

458 – Barco elétrico de passageiros com recarga fotovoltaica: impacto logístico da recarga no itinerário das viagens.

Felipe Oliveira Barino ⁽¹⁾

Engenheiro Eletricista pela Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Mestre em Engenharia Elétrica pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da UFJF (PPEE/UFJF). Doutorando em Engenharia Elétrica no PPEE/UFJF. Professor Substituto do Departamento de Circuitos da Universidade Federal de Juiz de Fora.

Lucas Fiorani Diniz ⁽¹⁾

Engenheiro Eletricista pela Faculdade de Engenharia da UFJF. Mestrando em Engenharia Elétrica no PPEE/UFJF.

Rodolfo Almeida Machado ⁽¹⁾

Aluno no curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciências Exatas da UFJF.

Claudio Costa Souza Junior ⁽²⁾

Alexandre Bessa dos Santos ⁽¹⁾

Engenheiro Eletricista pela Faculdade de Engenharia da UFJF. Mestre em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio). Doutor em Engenharia Elétrica pela PUC-Rio. Professor do Departamento de Circuitos da UFJF.

Endereço⁽¹⁾: Faculdade de Engenharia, Campus Universitário, Rua José Lourenço Kelmer, s/n, São Pedro, Juiz de Fora - MG, Brasil, 36036-900. e-mail: felipe.barino@engenharia.ufjf.br

Endereço⁽²⁾: EDP Brasil, Rua Werner Von Siemens, 111, Prédio 22, Bloco A, Lapa de Baixo, São Paulo – SP, Brasil, 05069-900.

RESUMO

Veículos elétricos vêm sendo cotados como uma poderosa ferramenta no combate às mudanças climáticas. No entanto, estes ainda encontram resistências, basta notar o tempo de recarga de um carro elétrico e o tempo de reabastecimento de um carro a combustão interna. Por isso, um dos grandes estigmas com relação aos veículos elétricos se dá pela logística de seu uso, que pode ser resumida em: autonomia e tempo de recarga, que no imaginário popular traz enormes desvantagens à sua adoção. Neste trabalho, apresentamos o projeto de eletrificação de um barco de passageiros e uma comparação entre os desafios logísticos deste e de uma contraparte à combustão. Demonstra-se o projeto do veículo, sua motorização e um itinerário desenvolvido para atender ao contexto de sua implementação. Este itinerário é então comparado com o itinerário de um barco à combustão. Nossos resultados demonstraram que não há perdas logísticas significantes na eletrificação do barco e que, portanto, esta é extremamente vantajosa.

PALAVRAS-CHAVE: Veículo elétrico, eletrificação dos transportes, barco elétrico, itinerário de transportes.

INTRODUÇÃO

O impacto dos veículos a combustão interna na qualidade do ar que respiramos já é um fato percebido pelos próprios motoristas. De acordo com [1], o aumento da poluição nas em cidades chinesas está correlacionado ao aumento das vendas de carros elétricos nelas. De fato, os carros elétricos são apontados como uma alternativa para combate à poluição dos transportes em grandes centros [2]. Por isso, pesquisadores defendem que a eletrificação de um modal de transporte deve ocorrer quando tecnicamente possível [3], uma vez que os veículos elétricos atuais são, em geral, mais eficientes em termos de consumo de combustível que os veículos a combustão interna [4] e a energia elétrica usada para recarga dos veículos pode ser proveniente de fontes renováveis.

No Brasil, o setor de transportes é um dos que mais contribui para a emissão de carbono e o setor energético conta com mais de 70% de energia renovável [5]. Além do mais, há um enorme potencial para energia solar, ainda não explorado [6]. Os benefícios da eletrificação dos transportes no Brasil são claros e corroborados por simulações que apontaram que a eletrificação dos táxis reduz a emissão de carbono em qualquer uma das circunstâncias consideradas no estudo [7]. Este resultado aponta que a eletrificação dos modais de transporte coletivo/compartilhado é um bom ponto de partida para eletrificação da frota nacional.

Em algumas regiões do Brasil, o paradigma de transporte é diferente dos grandes centros. Na região Norte, por exemplo, o transporte hidroviário é de extrema relevância. Além do mais, a região é beneficiada com um enorme potencial fotovoltaico, com irradiação solar em plano inclinado variando de 4250 a 5500 Wh/m²/dia [8].

O transporte aquático a propulsão elétrica não é uma tecnologia nova, mas quem tem sido bastante aprimorada ao longo das últimas décadas, devido aos avanços em eletrônica de potência e armazenamento de energia [9,10]. Favorecendo assim o surgimento de soluções 100% elétricas, que são ainda mais eficientes, menos poluentes e de mais fácil manutenção que os antigos navios híbridos [11].

Com base nas vantagens de um sistema de motorização elétrica e na viabilidade técnica da eletrificação de um barco de passageiros, este trabalho apresenta o projeto de um barco de passageiros elétrico com recarga a partir de uma estação fotovoltaica. O barco foi projetado para o transporte dos funcionários de uma usina hidrelétrica localizada no Rio Teles Pires, na divisa entre Mato Grosso e Pará. Atualmente, este transporte é realizado por um barco a diesel e propomos sua substituição por um barco elétrico, com recarga solar. Dessa forma, o objetivo do trabalho é apresentar o barco elétrico como uma opção viável e vantajosa para o transporte hidroviário coletivo. Note que os veículos elétricos, carros, foram inventados antes mesmo do motor a combustão. Porém a tecnologia era muito limitada e os estigmas dos veículos elétricos existem até hoje. Hoje, o tempo de recarga dos veículos elétricos apresenta uma enorme preocupação para sua adoção massiva. Dessa forma, aqui apresentamos uma análise do impacto da recarga no itinerário das viagens, visando quebrar este paradigma.

MATERIAIS E MÉTODOS

O itinerário da embarcação elétrica foi construído com base no trajeto da embarcação, velocidade de cruzeiro (ótima, para melhor eficiência energética) e baterias utilizadas. Como base de comparação, construiu-se um itinerário considerando uma embarcação à combustão, com motorização comercial equivalente à elétrica utilizada. Ambas com mesma potência e, portanto, mesma velocidade de cruzeiro. Considerou-se o mesmo tempo de embarque e desembarque em ambos os casos e um tempo de reabastecimento do motor a diesel igual a 20 minutos. O tempo de recarga da bateria foi calculado considerando as especificações do fabricante da bateria.

A embarcação visa o transporte de 20 funcionários de uma usina hidroelétrica instalada no rio Teles Pires, seguindo o trajeto demarcado por dispositivo de geoposicionamento ilustrado na Figura 1. O trajeto tem aproximadamente 40 km e deve ser feito quatro vezes (ida e volta para dois turnos de funcionários). Visa-se a instalação de apenas uma estação de recarga fotovoltaica, para ser realizada na usina, durante o turno dos funcionários. Os requisitos da embarcação podem ser vistos na Tabela 1.

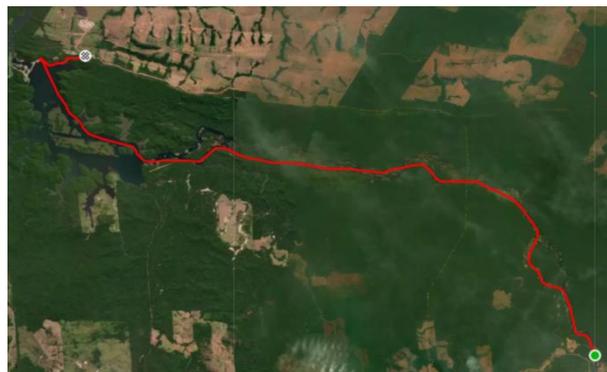


Figura 1: Trajeto do barco.

Portanto, as baterias foram dimensionadas para, pelo menos 80 km. Foi utilizado um casco comercial, Charger 900EL, que, apesar de ser projetado para motorização à combustão, foi adaptado para receber o motor elétrico, sistemas de controle e baterias. A partir da especificação do fabricante do casco para motorização, escolheu-se o motor elétrico a partir de uma equivalência fornecida pelo fabricante do motor.

Tabela 1: Requisitos/características do barco.

Característica	Requisito
Comprimento mínimo	8,00 m
Comprimento máximo	10,00 m
Calado	0,30 m
Espessura do casco	4,00 mm
Espessura do costado	4,00 mm
Lotação	20 pessoas
Peso máx. de carga	2,0 ton.
Contorno	3,26 m
Boca máxima	2,40 m
Pontal	0,75 m
Velocidade @ 136 HP	30 nós (55 km/h)

A partir da potência do motor e características do casco, estimou-se a velocidade de cruzeiro da embarcação a partir do comprimento da linha d'água e razão velocidade/comprimento ótima [12]:

$$V_{max} = \sqrt{LWL} \cdot SL_{ratio} \quad (1)$$

onde LWL é o comprimento da linha d'água e SL_{ratio} é a razão ótima entre velocidade e comprimento da embarcação. Ou seja, pôde-se estimar o tempo de viagem e, conseqüentemente, a descarga das baterias por trecho. Possibilitando assim, estimar o tempo de recarga.

Com isto, construiu-se o itinerário da embarcação, que contempla a saída da usina até um porto para embarque/desembarque de passageiros, em um trecho de 40 km, seguido da volta para usina, pelo mesmo trajeto em sentido contrário.

RESULTADOS

Especificou-se o modelo de casco Charger 900EL, fabricado por Marine Boats, com comprimento de linha d'água de 9 metros, acarretando em uma velocidade máxima teórica de 13,48 km/h e uma potência de 20 hp para carga de 5 toneladas. O equivalente elétrico obtido foi um motor Cruise 10.0 RS TorqLink de 10 kW e um banco de baterias de 132,50 kWh montado a partir de baterias C15-14SYL fornecidas pela BYD. Esta capacidade de carga é suficiente para percorrer 125 km em velocidade de cruzeiro. As dez unidades de bateria que compõe tal banco ocupam 0,74 m³, pesam 970 kg e podem ser instaladas em baixo do banco dos passageiros, conforme ilustra a letra "B" na figura 2.

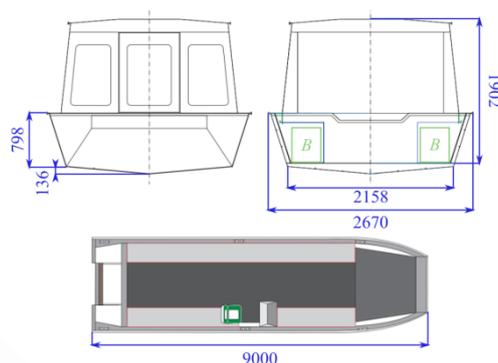


Figura 2: Casco e posicionamento das baterias.

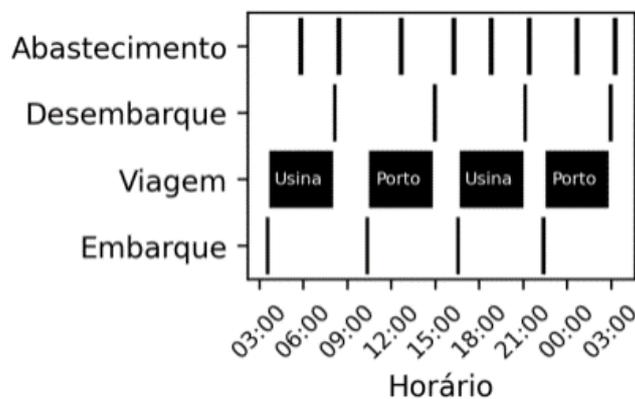
O tempo de recarga das baterias pode variar de 2 a 5 horas, conforme informações do fabricante. Ao passo que uma recarga rápida é benéfica à logística do transporte, ela não é recomendada, pois pode reduzir a vida útil das baterias. Além do mais, o barco visa o transporte dos funcionários da usina e o carregamento pode ser realizado durante o turno deles. O trajeto total de 160 km que a embarcação deve percorrer por dia demanda aproximadamente 16 horas, portanto qualquer tempo de recarga superior a 4 horas inviabiliza o uso da embarcação aos requisitos aqui apresentados. Determinou-se que a melhor situação seria um tempo de

carregamento de 3 horas, permitindo 2 horas diárias para embarque, desembarque e limpeza da embarcação. Observe ainda que os dois trechos realizados antes da recarga representam aproximadamente 60% da autonomia proposta, podendo assim reduzir a corrente de carregamento e melhorar ainda mais a vida útil das baterias ou abrir espaço para otimização do itinerário.

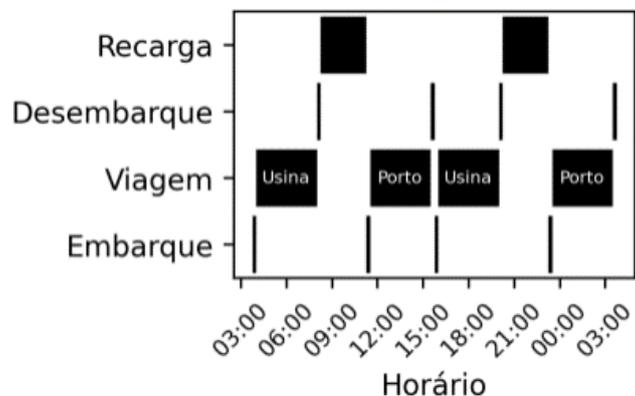
Ao passo que o tempo de recarga e estação única para esta recarga limita o espaçamento entre viagens, este não deve impactar demasiadamente na aplicação proposta para a embarcação. Pois a recarga pode ser feita, com folga, durante o turno de 8 horas. O modelo a combustão também, apresentou certas desvantagens, como a necessidade de reabastecimento em cada trecho. Isto, devido à autonomia de 28 km, estimada para o tanque de 12 L do motor especificado. Note também que o tempo de abastecimento causa um atraso na partida e na chegada.

No entanto, o tempo para abastecimento do combustível é significativamente menor que o tempo de recarga da bateria. E, apesar da substituição do motor elétrico pelo motor à combustão não alterar o desempenho da embarcação, mantendo sua velocidade de cruzeiro, o tempo de recarga limita o espaçamento entre viagens, uma vez que a recarga foi planejada, a priori, para durar 3 horas.

Ainda sim, pode-se dizer que não há significativa perda logística no uso da motorização elétrica, devido à autonomia projetada e à possibilidade de se realizar o carregamento no entre turno da usina. Uma comparação entre o itinerário do modelo elétrico e à combustão pode ser vista na figura 3. Além do mais, estudos futuros podem analisar a recarga parcial da bateria a fim de atender apenas a uma demanda próxima aos 40 km necessários, assim como é feito para o modelo à combustão. Esta abordagem deve suprimir a única desvantagem logística vista pelo modelo elétrico neste estudo, a dificuldade de se espaçar as viagens do barco ao longo do dia.



(a)



(b)

Figura 3: Itinerário de exemplo para os modelos à combustão (a) e elétrico (b).

CONCLUSÕES

A eletrificação dos modais de transporte é um assunto extremamente importante de ser discutido no contexto de busca por aumento na eficiência do uso de recursos energéticos. Esta eletrificação, no entanto, deve ser cuidadosamente pensada localmente, especificamente no Brasil, onde a realidade do transporte varia de acordo com a região. Aqui, apresentou-se o estudo do impacto da eletrificação de uma embarcação para transporte coletivo de funcionários de uma empresa.

É um fato que o tempo de recarga de um veículo elétrico é muito maior que de abastecimento de um veículo à combustão. No entanto, a maioria dos veículos passa boa maior parte do tempo estacionado, ou seja, em condição de ser carregar a bateria. Neste trabalho demonstrou-se que, com um correto dimensionamento da bateria e uma boa administração do tempo e itinerário das viagens, é possível utilizar um barco elétrico para percorrer 160 km diários e realizar duas recargas ao dia, sem prejuízo logístico com relação a um barco à combustão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] GUO, J. et al. Does air pollution stimulate electric vehicle sales? Empirical evidence from twenty major cities in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 249, p. 119372, mar. 2020.
- [2] EBRAHIMI KAMBIZ M.; EHSANI, M. G. Y. L. S. **Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles**. Third edit ed. [s.l.] CRC Press, 2018.
- [3] DOMINKOVIĆ, D. F. et al. The future of transportation in sustainable energy systems: Opportunities and barriers in a clean energy transition. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 1823–1838, fev. 2018.
- [4] POUILLIKAS, A. Sustainable options for electric vehicle technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 41, p. 1277–1287, jan. 2015.
- [5] EPE. **Balanco Energético Nacional 2020 - ano base 2019**. Rio de Janeiro: [s.n.]. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-528/BEN2020_sp.pdf>.
- [6] DE SOUZA LIMA, G. C. L.; DA SILVA, G. L. R.; NETO, G. DOS S. A. Mobilidade elétrica: o ônibus elétrico aplicado ao transporte público no Brasil. **Revista dos Transportes Públicos-ANTP-Ano**, v. 41, p. 2º, 2019.
- [7] TEIXEIRA, A. C. R.; SODRÉ, J. R. Simulation of the impacts on carbon dioxide emissions from replacement of a conventional Brazilian taxi fleet by electric vehicles. **Energy**, v. 115, p. 1617–1622, nov. 2016.
- [8] PEREIRA, E. et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. [s.l.] Universidade Federal de São Paulo, 2017.
- [9] MCCOY, T. J. **Trends in ship electric propulsion**. IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Anais...IEEE, 2002Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1043247/>>
- [10] HANSEN, J. F.; WENDT, F. History and State of the Art in Commercial Electric Ship Propulsion, Integrated Power Systems, and Future Trends. **Proceedings of the IEEE**, v. 103, n. 12, p. 2229–2242, dez. 2015.
- [11] REDDY, N. P. et al. Zero-Emission Autonomous Ferries for Urban Water Transport: Cheaper, Cleaner Alternative to Bridges and Manned Vessels. **IEEE Electrification Magazine**, v. 7, n. 4, p. 32–45, dez. 2019.
- [12] GERR, D. **The Propeller Handbook: The Complete Reference for Choosing, Installing, and Understanding Boat Propellers**. [s.l.] International Marine, 1989.