

PROPOSTA DE ARQUITETURA DE PROPULSÃO HÍBRIDA A HIDROGÊNIO PARA VEÍCULO BAJA

PROPOSED HYBRID HYDROGEN PROPULSION ARCHITECTURE FOR BAJA VEHICLE

Guida Queiroz^{1, i}
Guilherme Matioli^{2, ii}
Claudinei Galligani^{3, iii}
Mauricio Gayubas^{4, iv}

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma arquitetura de propulsão híbrida a hidrogênio para um veículo Baja, projetada conforme os requisitos do SAE BRASIL & BALLARD Student H2 Challenge 2025. O sistema integra uma célula a combustível de 2,1 kW a uma bateria de íon-lítio de 48 V e 15 Ah, gerenciadas por conversores DC-DC para alimentar um motor de tração BRM SEG. A arquitetura garante distribuição equilibrada de energia entre a célula (60%) e a bateria (40%), assegurando eficiência, confiabilidade e conformidade regulatória. Os resultados demonstram a viabilidade do hidrogênio como fonte sustentável de energia em veículos elétricos.

Palavras-chave: Hidrogênio, Célula a combustível, Propulsão híbrida, Baja SAE

ABSTRACT

This work presents the development of a hybrid propulsion architecture for a hydrogen-powered Baja vehicle, designed according to the requirements of the SAE BRASIL & BALLARD Student H2 Challenge 2025. The proposed system integrates a 2.1 kW fuel cell with a 48 V, 15 Ah lithium-ion battery, managed through DC-DC converters to supply a BRM SEG traction motor. The architecture ensures a balanced energy distribution between the fuel cell (60%) and the battery (40%), providing efficiency, reliability, and compliance with competition standards. The results demonstrate the feasibility of hydrogen integration as a sustainable energy source for off-road electric vehicles.

Keywords: Hydrogen, Fuel Cell, Hybrid Propulsion, Baja SAE

1 INTRODUÇÃO

¹Graduanda em Sistemas Automotivos pela Faculdade SENAI “Conde José Vicente de Azevedo”. E-mail: guidaqueirozg@gmail.com

²Professor em Sistemas Automotivos da Faculdade SENAI “Conde José Vicente de Azevedo”. E-mail: guilherme.matioli@sp.senai.br

³Professor em Sistemas Automotivos da Faculdade SENAI “Conde José Vicente de Azevedo”. E-mail: claudinei.galligani@sp.senai.br

⁴Professor em Sistemas Automotivos da Faculdade SENAI “Conde José Vicente de Azevedo”. E-mail: maurio.gaybas@sp.senai.br

PROPOSTA DE ARQUITETURA DE PROPULSÃO HÍBRIDA A HIDROGÊNIO PARA VEÍCULO BAJA

A crescente preocupação com os impactos ambientais dos combustíveis fósseis tem impulsionado a busca por alternativas energéticas sustentáveis na mobilidade. Entre elas, o hidrogênio destaca-se como vetor promissor: quando utilizado em células a combustível, gera eletricidade por meio de reações eletroquímicas cujo único subproduto é vapor d'água (AMINUDIN, 2023).

Nos veículos elétricos, a integração entre célula a combustível e bateria forma uma arquitetura híbrida capaz de combinar alta autonomia, recarga rápida e recuperação de energia durante a frenagem. Essa configuração possibilita atender a demandas de potência instantânea, como em arrancadas e ultrapassagens, ao mesmo tempo em que reduz emissões (AMINUDIN, 2023).

Apesar das vantagens, os desafios ainda limitam sua difusão em larga escala, incluindo custos de produção, armazenamento seguro e infraestrutura de abastecimento. Nesse contexto, iniciativas acadêmicas, como o SAE BRASIL & BALLARD Student H2 Challenge 2025, tornam-se fundamentais. A competição estimula estudantes a projetar veículos movidos a hidrogênio, permitindo a aplicação prática de conceitos inovadores e contribuindo para o avanço tecnológico em mobilidade sustentável.

1.1 Problema de pesquisa

Desenvolver uma arquitetura de propulsão híbrida a hidrogênio que atenda aos requisitos técnicos e regulatórios do **SAE BRASIL & BALLARD Student H2 Challenge 2025**, integrando célula a combustível e bateria de forma eficiente, segura e sustentável.

1.2 Objetivo(s)

- Selecionar componentes do sistema de propulsão;
- Integrar componentes do sistema de propulsão;
- Definir o fluxo de energia durante as fases de operação.

1.3 Justificativa

Os veículos híbridos a hidrogênio destacam-se como alternativa promissora para a mobilidade sustentável. Desenvolver uma arquitetura de propulsão eficiente contribui para explorar o potencial dessa tecnologia e impulsionar soluções limpas na indústria automotiva.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Estudos recentes têm proposto diferentes arquiteturas para integração de célula a combustível em veículos híbridos. Em Furquim et al. (2021), foi apresentada uma solução baseada em um conversor DC-DC com transformador, responsável por adaptar a tensão da célula a combustível ao sistema de tração. Já em Maurici et al. (2023), a arquitetura adotada conecta a célula de combustível em paralelo com a bateria, permitindo que ambas as fontes de energia alimentem diretamente o motor elétrico.

PROPOSTA DE ARQUITETURA DE PROPULSÃO HÍBRIDA A HIDROGÊNIO PARA VEÍCULO BAJA

Essas propostas evidenciam a diversidade de estratégias de integração, cada uma com vantagens específicas em termos de eficiência, simplicidade de controle e robustez. No entanto, ainda existem desafios relacionados ao gerenciamento de potência, segurança operacional e otimização do fluxo de energia, aspectos fundamentais para o avanço da mobilidade a hidrogênio.

3 METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido com base no regulamento do SAE BRASIL & BALLARD Student H2 Challenge 2025, que estabelece como requisitos: potência máxima de 4,2 kW para o sistema de propulsão e utilização de duas fontes independentes de energia elétrica. Nesse contexto, definiu-se a adoção de uma célula a combustível de 2,1 kW e de uma bateria com capacidade de 720 Wh. O processo metodológico seguiu as seguintes etapas:

- Seleção da tecnologia de bateria: avaliação de alternativas e definição da química mais adequada ao perfil de uso do veículo;
- Estrutura de integração: definição da forma de conexão entre célula a combustível, bateria e conversores de potência;
- Estratégia de operação: estabelecimento de um modo de gerenciamento energético capaz de equilibrar o fornecimento de potência, priorizando aproximadamente 60% da energia proveniente da célula a combustível e 40% da bateria, de modo a garantir eficiência, autonomia e desempenho nas condições exigidas pela competição.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a análise das alternativas, optou-se pela utilização de uma bateria LiFePO_4 de 48 V e 15 Ah, devido à sua elevada potência específica, que garante melhor desempenho em situações de alta demanda, como arrancadas, além de maior vida útil em ciclos de carga e descarga.

A arquitetura final definida contempla os seguintes componentes principais:

- Motor elétrico BRM SEG;
- Bateria de íon-lítio (48 V – 15 Ah);
- Célula a combustível de hidrogênio (2,1 kW);
- Conversores DC-DC de 80 A / 50 V em paralelo.

Para garantir controlabilidade e equilíbrio energético, todos os componentes foram integrados a um barramento de 48 V, no qual a bateria e o motor estão conectados diretamente. A célula a combustível, cuja tensão máxima é de 27 V, foi acoplada ao sistema por meio de conversores DC-DC, responsáveis por elevar sua tensão até os 48 V do barramento principal, conforme Figura 1.

PROPOSTA DE ARQUITETURA DE PROPULSÃO HÍBRIDA A HIDROGÊNIO PARA VEÍCULO BAJA

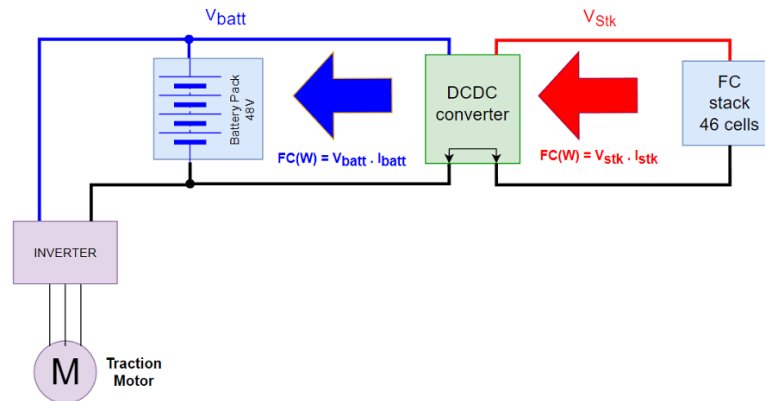


Figura 1- Arquitetura sugerida

Com essa arquitetura é possível operar nos seguintes modos de distribuição energética:

- Somente bateria – Toda a energia para a propulsão é extraída da bateria.
- Somente célula de combustível – Toda a energia da célula de combustível é direcionada para a propulsão e recarga da bateria
- Bateria + Célula de Combustível – Em situações de solicitação de torque elevado, a energia da bateria e da célula de combustível se somam para alimentar o motor elétrico
- Regeneração – Em situações de frenagem, o motor torna-se um gerador e fornece energia para recarregar a bateria.

É importante salientar que tais modos de operação são automaticamente selecionados por um sistema de controle.

5 CONCLUSÃO

A arquitetura proposta atende plenamente aos requisitos da competição e demonstra a viabilidade do hidrogênio como fonte de energia complementar, reforçando seu potencial para aplicações sustentáveis em veículos.

REFERÊNCIAS

AMINUDIN, M. A. et al. An overview: Current progress on hydrogen fuel cell vehicles. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 48, n. 11, p. 4371-4388, 2023.

FURQUIM, João Victor Andrade; ALMEIDA, Victor Hugo Ramos de; SILVA, José Lucas da; et al. Controle de célula de combustível em um veículo híbrido-elétrico do tipo Baja. 2021. Trabalho apresentado na SAE BRASIL & Ballard Student H2 Challenge.

MAURICI, Matheus; SANTOS, Vinicius; LIMA, Gabriel; et al. Baja UFABC: Arquitetura de propulsão híbrida a hidrogênio para veículos off-road. 2023. Relatório técnico da equipe Baja UFABC – SAE BRASIL & Ballard Student H2 Challenge.

PROPOSTA DE ARQUITETURA DE PROPULSÃO HÍBRIDA A HIDROGÊNIO PARA VEÍCULO BAJA

SOBRE O(S)AUTOR(ES)

Sobre os autores:

i GUIDA QUEIROZ



Cursando graduação em Sistemas Automotivos pela Faculdade SENAI “Conde José Vicente Azevedo”(2026), técnica em Mecatrônica Automotiva (2024).

lattes.cnpq.br/9420396254448655

ii GUILHERME MATIOLLI



Possui graduação em Engenharia Mecatrônica (2019) e Mestrado (2023) em Energia, ambos pela Universidade Federal do ABC. Atualmente é professor da Faculdade Senai de Tecnologia e pesquisador em IA aplicado ao setor automotivo. Tem experiência na área de Automobilística, com ênfase em modelagem e controle de sistemas automotivos.

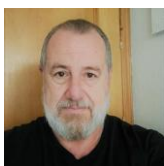
<https://lattes.cnpq.br/6601168491156158>

iii CLAUDINEI GALLIGANI



Pós-graduado em Engenharia de Segurança do Trabalho, graduado em Engenharia de Controle e Automação e em Administração, com formação técnica em Eletrônica e Eletrotécnica. Atua desde 1988 na Mercedes-Benz do Brasil, com experiência em engenharia elétrica automotiva, gestão de projetos, qualidade e desenvolvimento de metodologias de análise de causa raiz..

iv MAURICIO GAYUBAS



Possui graduação em Engenharia Elétrica, pós-graduações em Marketing, Docência e Mobilidade Sustentável, além de Mestrado em Gestão Ambiental e Sustentabilidade. Doutorando em Administração pela ESPM. Atua há mais de 30 anos na gestão comercial e treinamentos técnicos em empresas multinacionais na América Latina.