

COLÉGIO SÃO LUÍS

**ENSINO MÉDIO
CURSO DE METODOLOGIA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**

PEDRO ASSEF BOGGIO

**REVOLUÇÃO NAS PISTAS: A TRANSFORMAÇÃO TECNOLÓGICA DO
AUTOMOBILISMO COM VEÍCULOS ELETRIFICADOS**

**São Paulo
2025
PEDRO ASSEF BOGGIO**

**REVOLUÇÃO NAS PISTAS: A TRANSFORMAÇÃO TECNOLÓGICA DO
AUTOMOBILISMO COM VEÍCULOS ELETRIFICADOS**

Subtítulo do Trabalho

Artigo apresentado como requisito de aprovação em “Estudos e Pesquisa
Supervisionados”, na 2ª série do EM do Colégio São Luís

Orientador: Prof. André Leitão

São Paulo
2025

Projeto de Pesquisa – Metodologia de Iniciação Científica
2ª série EM – Colégio São Luís – 2025

Pedro Assef Boggio

Desenvolvimento tecnológico e futuro do automobilismo nos carros eletrificados.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais e a minha irmã, que sempre acreditaram no meu potencial e me ensinaram o valor do esforço e sensibilidade. Dedico também para os meus melhores amigos que compõem o Bocada.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, professor André Leitão, que me apoiou desde o início e sem ele o trabalho não seria possível. À minha família, pelo amor e apoio em cada etapa deste percurso. E aos meus melhores amigos do Bocada.

|

“A tecnologia move o mundo.”
— Steve Jobs (1980s)

RESUMO

A pesquisa analisa como a eletrificação está transformando o automobilismo e redefinindo o papel das competições como laboratórios de inovação tecnológica. O estudo tem como objetivo compreender de que forma o avanço da ciência e da engenharia vem moldando uma nova era no esporte, marcada pela integração entre desempenho, eficiência energética e sustentabilidade. A metodologia baseou-se em

revisão bibliográfica de artigos e relatórios científicos recentes sobre baterias, sistemas regenerativos, arrefecimento, inteligência artificial e controle térmico de pneus. Os resultados indicam que a eletrificação não representa apenas a substituição do motor a combustão, mas uma mudança estrutural no conceito de performance e responsabilidade ambiental. Tecnologias desenvolvidas nas pistas, como sistemas de gerenciamento térmico e frenagem regenerativa, vêm sendo adaptadas para veículos urbanos, contribuindo para a mobilidade sustentável. Conclui-se que a hipótese foi confirmada: a eletrificação no automobilismo promove avanços significativos rumo à sustentabilidade sem comprometer o desempenho, tornando o esporte um vetor essencial de inovação e consciência ecológica.

Palavras-chave: avanços tecnológicos; automóveis; automobilismo

ABSTRACT

The research analyzes how electrification is transforming motorsport and redefining racing as a laboratory for technological innovation. The study aims to understand how scientific and engineering advances are shaping a new era in the sport, characterized by the integration of performance, energy efficiency, and sustainability. The methodology was based on a bibliographic review of recent scientific articles and reports addressing batteries, regenerative systems, cooling, artificial intelligence, and tire thermal management. The results show that electrification is not merely the replacement of combustion engines but a structural shift in the concept of performance and environmental responsibility. Technologies developed on the racetrack, such as

thermal management and regenerative braking systems, are being adapted for urban vehicles, contributing to sustainable mobility. It is concluded that the hypothesis was confirmed: electrification in motorsport promotes significant advances toward sustainability without compromising performance, establishing the sport as a key driver of innovation and environmental awareness.

Keywords: technological advances; automobiles; motor racing

Sumário

INTRODUÇÃO	10
1: EVOLUÇÃO HISTÓRICA E TECNOLÓGICA DOS VEÍCULOS ELETRIFICADOS NO AUTOMOBILISMO	15
1.1: PRIMEIROS PASSOS DA ELETRIFICAÇÃO NO SETOR AUTOMOTIVO .	15
1.2: O RETORNO DOS VEÍCULOS ELETRIFICADOS	16
1.3: AVANÇOS TECNOLÓGICOS NO AUTOMOBILISMO ELETRIFICADO	17
1.4: O AUTOMOBILISMO COMO ESPAÇO DE INOVAÇÃO SUSTENTÁVEL ..	18
1.5: O PAPEL DAS MONTADORAS NA ELETRIFICAÇÃO DO AUTOMOBILISMO	18
1.6: A RECEPÇÃO CULTURAL E SOCIAL DA ELETRIFICAÇÃO NO AUTOMOBILISMO	20
2: INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS E DESAFIOS NA ELETRIFICAÇÃO DO AUTOMOBILISMO.....	20

2.1: TECNOLOGIAS DE ARMAZENAMENTO E RECARGA DE ENERGIA	21
2.2: Estratégias de Gestão Energética nas Corridas	21
2.3: Pneus e Desafios de Desempenho no Automobilismo Eletrificado	22
2.4: Desafios Econômicos e Estruturais	24
2.5: O Pit Boost na Inovação.....	25
2.6: Inteligência Artificial e Automação no Automobilismo Eletrificado	26
2.7: Sustentabilidade e Economia Circular na Eletrificação das Pistas.....	27
CONCLUSÃO:	29

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico tem sido um dos elementos mais importantes de transformação na indústria automobilística, particularmente com o advento dos veículos eletrificados. Esse tipo de inovação está não só mudando a maneira como os automóveis são projetados e operados, mas promete também um futuro revolucionário para o automobilismo. À medida que as tecnologias de propulsão elétrica se estabelecem, novas possibilidades surgem para o uso cotidiano e para o automobilismo competitivo, podendo redefinir os conceitos de velocidade, sustentabilidade e eficiência.

A história dos carros eletrificados começa no final do século XIX, quando veículos elétricos estavam competindo diretamente com carros a vapor e combustão. No início dos anos 1900, os carros elétricos tinham seu espaço em ambientes urbanos por serem silenciosos e não poluentes. No entanto, com a criação do motor de partida elétrico e a queda no custo do petróleo, os carros a combustão ganharam no mercado em relação aos elétricos, resultando na desvalorização e os levando a um papel de coadjuvantes durante grande parte do século XX.

Foi apenas nas últimas décadas que os avanços em baterias de íons de lítio, sistemas eletrônicos e preocupações ambientais acenderam novamente o interesse por veículos eletrificados. Hoje, esses modelos apresentam uma configuração tecnológica impressionante e sofisticada, composta por motores elétricos de alto torque, baterias com alta densidade energética, inversores eletrônicos e sistemas regenerativos de frenagem.

Atualmente, os carros eletrificados incluem três principais categorias: híbridos (HEV), híbridos plug-in (PHEV) que podem ser carregados na tomada, e os totalmente elétricos (BEV). Cada uma dessas configurações apresenta especificidades em termos de autonomia, infraestrutura de recarga e desempenho. De acordo com (Cavalcante, Emanuel 2023), a eficiência energética dos BEVs pode superar a dos veículos convencionais, sendo seu uso estratégico tanto em contextos urbanos quanto em competições automobilísticas. Até mesmo quando falamos de carros de luxo e esportivos, para uso casual, os eletrificados não ficam para trás como antigamente. A

grande nova marca do mercado automobilístico BYD (Build Your Dreams), recentemente, lançou o modelo “Yangwang U9” um carro que supera as expectativas e muitos outros não elétricos, com sua enorme tecnologia e potencia.

Figura 1 – Carro Yangwang U9, BYD



Fonte: Quatro rodas¹

Nesse contexto das competições, suas inovações não estão limitadas somente à substituição do motor de combustão interna por motores elétricos. Elas demonstram uma reestruturação das estratégias de desempenho, englobando inteligência artificial, telemetria avançada, controle eletrônico, controle de tração, sistemas de recuperação de energia, e em especial, as soluções de resfriamento suficientemente eficazes, como o arrefecimento. Dentre elas, o gerenciamento térmico, por exemplo, torna-se fundamental para a estabilidade operacional dos componentes eletrônicos, como os de íons de lítio, os inversores e os motores elétricos.

Além dos avanços em baterias e sistemas eletrônicos, o desempenho dos veículos eletrificados também depende significativamente de componentes como os pneus, especialmente em contextos de alta performance como o automobilismo. A

¹ Disponível em: (<https://quatorodas.abril.com.br/carros-eletricos/byd-yangwang-u9-e-eletrico-de-1-300-cv-que-pode-pular-e-custa-r-700-000/>) Acesso em: 03.06.2025.

interação térmica entre o pneu e o solo influencia diretamente a aderência, a eficiência energética e a segurança do veículo. Segundo (Farroni, Flavio 2020), o calor gerado pelo atrito e pela deformação cíclica dos pneus pode ser modelado em tempo real por meio de equações de Fourier, considerando tanto o resfriamento por convecção forçada quanto a condução térmica através das camadas do pneu. Essa modelagem permite otimizar o gerenciamento térmico durante as corridas, contribuindo para o controle de desempenho e para a durabilidade dos componentes. Assim, tecnologias que integram controle térmico de pneus tornam-se essenciais na busca por máxima eficiência e estabilidade em carros eletrificados, destacando o papel dos pneus como elementos estratégicos no novo cenário do automobilismo sustentável.

Durante as corridas de alta pressão, como na Fórmula E, a temperatura gerada pelas baterias e pelo sistema de frenagem regenerativa pode impactar negativamente tanto no desempenho como na segurança dos carros. Assim, os sistemas de arrefecimento, ativos e passivos, são desenvolvidos para assegurar a dissipação de calor, proporcionando a validade dos componentes e confiança durante o percurso da corrida. Um exemplo de sistema de arrefecimento ativo é o uso de circuitos fechados de fluidos refrigerantes, que circulam por radiadores e trocadores de calor para remover o excesso de calor das baterias e dos motores elétricos. Já como sistema passivo, destacam-se os dissipadores de calor feitos de materiais de alta condutividade térmica, como o alumínio, que absorvem e dispersam o calor sem a necessidade de partes móveis ou energia adicional. Estudos recentes têm mostrado que o uso de materiais de alta condutividade térmica e a utilização de fluidos de resfriamento específicos se tornaram rotina nas equipes de ponta (RAMOS, João 2020). Além disso, a eletrificação está transformando a cultura automobilística, substituindo a tradicional noção de potência baseada no som do motor por características técnicas mais silenciosas, responsáveis e tecnológicas. O futuro do automobilismo passa a ser definido não apenas pela velocidade, mas pela integração entre performance, inovação tecnológica e responsabilidade ecológica. Isto mostra que o futuro do automobilismo não se baseia exclusivamente na velocidade, mas no entendimento de como misturar performance, sabedoria tecnológica e responsabilidade ecológica.

Esta revolução tecnológica é também notada em toda a indústria automobilística. As inovações nas pistas, em especial no que diz respeito a eficiência energética e arrefecimento, são adaptadas para os veículos de passeio.

O automobilismo se transforma em verdadeiro laboratório de inovações sustentáveis capaz de acelerar as soluções para problemas ambientais e energéticos da mobilidade urbana no futuro. Essas inovações não se restringem às pistas, as tecnologias desenvolvidas para o automobilismo, especialmente em eficiência energética e arrefecimento, são adaptadas para veículos de passeio. Assim, o automobilismo se consolida como um verdadeiro laboratório de inovações sustentáveis, acelerando soluções para desafios ambientais e energéticos da mobilidade urbana. Competições como a Fórmula E e iniciativas de sustentabilidade na Fórmula 1 impulsionam o desenvolvimento de motores elétricos, combustíveis alternativos e materiais recicláveis, que posteriormente são incorporados aos veículos de uso cotidiano, promovendo uma mobilidade urbana mais sustentável e inteligente. Dessa forma, o automobilismo contribui diretamente para enfrentar desafios ambientais e energéticos, promovendo uma mobilidade urbana mais sustentável e inteligente no futuro.

O objeto realizado nesta pesquisa é o desenvolvimento tecnológico na indústria do automobilismo, em particular no que diz respeito à eletrificação do automobilismo de alta performance, em práticas como a Fórmula E e na adoção de tecnologias elétricas em outras categorias do automobilismo. O principal objetivo da pesquisa é compreender de que maneira os desenvolvimentos da ciência e da tecnologia estão criando um tempo para o automobilismo, em termos de seus fundamentos, valores e práticas tradicionais, especialmente em relação à energia, desempenho e automação.

Essa nova dinâmica vai além da simples mudança do motor a combustão para motores elétricos, e implica uma mudança radical em diversos níveis: desde a concepção de novos sistemas de propulsão e sistemas de frenagem regenerativa, depois por baterias com maior capacidade de carga e eficiência, e pelas estratégias de controle automatizado, inteligência artificial e gestão térmica inteligente, até mesmo um novo modo de relacionamento dos engenheiros, equipes e pilotos com a tecnologia, exigindo planejamento, treinamento e modo de execução novos dentro e fora das pistas.

Outro aspecto que este trabalho se propõe a investigar é o automobilismo em sua condição de laboratório tecnológico. De forma geral, o automobilismo de elite sempre foi um campo experimental para inovações que, posteriormente, são utilizadas em veículos civis. Os automóveis elétricos sustentam esta continuidade, mas em que novos desafios, ainda mais de caráter técnico, relacionados à autonomia, tempo de recarga, critérios dos materiais utilizados nas baterias e possibilidade para a produção em massa. A escolha do tema justifica-se pela urgência do problema ambiental e pelo crescente condicionamento de se tornar mais sustentável o setor dos transportes. O automobilismo que remete a velocidade e progresso técnico é pressionado a inovar conciliando alta performance com compromisso ecológico. E por isso o trabalho se propõe a refletir sobre o quanto esta modernização tecnológica afeta a dinâmica das corridas, mas também as relações econômicas, culturais e simbólicas do automobilismo.

A pesquisa terá como base artigos científicos que tratam, especificamente, da otimizada utilização da energia, técnicas de controle de desempenho e temperatura, automação nos carros elétricos de corrida e os efeitos da eletrificação no esporte em relação ao meio ambiente. Diante disto, busca-se contribuir com um olhar crítico e atualizado para as direções possíveis para o automobilismo nas próximas décadas, considerando os avanços que já estão sendo testados e as barreiras ainda enfrentadas.

Assim, Este trabalho tem como objetivo explorar as principais inovações tecnológicas no universo dos carros eletrificados e discutir o impacto dessas transformações no automobilismo, destacando as mudanças que já estão moldando este cenário e as perspectivas para as próximas décadas.

A hipótese trabalhada neste trabalho é que a adoção dos veículos elétricos no automobilismo marca um avanço importante rumo à sustentabilidade no setor. Com eles, é possível reduzir de maneira significativa as emissões de carbono e diminuir o impacto ambiental, especialmente quando comparados aos tradicionais carros movidos a combustão. Mas os benefícios não param por aí: a tecnologia dos carros eletrificados também tem aumentado o nível de desempenho nas competições. Sistemas inteligentes de controle e gerenciamento de energia permitem estratégias de corrida mais eficientes e inovadoras, tornando as disputas ainda mais

interessantes. Assim, a eletrificação no automobilismo junta sustentabilidade e alta performance, consolidando-se como uma tendência promissora tanto para o futuro das corridas quanto para a mobilidade em geral.

Além da introdução e da conclusão, este trabalho será dividido em dois capítulos. No primeiro será analisado a evolução histórica e tecnológica dos veículos eletrificados no automobilismo, juntamente a sua história. No segundo capítulo será explorado as inovações tecnológicas e desafios na eletrificação do automobilismo.

1 – EVOLUÇÃO HISTÓRICA E TECNOLÓGICA DOS VEÍCULOS ELETRIFICADOS NO AUTOMOBILISMO

1.1 primeiros passos da eletrificação no setor automotivo

O surgimento dos veículos elétricos começou no final do século XIX, quando diferentes formas de propulsão competiam entre si: vapor, combustão interna e eletricidade. Em 1899, por exemplo, o veículo elétrico belga “La Jamais Contente” tornou-se o primeiro carro da história a ultrapassar 100 km/h, demonstrando que a eletrificação não era apenas uma solução para o uso urbano, mas também uma alternativa para a velocidade (SILVA, 2020).

No início do século XX, os carros elétricos chegaram a representar quase um terço da frota em países como os Estados Unidos, sendo valorizados por sua operação silenciosa e pela ausência de poluentes (SILVA, 2020).

Esse destaque inicial, foi rapidamente superado pela popularização do motor a combustão. A invenção do motor de partida elétrico por Charles Kettering, em 1912, eliminou a necessidade de manivelas para ligar o motor, facilitando o uso dos carros a gasolina. Somado a isso, a descoberta de grandes reservas de petróleo e a produção em massa feita pela Ford reduziram muito os custos do automóvel a combustão (SOUZA; MARTINS, 2022). Como consequência, os veículos elétricos perderam espaço durante grande parte do século XX, ficando praticamente fora das competições de corrida.

Mesmo assim, o automobilismo continuou sendo um espaço de testes para novas tecnologias. Freios a disco, pneus de alto desempenho e soluções de aerodinâmica, que hoje são comuns nos carros de passeio, tiveram origem nas corridas. Esse papel experimental ajudou a preparar o retorno dos carros elétricos em um momento de maior preocupação ambiental e busca por eficiência.

1.2 O Retorno dos Veículos Eletrificados

O interesse pelos veículos elétricos voltou a crescer no final do século XX, especialmente após a crise do petróleo de 1973. Nesse período, algumas montadoras começaram a desenvolver protótipos movidos a eletricidade, mas a limitação tecnológica das baterias ainda era um entrave. Modelos com baterias de chumbo-ácido ou níquel não ofereciam autonomia suficiente para competir com os carros a gasolina (CAVALCANTE, 2023).

A virada ocorreu com o avanço das baterias de íons de lítio, que proporcionaram maior densidade energética e ciclos de recarga mais duradouros. Um marco importante foi o lançamento do Toyota Prius em 1997, o primeiro híbrido produzido em larga escala, que mostrou ser possível unir combustão e eletrificação em um mesmo veículo. Essa solução abriu espaço para que a eletrificação se tornasse gradualmente aceita pelo público consumidor.

No automobilismo, o verdadeiro salto tecnológico ocorreu em 2014, com a criação da Fórmula E pela Federação Internacional de Automobilismo (FIA). A categoria foi projetada não apenas para promover corridas, mas também para estimular a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias elétricas que poderiam se aplicar ao uso urbano. Diferente da Fórmula 1, famosa barulho e potência dos motores a combustão, a Fórmula E foi criada desde o início com a proposta de unir velocidade, inovação e sustentabilidade.

Segundo Herrmann et al. (2019), a Fórmula E trouxe avanços em áreas como telemetria em tempo real, estratégias de gerenciamento de energia e inteligência artificial. Essas inovações, testadas em condições extremas, servem como base para os veículos elétricos de uso cotidiano, mostrando a importância do automobilismo como laboratório tecnológico.

1.3 Avanços Tecnológicos no Automobilismo Eletrificado

O desempenho dos carros de corrida elétricos está diretamente relacionado ao progresso das baterias e dos sistemas de gerenciamento de energia. Modelos de ponta dependem de cálculos detalhados para evitar perda de desempenho, levando em conta desgaste, ciclos de carga e tempo de recarga (RIVA; RADRIZZANI; PANZANI, 2023).

Outro aspecto central é o gerenciamento térmico. Durante corridas de alta intensidade, o aquecimento de baterias, pneus e sistemas de frenagem regenerativa pode reduzir a segurança e a performance dos veículos. A aplicação de modelos matemáticos que simulam a troca de calor em tempo real permite prever o comportamento térmico dos pneus e otimizar a estratégia de corrida (FARRONI, 2020).

Além disso, um dos exemplos mais significativos de inovação é a frenagem regenerativa. Esse sistema permite que o carro recupere parte da energia cinética que seria desperdiçada nas frenagens, convertendo-a em eletricidade e armazenando-a na bateria. Essa tecnologia, testada nas pistas de corrida, hoje é comum em veículos de passeio, contribuindo para maior autonomia e eficiência energética.

Também é importante destacar que as equipes de automobilismo vêm desenvolvendo métodos avançados de resfriamento das baterias e inversores. Em competições como a Fórmula E, são usados circuitos de líquido refrigerante e materiais de alta condutividade térmica para evitar superaquecimento. Essas soluções, aplicadas em condições extremas, posteriormente são adaptadas para veículos urbanos (RAMOS, 2020).

1.4 O Automobilismo como Espaço de Inovação Sustentável

O automobilismo historicamente serviu como campo de experimentação para tecnologias que mais tarde foram incorporadas em veículos comerciais. No caso da eletrificação, esse papel ganha ainda mais relevância. Estratégias de otimização

energética, inteligência artificial e sistemas avançados de controle já testados em carros de corrida estão sendo aplicados em veículos comuns, ajudando a acelerar a transição para uma mobilidade mais sustentável (VAN DEN ESHOF et al., 2024).

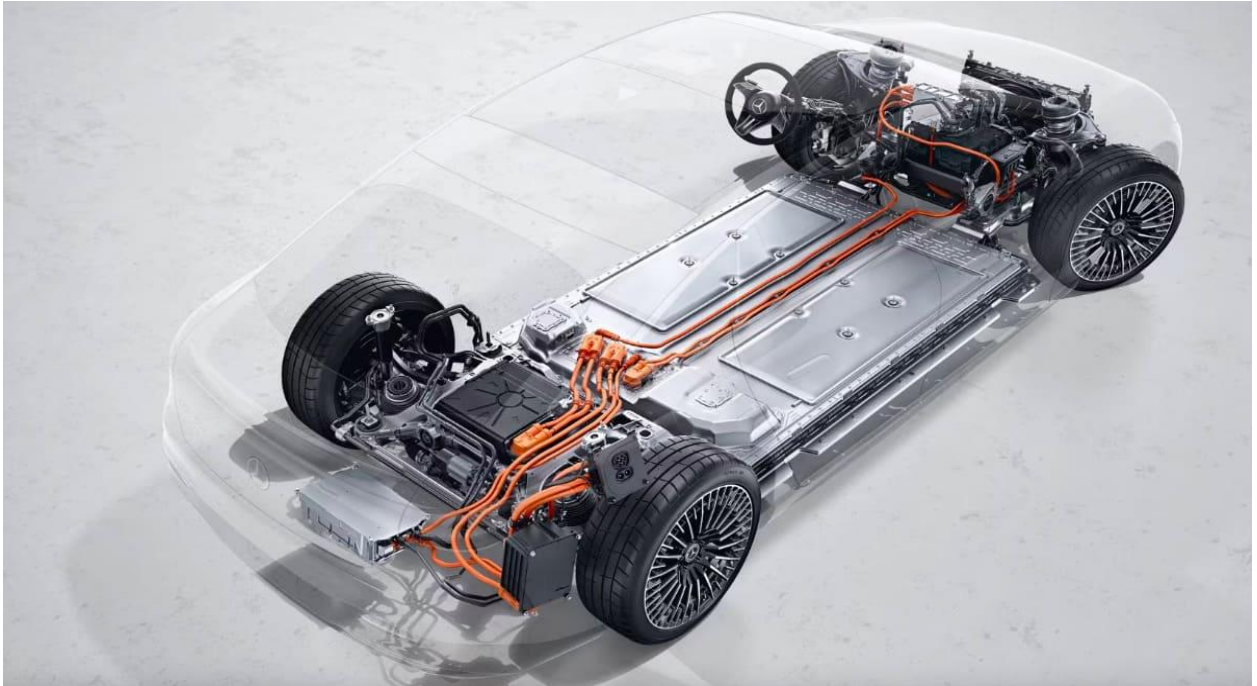
Além da Fórmula E, outras competições têm surgido com foco na sustentabilidade. A Extreme E, criada em 2021, combina corridas em terrenos extremos com a conscientização sobre mudanças climáticas, levando carros elétricos a ambientes como desertos, florestas e geleiras. Já o World Endurance Championship (WEC) tem discutido a adoção de protótipos elétricos e híbridos em suas corridas de longa duração. Essas iniciativas mostram que a eletrificação não é apenas uma tendência, mas uma nova fase para o automobilismo.

Assim, a evolução dos veículos elétricos no esporte não significa apenas a substituição de motores a combustão, mas sim uma transformação cultural e técnica. O barulho dos motores, antes símbolo de potência, cede espaço ao silêncio dos carros elétricos, agora associados a eficiência, sofisticação e responsabilidade ambiental. Dessa forma, o automobilismo elétrico se firma como espaço estratégico de inovação, influenciando não apenas o futuro das corridas, mas também o das cidades e da mobilidade em escala global.

1.5 O Papel das Montadoras na Eletrificação do Automobilismo

A transição para veículos eletrificados no automobilismo não depende apenas das federações esportivas ou da tecnologia disponível, mas também do engajamento das montadoras. Nos últimos anos, grandes fabricantes como Porsche, Mercedes-Benz, Audi, Nissan e Jaguar passaram a investir diretamente na Fórmula E e em outras categorias elétricas, transformando as competições em plataformas de marketing e desenvolvimento tecnológico. Esse movimento mostra como o automobilismo se tornou uma vitrine global para a imagem de sustentabilidade das marcas (CAVALCANTE, 2023).

Figura 2 – motor carro elétrico da Mercedes



Disponível em: <https://www.bamaqmercedesbenz.com.br/blog/motor-do-carro-eletrico> Acesso em 09.09.2025

Segundo Silva (2020), a adoção de veículos elétricos pelas montadoras está ligada não apenas a exigências ambientais, mas também à necessidade de adaptação a novas demandas de consumo. O público atual valoriza tecnologias sustentáveis e espera que as marcas assumam compromissos ecológicos. Assim, a participação em competições eletrificadas é uma forma de alinhar o setor automotivo a essa expectativa.

Além do aspecto comercial, a presença das montadoras garante investimentos em pesquisa e desenvolvimento. Os avanços obtidos nas pistas são transferidos para veículos de passeio, acelerando o processo de inovação. A própria BYD, que ganhou notoriedade no mercado global com veículos elétricos de alto desempenho, demonstra como a aproximação entre indústria e automobilismo pode gerar produtos competitivos que rivalizam com modelos a combustão em potência e sofisticação.

1.6 A Recepção Cultural e Social da Eletrificação no Automobilismo

Embora o avanço tecnológico dos carros eletrificados seja inegável, sua recepção cultural e social ainda enfrenta desafios. O som dos motores a combustão, por exemplo, sempre foi um elemento central da experiência esportiva. Para muitos fãs, o ruído das máquinas representa emoção, tradição e identidade. Com o silêncio dos motores elétricos, o automobilismo precisou buscar novas formas de manter o espetáculo atraente (RAMOS, 2020).

Pesquisas apontam que o público mais jovem tende a aceitar com maior facilidade a eletrificação, valorizando a sustentabilidade e a inovação. Já os fãs mais tradicionais demonstram certa resistência, muitas vezes associando o “barulho do motor” ao verdadeiro espírito da competição. Para contornar esse obstáculo, algumas categorias têm investido em formatos diferentes, como corridas urbanas em grandes centros, que aproximam o esporte da população e reforçam sua imagem de modernidade.

Do ponto de vista social, a eletrificação também contribui para democratizar o debate sobre mobilidade sustentável. Ao ver tecnologias elétricas aplicadas em competições de alto nível, o público passa a reconhecer essas soluções como viáveis para o cotidiano. Assim, o automobilismo reforça sua função simbólica, ajudando a criar uma cultura de aceitação para veículos elétricos e híbridos, que ainda enfrentam barreiras econômicas e de infraestrutura em muitas regiões do mundo.

2 – INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS E DESAFIOS NA ELETRIFICAÇÃO DO AUTOMOBILISMO

2.1 Tecnologias de Armazenamento e Recarga de Energia

A eletrificação do automobilismo trouxe para o centro do debate a questão do armazenamento e da recarga de energia. As baterias, que antes eram vistas apenas como um detalhe técnico, hoje se tornaram o coração dos carros de competição elétrica. O avanço na densidade energética é um dos pontos-chave para garantir

maior autonomia sem aumentar significativamente o peso do veículo. Entre as soluções em desenvolvimento, destacam-se as baterias de estado sólido, que prometem mais segurança e maior eficiência, além de apresentarem risco reduzido de superaquecimento em comparação às baterias de íon-lítio tradicionais. Apesar dessas vantagens, a produção em larga escala ainda encontra obstáculos, tanto em termos de custos quanto de viabilidade de fornecimento de matérias-primas.

Outro ponto essencial é a recarga. Em corridas, não basta apenas que a bateria seja durável; ela também precisa ser recarregada de forma ágil para não comprometer a dinâmica da competição. Nesse sentido, algumas categorias já experimentam sistemas de recarga ultrarrápida durante as provas, algo que exige não apenas infraestrutura sofisticada, mas também um controle rigoroso da temperatura da bateria para evitar riscos de falhas. Essa tecnologia, embora ainda em fase experimental, aponta para um futuro em que a recarga de veículos elétricos poderá ocorrer em minutos, transformando não apenas o esporte, mas também o mercado de automóveis de passeio.

A sustentabilidade também se insere nesse contexto. A extração de lítio, cobalto e níquel levanta questões ambientais e sociais, o que pressiona a indústria a investir em métodos de reciclagem de baterias usadas em competições. Desse modo, o automobilismo, mais uma vez, atua como campo de testes: ao buscar soluções para lidar com o descarte e reaproveitamento desses materiais, contribui para a construção de um modelo mais sustentável de mobilidade elétrica.

2.2 Estratégias de Gestão Energética nas Corridas

A presença das baterias nos carros de corrida não transformou apenas o design dos veículos, mas também a forma como pilotos e engenheiros pensam a própria dinâmica de competição. A gestão energética passou a ser tão importante quanto a habilidade ao volante. Em categorias como a Fórmula E, por exemplo, os engenheiros trabalham em conjunto com algoritmos de inteligência artificial capazes de prever o

consumo energético em cada trecho da corrida, considerando variáveis como temperatura, relevo do circuito e até mesmo o estilo de condução do piloto.

Essa realidade deu origem a uma nova forma de estratégia: já não basta apenas acelerar ao máximo ou frear nos limites; é necessário equilibrar a performance com a eficiência energética. O piloto precisa dominar a técnica de “economizar energia” sem perder competitividade, e para isso conta com sistemas de telemetria que fornecem, em tempo real, informações detalhadas sobre a bateria, a potência utilizada e as oportunidades de regeneração. Dessa forma, o engenheiro, que antes já desempenhava um papel crucial, hoje assume uma função ainda mais estratégica, atuando como um verdadeiro gestor de energia ao lado do piloto.

Essa lógica, diferente do que se via no automobilismo tradicional, confere às corridas elétricas uma dimensão tática inédita. O espetáculo deixa de ser apenas uma disputa de velocidade e passa a envolver cálculos complexos sobre consumo e autonomia. Esse equilíbrio entre performance e gestão é um dos principais fatores que diferenciam o automobilismo eletrificado, mostrando que vencer não é apenas questão de potência, mas também de inteligência no uso dos recursos disponíveis

2.3 Pneus e Desafios de Desempenho no Automobilismo Eletrificado

A eletrificação trouxe mudanças radicais na forma como os pneus são concebidos e utilizados em competições automobilísticas. Se em carros a combustão a exigência maior estava relacionada ao desgaste por altas velocidades e frenagens bruscas, nos veículos elétricos de corrida surgem novas demandas: a necessidade de suportar um torque instantâneo muito mais elevado, o peso adicional das baterias e a busca por máxima eficiência energética. Esse conjunto de fatores exige que os pneus sejam mais resistentes e, ao mesmo tempo, capazes de oferecer baixo atrito, para evitar desperdício de energia. Trata-se de um equilíbrio difícil de alcançar, pois maior aderência normalmente significa maior consumo energético, e vice-versa.

Além disso, os pneus precisam lidar com temperaturas distintas daquelas observadas em carros a combustão. O sistema de frenagem regenerativa, por

exemplo, altera o modo como o calor é distribuído durante as corridas, gerando pontos de aquecimento inesperados na superfície de contato com o solo. Isso obriga os fabricantes a desenvolverem compostos mais sofisticados, que sejam duráveis mesmo sob condições instáveis de aquecimento. Nesse sentido, a química empregada nos pneus elétricos está se tornando tão estratégica quanto o próprio design aerodinâmico do veículo.

Outro aspecto relevante é a questão da sustentabilidade. Muitos campeonatos, como a Fórmula E, passaram a adotar pneus produzidos com materiais recicláveis ou de origem renovável, reforçando o compromisso da categoria com práticas ambientais. No entanto, essa inovação traz desafios adicionais, já que os compostos sustentáveis ainda estão em fase de testes para alcançar o mesmo desempenho dos materiais convencionais. Isso faz com que as equipes e os fabricantes tenham que equilibrar, mais uma vez, performance e responsabilidade ambiental, sem comprometer a competitividade das corridas.

Por fim, cabe destacar que os pneus de competição elétrica também funcionam como campo de experimentação para soluções que, posteriormente, são aplicadas em veículos de passeio. A necessidade de pneus mais eficientes, duráveis e adaptados ao peso dos carros elétricos tem incentivado pesquisas que já começam a chegar ao mercado comum. Assim, o automobilismo mantém sua função histórica de laboratório avançado, mas agora voltado para desafios que dialogam diretamente com o futuro da mobilidade elétrica.

2.4 Desafios Econômicos e Estruturais

Apesar dos avanços tecnológicos, a eletrificação do automobilismo ainda enfrenta barreiras significativas de ordem econômica e estrutural. O custo de desenvolvimento de carros elétricos de competição é elevado, principalmente pela complexidade das baterias e pela necessidade de materiais de alto desempenho. Isso acaba limitando a participação de equipes menores, o que pode gerar desequilíbrios competitivos e restringir a diversidade de participantes. Em muitas categorias, o desafio é encontrar um modelo sustentável que permita a presença de novos competidores sem comprometer a qualidade técnica das provas.

Outro obstáculo está na infraestrutura. A instalação de sistemas de recarga ultrarrápida em pistas ao redor do mundo não é simples, e em muitos países a logística necessária para transportar baterias, equipamentos e sistemas de resfriamento ainda está em fase inicial. Isso explica por que competições eletrificadas, como a Fórmula E, concentram suas corridas em grandes centros urbanos, onde já existe infraestrutura elétrica mais consolidada. Ainda assim, mesmo nesses locais, a adaptação dos circuitos exige grandes investimentos em cabos, transformadores e sistemas de segurança.

Somado a isso, há o desafio da aceitação comercial. Embora as corridas elétricas atraiam cada vez mais interesse, ainda não alcançaram o mesmo nível de popularidade global de categorias tradicionais. Isso impacta diretamente na entrada de patrocinadores e na formação de parcerias que garantam a continuidade e expansão do esporte. Assim, a eletrificação do automobilismo, apesar de representar o futuro da mobilidade, ainda precisa superar barreiras econômicas e estruturais para consolidar-se como modelo competitivo e sustentável em longo prazo.

2.5 O Pit Boost na Inovação

Uma das inovações mais recentes no automobilismo elétrico é o Pit Boost, introduzido na Fórmula E como uma forma de recarga ultrarrápida durante a corrida. Esse sistema permite que o carro recupere aproximadamente 10% de sua capacidade

de bateria em apenas 30 segundos, utilizando uma potência de 600 kW. Essa tecnologia não só aumenta a competitividade das provas, mas também serve como campo de testes para soluções que podem futuramente ser aplicadas em veículos de passeio e em sistemas de transporte público (FIA, 2025).

O Pit Boost trouxe uma nova dimensão estratégica às corridas, transformando as paradas nos boxes em momentos decisivos. Equipes precisam decidir o momento ideal para realizar a recarga, levando em conta fatores como posição na pista, consumo energético e comportamento dos adversários. Essa complexidade tática aproxima ainda mais o automobilismo elétrico de um jogo estratégico em tempo real, onde cada decisão pode ser determinante para o resultado final da corrida.



Disponível em: <https://www.motorsport.com/formula-e/news/formula-e-pit-boost-debut-receives-mixed-response-from-drivers/10696068/>

Acesso em 09.09.2025

2.6 Inteligência Artificial e Automação no Automobilismo Eletrificado

A introdução dos veículos elétricos no automobilismo não apenas transformou a forma de gerar potência e administrar energia, mas também abriu caminho para a automação e a utilização de sistemas avançados de inteligência artificial. Se, no passado, as decisões em pista dependia quase só da intuição e da experiência do piloto, hoje algoritmos são capazes de processar em tempo real informações sobre consumo energético, temperatura dos pneus, nível de carga das baterias e até comportamento dos adversários.

Outro aspecto relevante é que a inteligência artificial também se conecta diretamente às questões de gerenciamento térmico e eficiência global dos sistemas. Conforme apontam Van den Eshof et al. (2024), a integração entre piloto, engenheiros e algoritmos permite alcançar um equilíbrio dinâmico entre desempenho e preservação dos componentes, garantindo que a busca por performance não comprometa a segurança nem a durabilidade do veículo. Isso, muitas vezes denominado *human-in-the-loop*, reforça que a tecnologia não substitui o ser humano, mas aumenta sua capacidade de análise e decisão em ambientes de extrema pressão. Na prática, a cooperação entre o piloto e a IA cria um novo padrão no automobilismo eletrificado, no qual vencer não significa apenas ser mais rápido, mas também utilizar de forma inteligente cada unidade de energia disponível.

Além disso, a automação tem sido explorada em competições experimentais, como desafios de corrida entre carros totalmente autônomos, que funcionam como laboratórios de desenvolvimento. Nesses contextos, algoritmos de visão computacional, sistemas de navegação e protocolos de comunicação entre veículos são testados em alta velocidade, em ambientes onde qualquer falha pode ser decisiva. Essas experiências, ainda que pouco populares em comparação a categorias tradicionais, fornecem dados valiosos para a evolução da condução autônoma em veículos urbanos. Assim, a eletrificação não apenas redefine a potência e a sustentabilidade das pistas, mas também se torna vetor de transformação na relação

entre homem e máquina, introduzindo uma automação que promete mudar tanto a essência do automobilismo quanto o seu futuro.

2.7 Sustentabilidade e Economia Circular na Eletrificação das Pistas

Embora a eletrificação seja frequentemente ligada à redução das emissões de carbono e ao avanço rumo a um modelo mais limpo de mobilidade, ela também traz consigo desafios relacionados à sustentabilidade e ao ciclo de vida dos componentes. A produção e o descarte de baterias, por exemplo, levantam preocupações ambientais que vão além das pistas. De acordo com Earthworks (2025), a transição para veículos elétricos só poderá ser considerada realmente sustentável se estiver acompanhada por práticas de circularidade, que envolvem a reciclagem de materiais críticos como lítio, cobalto e níquel. Essa questão adquire especial relevância no automobilismo, onde as baterias são submetidas a condições extremas de uso, exigindo soluções rápidas para reaproveitamento e redução de materiais tóxicos. Ao funcionar como um campo de testes, as competições se tornam fundamentais para impulsionar modelos de reciclagem e reuso que futuramente serão aplicados em escala global.

Outro ponto central é que a sustentabilidade no automobilismo eletrificado vai além das baterias, contendo também pneus, sistemas de refrigeração e até os próprios circuitos onde as corridas acontecem. Como discutido anteriormente, categorias como a Fórmula E já utilizam pneus com materiais recicláveis e compostos renováveis, o que mostra um esforço por alinhar a performance esportiva a compromissos ecológicos. No entanto, essas iniciativas ainda enfrentam dificuldades técnicas para alcançar o mesmo nível de durabilidade e desempenho dos compostos tradicionais, reforçando a tensão constante entre inovação e responsabilidade ambiental. Nesse contexto, a visão apresentada pela revista *TIME* (2025) ganha força ao defender que o reaproveitamento de baterias e outros materiais não é apenas uma exigência ética, mas também uma oportunidade econômica para reduzir custos e consolidar a transição verde.

Além das práticas diretamente relacionadas aos componentes, a eletrificação também estimula novas formas de pensar a infraestrutura das competições. Circuitos temporários em centros urbanos, comuns na Fórmula E, demandam menor impacto ambiental do que construções permanentes, ao mesmo tempo em que aproximam o público do debate sobre mobilidade sustentável. Assim, a sustentabilidade deixa de ser apenas um valor agregado ao esporte e passa a constituir parte própria de sua identidade. O automobilismo eletrificado, portanto, reafirma sua função de laboratório tecnológico e social: ao mesmo tempo em que acelera inovações de alto desempenho, também testa soluções ambientais e modelos de economia circular capazes de influenciar positivamente toda a cadeia produtiva da indústria automotiva. Dessa forma, as pistas não apenas medem velocidade, mas também antecipam práticas necessárias para a preservação ambiental e a viabilidade de um futuro mais equilibrado.

CONCLUSÃO:

O trabalho analisou como a eletrificação está transformando o automobilismo contemporâneo, unindo inovação tecnológica, sustentabilidade e performance. A partir da pesquisa bibliográfica, constatou-se que a adoção de veículos eletrificados trouxe ganhos significativos em eficiência energética, segurança e redução de impactos ambientais.

A hipótese, proposta de que a eletrificação no automobilismo representa um avanço importante rumo à sustentabilidade sem comprometer o desempenho foi confirmada. As evidências apontam que as tecnologias aplicadas nas corridas elétricas, como o gerenciamento térmico, os sistemas regenerativos e o uso de materiais recicláveis, consolidam um novo paradigma para o setor automotivo.

Conclui-se que o automobilismo eletrificado atua como um agente acelerador da inovação e como vitrine para a mobilidade sustentável. Assim, o esporte deixa de ser apenas um campo de competição e passa a desempenhar papel essencial na construção de um futuro em que eficiência e responsabilidade ambiental caminham lado a lado.

REFERÊNCIAS

CAVALCANTE, Emanuel Matheus Silva. Evolução tecnológica dos veículos elétricos. *P2P & Inovação*, v. 9, n. 2, p. 90–108, 2023. Disponível em: <https://revista.ibict.br/p2p/article/view/6876/6472>. Acesso em: 01 abr. 2025.

FARRONI, Flavio; MANCINELLI, Nicolò; TIMPONE, Francesco. A real-time thermal model for the analysis of tire/road interaction in motorcycle applications. *Applied Sciences*, v. 10, n. 5, p. 1604, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app10051604>. Acesso em: 14 jun. 2025.

HERRMANN, Thomas; CHRIST, Fabian; BETZ, Johannes; LIENKAMP, Markus. Energy management strategy for an autonomous electric racecar using optimal control. In: 2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC). Auckland: IEEE, 2019. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8917154>. Acesso em: 08 abr. 2025.

LIMA, Douglas Leonardo de. Uso de veículos elétricos em operações logísticas urbanas: um estudo de caso na cidade de São Paulo. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2021. Disponível em: <https://bibliotecatede.uninove.br/bitstream/tede/2921/2/Douglas%20Leonardo%20de%20Lima.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2025.

RAMOS, João Pedro. Projeto final. 2020. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2020. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/17004/Projeto%20Final%20-%20Jo%C3%A3o%20Pedro%20Ramos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 08 abr. 2025.

RIVA, Giorgio; RADRIZZANI, Stefano; PANZANI, Giulio. Battery model impact on time-optimal co-design for electric racing cars: review and application. *arXiv preprint*, 2023. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2312.17003>. Acesso em: 08 abr. 2025.

SILVA, Úrsula Mendes da. Veículos elétricos. 2020. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2020. Disponível em: <https://bibliotecatede.uninove.br/bitstream/tede/2921/2/Douglas%20Leonardo%20de%20Lima.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2025.

SOUZA, A.; MARTINS, C. Análise comparativa entre veículos automotivos elétricos, híbridos e downsizing de motores. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Automotiva) – CEFET-RJ, Rio de Janeiro, 2022.

Disponível em: <https://www.cefet-rj.br/attachments/article/2943/An%C3%A1lise%20Comparativa%20entre%20Ve%C3%ADculos%20Automotivos%20El%C3%A9tricos,%20H%C3%ADbridos%20e%20Downsizing%20de%20Motores.pdf>. Acesso em: 09 abr. 2025.

VAN DEN ESHOF, Erik; VAN KAMPEN, Jorn; SALAZAR, Mauro. Human-in-the-loop energy and thermal management for electric racing cars through optimization-based control. arXiv preprint, 2024. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2412.15379>. Acesso em: 08 abr. 2025.

BORSBOOM, Olaf; FAHDZYANA, Chyannie A.; SALAZAR, Mauro; HOFMAN, Theo. Time-optimal control strategies for electric race cars with different transmission technologies. arXiv preprint, 2020. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2005.07592>. Acesso em: 08 abr. 2025.

CONTINENTAL. Electric Vehicle Tires – Everything You Need to Know. Disponível em: <https://www.continental-tires.com/products/b2c/tire-knowledge/electric-vehicle-tires/>. Acesso em: 01 set. 2025.

EARTHWORKS. Battery Circularity: The Key to an Ethical and Sustainable EV Transition. Disponível em: <https://earthworks.org/blog/battery-circularity-the-key-to-an-ethical-and-sustainable-ev-transition/>. Acesso em: 30 ago. 2025.

FIA FORMULA E. Formula E Energy & Charging. Disponível em: <https://www.fiaformulae.com/en/news/514384>. Acesso em: 30 ago. 2025.

HANKOOK MOTORSPORTS. Formula E Tire Technology. Disponível em: <https://www.hankook-motorsports.com/en/formula-e/formula-e-tires.html>. Acesso em: 01 set. 2025.

HANKOOKTIRE. How Formula E Tire Innovation is Shaping the Future. Disponível em: <https://www.hankooktire.com/global/en/tech-in-motion/how-formula-e-tire-innovation-are-shaping-the-future.html>. Acesso em: 02 set. 2025.

MDPI. Intelligence-Based Energy Management in Electric Racing. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/18/14/3600>. Acesso em: 31 ago. 2025.

SCIENTIFIC AMERICAN. Electric Vehicle Challenges in Motorsport. Disponível em: <https://www.scientificamerican.com/article/electric-vehicle-challenges-in-motorsport/>. Acesso em: 30 ago. 2025.

SOUZA, A. B.; PEREIRA, R. I. S. Advancements in Solid-State Batteries for Electric Vehicles. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/390708231_Advancements_in_Solid-State_Batteries_for_Electric_Vehicles_A_Comprehensive_Review_NA. Acesso em: 28 ago. 2025.

TIME. How Recycling EV Batteries Can Power the Green Transition. Disponível em: <https://time.com/7306177/ev-battery-recycling/>. Acesso em: 30 ago. 2025.

GLOSSÁRIO (opcional)

É uma lista de termos técnicos ou pouco conhecidos, acompanhados de suas definições, usada para ajudar o leitor a entender melhor o conteúdo do trabalho. Geralmente em ordem alfabética. Útil quando você usa palavras específicas da área ou estrangeirismos.

APÊNDICE (opcional)

É um material complementar criado por você, autor(a) do trabalho, que ajuda a reforçar ou ilustrar algo citado no texto. Você mesmo produz (questionários, entrevistas aplicadas, tabelas, mapas mentais etc.). É referenciado ao longo do texto (exemplo: “ver Apêndice A”).

Exemplo: Um questionário aplicado aos estudantes sobre hábitos alimentares que foi criado por você.

ANEXO (opcional)

É um material complementar que não foi feito por você, mas que é importante para o entendimento do trabalho. Pode ser documentos oficiais, imagens, leis, Oi professores e professoras, bom dia, tudo bem?? Só para reforçar, na sexta dia 11.04 temos a primeira entrega avaliada . Os estudantes devem entregar o trabalho na TAREFA e a correção deve ser feita por lá!! A proposta é que as devoluções ocorram dentro de 10 dias!! Muito muito obrigada pela parceria e apoio!!referenciado no texto (exemplo: “ver Anexo B”).

Exemplo: Uma cópia da Portaria do SUS sobre tratamento do diabetes.