rodoviário continua a utilizar quantidades consideráveis de combustíveis fósseis aumentando os impactos ambientais e o custo. O Brasil possui um enorme potencial de recursos renováveis e não renováveis. Em 2009, segundo a Associação Brasileira de Veículos Elétricos, aproximadamente 87% das viagens de passageiros realizadas por modos coletivos ocorreu por meio do uso de ônibus movidos a óleo diesel sendo responsáveis pela emissão de pelos menos 80% dos poluentes.

Vários modelos de veículos elétricos têm sido propostos e comercializados porém, em sua maioria, com foco em veículos de passeio. Existem alguns trabalhos realizados com a utilização de supercapacitores em veículos elétricos de transporte público conforme ZHU, 2006 como única forma de energia, com a construção de um protótipo e seu uso combinado com baterias apresentados em DIXON, 2002, PAY 2003 e ARAÚJO 2013. Em outubro de 2009 foi desenvolvido pela Sinautec Automobile Technologies, no estado da Virgínia – Estados Unidos, um ônibus elétrico para transporte urbano movido por supercapacitores com autonomia em torno de apenas 5 km, de acordo com publicação da Revista *MIT Technology Review*, porém apenas como prova de que o sistema de recarga rápida pode ser utilizado. Neste caso não foram avaliados o desempenho e a utilização da frenagem elétrica com forma de recarga do sistema de armazenamento de energia.

O modelo proposto neste trabalho se encaixa na atual situação do transporte público brasileiro, fomentando o desenvolvimento tecnológico, e trazendo soluções para melhoria do transporte público nos grandes centros.

#### 5. COMENTÁRIOS FINAIS

Neste trabalho foi apresentada uma topologia de um sistema elétrico para veículos de transporte público que resolve o problema dos enormes bancos de baterias, diminuindo o custo do veículo, tornando-o mais atrativo. Utilizando-se a frenagem elétrica regenerativa, aumenta-se a eficiência do veículo, e diminuindo o tempo de recarga dos supercapacitores e a quantidade de energia elétrica absorvida da rede durante a recarga. Foi apresentada uma estratégia de funcionamento que fará parte do sistema de gerenciamento de energia do veículo. Este tipo de veículo por utilizar uma energia

limpa, contribui grandemente na redução da poluição do ar, sem contar que por não possuírem um motor a combustão a poluição sonora também será minimizada, pois os veículos elétricos emitem bem menos ruídos que os tradicionais a combustão durante seu funcionamento, tornando-o uma excelente solução para melhoria do transporte público.

### REFERÊNCIAS

ABVE - Associação Brasileira de Veículo elétrico – Poluição custa US\$ 1 bilhão por ano no país - <http://www.abve.org.br/destaques/destaque08094.shtml>

ARAÚJO, R.; CASTRO, R.; PINTO, C.; MELO, P.; FREITAS, D. “Combined Sizing and Energy Management in Evs with Batteries and Supercapacitors ” IEEE Transactions on Vehicular Technology , 2013.

BARRERO, R.; MIERLO, J. V.; TACHOEN, A. “Energy Saving in public transport” IEEE Vehicular Technology Magazine, September 2008.

CLUZEL, C.; DOUGLAS, C.; Element Energy. (2012). Cost and performance of EV batteries: Final report for the committee on climate change. Cambridge: Element Energy Ltd. Available at [http://www.element-energy.co.uk/wordpress/wp-content/uploads/2012/06/CCC-battery-cost\\_Element-Energy-report\\_March2012\\_Finalbis.pdf](http://www.element-energy.co.uk/wordpress/wp-content/uploads/2012/06/CCC-battery-cost_Element-Energy-report_March2012_Finalbis.pdf)

DIXON, J.; ORTLIZAR, M. “Ultracapacitors + DC-DC Converters in Regenerative Braking System” IEEE AESS System Magazine. August 2002

MILES, J.; POTTER, S. “Developing a viable electric bus service: The Milton Keynes demonstration project ”. Research in Transportation Economics, Dec, 2014, Vol.48, p.357(7)

MIT Technology Review Magazine “A U.S.-Chinese venture is out to prove the benefits of quick-charge buses.”, October 2009

New Generation of Electric Vehicles, Edited by Zoran Stevic, ISBN 978-953-51-0893-1, 375 pages, Publisher: InTech, Chapters published December 19, 2012 under CC BY 3.0 license DOI: 10.5772/45641. [Online]. Disponível em: <http://www.intechopen.com/books/new-generation-of-electric-vehicles>

ODELL, M. Urban transport: Wireless systems lead charge of electric brigade. Rail and Metro 2013 supplement, The Financial Times, 27 de Maio, disponível online em <http://www.ft.com/intl/cms/s/0/9c5784a2-b271-11e2-8540-00144feabdc0.html#axzz3YLR2iIkC>

PAY, S.; BAGHZOUZ, Y. “Effectiveness of Battery-Supercapacitor Combination in Electric Vehicles” IEEE Bologna PowerTech Conference 2003.

TEYMOURFAR, R.; ASAEI, B.; IMAN-EINI, H.; NEJATI, R. “Stationary super-capacitor energy storage system to save regenerative braking energy in a metro line ” Elsevier - Energy Conversion and Management 56 (2012) 206–214.

YOONG, M.K; GAN, Y.H; GAN, G.D; LEONG, C.K; PHUAN, Z.Y; CHEAH, B.K; CHEW, K.W “Studies of Regenerative Braking in Electric Vehicle” IEEE Conference on Sustainable Utilization and Development in Engineering and Technology Universiti Tunku Abdul Rahman – 2010.

ZHIGUO, K.; CHUNBO, Z.; SHIYAN, Y.; SHUKANG, C. “Study of Bidirectional DC-DC Converter for Power Management in Electric Bus with Supercapacitors”. IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, 2006.