

A EVOLUÇÃO DO DIAGNÓSTICO AUTOMOTIVO: DA MECÂNICA CLÁSSICA À ELETRÔNICA AVANÇADA E O PAPEL DA CAPACITAÇÃO CONTÍNUA

THE EVOLUTION OF AUTOMOTIVE DIAGNOSTICS: FROM CLASSIC MECHANICS TO ADVANCED ELECTRONICS AND THE ROLE OF CONTINUOUS TRAINING

Jonathas de Oliveira da Cruz¹

Resumo: O texto tem como objetivo oferecer ao leitor o marco histórico e analítico que contextualiza as demais contribuições: a trajetória do diagnóstico automotivo, desde os procedimentos empíricos da mecânica clássica até os sistemas eletrônicos de última geração, e a consequência direta desse percurso para a formação dos profissionais do setor. A escolha desse recorte não é acidental — é a premissa sem a qual qualquer discussão sobre tecnologia automotiva contemporânea permanece sem ancoragem. A tese central que atravessa todo o texto é a de que a competitividade e a segurança operacional das oficinas contemporâneas dependem, de modo crescente e inseparável, de duas dimensões complementares: a incorporação de tecnologias diagnósticas avançadas e o investimento sistemático na capacitação contínua dos técnicos. Nenhuma dessas dimensões é suficiente isoladamente. O capítulo argumenta, ainda, que essa equação tem especificidades no contexto brasileiro que precisam ser compreendidas para que qualquer agenda de formação profissional seja efetiva.

Palavras chaves: diagnóstico automotivo, mecânica, eletrônica

¹ É um experiente profissional na área de Gestão de Produção Industrial, com mais de duas décadas de trajetória progressiva no setor produtivo, destacando-se por sua atuação em ambientes de manufatura complexos, como a Toyota do Brasil. Sua carreira é marcada por sólida expertise em planejamento, otimização de linhas de produção, análise de desempenho e gestão de equipes, aliando profundo conhecimento técnico a uma visão estratégica focada em resultados operacionais.



Abstract: This text aims to provide the reader with the historical and analytical framework that contextualizes the other contributions: the trajectory of automotive diagnostics, from the empirical procedures of classical mechanics to the latest generation of electronic systems, and the direct consequence of this path for the training of professionals in the sector. The choice of this focus is not accidental—it is the premise without which any discussion about contemporary automotive technology remains unsupported. The central thesis that runs throughout the text is that the competitiveness and operational safety of contemporary workshops depend, increasingly and inseparably, on two complementary dimensions: the incorporation of advanced diagnostic technologies and the systematic investment in the continuous training of technicians. Neither of these dimensions is sufficient in isolation. The chapter also argues that this equation has specificities in the Brazilian context that need to be understood for any professional training agenda to be effective.

Keywords: automotive diagnostics, mechanics, electronics

INTRODUÇÃO: A OFICINA COMO ORGANIZAÇÃO TECNOLÓGICA

O automóvel é, hoje, um dos sistemas tecnológicos mais complexos de uso cotidiano. Um veículo de passageiros produzido a partir da segunda metade da década de 2010 pode conter entre 50 e 150 unidades de controle eletrônico (ECUs — Electronic Control Units), dezenas de sensores distribuídos por todas as suas áreas funcionais, protocolos de comunicação interna proprietários e sistemas de atualização remota de software (OTA — Over-the-Air). Essa complexidade, que constitui a face mais visível da chamada quarta revolução industrial aplicada ao transporte, transformou estruturalmente a natureza do trabalho realizado nas oficinas de reparação automotiva.

Se, nas décadas de 1960 e 1970, o diagnóstico de um veículo era predominantemente um exercício sensorial e empírico — baseado na escuta do motor, no tato sobre as peças e na experiência

acumulada do mecânico —, hoje esse mesmo processo demanda o domínio de sistemas computacionais de diagnóstico, a interpretação de códigos de falha padronizados, o uso de equipamentos de medição eletrônica e, cada vez mais, a compreensão dos fluxos de dados gerados pelos veículos conectados (Rawashdeh et al., 2023; Cumin et al., 2023).

Essa transição não é apenas tecnológica; é profundamente organizacional e humana. Ela exige que as oficinas automotivas se reinventem como organizações de conhecimento — não mais centros de trabalho manual especializado, mas ambientes de aprendizagem contínua, nos quais a atualização técnica dos profissionais é condição de sobrevivência competitiva e de responsabilidade com a segurança dos usuários. A gestão do conhecimento, conceito desenvolvido nas ciências da administração para descrever os processos pelos quais as organizações criam, compartilham e aplicam saberes (Abdi et al., 2018), torna-se, assim, uma dimensão estratégica inescapável para qualquer oficina que aspire a prestar serviços de qualidade no contexto automotivo contemporâneo.

Este capítulo está organizado em oito seções substantivas, além desta introdução e das considerações finais. As seções 2 e 3 examinam as origens do diagnóstico automotivo e o advento do padrão OBD-II. A seção 4 discute a eletrônica avançada, a manutenção preditiva e a IoT. A seção 5 aborda os veículos elétricos e híbridos. A seção 6 trata da gestão do conhecimento. A seção 7 contextualiza o cenário brasileiro. A seção 8 apresenta modelos e estratégias pedagógicas para a formação do técnico automotivo do século XXI.

DAS ORIGENS AO DIAGNÓSTICO CLÁSSICO: CONHECIMENTO EMPÍRICO E MECÂNICA SISTEMATIZADA

O Período Pré-Eletrônico: O Técnico Como Instrumento de Diagnóstico

As primeiras décadas da indústria automobilística, que se estendem aproximadamente do início do século XX até meados dos anos 1970, foram caracterizadas por uma lógica diagnóstica essencialmente empírica. Os veículos da época — dotados de motores de combustão interna com



sistemas mecânicos e elétricos relativamente simples, carburadores, sistemas de ignição por platinado e transmissões manuais sem controles eletrônicos — podiam, em grande medida, ser diagnosticados e reparados com base na experiência sensorial acumulada pelo técnico.

O conhecimento do mecânico clássico era, em sua essência, tácito — para usar a conceituação de Nonaka e Takeuchi (1995), retomada em contexto automotivo por Abdi et al. (2018). Tratava-se de um saber incorporado, transmitido por meio da observação e da imitação de profissionais mais experientes, dificilmente verbalizável e praticamente intransferível por meios escritos ou instrucionais formais. Ouvir o “bater” do motor e identificar se era detonação ou folga no pistão; sentir a temperatura da tubulação de escapamento e inferir sobre o funcionamento do sistema de injeção; identificar o cheiro específico de um curto-circuito ou de uma correia dentada em degradação — esses eram os instrumentos diagnósticos do técnico formado na tradição da mecânica clássica.

Esse modelo, embora eficaz dentro dos limites da tecnologia da época, apresentava fragilidades estruturais que se tornariam crescentemente problemáticas: a dependência de profissionais-chave cujo conhecimento não era documentado; a dificuldade de diagnóstico de falhas intermitentes ou de causas múltiplas; e a impossibilidade prática de acompanhar o ritmo de inovação tecnológica apenas com base no saber empírico.

2.2 A Sistematização do Diagnóstico: Do OBD Proprietário ao Limiar da Padronização

A partir dos anos 1980, a introdução progressiva de sistemas eletrônicos de controle — especialmente o sistema de injeção eletrônica de combustível e os primeiros módulos de controle do motor (ECUs) — trouxe consigo os primeiros recursos de autodiagnóstico embarcado. Esses sistemas primitivos de on-board diagnostics (OBD) eram proprietários de cada montadora, não padronizados e acessíveis apenas por meio de equipamentos e softwares específicos de cada fabricante, o que impunha barreiras de acesso significativas às oficinas independentes.

O período compreendido entre meados dos anos 1980 e 1996 pode ser denominado a “era do OBD proprietário”: cada montadora desenvolveu seus próprios códigos de falha, seus próprios conectores e seus próprios protocolos de comunicação, criando um ambiente fragmentado que



favorecia as redes autorizadas e penalizava o reparador independente. As tentativas de padronização parcial — como a norma SAE J1978, de 1994, que estabeleceu requisitos mínimos para os scanners de diagnóstico — indicavam que a indústria reconhecia o problema, mas o mercado aguardava uma solução regulatória mais abrangente.

Essa solução veio por força da regulamentação governamental. Nos Estados Unidos, a partir da promulgação do Clean Air Act Amendments de 1990, a Agência de Proteção Ambiental (EPA) passou a exigir que todos os veículos produzidos para o mercado americano dispusessem de sistemas de diagnóstico embarcado capazes de detectar falhas que pudessem comprometer as emissões de poluentes. Esse imperativo regulatório foi o embrião do padrão OBD-II, que entraria em vigor em 1996 — o marco tecnológico mais significativo da história do diagnóstico automotivo no século XX (Cumin et al., 2023).

O PADRÃO OBD-II: UNIVERSALIZAÇÃO E DEMOCRATIZAÇÃO DO DIAGNÓSTICO

Fundamentos e Arquitetura do Sistema OBD-II

O padrão OBD-II (On-Board Diagnostics, Second Generation) estabeleceu, pela primeira vez na história da indústria automotiva, um protocolo de diagnóstico universal, aplicável a todos os veículos comercializados nos Estados Unidos a partir de 1996 — exigência que se disseminou progressivamente por outros mercados globais ao longo das décadas seguintes, incluindo o Brasil, onde o sistema tornou-se obrigatório para veículos leves a partir de 2007, por força da Resolução CONAMA n.º 403/2008 e das regulamentações do PROCONVE. Sua arquitetura fundamenta-se em três elementos centrais: o conector DLC (Data Link Connector), posicionado em posição padronizada no painel do veículo; os DTCs (Diagnostic Trouble Codes), ou códigos de falha, que identificam anomalias nos sistemas monitorados; e os parâmetros PID (Parameter IDs), que permitem a leitura em tempo real de variáveis operacionais do veículo, como temperatura do motor, posição do acelerador, pressão do coletor de admissão e rotação (Cumin et al., 2023).



A universalização do conector e dos protocolos de comunicação básicos — CAN, ISO 9141-2, SAE J1850 e KWP2000 — foi o que verdadeiramente democratizou o diagnóstico automotivo. Pela primeira vez, uma oficina independente, sem vínculo com nenhuma montadora específica, poderia conectar um scanner multimarca ao veículo de qualquer fabricante e acessar os dados básicos de diagnóstico. Esse salto transformou a estrutura competitiva do setor de reparação automotiva, reduzindo a dependência das chamadas “oficinas autorizadas” e ampliando o acesso ao diagnóstico técnico qualificado.

O sistema OBD-II revolucionou a indústria automotiva ao permitir o monitoramento em tempo real de parâmetros-chave do veículo, como carga do motor, velocidade, posição do acelerador e códigos de diagnóstico de falha, fornecendo uma interface padronizada que transcende as barreiras entre fabricantes (Rawashdeh et al., 2023, p. 458, tradução nossa).

Limites e Complementaridades do Diagnóstico por OBD-II

Apesar de seu impacto transformador, o OBD-II apresenta limitações estruturais que se tornaram mais evidentes à medida que os veículos incorporaram sistemas eletrônicos de crescente complexidade. O padrão cobre prioritariamente os sistemas relacionados às emissões — motor, transmissão automática, sistema de escape e catalisador —, deixando fora de seu escopo obrigatório uma série de sistemas críticos, como ABS (Anti-lock Braking System), airbags, suspensão eletrônica, freios eletromagnéticos, direção elétrica assistida e os crescentemente complexos sistemas de assistência ao condutor (ADAS — Advanced Driver Assistance Systems). Para o acesso a esses sistemas, as montadoras desenvolvem protocolos proprietários — os chamados protocolos OEM (Original Equipment Manufacturer) — que recria, em nível mais sofisticado, a fragmentação que o OBD-II havia parcialmente superado (Cumin et al., 2023; Rawashdeh et al., 2023).

Essa dinâmica tem implicações diretas para o modelo de negócios das oficinas independentes e para a formação de seus técnicos. A especialização por marca ou por família de sistemas torna-se, cada

vez mais, uma estratégia de diferenciação competitiva — e uma exigência de qualidade que não pode ser atendida sem investimento contínuo em capacitação e em atualização do ferramental diagnóstico. O acesso aos sistemas de diagnóstico proprietários passou a ser, nas últimas duas décadas, um dos principais fatores de desigualdade competitiva entre as redes autorizadas e as oficinas independentes.

A ERA DA ELETRÔNICA AVANÇADA: SISTEMAS EMBARCADOS, IOT E DIAGNÓSTICO PREDITIVO

A Multiplicação dos Sistemas Eletrônicos e a Nova Complexidade Diagnóstica

A primeira década do século XXI marcou o início de uma nova fase na eletrônica automotiva, caracterizada pela proliferação de ECUs especializadas, pelo desenvolvimento de redes de comunicação interna de alta velocidade (sobretudo o barramento CAN — Controller Area Network) e pela integração crescente dos sistemas do veículo em arquiteturas computacionais compartilhadas. Um veículo de segmento intermediário produzido em 2024 pode conter mais de 100 ECUs comunicando-se simultaneamente por redes internas. Sistemas como câmbio de dupla embreagem, suspensão adaptativa eletronicamente controlada, frenagem regenerativa em híbridos e sistemas de assistência ao condutor (ADAS) dependem da interação coordenada de múltiplas unidades eletrônicas cujas falhas raramente se manifestam de forma isolada.

Esse nível de integração impõe um novo desafio diagnóstico: a identificação da causa-raiz de uma falha quando os sintomas se manifestam em um sistema, mas a origem está em outro, interligado por meio da rede de comunicação interna. O profissional que atua apenas com leitura de DTC — sem o domínio dos fluxos de comunicação entre ECUs e sem ferramentas capazes de monitorar esses fluxos em tempo real — encontrará dificuldades crescentes para realizar diagnósticos precisos nesse cenário. Mahale et al. (2025) documentam que a integração de inteligência artificial ao processo diagnóstico, especialmente para interpretação de múltiplos sinais simultâneos de ECUs distintas, representa um dos avanços mais promissores da diagnóstica eletrônica avançada.

Manutenção Preditiva, IoT e Veículos Conectados

O avanço mais disruptivo da última década no campo do diagnóstico automotivo é a transição do diagnóstico reativo — realizado após a manifestação de uma falha — para o diagnóstico preditivo, que antecipa a falha antes que ela comprometa o funcionamento ou a segurança do veículo. Essa transição é viabilizada pela convergência de três tecnologias: os sensores embarcados de alta precisão, a conectividade dos veículos à internet (IoT automotiva) e os algoritmos de aprendizado de máquina capazes de identificar padrões de degradação nos dados gerados pelos sensores.

Cumin et al. (2023), em estudo apresentado no International Conference on Organization and Technology of Maintenance, demonstraram que os sistemas OBD-II, quando integrados a plataformas de conectividade em nuvem, oferecem capacidades diagnósticas significativamente superiores às dos equipamentos de leitura estática, permitindo o monitoramento contínuo do estado do veículo e a geração de alertas preditivos antes que o código de falha seja formalmente ativado. Os autores ressaltam que essa capacidade é especialmente relevante para frotas comerciais, onde a indisponibilidade não planejada de veículos representa custo operacional significativo.

No plano dos dados, os veículos conectados geram volumes expressivos de informações operacionais a cada ciclo de uso — dados sobre o comportamento do motor, o desgaste do sistema de freios, o perfil de dirigibilidade e, nos veículos eletrificados, o estado das baterias. A análise desses dados por algoritmos de machine learning — aplicada ao conjunto de variáveis registradas pelo OBD-II e pelos sensores proprietários — abre perspectivas diagnósticas que transcendem as capacidades dos equipamentos convencionais. Rawashdeh et al. (2023) identificaram que sistemas inteligentes de diagnóstico baseados em OBD-II são capazes de detectar anomalias operacionais antes da geração de DTCs formais, ampliando significativamente a janela de intervenção preventiva.

Mahale et al. (2025), em estudo publicado pelo Asian Institute of Research, propuseram um framework conceitual de integração de Realidade Aumentada (AR), Inteligência Artificial (IA)

e IoT para o diagnóstico veicular baseado em OBD-II, demonstrando que a sobreposição de dados diagnósticos diretamente sobre as partes do veículo — por meio de óculos de AR — reduz erros de diagnóstico e diminui o tempo de parada do veículo. Esse tipo de tecnologia aponta para um futuro próximo no qual o técnico automotivo operará em um ambiente de informação aumentada, com acesso instantâneo a dados diagnósticos e procedimentos técnicos integrados ao seu campo visual.

VEÍCULOS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS: NOVOS PARADIGMAS DIAGNÓSTICOS E NOVOS RISCOS

A Eletrificação da Frota e seus Impactos na Manutenção

A crescente eletrificação da frota global de automóveis representa, provavelmente, a maior disrupção na história do diagnóstico e da manutenção automotiva desde a introdução do OBD-II. Os veículos elétricos a bateria (BEVs — Battery Electric Vehicles) e os híbridos plug-in (PHEVs — Plug-in Hybrid Electric Vehicles) introduzem sistemas de alta tensão — tipicamente entre 200 e 800 Volts, dependendo da arquitetura — que exigem protocolos de segurança radicalmente distintos dos aplicáveis aos veículos convencionais de 12 Volts. A manipulação inadequada de sistemas de alta tensão representa risco real de eletrocussão fatal para técnicos não devidamente treinados.

Além do risco elétrico, os BEVs introduzem novos sistemas que não têm equivalente funcional nos veículos de combustão interna: o sistema de gerenciamento de bateria (BMS — Battery Management System), que monitora continuamente temperatura, estado de carga (SoC), estado de saúde (SoH) e equilíbrio de células; o sistema de gerenciamento térmico da bateria; os inversores de tração; os motores elétricos; e os carregadores de bordo. Cada um desses sistemas possui lógica diagnóstica própria, com parâmetros e códigos de falha específicos que não se enquadram nos padrões genéricos do OBD-II clássico.

Alkhamaiesh e Cavanaugh (2023), em estudo publicado na revista *Modern Economy*, analisaram o processo de preparação de técnicos automotivos qualificados para a transição para

veículos elétricos nos Estados Unidos e concluíram que a lacuna de competências no setor é crítica e estrutural. Os autores identificam que tecnologias como o digital twin e a realidade virtual (VR) podem ser utilizadas para criar ambientes de treinamento imersivos e realistas para técnicos de veículos elétricos, permitindo a simulação de cenários de falha e procedimentos de manutenção sem exposição ao risco real do ambiente de alta tensão.

O Desafio da Lacuna de Competências

O Institute of the Motor Industry (IMI), no Reino Unido, estimou em 2022 que seriam necessários 90.000 técnicos qualificados adicionais para dar conta do volume de serviços gerado pela frota de veículos elétricos projetada para as estradas britânicas até 2030. O ritmo de formação desses profissionais, alertam os especialistas, está aquém do necessário para atender à demanda (IMI, 2022). Esse alerta é consistente com os achados de Battisti et al. (2025), que desenvolveram um framework de competências para técnicos de manutenção de BEVs, composto por quatro categorias centrais — Conhecimento Profissional, Habilidades Profissionais, Atitude Profissional e Qualidades Pessoais —, subdivididas em 24 subcategorias e 106 indicadores específicos, derivados de estudo Delphi com 15 especialistas da indústria.

Battisti et al. (2025) concluem que o framework de competências para técnicos de BEVs vai substancialmente além do domínio técnico dos sistemas eletrônicos: engloba competências em segurança elétrica de alta tensão, diagnóstico de sistemas de gestão de baterias, interpretação de dados de telemetria e — igualmente relevante — atitudes de aprendizagem contínua e adaptabilidade diante de uma tecnologia em rápida evolução. A dimensão atitudinal, ressaltam os autores, é frequentemente subestimada nos currículos de formação técnica tradicionais, mas é determinante para a sustentabilidade profissional em um setor de tão acelerada mudança tecnológica.



GESTÃO DO CONHECIMENTO E CAPACITAÇÃO CONTÍNUA: O DIFERENCIAL COMPETITIVO

Conhecimento como Ativo Estratégico da Oficina

A teoria da gestão do conhecimento, cujos fundamentos foram sistematizados por Nonaka e Takeuchi (1995) no modelo SECI (Socialização-Externalização-Combinação-Internalização), oferece um arcabouço analítico poderoso para compreender a dinâmica do aprendizado organizacional em oficinas automotivas. Em síntese, o modelo SECI descreve como o conhecimento tácito — aquele que os técnicos mais experientes carregam consigo e que se manifesta em sua capacidade de diagnóstico — pode ser sistematicamente convertido em conhecimento explícito, documentado, compartilhado e incorporado às rotinas da organização.

Abdi et al. (2018), em estudo publicado no *Journal of Business Economics and Management*, investigaram empiricamente o efeito da gestão do conhecimento, da cultura organizacional e da aprendizagem organizacional sobre a capacidade de inovação em empresas do setor automotivo, demonstrando que a gestão sistemática do conhecimento tem impacto positivo e estatisticamente significativo sobre a inovação e sobre a vantagem competitiva sustentável. Embora o estudo tenha sido conduzido com montadoras e fornecedores de grande porte, seus achados são transferíveis para o contexto das oficinas independentes, desde que consideradas as especificidades de escala: a diferença entre uma oficina que cresce e uma que estagna frequentemente reside na capacidade da primeira de converter o saber de seus técnicos em processos documentados, replicáveis e transmissíveis.

A gestão do conhecimento em uma oficina automotiva manifesta-se em práticas concretas, entre as quais se destacam: a documentação e o arquivamento dos históricos de diagnóstico por veículo e por modelo; a criação de bibliotecas técnicas internas com soluções para falhas recorrentes; as reuniões periódicas de compartilhamento de casos entre a equipe; a participação em comunidades técnicas de troca de conhecimento; e — crucialmente — o estabelecimento de rotinas formalizadas de capacitação que garantam que o conhecimento externo seja regularmente incorporado ao repertório



coletivo da equipe.

O Ciclo Virtuoso da Capacitação Contínua

A aceleração do ciclo de inovação tecnológica nos veículos modernos — com atualizações de software que ocorrem em tempo real por OTA, novos sistemas de assistência ao condutor lançados a cada nova geração de modelos e a crescente penetração dos veículos eletrificados — torna a capacitação contínua não mais um diferencial, mas um requisito básico de competência profissional. Técnicos formados há cinco anos em cursos técnicos convencionais já encontram, nos veículos mais recentes, sistemas para os quais sua formação inicial não os preparou.

Firmansyah et al. (2022), em estudo sobre aprendizagem organizacional e liderança em contextos de educação profissional publicado na revista *Frontiers in Psychology*, demonstraram que a capacidade coletiva de uma organização de adquirir, processar e aplicar novos conhecimentos está fortemente mediada pela liderança transformacional e pelas práticas formalizadas de gestão do conhecimento. Essa relação, embora identificada no contexto da educação técnica profissional, é diretamente aplicável ao ambiente das oficinas automotivas: organizações cujos gestores valorizam, incentivam e viabilizam a atualização técnica contínua constroem ao longo do tempo vantagens competitivas sustentáveis que são difíceis de replicar por concorrentes que tratam a capacitação como custo evitável.

No mercado internacional, programas estruturados de treinamento continuado — como o Worldpac Training Institute, que oferta centenas de cursos anuais em diversas modalidades técnicas e gerenciais — exemplificam a profissionalização da formação continuada no setor (Worldpac Training Institute, 2026). O diretor sênior de treinamento da Worldpac identificou em 2026 três tendências dominantes na demanda por capacitação: a formação em veículos de alta tensão; o domínio crescente da eletrônica como habilidade diagnóstica fundamental; e o desenvolvimento de competências de gestão de negócios para os proprietários de oficinas.

O CENÁRIO BRASILEIRO: ELETRIFICAÇÃO, FORMAÇÃO E DESAFIOS DO SETOR DE REPARAÇÃO

A Expansão da Frota Eletrificada no Brasil e suas Implicações para as Oficinas

O Brasil vive, na primeira metade dos anos 2020, uma aceleração sem precedentes históricos na eletrificação de sua frota veicular. Segundo a Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE), o mercado nacional registrou 177.358 emplacamentos de veículos eletrificados leves em 2024, marca que foi superada ainda em novembro de 2025, com 190.007 unidades registradas ao longo dos primeiros onze meses do ano — consolidando 2025 como o ano mais expressivo da eletromobilidade no país. A frota total de veículos elétricos e híbridos em circulação no Brasil atingiu aproximadamente 590.000 unidades ao final de 2025, representando cerca de 9,4% do mercado automotivo brasileiro (ABVE, 2025).

As projeções de longo prazo indicam que essa trajetória se intensificará. A Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2023), em nota técnica sobre demanda de energia de veículos leves para o período 2024–2033, projeta que os veículos eletrificados poderão representar até 23% dos licenciamentos anuais de veículos leves no Brasil até 2035, equivalendo a 784 mil unidades por ano. Cenários mais acelerados, contemplados pela ANFAVEA e pela BCG, projetam participação de 35% a 42% dos eletrificados na frota total até 2040.

Esse crescimento vertiginoso impõe à rede de reparação automotiva brasileira um desafio urgente e concreto: as mais de 121.000 oficinas mecânicas em operação no país — que geram mais de 760.000 empregos diretos e indiretos e movimentam cerca de R\$ 128 bilhões anuais em serviços de manutenção, conforme dados do Sindirepa-SP — precisarão, em horizonte de tempo relativamente curto, estar preparadas para receber, diagnosticar e reparar veículos cujos sistemas técnicos são fundamentalmente distintos daqueles para os quais a maioria dos seus profissionais foi formada (Sindirepa-SP, s.d.; SEBRAE, 2020).



O Ecossistema de Formação Técnica Nacional: Avanços e Lacunas

A principal instituição de formação técnica para o setor automotivo no Brasil é o SENAI (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial), que oferta, em suas unidades distribuídas por todo o território nacional, cursos técnicos de manutenção automotiva com duração de 18 a 24 meses, abrangendo sistemas mecânicos, elétricos, eletrônicos e, de forma crescente, tecnologias de veículos eletrificados. Em resposta à demanda emergente por qualificação em eletromobilidade, o SENAI passou a estruturar, a partir de 2024, ofertas específicas para veículos elétricos: o SENAI do Rio Grande do Norte, por exemplo, lançou em 2024 os cursos “Princípios do Veículo Elétrico”, “Trabalho Seguro em Veículos Elétricos com Alta Tensão” e “Convertedor e Mantenedor de Veículos Elétricos”, com cargas horárias de 20 a 160 horas (SENAI-RN, 2024).

Em 2026, o SENAI Paraná deu um passo estrutural ao lançar, durante a Feira Autopar, o programa Oficina do Futuro — desenvolvido em parceria com o Sindirepa-PR e o Sebrae/PR —, iniciativa de consultoria estruturada voltada à preparação de micro e pequenas oficinas para a nova realidade da eletromobilidade. O programa, com duração total de 38 horas entre atividades presenciais e remotas, contempla diagnóstico da infraestrutura elétrica, avaliação operacional, adequação às normas de segurança, organização de processos e capacitação técnica das equipes, com subsídio de 50% do investimento pelo Sebrae/PR (SENAI Paraná, 2026). A iniciativa é significativa precisamente por reconhecer que a barreira mais crítica para a maioria das oficinas independentes não é a falta de vontade de se atualizar, mas a falta de estrutura e de suporte para fazê-lo.

No âmbito da certificação profissional, o Brasil conta com o IQA (Instituto da Qualidade Automotiva) — organismo de certificação sem fins lucrativos criado por Anfavea, Sindipeças, Sindirepa e outras entidades —, que desenvolve testes de certificação por competência para profissionais automotivos. Contudo, ao contrário do sistema ASE norte-americano ou do IMI TechSafe britânico, o IQA ainda opera em escala e reconhecimento limitados, sem constituir uma credencial



de ampla exigência pelo mercado. A ausência de um sistema nacional de certificação profissional robusto e amplamente reconhecido é uma das lacunas mais críticas do ecossistema de formação técnica automotiva brasileira (Portal da Reparação, s.d.).

Os Desafios Particulares das Micro e Pequenas Oficinas

A estrutura do setor de reparação automotiva brasileiro é dominada pelas micro e pequenas empresas. Em São Paulo, maior mercado do país, são mais de 28.000 estabelecimentos de reparação veicular nessa categoria, segundo o Sindirepa-SP. Essas empresas enfrentam desafios que as diferenciam estruturalmente das redes autorizadas: recursos financeiros limitados para investimento em equipamentos de diagnóstico de nova geração; dificuldade de acesso e pagamento de programas de formação continuada; alta rotatividade de técnicos qualificados, que migram para concessionárias com remuneração mais elevada; e, especialmente, o custo proibitivo dos equipamentos de diagnóstico para veículos de alta tensão, que exigem investimentos significativos em EPIs, analisadores de sistemas de bateria e adaptadores proprietários.

Programas como o Projeto Oficina Legal, desenvolvido pelo Sebrae/PE em parceria com o Sindirepa-PE desde 2022, demonstram que intervenções estruturadas de capacitação em gestão e qualidade — incluindo a metodologia 5S — podem produzir resultados expressivos mesmo em micro e pequenas oficinas: em 2024, 63 estabelecimentos foram certificados ao final do programa, com resultados positivos documentados em produtividade e organização interna (SEBRAE Agência de Notícias, 2024). Essa experiência evidencia que o caminho para a modernização das oficinas independentes brasileiras passa necessariamente por programas subsidiados, parcialmente custeados pelo poder público ou por entidades setoriais, que reduzam as barreiras financeiras de acesso à formação e às tecnologias diagnósticas.

A especificidade do contexto brasileiro impõe, ainda, uma consideração que frequentemente escapa às análises baseadas exclusivamente em experiências internacionais: a coexistência, na frota



circulante, de tecnologias de múltiplas gerações. Uma oficina automotiva brasileira típica atende, no mesmo dia, veículos carburados dos anos 1980, modelos com OBD-II dos anos 2000, automóveis com sistemas ADAS dos anos 2010 e, crescentemente, híbridos e elétricos. Essa pluralidade tecnológica simultânea exige das equipes técnicas uma capacidade de transitar entre diferentes paradigmas diagnósticos — da inspeção sensorial clássica ao scanner de última geração — que não tem equivalente na maioria dos contextos internacionais onde a renovação da frota é mais acelerada.

MODELOS E ESTRATÉGIAS DE CAPACITAÇÃO PARA O TÉCNICO AUTOMOTIVO DO SÉCULO XXI

Abordagens Pedagógicas Contemporâneas

A pedagogia da formação técnica automotiva encontra-se em processo de renovação acelerada, impulsionada pelas mesmas forças tecnológicas que transformam os veículos. As abordagens tradicionais — baseadas em aulas expositivas teóricas seguidas de práticas laboratoriais com veículos didáticos — mostram-se crescentemente insuficientes para preparar técnicos capazes de operar com competência em veículos eletrificados de alta tensão, cujas condições de falha não podem ser facilmente reproduzidas em ambientes pedagógicos convencionais sem risco de acidentes.

Maksum et al. (2024), em estudo publicado no *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, propuseram o modelo TEFA-PBL (Teaching Factory com Problem-Based Learning), que integra os princípios da fábrica de ensino — onde os estudantes realizam atividades produtivas reais em ambiente educacional — com a metodologia de aprendizagem baseada em problemas. Os resultados do estudo demonstraram que esse modelo produz melhorias significativas nas competências de resolução de problemas e de comunicação técnica dos estudantes da área automotiva, habilidades especialmente relevantes no diagnóstico de sistemas eletrônicos complexos.

A realidade virtual (VR) e a realidade aumentada (AR) emergem como tecnologias

pedagógicas de alto potencial para a formação em sistemas de alta tensão. Conforme documentado por Alkhamaiesh e Cavanaugh (2023), ambientes de treinamento imersivos baseados em VR permitem que técnicos em formação pratiquem procedimentos de manutenção em veículos elétricos em condições de risco zero, com feedback imediato sobre erros de procedimento que, em contexto real, poderiam resultar em acidentes graves. A escalabilidade dessa abordagem representa uma vantagem logística e econômica significativa para instituições formadoras com recursos limitados, como é o caso de muitas escolas técnicas e institutos federais brasileiros.

A Certificação Profissional como Mecanismo de Qualidade e Confiança

No contexto internacional, sistemas de certificação profissional como o ASE (Automotive Service Excellence) nos Estados Unidos e o IMI TechSafe no Reino Unido oferecem ao mercado um mecanismo de sinalização de competência técnica verificada e atualizada. Esses sistemas exigem que os profissionais renovem periodicamente suas certificações, garantindo que o credenciamento reflita o estado atual do conhecimento do técnico, e não apenas sua formação inicial. A solidez desses sistemas reside na sua independência em relação a montadoras específicas e na sua cobertura ampla de competências — características que o futuro sistema nacional brasileiro de certificação precisará igualmente incorporar.

A construção de um sistema nacional de certificação em diagnóstico automotivo robusto e amplamente reconhecido — com trilhas específicas para OBD-II, eletrônica avançada, sistemas ADAS e veículos eletrificados — demandará articulação entre o IQA, o SENAI, o Sindirepa, a Anfavea e o Ministério da Educação. Trata-se de uma agenda de médio prazo cuja urgência cresce proporcionalmente ao ritmo de eletrificação da frota brasileira.

A Dimensão da Segurança como Imperativo Pedagógico

Qualquer programa de capacitação para técnicos que trabalham com veículos eletrificados deve incorporar, como elemento não negociável, a formação em segurança elétrica de alta tensão. O risco de eletrocussão em sistemas que operam entre 200 e 800 Volts é real e potencialmente fatal se os procedimentos de desativação do sistema não forem rigorosamente seguidos. O uso correto de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) específicos — luvas dielétricas de classe adequada, calçados isolantes e óculos de proteção —, a aplicação do procedimento de lockout/tagout nos sistemas de alta tensão e o conhecimento dos protocolos de emergência em caso de acidente são competências fundamentais que precedem qualquer habilidade diagnóstica em veículos elétricos.

Battisti et al. (2025) ressaltam que a dimensão da segurança é transversal a todas as quatro categorias do framework de competências que desenvolveram, o que evidencia que a segurança não deve ser tratada como um módulo isolado, mas como um princípio orientador que permeia todas as práticas profissionais do técnico de veículos elétricos. No contexto brasileiro, o programa “Trabalho Seguro em Veículos Elétricos com Alta Tensão”, oferecido pelo SENAI-RN (2024) como um dos primeiros cursos específicos para eletromobilidade no país, representa um passo estrutural nessa direção — e um modelo a ser replicado por outras unidades do sistema S em todo o território nacional.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A jornada percorrida ao longo deste capítulo — das origens empíricas do diagnóstico automotivo clássico até os sistemas preditivos baseados em inteligência artificial e IoT, passando pelo padrão OBD-II, pela revolução dos veículos eletrificados e pela especificidade do contexto brasileiro — demonstra, com clareza, que a história do diagnóstico automotivo é inseparável da história da aprendizagem e da adaptação profissional. Cada avanço tecnológico nos veículos criou, simultaneamente, novas possibilidades diagnósticas e novas exigências de competência para os



técnicos responsáveis por operá-las.

Quatro conclusões centrais emergem da análise desenvolvida neste capítulo. A primeira é que o diagnóstico automotivo contemporâneo é irredutivelmente sistêmico: não é possível diagnosticar com competência os veículos modernos sem o domínio dos fluxos de comunicação entre sistemas eletrônicos integrados. A segunda é que a eletrificação da frota representa uma ruptura de paradigma que impõe a revisão urgente dos currículos de formação técnica e a criação de sistemas de certificação que garantam que apenas profissionais devidamente qualificados intervenham em sistemas de alta tensão.

A terceira conclusão é que o Brasil vive um momento de inflexão: a aceleração das vendas de veículos eletrificados — com mais de 190.000 unidades emplacadas apenas nos onze primeiros meses de 2025 (ABVE, 2025) — está se aproximando do ponto em que a lacuna de profissionais qualificados para atendê-los passará de latente a aguda. Programas como o Oficina do Futuro (SENAI Paraná, 2026) e os cursos pioneiros do SENAI-RN (2024) são iniciativas que precisam ganhar escala e capilaridade nacional com urgência.

A quarta conclusão, e talvez a mais estratégica para gestores de oficinas, é que o investimento em capacitação contínua é o mais rentável dos investimentos que uma oficina pode realizar. Uma oficina cujos técnicos são capazes de diagnosticar com precisão sistemas eletrônicos avançados, veículos híbridos e elétricos e sistemas ADAS cobra com legitimidade por um serviço de maior valor agregado, reduz drasticamente o retrabalho, conquista a confiança duradoura de seus clientes e posiciona-se de forma competitivamente superior em um mercado que inevitavelmente tornará esses serviços a norma.

Entre as lacunas que este capítulo não pôde cobrir — e que constituem uma agenda de pesquisa relevante — destacam-se: estudos empíricos sobre o impacto financeiro da modernização diagnóstica em micro e pequenas oficinas brasileiras; análises comparativas dos programas de formação em eletromobilidade do SENAI em diferentes estados; e investigações sobre os mediadores comportamentais e culturais da adoção de novas tecnologias diagnósticas por técnicos formados na



tradição da mecânica clássica.

REFERÊNCIAS

ABDI, K.; MARDANI, A.; SENIN, A. A.; TUPENAITE, L.; NAIMAVICIENE, J.; KANAPECKIENE, L.; KUTUT, V. The effect of knowledge management, organizational culture and organizational learning on innovation in automotive industry. *Journal of Business Economics and Management*, v. 19, n. 1, p. 1-19, 2018. DOI: 10.3846/jbem.2018.1477.

ALKHAMAIESH, S.; CAVANAUGH, P. F. Preparing qualified EV technicians for the USA transition to electric vehicles. *Modern Economy*, v. 14, p. 1504-1514, nov. 2023. DOI: 10.4236/me.2023.1411078.

ABVE — ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO VEÍCULO ELÉTRICO. Dados de mercado: emplacamentos de veículos eletrificados 2025. São Paulo: ABVE, 2025. Disponível em: <https://abve.org.br/abve-data/>. Acesso em: 10 maio 2025.

BATTISTI, F. S. et al. A Competency Framework for Electric Vehicle Maintenance Technicians: Addressing the Environmental, Social, and Governance (ESG) Imperatives of the BEV Industry. *World Electric Vehicle Journal*, v. 16, n. 6, p. 314, 2025. DOI: 10.3390/wevj16060314.

CUMIN, J.; NOVOSELOVIĆ, D.; MARIĆ, D.; ŠOLIĆ, T. Maintenance of automobiles and motorcycles through prism of OBD II diagnostic tools. In: *INTERNATIONAL CONFERENCE ON ORGANIZATION AND TECHNOLOGY OF MAINTENANCE, 2023, Cham. Anais...* Springer Nature Switzerland, 2023. p. 171-183. DOI: 10.1007/978-3-031-43662-8_15.

EPE — EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Demanda de energia dos veículos leves: 2024-2033. Nota Técnica NT-EPE-DPG-SDB-2023-04. Brasília: EPE, dez. 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br>. Acesso em: 10 maio 2025.

FIRMANSYAH, A. et al. The role of transformational leadership and knowledge management and learning organization on vocational schools performance during digital era. *Frontiers in Psychology*, v. 13, 2022. DOI: 10.3389/fpsyg.2022.895341.

IMI — INSTITUTE OF THE MOTOR INDUSTRY. Plugging the skills gap for electric vehicle

technicians. Londres: IMI, 2022. Disponível em: <https://www.motortrader.com/blogs/skills-gap-electric-vehicle-technicians-02-02-2022>. Acesso em: 10 maio 2025.

MAHALE, R. et al. Integrating augmented reality and artificial intelligence in vehicle diagnostics: applications for on-board diagnostics II systems. *Asian Institute of Research — Engineering, Technology and Quantitative Research*, v. 8, n. 2, p. 1-12, 2025. Disponível em: <https://www.asianinstituteofresearch.org>. Acesso em: 10 maio 2025.

MAKSUM, H. et al. Improving problem-solving and communication skills in automotive vocational education through the development of teaching factory model with problem-based learning (TEFA-PBL) concept. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, v. 12, n. 3, p. 612-628, 2024. DOI: 10.46328/ijemst.3846.

NONAKA, I.; TAKEUCHI, H. *The knowledge-creating company: how Japanese companies create the dynamics of innovation*. New York: Oxford University Press, 1995.

PORTAL DA REPARAÇÃO. Oficina: certificação, normas e capacitação técnica. São Paulo, s.d. Disponível em: <https://portaldareparacao.com.br/oficina/>. Acesso em: 10 maio 2025.

RAWASHDEH, M. O. et al. Intelligent automobiles diagnostic system. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, v. 11, n. 4s, p. 458-465, 2023.

SEBRAE — SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. Painel de inteligência setorial: reparação automotiva. Vitória: SEBRAE-ES, 2020. Disponível em: <https://sebrae.com.br>. Acesso em: 10 maio 2025.

SEBRAE AGÊNCIA DE NOTÍCIAS. Empreendedores do setor automotivo concluem projeto Oficina Legal do Sebrae. ASN Pernambuco, Recife, 30 maio 2024. Disponível em: <https://pe.agenciasebrae.com.br>. Acesso em: 10 maio 2025.

SENAI-RN — SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL DO RIO GRANDE DO NORTE. SENAI anuncia primeiros cursos profissionalizantes do Rio Grande do Norte para o setor de veículos elétricos. Portal SENAI-RN, Natal, 2024. Disponível em: <https://www.rn.senai.br>. Acesso em: 10 maio 2025.

SENAI PARANÁ — SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL DO PARANÁ. Programa Oficina do Futuro: consultoria para eletromobilidade veicular. Curitiba: SENAI-PR, 2026. Disponível em: <https://www.senaipr.org.br>. Acesso em: 14 maio 2026.

SINDIREPA-SP — SINDICATO DA INDÚSTRIA DA REPARAÇÃO DE VEÍCULOS E ACESSÓRIOS DO ESTADO DE SÃO PAULO. O mercado de reparação automotiva em São Paulo. São Paulo: Sindirepa-SP, s.d. Disponível em: <https://portaldareparacao.com.br>. Acesso em: 10 maio 2025.

WORLDPAC TRAINING INSTITUTE. Training trends 2026: high-voltage vehicles, electronics and business acumen. National Harbor: Worldpac, 2026. Disponível em: <https://www.aftermarketmatters.com>. Acesso em: 14 maio 2026.