

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM SISTEMAS EMBARCADOS PARA INDÚSTRIA  
AUTOMOTIVA

ALYSSON PERCICOTTY DA COSTA

## **ARQUITETURAS E/E AUTOMOTIVAS CENTRALIZADAS**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA  
2021

ALYSSON PERCICOTTY DA COSTA

## **ARQUITETURAS E/E AUTOMOTIVAS CENTRALIZADAS**

Monografia de Especialização, apresentada ao Curso de Especialização em Sistemas Embarcados para Indústria Automotiva, do Departamento Acadêmico de Eletrônica – DAELN, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Dr. Max Mauro Dias Santos

CURITIBA  
2021



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Curitiba

Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Departamento Acadêmico de Eletrônica  
Curso de Especialização em Sistemas Embarcados para Indústria  
Automotiva



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

ARQUITETURAS E/E AUTOMOTIVAS CENTRALIZADAS

por

ALYSSON PERCICOTTY DA COSTA

Esta monografia foi apresentada em 08 de Dezembro de 2021 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Sistemas Embarcados para Indústria Automotiva. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Max Mauro Dias Santos  
Orientador

---

Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas  
Membro titular

---

Prof. M. Sc. Omero Francisco Bertol  
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

## RESUMO

COSTA, Alysson Percicotty da. **Arquiteturas E/E Automotivas Centralizadas**. 2021. 54 p. Monografia de Especialização em Sistemas Embarcados para Indústria Automotiva, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2021.

A complexidade crescente do software em carros modernos dita novas tendências em arquiteturas automotivas elétricas e/ou eletrônicas (E/E). Como resultado, muitos fabricantes de equipamentos originais (OEMs) e fornecedores têm defendido as arquiteturas centralizadas de E/E como as arquiteturas automotivas do futuro. Neste trabalho, defendemos as arquiteturas E/E centralizadas na indústria automotiva. Discutimos a motivação para esquemas de arquitetura centralizados examinando cuidadosamente os desafios e desvantagens das arquiteturas E/E automotivas descentralizadas tradicionais, enquanto contrastamos com os benefícios correspondentes oferecidos pela centralização. Em seguida, as tecnologias necessárias para suportar novas arquiteturas centralizadas são discutidas em detalhes. Em particular, apresentamos o estado da arte em tecnologias de rede, virtualização, hardware de unidade de controle eletrônico (ECU) e AUTOSAR clássico e adaptativo e discutimos o estado de adoção dessas tecnologias na indústria. Por toda parte, a segurança funcional é considerada e abordada como uma preocupação abrangente na indústria automotiva.

**Palavras-chave:** Arquitetura E/E automotiva. Arquitetura centralizada. Segurança funcional. ISO 26 262.

## ABSTRACT

COSTA, Alysson Percicotty da. **Centralized Automotive E/E Architectures**. 2021. 54 p. Monografia de Especialização em Sistemas Embarcados para Indústria Automotiva, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2021.

The complexity increasing of software in contemporary cars rule new trends in electrical electronic (E/E) automotive architectures. As a result, a lot of model equipment manufacturers (OEMs) and suppliers have defended centralized E/E architectures as the automotive architectures of the future. In this work, we defend centralized E/E architectures application in automotive industry. We discuss the motivation for centralized architectural schemes by carefully examining the challenges of traditional decentralized automotive E/E architectures, while we evidence the comparable benefits offered by centralization. Next, the technologies needed to be used for new centralized architectures. Presenting the actual scenario of networking, virtualization, electronic control unit hardware and AUTOSAR classic and adaptive technologies, and discuss the state of adoption of these technologies in the industry. Throughout, functional safety is considered and addressed as a pervasive concern in the automotive industry.

**Keywords:** Automotive E/E Architecture. Centralized architecture. Functional security. ISO 26 262.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Possível evolução da arquitetura E/E automotiva .....	23
Figura 2 - Arquitetura E/E orientada a domínio .....	24
Figura 3 - Arquitetura orientada por domínio.....	25
Figura 4 - Arquitetura orientada por zona.....	26
Figura 5 - Visteon SmartCore implementado na Mercedes Benz Classe-A.....	29
Figura 6 - Camadas da arquitetura de software AUTOSAR.....	41
Figura 7 - AUTOSAR Classic Platform.....	43
Figura 8 - AUTOSAR Adaptive Platform .....	44
Figura 9 - Atualização de firmware OTA através do sistema de gerenciamento de dispositivos.....	45

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Sistemas de arquitetura elétrica ao longo das décadas .....	13
--	----

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>7</b>
1.1 TEMA .....	8
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	8
1.3 PROBLEMA .....	8
1.4 OBJETIVOS .....	9
1.4.1 Objetivo Geral .....	9
1.4.2 Objetivos Específicos .....	9
1.5 JUSTIFICATIVA .....	9
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	10
<b>2 DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>11</b>
2.1 ELETRÔNICA EMBARCADA AUTOMOTIVA .....	11
2.2 O QUE É UMA ARQUITETURA ELÉTRICA/ELETRÔNICA?.....	11
2.3 EVOLUÇÃO DA ARQUITETURA ELÉTRICA AUTOMOTIVA.....	12
<b>3 ARQUITETURA E/E PARA OS VEÍCULOS DO FUTURO</b> .....	<b>16</b>
3.1 NECESSIDADE.....	16
3.2 MOTIVAÇÃO.....	18
3.3 CONCEITOS BÁSICOS .....	23
3.4 ADOÇÃO PELA INDUSTRIA AUTOMOTIVA.....	29
<b>4 CONSIDERAÇÕES PARA VEÍCULOS AUTÔNOMOS</b> .....	<b>31</b>
<b>5 SEGURANÇA FUNCIONAL 26262</b> .....	<b>33</b>
<b>6 TECNOLOGIAS QUE VIABILIZAM A CENTRALIZAÇÃO</b> .....	<b>36</b>
6.1 MÓDULOS ELETRÔNICOS.....	36
6.2 VIRTUALIZAÇÃO .....	38
6.3 REDE .....	39
6.4 AUTOSAR CLASSIC & ADAPTIVE.....	41
6.5 OVER THE AIR .....	45
<b>7 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS</b> .....	<b>48</b>
<b>8 CONCLUSÃO</b> .....	<b>50</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>51</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A variedade e a complexidade das funções exigidas nos veículos modernos têm aumentado rapidamente, impulsionadas pelas tendências do setor. Os incentivos para a conformidade com os padrões automotivos: AUTOSAR e ISO 26262; tornam-se cada vez mais desafiadores para as arquiteturas E/E automotivas tradicionais considerando as necessidades atuais e futuras da indústria. Em uma arquitetura E/E descentralizada, as funções veiculares incorporadas são distribuídas entre muitas unidades de controle eletrônico (*Engine Control Unit* - ECUs) interconectadas, onde cada ECU é capaz de processar seus próprios dados e comunicá-los a outras ECUs para obter funcionalidades veiculares avançadas.

Embora arquiteturas descentralizadas tenham várias vantagens (REINHARDT; KUCERA, 2013) elas também sofrem de severas desvantagens. As arquiteturas descentralizadas tradicionais geralmente têm um mapeamento um-para-um entre funções veiculares e ECUs, resultando em um número crescente de carros com mais de 100 ECUs (AMEND, 2017) executando cerca de 150 milhões de linhas de código (BURKACKY *et al.*, 2018). No caso de uma função ser implementada por várias ECUs coordenadas, a carga de comunicação colocada na rede do veículo aumenta.

Para lidar com as limitações das arquiteturas E/E descentralizadas, as arquiteturas E/E automotivas começaram recentemente a evoluir para alternativas centralizadas, como centralizada de domínio (ou orientada a domínio), centralizada de domínio cruzado (ou orientada a domínio cruzado) e veículo-centralizada. arquiteturas centralizadas (ou orientadas por zona). As arquiteturas orientadas por domínio, entre domínios e orientadas por zona serão referidas aqui como arquiteturas centralizadas. A ideia básica das arquiteturas centralizadas é centralizar o processamento de funções no nível de domínios individuais dentro de um veículo, grupos de domínios ou todo o veículo.

Várias tecnologias são necessárias para facilitar a operação de arquiteturas E/E modernas e centralizadas (NAVALE *et al.*, 2015). ECUs com poder de processamento aprimorado e provisões de hardware para segurança funcional e proteção são necessárias para suportar funções veiculares cada vez mais complexas. Além disso, redes de comunicação aprimoradas, com maior largura de banda, recursos de particionamento de tráfego e em tempo real, mecanismos de



tolerância a falhas, *gateways* avançados e medidas de segurança aprimoradas são necessários para atender aos requisitos de sistemas de transporte cada vez mais inteligentes.

Nesta análise são examinadas as principais tecnologias que tornam viável a arquitetura centralizadas demonstrando que há massa crítica tecnológica suficiente para tornar a centralização uma solução viável em vários domínios e aplicativos nas arquiteturas E/E.

## 1.1 TEMA

Arquiteturas E/E automotivas centralizadas.

## 1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O presente trabalho visa a análise das arquiteturas E/E automotivas descentralizadas e defende a centralização como o padrão da arquitetura E/E do veículo do futuro.

## 1.3 PROBLEMA

A diversidade e a complexidade das funções dos veículos atuais têm aumentado, a conformidade com os padrões automotivos tornam-se cada vez mais desafiadores para as arquiteturas elétricas automotivas tradicionais considerando as demandas atuais e futuras.

Em uma arquitetura E/E descentralizada, as funções veiculares incorporadas são distribuídas entre muitas unidades de controle eletrônico (*Engine Control Unit* - ECUs) interconectadas as desvantagens das arquiteturas descentralizadas são centradas em escalabilidade e desempenho de comunicação. No caso de uma função ser implementada por várias ECUs coordenadas, a carga de comunicação colocada na rede do veículo aumenta.

A prática de adicionar ECUs individuais para funções individuais leva a um aumento significativo de custos devido ao grande número de ECUs e chicotes elétricos complexos. Além disso, essa prática resulta em maior complexidade de software e muitas variantes de software para ECUs automotivas. Com base nestes problemas, o desenvolvimento automotivo está enfrentando custos significativos de desenvolvimento e manutenção.

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é analisar a viabilidade da adoção da arquitetura E/E centralizada na indústria automotiva.

### 1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para uma análise de viabilidade de adoção da arquitetura E/E centralizada na indústria automotiva será verificado:

- O estado da arte da arquitetura E/E automotiva.
- Veículo definido por software.
- Adoção pela indústria automotiva.
- Impacto nos veículos autônomos.
- Segurança funcional (ISO26262).
- Tecnologias que tornam viável a centralização na arquitetura E/E.

## 1.5 JUSTIFICATIVA

O aumento do número e sofisticação de funções em carros modernos está impulsionando a necessidade de evolução das arquiteturas E/E automotivas. No decorrer do trabalho fica evidente a necessidade de transição da atual arquitetura E/E, que utilizam ECU por domínios, para uma arquitetura centralizada, onde possa-se comunizar funções em um mesmo módulo eletrônico. Com a introdução da eletrificação e sistemas autônomos e avanços nos recursos fica claro que este é o futuro das arquiteturas E/E automotivas.

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

- Capítulo 1: Introdução com apresentação do tema proposto, problemas, objetivo geral, objetivo específico e justificativa.
- Capítulo 2: Revisão bibliográfica com o estudo da atualização da arquitetura E/E automotiva.
- Capítulo 3: Considerações e conceitos básicos de segurança funcional do padrão de segurança funcional ISO 26262.
- Capítulo 4: Considerações para os veículos autônomos
- Capítulo 5: Segurança Funcional ISO 26262
- Capítulo 6: Apresentação das principais tecnologias que viabilizam a arquiteturas E/E centralizadas.
- Capítulo 7: Avaliação dos resultados.
- Capítulo 8: Conclusões.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 ELETRÔNICA EMBARCADA AUTOMOTIVA

A indústria automotiva introduziu uma variedade sem precedentes de inovações elétricas e eletrônicas nas últimas décadas – de recursos de segurança passiva, como airbags, a experiência imersiva do usuário e entretenimento informativo, bem como recursos de segurança ativa, como frenagem de emergência automática.

Cada nova inovação requer sua própria unidade de controle eletrônico (*Engine Control Unit* - ECU) com sua própria energia, seu próprio processamento, seus próprios dados e sua própria conectividade. O hardware de cada recurso traz sua própria fiação, introduz complexidade, ocupa espaço e adiciona peso ao veículo.

Atualmente, de acordo com a Mercedes-Benz, na última geração do Classe S estão presentes mais de 60 módulos eletrônicos. Esses diferentes sistemas se comunicam por cabos que podem chegar a mais de 4 km de extensão. Em 1948, a média dos veículos americanos era de 45 metros de fiação por carro (RIBEIRO, 2018).

Os automóveis mais avançados necessariamente possuem mais eletrônica embarcada. Estudo publicado pela consultoria Deloitte aponta que a eletrônica representa 40% dos custos de um veículo atualmente, cerca de 50% a mais do que há uma década (CHEN, 2019).

Quanto mais avançada é a arquitetura de um veículo, melhores são seus aspectos de dirigibilidade, proteção aos ocupantes e comodidade a bordo. E são os sistemas eletrônicos que maximizam tudo isso. A maneira como as OEMs integram todos estes sistemas é determinante (APTIV, 2018).

### 2.2 O QUE É UMA ARQUITETURA ELÉTRICA/ELETRÔNICA?

O termo “Arquitetura Elétrica/Eletrônica” (Arquitetura E/E) refere-se à convergência de hardware eletrônico, comunicações de rede, aplicativos de software e fiação em um sistema integrado que controla um número cada vez maior de funções do veículo nas áreas de controle, carroceria, segurança, infoentretenimento e outras funcionalidades de conforto, conveniência e conectividade (APTIV, 2018).

A primeira integração de sistemas elétricos e mecânicos ocorreu no final da década de 1950 com o advento do controle de cruzeiro básico. Nos anos 60, houve aprimoramentos de áudio e iluminação; nos anos 70, novos controles de emissões estimularam avanços na arquitetura E/E; nos anos 90, gerenciar a complexidade da arquitetura elétrica/eletrônica estava se tornando um problema para os OEMs. No início dos anos 2000, os protocolos de dados e comunicação impulsionaram novos requisitos de produtos e, na última década, os OEMs se concentraram em recursos e regulamentos que regem a segurança dos ocupantes, a distração do motorista e a economia de combustível, o que levou à adoção de sistemas e trens de força de alta tensão.

Olhando para o futuro, as arquiteturas E/E terão que acomodar os avanços na direção autônoma, infoentretenimento, conectividade 5G e, mais importante, maior eletrificação dos veículos. A abordagem tradicional de adicionar incrementalmente novas unidades de controle eletrônico (*Engine Control Unit* - ECUs) com sua própria energia, processamento, dados e conectividade para cada nova função não funciona mais. Ele não será dimensionado para acomodar todos os novos requisitos de poder de computação, processamento de dados e distribuição de energia.

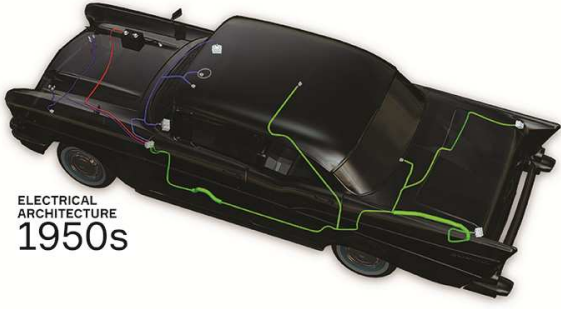
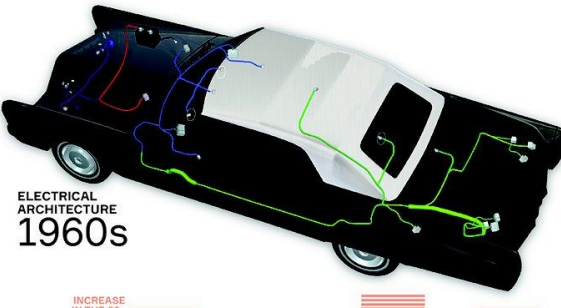
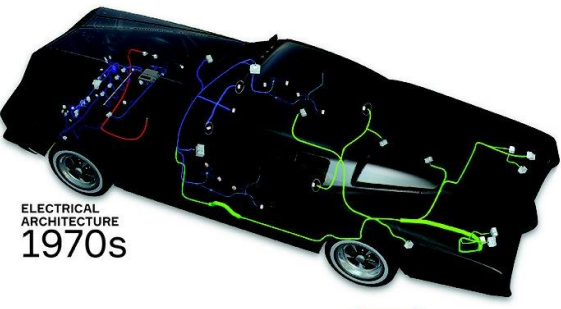
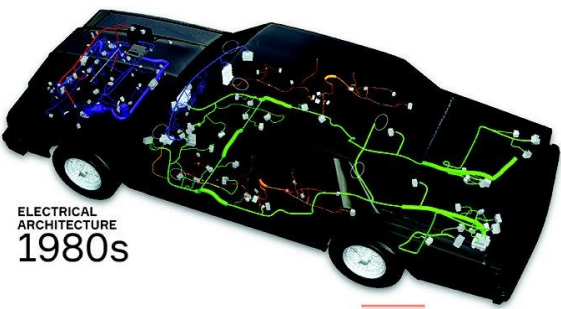
A ascensão dos veículos totalmente elétricos é o ponto de inflexão que dá aos OEMs a oportunidade de criar uma nova arquitetura elétrica/eletrônica do zero - uma arquitetura que considera as necessidades de energia e dados de cada dispositivo elétrico no veículo e atende essas necessidades da forma mais simplificada e integrada possível.

### 2.3 EVOLUÇÃO DA ARQUITETURA ELÉTRICA AUTOMOTIVA

A demanda do consumidor por segurança, recursos habilitados por software, entretenimento, a experiência do usuário, a segurança ativa, os serviços de veículos conectados, eletrificação e condução autônoma implica na arquitetura tradicional, não será mais viável e não suportará o crescimento em conteúdo e complexidade. Analisar como os sistemas de arquitetura elétrica evoluíram ao longo das décadas, como mostra o Quadro 1, ajuda a explicar esse aumento notável, e por que a Arquitetura E/E precisa ser revista.

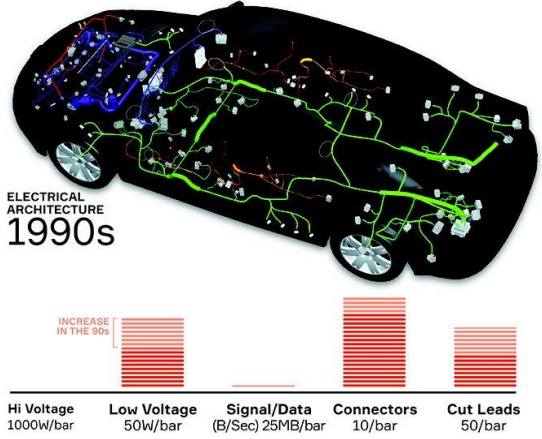
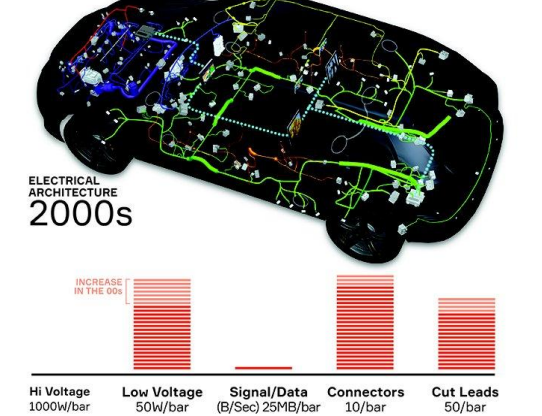
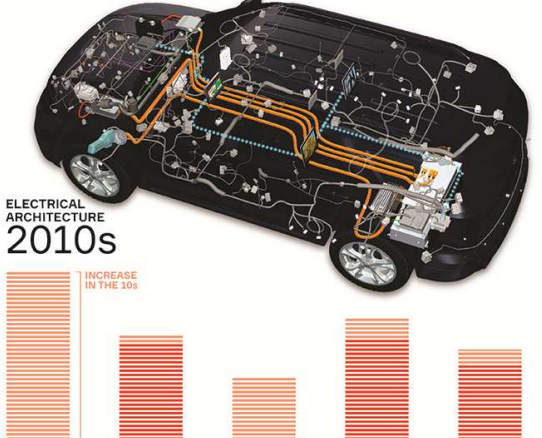
Quadro 1 - Sistemas de arquitetura elétrica ao longo das décadas

(continua)

Características do Sistema na Década	Representação arquitetura E/E na Década
<p><b>Década de 1950</b></p> <p>Simplicidade, conteúdo elétrico mínimo, sem eletrônicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas de 12 volts amplamente utilizados;</li> <li>• Terminais olhais (método de conexão primária);</li> <li>• Em media 58 conexões.</li> </ul>	 <p><b>ELECTRICAL ARCHITECTURE 1950s</b></p> <p>Hi Voltage 1000W/bar    Low Voltage 50W/bar    Signal/Data (B/Sec) 25MB/bar    Connectors 10/bar    Cut Leads 50/bar</p>
<p><b>Década de 1960</b></p> <p>Conteúdo elétrico de estabilidade cresce:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Proteções de fusíveis de vidro tornam-se padrão;</li> <li>• Aprimoramentos de áudio e iluminação estimulam o crescimento do conteúdo</li> </ul>	 <p><b>ELECTRICAL ARCHITECTURE 1960s</b></p> <p>INCREASE IN THE 60s</p> <p>Hi Voltage 1000W/bar    Low Voltage 50W/bar    Signal/Data (B/Sec) 25MB/bar    Connectors 10/bar    Cut Leads 50/bar</p>
<p><b>Década de 1970</b></p> <p>Eletrônicos de antecipação juntam-se:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Os requisitos de emissão surgem;</li> <li>• A proteção do circuito migra para o fusível automático (ATO) menor;</li> <li>• O posicionamento do chicote começa a exigir experiência em sistemas.</li> </ul>	 <p><b>ELECTRICAL ARCHITECTURE 1970s</b></p> <p>INCREASE IN THE 70s</p> <p>Hi Voltage 1000W/bar    Low Voltage 50W/bar    Signal/Data (B/Sec) 25MB/bar    Connectors 10/bar    Cut Leads 50/bar</p>
<p><b>Década de 1980</b></p> <p>Sucesso da integração eletrônica significa crescimento elétrico:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Novas regulamentações geram mais conteúdo elétrico;</li> <li>• Conexões seladas se tornam a melhor prática;</li> <li>• O crescimento do conteúdo elétrico preocupa as montadoras de veículo.</li> </ul>	 <p><b>ELECTRICAL ARCHITECTURE 1980s</b></p> <p>INCREASE IN THE 80s</p> <p>Hi Voltage 1000W/bar    Low Voltage 50W/bar    Signal/Data (B/Sec) 25MB/bar    Connectors 10/bar    Cut Leads 50/bar</p>

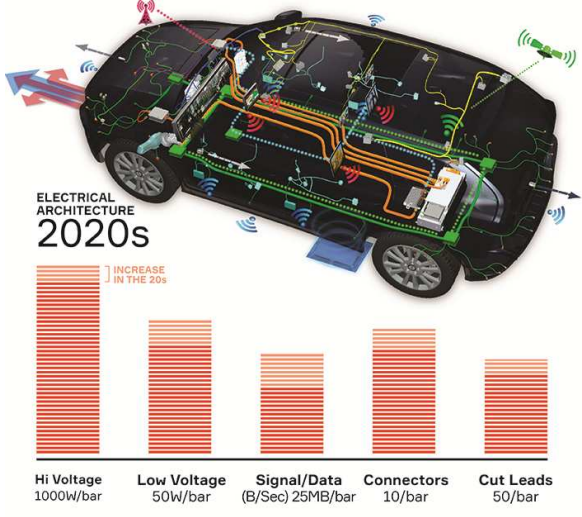

**Quadro 1 - Sistemas de arquitetura elétrica ao longo das décadas**

(continua)

<p><b>Década de 1990</b></p> <p>Demanda por especialização em arquitetura se torna crucial:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Centros elétricos redefinem padrões de arquitetura e otimização</li> <li>• A gestão da complexidade torna-se o foco da montadora de veículos</li> <li>• A “miniaturização” de cabos e componentes melhora a embalagem</li> </ul>	 <p><b>ELECTRICAL ARCHITECTURE 1990s</b></p> <p>INCREASE IN THE 90s</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Metric</th> <th>Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hi Voltage</td> <td>1000W/bar</td> </tr> <tr> <td>Low Voltage</td> <td>50W/bar</td> </tr> <tr> <td>Signal/Data</td> <td>(B/Sec) 25MB/bar</td> </tr> <tr> <td>Connectors</td> <td>10/bar</td> </tr> <tr> <td>Cut Leads</td> <td>50/bar</td> </tr> </tbody> </table>	Metric	Value	Hi Voltage	1000W/bar	Low Voltage	50W/bar	Signal/Data	(B/Sec) 25MB/bar	Connectors	10/bar	Cut Leads	50/bar
Metric	Value												
Hi Voltage	1000W/bar												
Low Voltage	50W/bar												
Signal/Data	(B/Sec) 25MB/bar												
Connectors	10/bar												
Cut Leads	50/bar												
<p><b>Anos 2000</b></p> <p>Mais eletrônicos são aplicados aumentando os recursos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipamentos “opcionais” tornam-se padrão;</li> <li>• Mais legislação = mais crescimento de conteúdo;</li> <li>• Os protocolos de dados e comunicação orientam os novos requisitos do produto.</li> </ul>	 <p><b>ELECTRICAL ARCHITECTURE 2000s</b></p> <p>INCREASE IN THE 00s</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Metric</th> <th>Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hi Voltage</td> <td>1000W/bar</td> </tr> <tr> <td>Low Voltage</td> <td>50W/bar</td> </tr> <tr> <td>Signal/Data</td> <td>(B/Sec) 25MB/bar</td> </tr> <tr> <td>Connectors</td> <td>10/bar</td> </tr> <tr> <td>Cut Leads</td> <td>50/bar</td> </tr> </tbody> </table>	Metric	Value	Hi Voltage	1000W/bar	Low Voltage	50W/bar	Signal/Data	(B/Sec) 25MB/bar	Connectors	10/bar	Cut Leads	50/bar
Metric	Value												
Hi Voltage	1000W/bar												
Low Voltage	50W/bar												
Signal/Data	(B/Sec) 25MB/bar												
Connectors	10/bar												
Cut Leads	50/bar												
<p><b>Década de 2010</b></p> <p>Conectividade e segurança e gerenciamento de alta potência assume o controle:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• A integração de eletrônicos de consumo adiciona camadas de complexidade;</li> <li>• A distração do motorista se torna um problema social;</li> <li>• A segurança dos ocupantes estimula o conteúdo elétrico adicional;</li> <li>• Os regulamentos impulsionam os sistemas e trens de força de alta tensão;</li> </ul>	 <p><b>ELECTRICAL ARCHITECTURE 2010s</b></p> <p>INCREASE IN THE 10s</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Metric</th> <th>Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hi Voltage</td> <td>1000W/bar</td> </tr> <tr> <td>Low Voltage</td> <td>50W/bar</td> </tr> <tr> <td>Signal/Data</td> <td>(B/Sec) 25MB/bar</td> </tr> <tr> <td>Connectors</td> <td>10/bar</td> </tr> <tr> <td>Cut Leads</td> <td>50/bar</td> </tr> </tbody> </table>	Metric	Value	Hi Voltage	1000W/bar	Low Voltage	50W/bar	Signal/Data	(B/Sec) 25MB/bar	Connectors	10/bar	Cut Leads	50/bar
Metric	Value												
Hi Voltage	1000W/bar												
Low Voltage	50W/bar												
Signal/Data	(B/Sec) 25MB/bar												
Connectors	10/bar												
Cut Leads	50/bar												

**Quadro 1 - Sistemas de arquitetura elétrica ao longo das décadas**

**(conclusão)**

<p><b>Década de 2020</b></p> <p>Os sistemas de mobilidade a bordo não são mais o limite:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conectividade e segurança avançadas continuam a impulsionar os cabos/conexões</li> <li>• A legislação (segurança, economia de combustível, etc.) influencia o crescimento e o conteúdo elétrico;</li> <li>• Protocolos de comunicação avançados geram novas tecnologias;</li> <li>• As preocupações com a segurança cibernética impulsionam várias camadas de redundância e tolerâncias a falhas.</li> </ul>	 <p><b>ELECTRICAL ARCHITECTURE 2020s</b></p> <p>INCREASE IN THE 20s</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Category</th> <th>Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hi Voltage</td> <td>1000W/bar</td> </tr> <tr> <td>Low Voltage</td> <td>50W/bar</td> </tr> <tr> <td>Signal/Data</td> <td>(B/Sec) 25MB/bar</td> </tr> <tr> <td>Connectors</td> <td>10/bar</td> </tr> <tr> <td>Cut Leads</td> <td>50/bar</td> </tr> </tbody> </table>	Category	Value	Hi Voltage	1000W/bar	Low Voltage	50W/bar	Signal/Data	(B/Sec) 25MB/bar	Connectors	10/bar	Cut Leads	50/bar
Category	Value												
Hi Voltage	1000W/bar												
Low Voltage	50W/bar												
Signal/Data	(B/Sec) 25MB/bar												
Connectors	10/bar												
Cut Leads	50/bar												
<p><b>Década de 2030</b></p> <p>Integração avançada segura, verde, conectada, tudo ao mesmo tempo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Domínios multivoltagem trazem mais camadas de eletrificação do dispositivo</li> <li>• Recursos de direção autônoma criam redes de dados de alta velocidade adicionais</li> </ul>	 <p><b>ELECTRICAL ARCHITECTURE 2030s</b></p>												

Fonte: Aptiv (2018).

Mais recursos significa mais poder de computação, mais dados e mais distribuição de energia do que nunca. E à medida que o carro se torna um supercomputador, com cada vez mais recursos e conectividade, sua arquitetura ou fundação precisa mudar radicalmente. A abordagem de arquitetura de veículo histórica não funciona mais, ela não pode suportar o crescimento em conteúdo e complexidade (APTIV, 2018).



### 3 ARQUITETURA E/E PARA OS VEÍCULOS DO FUTURO

Esta seção apresenta a motivação para uma arquitetura E/E centralizada para viabilizar o veículo definido por software. Conceitos básicos nas arquiteturas são introduzidas. Por fim, discutimos a adoção de soluções E/E centralizadas na indústria automotiva.

#### 3.1 NECESSIDADE

Por definição, “veículo definido por software” é um termo que descreve um veículo cujos recursos e funções são ativados principalmente por meio de software, resultado da transformação contínua do automóvel de um produto baseado principalmente em hardware para um dispositivo eletrônico sobre rodas centrado em software (APTIV, 2018). A Deloitte entende que este conceito se refere ao estado de que a quantidade e o valor do software (incluindo hardware eletrônico) em um veículo excede o do hardware mecânico. Além disso, reflete a transformação gradual dos automóveis que podem ser continuamente atualizados. Os veículos são produzidos com hardware avançado, as funções e o valor do hardware serão gradualmente ativados e aprimorados por meio dos sistemas *Over-The-Air* (OTA) ao longo do ciclo de vida (CHEN, 2019).

As principais capacidades dos OEMs mudarão de hardware mecânico para hardware e software eletrônico, a cadeia de valor do setor também mudará de vendas pontuais de hardware para software e serviços premium contínuos.

As arquiteturas E/E veiculares tem sido tradicionalmente descentralizadas. Este padrão têm várias vantagens, por exemplo, fornecem uma alta flexibilidade relacionada a componentes de hardware e separaram os interesses entre ECUs: permitindo que funções intimamente relacionadas sejam implantadas em uma única ECU (REINHARDT; KUCERA, 2013). Isso faz com que a verificação das condições de integração de ECUs em uma rede relativamente simples garantam a disponibilidade da largura de banda do barramento necessária e verifique os requisitos simples de temporização das mensagens de comunicação. Além disso, substituir ECUs danificadas é simples, pois as ECUs são leves e não implementam muitas funções. Contudo, arquiteturas descentralizadas têm limitações (DI NATALE; SANGIOVANNI-VINCENTELLI, 2010).

A abordagem “uma função por ECU” é inviável devido ao rápido e constante aumento de funcionalidades implementadas por software em carros modernos devido a quantidade de módulos, a crescente demanda de comunicação entre os componentes de software, interferência nas comunicações entre ECUs e seus componentes. Há também a questão da complexidade dos chicotes elétricos que geram aumento nos custos e peso, além disso temos a questão do layout físico portanto, restrições mais rígidas na otimização da arquitetura definitiva (REINHARDT; KUCERA, 2013).

As tecnologias de rede empregadas nos automoveis, CAN (*Controller Area Network*), FlexRay, LIN (*Local Interconnect Network*) e MOST (*Media Oriented System Transport*), se mostraram suficientes para a comunicação atual porém, se tornara inadequada devido ao volume esperado de dados e a quantidade de conexões entre as diferentes ECU. Como alternativa a estas tecnologias temos a Ethernet que é vista como a tecnologia de comunicação das futuras redes automotivas a qual suporta grande volume de dados e que será responsável por impulsionar a tendência de uma arquitetura centralizada (MATHEUS; KÖNIGSEDER, 2015).

Atualmente os projetos são alterados com base nos diferentes segmentos de mercado isto resulta na necessidade de um grande número de lançamentos de software, sendo necessária uma arquitetura E/E que suporte esta demanda. Essa solução precisa lidar com um grande número de variantes de veículos resultantes das expectativas do cliente, desde, por exemplo, personalização de funções de conforto, até a dependência de suporte autônomo, por exemplo sistemas automatizados de assistência ao motorista (ADAS). A centralização da arquitetura E/E tem potencial para diminuir o número de versões de software (BANDUR *et al.*, 2021).

Além disso, as soluções arquitetônicas atuais de E/E não eram necessariamente projetado para ser robusto a ataques maliciosos externos. Dado o aumento da conectividade do veículo com o mundo exterior, como recursos de segurança precisam ser garantidos em futuras arquiteturas veiculares (NAVALE *et al.*, 2015).

Os aspectos apresentados acima levaram a indústria automotiva a investigar soluções mais centralizadas para arquiteturas E/E automotivas, como as arquiteturas centralizadas de domínio, centralizadas entre domínios e orientadas por zona. A motivação para a mudança do setor em direção a arquiteturas E/E centralizadas, conforme apresentado nesta seção, pode ser melhor enquadrada por alguns exemplos e resultados fundamentais, apresentados na seção a seguir.

### 3.2 MOTIVAÇÃO

A implementação de uma arquitetura E/E que viabilize a transição do valor do automóvel que antes era guiado pelos seus hardwares mecânicos para o software que o emprega se sustentam em alguns pilares:

- 1) Software e eletrônicos automotivos são responsáveis por cada vez mais custos de P&D de veículos. Espera-se que o valor do software e do hardware eletrônico do veículo exceda o do hardware para se tornar o valor central de um veículo. O custo do software atualmente representa menos de 10% dos custos da BOM (*Bill of Material*) do veículo, que deve aumentar para 50% até 2030 - o software inclui software de desenvolvimento de aplicativos, algoritmos de IA, sistemas operacionais, bem como o software-hardware controladores integrados, chips e outros hardwares eletrônicos (CHEN, 2019).
- 2) O software e a correspondente melhoria no desempenho e nas funções determinarão a diferenciação dos futuros veículos. A manutenção e atualização de software será a maneira mais econômica, conveniente e eficiente para os futuros OEMs fornecerem uma experiência diferenciada e melhorarem a satisfação do cliente. A iteração de software será alcançada com base na redundância de hardware.
- 3) As empresas da cadeia da indústria, incluindo OEMs e fabricantes de peças, fortalecerão sua capacidade de software e embarcarão em reformas internas centradas em "veículos definidos por software" no desenvolvimento de produtos, estrutura organizacional, estrutura de pessoal e sistema operacional. Além disso, as empresas de software emergentes capitalizarão a sinergia software-hardware para satisfazer as necessidades de várias empresas upstream e downstream e se tornarão as novas empresas Tier-1 na cadeia da indústria automotiva.

A arquitetura de hardware e software automotivo atual não se adequa a veículos definidos por software. A arquitetura elétrica e eletrônica demonstrou restrições no poder de computação, desvantagens na eficiência da comunicação e custos descontrolados de cablagem.

A eletrificação e a automação dos veículos foram bastante aprimoradas desde que a ECU foi introduzida pela primeira vez na indústria automotiva. As funções da ECU se expandiram de apenas controlar a operação do motor para controlar o chassi, os componentes eletrônicos, bem como os dispositivos de rede e infoentretenimento no veículo, e agora cada função do veículo é controlada por uma ou mais ECUs.

Como visto nos capítulos anteriores, a arquitetura E/E inicial adota um modelo distribuído onde os sensores, atuadores e os módulos eletrônicos correspondem um a um, garantindo a independência do sistema e a anti-interferência. Porém, com o avanço das tecnologias esta arquitetura não atenderá às demandas de desenvolvimento de veículos inteligentes.

Os principais problemas incluem:

- 1) A arquitetura E/E distribuído não consegue acompanhar o poder de computação cada vez maior. Portanto, uma única ECU pode lidar apenas com tarefas de computação e controle envolvendo uma pequena quantidade de dados, No futuro, o maior desafio para o desenvolvimento de veículos será a crescente demanda por processamento de dados e velocidade de computação, seja de conectividade inteligente ou tecnologias de direção autônoma. Outra falha da arquitetura distribuída é a incapacidade de compartilhar o poder de computação entre os controladores portanto, é difícil otimizar a distribuição do poder de computação resultando em uma grande quantidade de recursos de computação desperdiçados.
- 2) Demanda por maior eficiência de comunicação e maior capacidade de largura de banda. A arquitetura E/E atual é uma arquitetura baseada em sinal, onde o sinal é transmitido entre ECUs através do barramento CAN. O barramento CAN é simples, estável, de baixo custo, anti-interferência e seguro, e uma falha de nó único não se espalhará por toda a rede. No entanto, com mais sensores no veículo e maior demanda do cockpit inteligente para largura de banda e latência de rede, a demanda por transmissão de dados aumentará e a comunicação de dados precisará ser concluída em uma taxa mais alta. Por

exemplo, em um veículo autônomo, diferentes sensores (radar laser, radar, câmera, etc.) precisam completar o processamento e a fusão de informações em tempo real, o que requer maior largura de banda de comunicação e taxa de transmissão. O barramento CAN opera em Mbps, enquanto a nova tecnologia de comunicação, a Ethernet, permite a transmissão de dados do sensor em Gbps (CHEN, 2019).

- 3) Por último, a dificuldade no controle de custos: à medida que as ECUs e os sensores aumentam no veículo, a fiação se torna mais cara e difícil. Para condução autônoma em L3 e acima, mais sensores de hardware serão implantados no veículo. Além de um número crescente de ECUs, o layout e a instalação do chicote elétrico precisarão ser redesenhados. O layout complexo do chicote elétrico levará a um custo de estrutura mecânica mais alto, aumentando assim os custos gerais de BOM do veículo e afetando a eficiência da produção automatizada.

Portanto, independentemente do poder computacional mais forte, maior eficiência de transmissão de sinal ou para redução de peso do veículo e controle de custos, a arquitetura de hardware elétrico e eletrônico automotivo precisa ser alterada do modelo distribuído tradicional para o "centralizado, compacto e escalável". O estudo inicial de Kanajan *et al.* (2006), compara quatro arquiteturas de E/E diferentes, abrangendo o espectro de centralização de controle e I/O.

As quatro arquiteturas consideradas por Kanajan *et al.* (2006), são nomeadas:

- a) CICC (*centralized I/O, centralized control*): I/O centralizada, controle centralizado;
- b) CIDC (*centralized I/O, decentralized control*): I/O centralizada, controle descentralizado;
- c) DIDC (*decentralized I/O, decentralized control*): I/O descentralizada, controle descentralizado;
- d) MDICC (*mixed decentralized I/O, centralized control*): I/O descentralizada mista, controle centralizado.

O MDICC representa mais de perto uma arquitetura E/E tradicional e descentralizada típica. Enquanto que uma arquitetura centralizada se assemelha ao DIDC, mas com todo o controle centralizado em uma única ECU com capacidade adequada. Pode-se dizer com confiança que, na arquitetura DIDC original dos autores, centralizar o controle em uma única ECU poderosa tem os seguintes efeitos em relação aos seus quatro critérios.

- 1) As latências de controle só podem diminuir por dois motivos. A primeira razão é que para ações de controle que requerem coordenação entre ECUs individuais, a coordenação agora ocorre em uma única ECU com latência virtualmente zero em comparação.
- 2) Se todas as ECUs forem consolidadas, o número de mensagens diferentes no barramento CAN que podem disputar acesso ao barramento será reduzido, pois todas essas mensagens agora são emitidas por uma única ECU. Em segundo lugar, o comprimento total do fio é reduzido devido à ausência dos stubs de fio de cada uma das ECUs agora consolidadas.
- 3) Caso as ECUs não se comuniquem, o volume total de dados no barramento permanece inalterado. No entanto, este é um cenário irreal e espera-se que o volume total de dados diminua. Em quarto lugar, a robustez para mudanças de projeto em termos de custos aumenta porque a funcionalidade de controle adicional pode ser adicionada como software a uma ECU central, enquanto a remoção/inserção/relocação de sensores e atuadores não requer mudanças arquitetônicas.

Os resultados dos autores considerando a modificação no DIDC tem-se os seguintes aspectos:

- 1) Os sensores e atuadores conectados diretamente ao seu controlador correspondente, o MDICC apresenta latência superior, tanto no estudo original, quanto em relação à versão modificada do DIDC. No entanto, para sensores e atuadores no barramento, pode-se esperar que a latência de controle diminua no DIDC com controle centralizado.
- 2) A versão original do DIDC dos autores só é inferior ao MDICC em termos de número total de ECUs, mas na versão modificada da arquitetura, com uma única ECU mestre, este não é mais o caso.

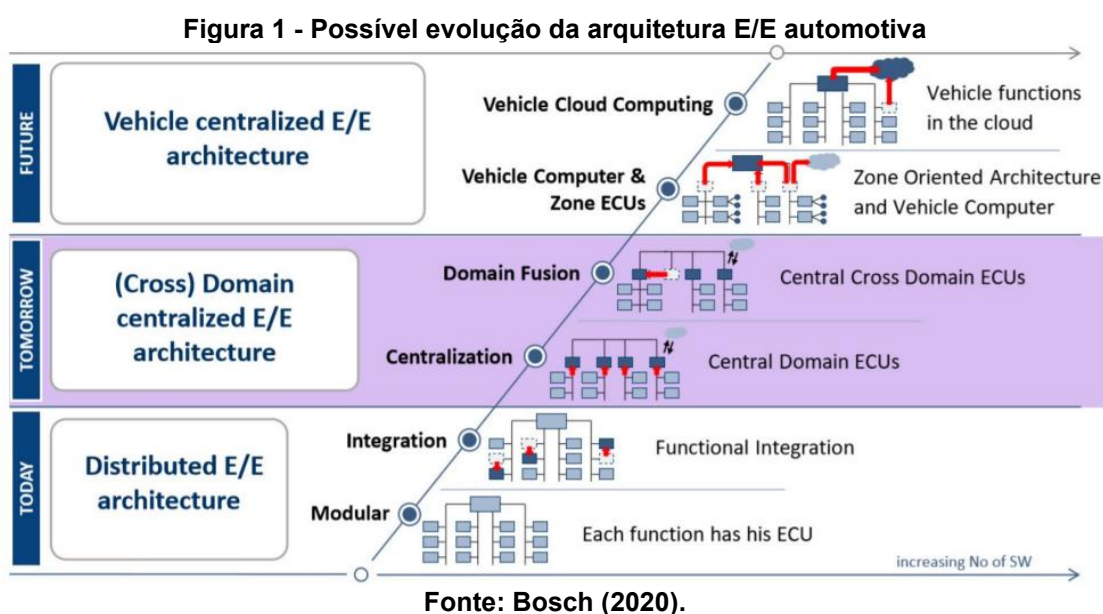
- 3) A arquitetura totalmente distribuída do DIDC no estudo original coloca todos os sinais no barramento CAN e, portanto, usa o barramento mais extensivamente do que o MDICC. Com a centralização completa do controle em uma única ECU, espera-se que a utilização do barramento diminua, uma vez que alguns deles se tornarão internos à ECU central.
- 4) Quarto, no estudo original, o DIDC é superior ao MDICC em termos de flexibilidade arquitetônica. Com todo o controle centralizado em uma única ECU, isso não muda. Como pode ser visto, o estudo de Kanajan *et al.* (2006), pode ser usado para entender como uma arquitetura E/E centralizada pode ser comparada a uma arquitetura descentralizada clássica em várias dimensões importantes. De fato, supondo uma mudança na tecnologia CAN subjacente para o mais moderno CAN FD ou Ethernet automotiva, o último dos quais fornece aumentos de ordem de magnitude na taxa de dados e impactaria positivamente o DIDC no motivo três acima, os resultados dos autores lançam a centralização como extremamente favorável (BANDUR *et al.*, 2021).

O manuseio econômico de grandes linhas de produtos automotivos é um grande motivador para a indústria encontrar novas soluções de arquitetura E/E. Por exemplo, o software para um controlador de motor de uma montadora que suporta três motores diferentes gera 144 versões de software/calibrações em uma arquitetura E/E descentralizada. Em uma arquitetura centralizada e orientada ao domínio, com um controlador poderoso hospedando a maior parte da funcionalidade do controlador e um atuador inteligente significativamente mais simples capturando apenas a variabilidade do hardware o número de versões seria reduzido para 72 para o controlador de domínio e três para o atuador inteligente, para um total combinado de 75. No geral, o número de ECUs afetadas é relativamente alto. Em uma arquitetura descentralizada, os módulos mencionados anteriormente estão normalmente localizados em ECUs separadas. Assim, em vez de exigir as quatro ou cinco versões de software ECU da arquitetura descentralizada, a arquitetura do controlador de domínio exigiria apenas duas versões.

Na indústria automotiva, apenas alguns resultados semelhantes foram publicados. Por exemplo, a Delphi relatou que a centralização dos recursos ADAS no Audi A3 alcançou uma economia de 30% em massa e custo do chicote de fiação (AMEND, 2017), enquanto a Bosch relatou uma redução de 15 a 20% no peso do chicote de fiação ao passar de uma arquitetura centralizada (orientada a domínio) para uma arquitetura mais centralizada (arquitetura orientada a zonas) (BOSCH, 2020).

### 3.3 CONCEITOS BÁSICOS

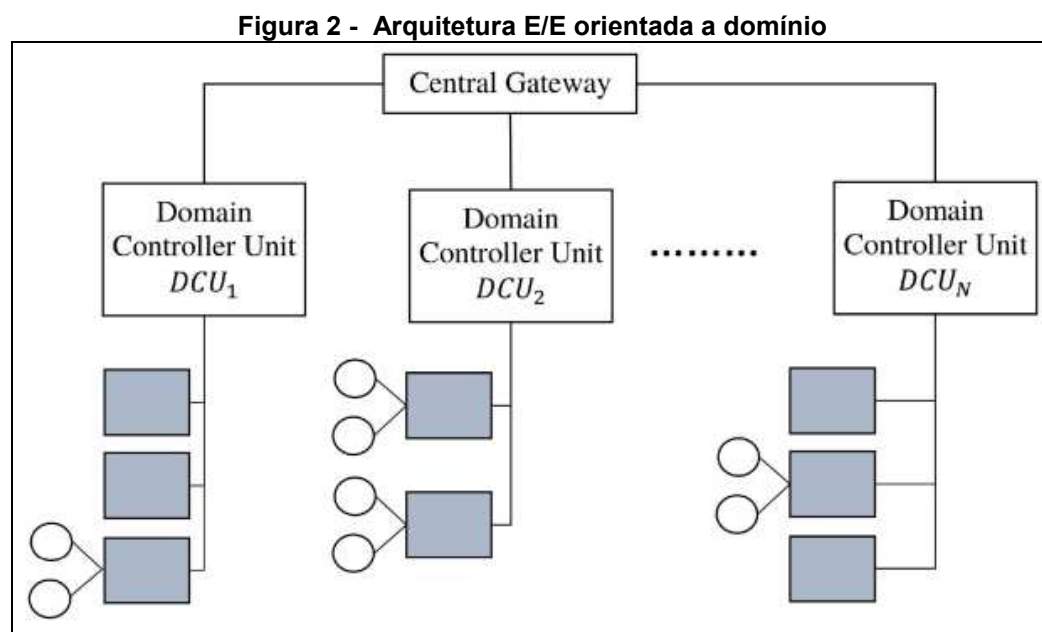
Diversas arquiteturas modernas baseadas na ideia geral de centralização vêm substituindo gradativamente as arquiteturas descentralizadas na tentativa de melhorar a escalabilidade das arquiteturas E/E. A Figura 1 demonstra a história e o futuro previsto das arquiteturas E/E.



As arquiteturas consideradas neste trabalho, arquiteturas centralizadas, incluem arquiteturas orientadas a domínio, orientadas a vários domínios e orientadas por zona. Os OEMs automotivos estão atualmente experimentando os três tipos de arquitetura centralizada descritos acima, domínio, domínio cruzado e orientado por zona, todos baseados na ideia de integrar várias funções relacionadas em uma única e poderosa ECU. Nesta seção apresentamos os conceitos básicos por trás dessas arquiteturas.



Em uma arquitetura orientada a domínio (NAVALE *et al.*, 2015) os componentes de software são agrupados de acordo com o domínio da função do veículo, como mostrado na Figura 2.



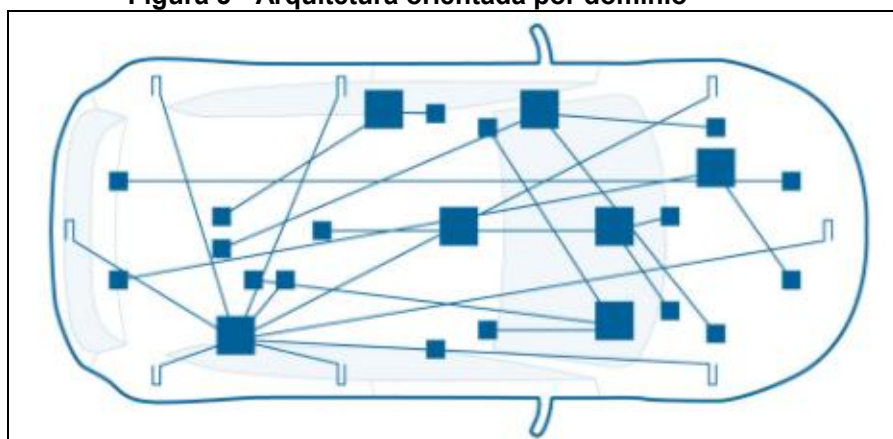
Fonte: Bandur *et al.* (2021).

Embora os domínios veiculares sejam ligeiramente diferentes entre as organizações, quatro domínios principais são comuns na indústria automotiva: carroceria e cabine (conforto e iluminação), entretenimento (monitores, entretenimento e sistemas de informação), movimento e segurança do veículo (chassis, segurança e funções de assistência ao motorista) e Powertrain (propulsão e tratamento de gases de escape) (STOLZ *et al.*, 2010).

Em uma arquitetura orientada a domínio, cada domínio possui um cluster de domínio correspondente, composto por uma unidade de controle por domínio (*Domain Control Unit*, DCU) e zero ou mais ECUs de subdomínio. A DCU controla suas ECUs de subdomínio, que são conectadas somente à DCU. Uma DCU típica possui uma CPU multi-core poderosa e hospeda as principais funcionalidades do domínio, oferecendo um nível de abstração adicional que simplifica a interface entre o domínio e outros domínios. ECUs de subdomínio encapsulam funções de domínio e requerem CPUs menos potentes. Normalmente, juntamente com o hardware do veículo correspondente, eles formam atuadores inteligentes. Diferentes DCUs são interconectadas com uma conexão de alta velocidade. As ECUs de subdomínio são conectadas à sua DCU usando barramentos como por exemplo, CAN, LIN, FlexRay

mas também Ethernet automotiva, se a capacidade for necessária. Embora as arquiteturas orientadas ao domínio resolvam muitos dos problemas das arquiteturas descentralizadas, elas enfrentam dois desafios principais. Em primeiro lugar, certas funções de ponta, como o ADAS, exigem forte interação entre as DCUs aumentando a transmissão de dados. Em segundo lugar, à crescente interação entre as DCUs. A Figura 3 demonstra uma arquitetura orientada por domínio.

**Figura 3 - Arquitetura orientada por domínio**



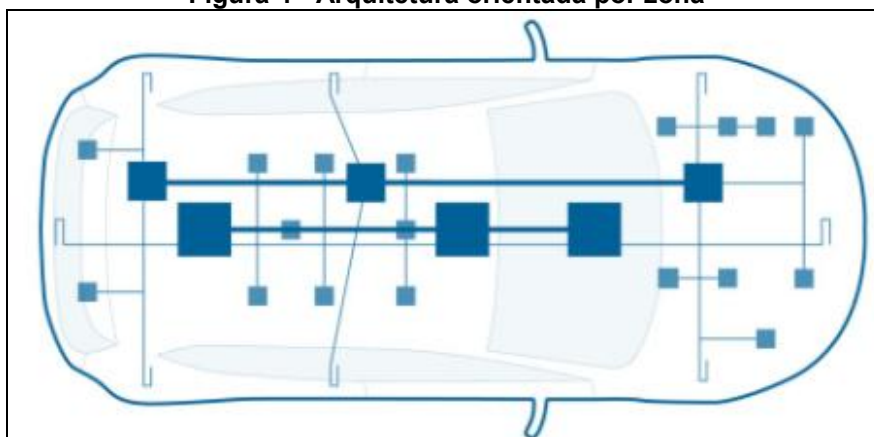
Fonte: Bosch (2020).

As arquiteturas “*cross-domain centralized*” abordam esses problemas. Em arquiteturas centralizadas de domínio cruzado, as funções de mais de um domínio são consolidadas em ECUs únicas chamadas ECU entre domínios cruzados (*cross-domain ECUs*, CDCUs), conforme mostrado na Figura 3. Assim, uma possível representação de uma arquitetura centralizada de domínio cruzado é semelhante a arquitetura na Figura 3, mas com CDCUs substituindo DCUs. Por exemplo, as funções dos domínios do chassi e do trem de força podem ser consolidadas em um único CDCU de controle de movimento do veículo.

Para arquiteturas centralizadas de domínio e de domínio cruzado, o processamento de funções complexas é realizado nas DCUs e nas CDCUs, respectivamente. Assim, como a complexidade das funções aumenta, o mesmo acontece com o processamento local realizado nessas ECUs, larguras de banda muito maiores são necessárias para transferir as informações processadas e cada vez mais complexas entre as ECUs (BURKACKY *et al.*, 2018). Além disso, é necessária mais fiação à medida que as funções individuais dos veículos se tornam mais complexas e mais dependentes de outras funções. Esses problemas podem ser resolvidos em uma arquitetura centralizada ou orientada por zonas (BURKACKY

*et al.*, 2018). Em uma arquitetura orientada por zonas, um carro é dividido em zonas e cada zona tem uma ECU por zona (zone ECU, ZCU), por exemplo, zona “frontal direita” e zona “frontal esquerda”. Semelhante às ECUs de subdomínio em arquiteturas orientadas a domínio, as ZCUs são conectadas a sensores e atuadores. As ZCUs, no entanto, diferem das ECUs de subdomínio, pois não realizam nenhum processamento para realizar uma função veicular. Em vez disso, eles coletam e encaminham informações relevantes para sua respectiva zona para um servidor central mais poderoso que faz o processamento necessário de funções complexas. Nesta arquitetura, o processamento complexo também pode ser descarregado na nuvem para processamento. A Figura 4 demonstra uma arquitetura orientada por zonas.

**Figura 4 - Arquitetura orientada por zona**



Fonte: Bosch (2020).

Essa arquitetura pode diminuir o problema de comprimento da fiação indicado acima. Como mencionado anteriormente, a Bosch relatou obter uma redução de 15 a 20% no peso do chicote elétrico ao usar uma arquitetura orientada a zonas em vez de uma arquitetura orientada a domínio (BOSCH, 2020). Nenhum fornecedor ou OEM informou ainda sobre a adoção de uma arquitetura orientada por zona utilizando processamento em nuvem; esta abordagem só foi discutida teoricamente. Outra grande vantagem da arquitetura orientada por zona é que sensores de alta largura de banda, como sensores visuais ou de profundidade, podem ser conectados diretamente ao servidor central para processamento de dados, eliminando uma consequência custosa para a segurança funcional ao aderir à norma ISO26262. "Centralização de zona (um conceito diferente de domínio)" será um estágio especial e também o primeiro protótipo de computação central de veículos.

Nesta fase, o layout da arquitetura E/E será realmente guiado pelo chicote elétrico (as áreas físicas do veículo). Os OEMs, levando em consideração a modularidade, otimizarão a classificação e integração de funções e aplicarão o software aos controladores da zona central. Finalmente, os recursos de computação do veículo serão concentrados em algumas unidades de computação central para controlar uniformemente os sensores e atuadores.

De acordo com o planejamento das empresas automobilísticas, resumimos e classificamos os caminhos de atualização da arquitetura E/E em três tipos: primeiro, a abordagem de "um passo": ela pula o estágio de centralização de domínio e passa diretamente para a computação central no veículo. Tomando o Tesla como exemplo, o Modelo 3 adota o modelo de controlador de zona + Módulo de Controle Ccentral (CCM). O CCM integra os módulos ADAS e IVI, e as funções de domínio restantes (dirigidas pelos módulos de controle da carroceria do veículo esquerdo e direito) são implantadas pelos locais físicos, o que reduz significativamente o custo do chicote elétrico do veículo. O controlador de zona pode obter computação centralizada, bem como equilíbrio de custo de material do veículo. Segundo, a "abordagem radical": os OEMs não estão satisfeitos com a abordagem de atualização progressiva das empresas Tier-1 - os controladores são implantados de acordo com o esquema ideal dos OEMs, como a Volkswagen. Terceiro, a "abordagem passo a passo": as empresas são relativamente conservadoras e seguem o caminho de atualização das empresas Tier-1.

Seguindo as regras da indústria de TI, o desenvolvimento de software também impulsionará a atualização automotiva da arquitetura E/E. Atualmente, tanto o modelo de desenvolvimento de software distribuído do EEE quanto o de desenvolvimento de software automotivo (as ECUs usam um sistema incorporado, ou seja, hardware e software altamente acoplados, que são principalmente entregues aos OEMs por fornecedores sob o modelo "caixa preta") estão dificultando as funções *Over-the-Air* (OTA), a expansão de aplicativos e o domínio dos OEMs no desenvolvimento de software mais avançado no futuro, especificamente.

Em primeiro lugar, o baixo grau de modularização e plataforma do software automotivo impediu o envio centralizado e a colaboração de recursos de software. As ECUs dos OEMs geralmente são fornecidas por diferentes fornecedores. Na verdade, muitos controladores de software subjacentes são repetitivos e o código garante principalmente a operação normal dos controladores, como transmitir e

receber os sinais do barramento CAN, agendar tarefas e ler e gravar dados Flash. No entanto, o código subjacente não pode ser copiado ou migrado devido às diferentes linguagens de programação de software e padrões de interface dos fornecedores, bem como ao alto grau de dependência do software em relação ao hardware. Portanto, o desenvolvimento de software ECU é altamente repetitivo e os recursos não são utilizados de forma eficiente.

Em segundo lugar, o software e o hardware são altamente aninhados e os OEMs não podem realizar atualizações extensas e detalhadas ou desenvolvimento personalizado. A arquitetura de software distribuído é uma arquitetura orientada a sinais, onde a transferência de informações entre controladores é feita por meio de sinais, mas todo o sistema é fechado e estático, sendo absolutamente definido na fase de compilação. Portanto, quando os OEMs desejam modificar ou aumentar a definição de função de um controlador, cuja instrução invocará a função de outro controlador, eles precisam atualizar todos os controladores necessários, prolongando muito o ciclo de desenvolvimento e aumentando os custos de desenvolvimento. Portanto, o desenvolvimento de software automotivo seguirá as regras de desenvolvimento do setor de TI e introduzirá as tecnologias de middleware e virtualização para alcançar a modularização de software e abstração e padronização de hardware, quebrando ainda mais a relação de acoplamento entre hardware e software para melhorar a flexibilidade e a expansibilidade do EEE.

Middleware é uma tecnologia que empacota software em diferentes níveis de dependência de hardware para atingir a modularização de software e define uma série de interfaces de programação de aplicativos (APIs) padrão para alcançar a estratificação de software. Ele dissocia o software aplicativo de nível superior e o software subjacente, melhorando a capacidade de reutilização e expansão do software e reduzindo a complexidade e os riscos do desenvolvimento do produto. Por exemplo, os desenvolvedores de aplicativos podem se concentrar apenas nas funções específicas do aplicativo, sem considerar as diferenças do software do controlador subjacente. Um impacto mais profundo desencadeado pelo hardware e software automotivo desacoplado é a transformação gradual da atual arquitetura de software baseada em sinal para uma arquitetura orientada a serviços (SOA). A natureza da SOA é que o software dos controladores, independentemente da plataforma de hardware e do sistema operacional em que residem, é compartilhado, fornecendo serviços abstratos, por outros componentes de software.

### 3.4 ADOÇÃO PELA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

Muitos fornecedores de *Tier 1* já lançaram soluções DCU. Estes, por sua vez, já são integrados aos carros e novos desenvolvimentos viabilizam a centralização da E/E.

A implementação do controlador de domínio da Visteon SmartCore, foi lançada com a Mercedes Benz em março de 2018 (Figura 5). O DCU alimenta o painel de instrumentos do veículo e as telas de infoentretenimento por meio de uma Interface Homem Máquina(IHM).

**Figura 5 - Visteon SmartCore implementado na Mercedes Benz Classe-A**



Fonte: Autoria própria.

O controlador de domínio do cockpit SmartCore™ será lançado inicialmente no Mercedes-Benz Classe A e será seguido por linhas de veículos adicionais que entrarão em produção em um futuro próximo<sup>1</sup>.

A Bosch desenvolveu o controlador de domínio do sistema de assistência ao motorista (DASy). Atende aos requisitos de segurança e proteção, ele coleta e mescla várias tecnologias (como radar, vídeo, lidar, ultrassom e algoritmos funcionais altamente complexos) para um modelo de ambiente 360° e calcula algoritmos funcionais altamente complexos para um comportamento seguro e dinâmico do veículo - mesmo em velocidades mais altas. O controlador tem um tamanho pequeno e uma dissipação de potência moderada (BOSCH, 2020).

Além disso, fornecedores Tier 1 como Continental, STMicroelectronics, Bosch têm ofertas de DCUs de powertrain. Por exemplo, a Bosch desenvolveu sua Unidade de Controle de Veículos (VCU) que pode servir como controlador de

---

<sup>1</sup> Página principal da Visteon Corporation. Disponível em: <<https://www.visteon.com/>>. Acesso em: 17 nov. 2021.

domínio do trem de força, como interface de comunicação e pode ser usada em aplicativos ADAS. Até o momento, a Bosch adotou uma arquitetura orientada a vários domínios e uma arquitetura orientada a zonas. Como mencionado anteriormente, a Bosch afirmou que o uso de uma arquitetura orientada a zonas alcançou uma redução de 15 a 20% no peso do chicote elétrico em relação à arquitetura orientada a domínio. A Aptiv possui o *Active Safety Domain Controllers*, integrado pela BMW, bem como o Cockpit (Domain) Control integrado pela Ferrari. Além disso, eles também desenvolveram um controlador centralizado para o Audi A8 que implementa um sistema de direção automatizada nível 3. A Delphi anunciou que a centralização dos recursos do ADAS no Audi A3 alcançou uma economia de 30% em massa e custo do chicote elétrico (AMEND, 2017).

De acordo com um relatório, espera-se que o mercado de DCU cresça rapidamente: a taxa média de crescimento anual esperada do número de DCUs produzidos para cockpit integrado e direção autônoma entre 2019 e 2025 é de 50,7% (WOOD, 2019). A BMW e Audi têm falado sobre centralizar suas arquiteturas E/E para apoiar as tendências atuais e futuras da indústria. A BMW tem clareza que o futuro de sua arquitetura E/E é a centralização (HANSEN, 2017).

No geral, a demanda do cliente, o volume e a diversidade das ofertas do Tier 1 e a experiência da OEM com resultados positivos estão levando as OEMs a adotar novas abordagens para suas arquiteturas E/E de veículos. Isso é necessário e aparentemente inevitável para a produção de veículos com níveis incomparáveis de troca de informações, tanto na escala micro (no veículo) quanto na macro (troca de informações de tráfego regional) (BANDUR *et al.*, 2021)

## 4 CONSIDERAÇÕES PARA VEÍCULOS AUTÔNOMOS

A condução automatizada foi dividida em 6 níveis pela SAE. Diferentes níveis correspondem a diferentes graus de automação do veículo. As funções dos motoristas humanos são gradualmente assumidas pelo sistema automotivo e, portanto, os sistemas precisam de mais recursos de detecção e maior inteligência de tomada de decisão.

Começando pelos chamados sistemas de assistência, que suportam o motorista para as laterais e controle longitudinal do veículo e bem condições de condução definidas. Esses os sistemas de assistência ainda precisam de supervisão do motorista. Os próximos passos funcionais são chamados sistemas parcialmente automatizados, que podem controlar o controle longitudinal e lateral do veículo por um certo tempo, mas ainda precisa da supervisão total do motorista. Após o sistema parcialmente automatizado, o próximo passo é o sistema altamente automatizado, que não precisa da supervisão completa do condutor sob condução bem definida e condições ambientais. A etapa final é o chamado totalmente sistema automatizado, que permite a condução porta-porta sem qualquer supervisão do motorista (FAUSTEN *et al.*, 2015).

O maior impacto da condução automatizada para a arquitetura E/E será o transição de uma arquitetura com falha silenciosa para uma arquitetura de operação de falha. Isso afetará todas as áreas da cadeia funcional e a infraestrutura do veículo, como multiplexação de dados, fornecimento de energia e layout de embalagem do veículo. A partir do nível do sensor, os sensores devem fornecer uma detecção surround de 360° pela combinação de diferentes princípios de sensor para satisfazer os requisitos funcionais e de confiabilidade de cada área. Os princípios de sensor usados são radar, vídeo, lidar e para o campo próximo ultrassônico adicional (ZHU, 2021).

Sensores ou informações adicionais são dados do mapa e a conexão com outros carros (car2car) e com o ambiente (car2x), o que significa que a nuvem automotiva será parte integrante do veículo e da arquitetura E/E. Os conceitos do car2x incluem também funções de alerta de perigo local e assistência ao motorista. Além disso, o monitoramento do motorista será um elemento-chave para as funções de direção automatizada, porque o sistema deve ser capaz de devolver o controle ao motorista capaz, se necessário. Outra parte importante da cadeia funcional são os



elementos de acionamento, que devem ser extremamente confiáveis, ou seja, são necessários sistemas redundantes de direção, frenagem e estabilização. A melhor solução para isso é um conceito de atuação modular que oferece a melhor independência em relação a falhas de modo comuns. A rede de comunicação para atuação pode ser baseada em CAN, Flexray ou Ethernet e está enviando os sinais entre a unidade central de fusão de dados do sensor e os sistemas de atuação como direção e frenagem. Os intervalos de envio típicos estão entre 5 e 20 ms e o volume de dados necessário é de cerca de 1 Mbps. A rede de comunicação deve ser capaz de enviar e receber mensagens nos últimos 200ms após a ignição ser ligada (NOVICKIS *et al.*, 2020).

A rede de comunicação do veículo para dados de sensores deve ser capaz de enviar volumes de dados entre 1 e 100Mbps para cada sensor; a quantidade de dados é muito dependente da pré-computação no próprio sensor. Se nenhum cálculo no sensor estiver disponível, a largura de banda necessária pode chegar a Gbps. Por motivo de redundância será necessária uma rede paralela entre alguns sensores e sistemas de atuação para compensar um problema em uma rede de comunicação. O layout do veículo e a embalagem dos sistemas também é um item importante para a condução automatizada para evitar tanto quanto possível falhas de modo comuns que reduziriam a confiabilidade da condução automatizada. A fiação para energia e comunicação deve ser embalada no veículo de forma que uma única falha não cause problemas na rede de comunicação redundante ou no fornecimento de energia redundante

No processo de melhoria contínua da inteligência autônoma, a melhoria nas capacidades de percepção e tomada de decisão requer o suporte da arquitetura subjacente. O veículo requer arquitetura E/E de grande largura de banda, baixa latência, escalável e flexível. Para resolver os gargalos que foram discutidos anteriormente a indústria automotiva, incluindo OEMs e fornecedores, e a academia devem inovar em plataformas E/E centralizadas.

## 5 SEGURANÇA FUNCIONAL 26262

À medida que as funções do veículo aumentam em complexidade, o potencial de comportamento inseguro devido a falhas nos sistemas E/E aumenta significativamente. Isso obriga os OEMs a desenvolverem seus veículos cada vez mais em conformidade com os padrões de segurança. Atualmente, o padrão de segurança funcional para as arquiteturas E/E automotivas é a ISO 26262. A ISO 26262, publicada pela primeira vez em 2011 e revisada em 2018, fornece orientação sobre a integração da engenharia de segurança com o ciclo de vida de desenvolvimento do produto para alcançar a segurança funcional nos sistemas E/E de veículos rodoviários. O conceito central da norma é um conjunto de quatro Níveis de Integridade de Segurança Automotiva (*Automotive Safety Integrity Level* - ASILs). Estes, em última análise, determinam o rigor com que um determinado componente é desenvolvido. As ASILs são atribuídas aos requisitos de segurança de nível superior (metas de segurança), com base em sua criticidade. As ASILs se propagam através do processo de projeto para requisitos em todos os níveis, até os requisitos de software e hardware relacionados à segurança. ASIL A é atribuído a uma criticidade relativamente baixa funções (por exemplo, display do painel de instrumentos), ASIL D para o mais crítico (por exemplo, freio a fio). Portanto, os requisitos com um ASIL mais alto são implementados de acordo com diretrizes mais rígidas do que aqueles com um ASIL mais baixo. Componentes que interagem e têm o potencial de afetar uns aos outros em caso de mau funcionamento deve ser desenvolvido para o ASIL mais alto encontrado entre eles. Naturalmente, o custo de desenvolvimento de um determinado função aumenta à medida que seu ASIL aumenta.

Para ajudar a reduzir os custos de desenvolvimento, a norma introduz o método de decomposição ASIL, através do qual um requisito com um ASIL específico pode ser decomposto em requisitos independentes com ASILs potencialmente mais baixos. Padrões e regras para a decomposição são prescritos no padrão, juntamente com as condições sob as quais uma determinada decomposição é válida. A decomposição ASIL baseia-se em um conceito que é central para o padrão, o de independência técnica suficiente entre os elementos da arquitetura E/E, incluindo componentes de software. A decomposição ASIL só é válida quando os elementos aos quais os requisitos decompostos são atribuídos são

comprovadamente suficientemente independentes em relação a falhas de causa comum e em cascata.

A abordagem ASIL do padrão é estruturada de forma a criar uma oportunidade para os fornecedores de comoditizar componentes automotivos de alta criticidade. O esquema que suporta este ecossistema é o Elemento de Segurança Fora do Contexto (SEooC) (ISO.Road, 2018). SEooCs são componentes genéricos que são desenvolvidos de acordo com o padrão, mas que são vendidos como componentes comerciais prontos para uso (COTS) por fornecedores automotivos. Os exemplos mais comuns são CPUs. Os SEooCs são desenvolvidos sob certas suposições feitas em seu uso. Quando os OEMs integram esses componentes, eles validam essas suposições no contexto no qual os componentes são integrados.

Existem vários princípios de engenharia de software e técnicas de hardware que são especialmente importantes em um contexto centralizado devido aos requisitos da ISO 26262 (REINHARDT; KUCERA, 2013). Por exemplo, o software projetado em torno do baixo acoplamento entre componentes de software facilita a tarefa de demonstrar a ausência de falhas em cascata, um requisito do padrão para ASILs altos. A proteção da memória é imprescindível para a centralização, onde deve ser demonstrada a ausência de interferência entre componentes de softwarecoexistentes na mesma ECU. A contenção de falhas, a tarefa de isolar componentes de software defeituosos para que outros componentes de software não sejam afetados, é mais difícil em uma arquitetura centralizada onde a memória e os periféricos são compartilhados entre os componentes de software. Técnicas maduras empregadas em arquiteturas tradicionais, como mecanismos de recuperação estática, caminhos de execução paralelos/independentes e software multiversão, todos habilitados por CPUs multi-core, podem ser reutilizadas. O suporte de hardware dedicado para segurança funcional é crucial para a viabilidade da centralização como solução para gargalos de escalabilidade. Todas as ofertas atuais de DCU dos principais fornecedores fornecem isso. O suporte dedicado inclui unidades de proteção de memória, unidades de relatório de falhas, núcleos redundantes e lock-step, verificação e correção de erros no nível de memória e comunicação, mecanismos de interrupção baseados em prioridade, etc. ofertas capazes de oferecer suporte à centralização de domínio, conforme discutimos na seção a seguir (BANDUR *et al.*, 2021)

A ISO 26262 recebeu sua primeira atualização em 2018 (ISO.Road, 2018). Entre as atualizações está a orientação sobre a construção de sistemas operacionais de falha. Até agora, o foco estava na construção de sistemas à prova de falhas. Mas em veículos cada vez mais conscientes da situação e autônomos, é insuficiente que os sistemas simplesmente sejam à prova de falhas. Muitas vezes, um alto nível de funcionalidade é necessário após a falha para levar o sistema a um estado seguro. O padrão também foi atualizado para refletir a crescente dependência da segurança funcional da segurança cibernética.

## 6 TECNOLOGIAS QUE VIABILIZAM A CENTRALIZAÇÃO

Enquanto algumas tecnologias disponíveis podem ser usadas diretamente em arquiteturas centralizadas, outras precisam ser adaptadas para facilitar o desenvolvimento, operação e manutenção. Neste capítulo apresenta-se tecnologias que suportam estas arquiteturas E/E centralizadas. Discutiu-se primeiro os avanços nos módulos eletrônicos necessários para o desenvolvimento de controladores centralizados poderosos, a virtualização, uma tecnologia de software fundamental suportada por hardware que permite a reutilização de software e permite a integração eficaz e segura em soluções de arquitetura E/E centralizadas em seguida as tecnologias de rede e por fim discutimos a assistência do AUTOSAR para arquiteturas E/E modernas.

### 6.1 MÓDULOS ELETRÔNICOS

Centralizar a arquitetura E/E de veículos em torno de controladores de domínio ou zona resulta em menos ECUs em um veículo, mas também aumenta a carga de trabalho do processador de algumas destas, uma vez que essas ECUs agora têm mais funcionalidades implantadas nelas. Assim, a indústria automotiva está migrando para ECUs com CPUs multi-core para aumentar o poder de processamento disponível e permitir a execução de vários programas em paralelo em diferentes núcleos (BECKER *et al.*, 2015).

Os controladores de domínio já em produção aproveitam a tecnologia de microcontroladores existentes, por exemplo, o SmartCore da Visteon mencionado anteriormente é baseado no chip 8155 da Qualcomm, um microprocessador baseado em ARM de oito núcleos de 64 bits. De importância crítica para a segurança funcional é o fato de que CPUs multi-core fornecem um ambiente de execução com potencial para maior liberdade de interferência, uma vez que núcleos fisicamente distintos isolam a execução simultânea de softwares com diferentes níveis de criticidade. Embora a separação não seja tão completa quanto nas arquiteturas tradicionais, onde cada ECU recebe um software.

A adoção de ECUs com processadores *multi-cores* envolve decisões importantes, principalmente sobre migração e estratégias de agendamento. A indústria automotiva está enfrentando esses desafios para obter o máximo benefício da computação paralela em ECUs.

Outra plataforma promissora para o desenvolvimento de controladores de domínio, domínio cruzado e zona é a classe de CPUs de processadores *many-cores*, estes são tipos especiais de processadores multi-core projetados para um alto grau de processamento paralelo, contendo *multi-cores* de processador independentes e mais simples. O número de núcleos em CPUs de *many-cores* é grande, dezenas a milhares, e as CPUs são otimizadas para processamento paralelo. Os núcleos são normalmente conectados por meio de um Network-on-Chip (NoC) que fornece soluções mais escaláveis do que as configurações tradicionais baseadas em barramento ou anel de sistemas *multi-cores* (BENINI, 2002). CPUs de *many-cores* oferecem várias vantagens sobre CPUs de *multi-cores* (BECKER *et al.*, 2015) em particular, eles são excepcionalmente adequados para aplicações computacionalmente intensas.

Os controladores de domínio exigem poder de processamento significativo, aceleradores de hardware, aceleradores para aplicativos de inteligência artificial, aceleradores de criptografia e aceleradores de álgebra linear.

Em geral, os fornecedores de hardware fornecem recursos de segurança com implementações de hardware rápidas dedicadas de operações criptográficas, armazenamento seguro de chaves, gateways de comunicação seguros, autenticação de mensagens de barramento de rede e detecção de intrusão. Todas essas funções podem ser executadas em software, mas a aceleração de hardware atinge uma velocidade de ordem de magnitude. Os aceleradores de hardware geralmente utilizam unidades de processamento gráfico (GPUs), processadores de sinal digital (DSPs) e Field Programmable Gate Arrays (FPGAs).

O controlador de domínio do cockpit mencionado acima, Visteon SmartCore, implementado em um único sistema em um chip (SoC), apresenta a GPU Qualcomm Adreno e o Qualcomm Hexagon DSP para computação gráfica. As GPUs também são usadas em soluções ADAS existentes para várias aplicações (OLMEDO; CAPODIECI; CAVICCHIOLI, 2018).

## 6.2 VIRTUALIZAÇÃO

A virtualização é uma tecnologia de software que tem a capacidade de disponibilizar uma versão virtual ou simulada de componentes reais da computação. Um sistema virtualizado consiste em uma camada de máquinas virtuais (VMs, software), seguida por um monitor de máquina virtual (VMM, também software), rodando em um host de máquina física (hardware). O software executado pode ser um único programa ou um sistema operacional completo executando tarefas da maneira usual. O VMM é uma camada de software intermediária que particiona recursos de processamento, memória e comunicação entre VMs, e que agenda e migra VMs em execução concorrente para diferentes recursos (HERKERSDORF *et al.*, 2012).

Os VMMs relevantes para aplicativos automotivos incorporados são conhecidos como hipervisores ou monitor de máquina virtual. Eles são executados diretamente no processador da ECU e podem ser considerados como sistemas operacionais para VMs, onde as tarefas são as próprias VMs.

A coexistência de diferentes sistemas operacionais, bem como diferentes versões do mesmo sistema operacional, sem o uso de um mecanismo de isolamento dedicado é historicamente um problema difícil de gerenciar, devido à interferência de recursos. Isolar aplicativos que exigem sistemas operacionais diferentes ou versões de sistemas operacionais dentro de VMs elimina completamente esse problema. Como a virtualização facilita a migração de software legado, software heterogêneo pode ser consolidado, enquanto o isolamento dentro de VMs elimina preocupações em torno da coexistência de diferentes versões de software e sistemas operacionais.

O sistema operacional mais adequado pode ser usado em cada VM, enquanto o VMM fornece a liberdade necessária de interferência entre as VMs. Por exemplo, o SmartCore DCU da Visteon, que implementa um cockpit digital integrado usa um hipervisor para integrar o domínio de infoentretenimento não ASIL executado no Linux com o domínio do cluster de instrumentos ASIL B.

Finalmente, a virtualização é versátil o suficiente para facilitar a construção de arquiteturas flexíveis e escaláveis nas quais a movimentação de componentes de software entre ECUs é viável. As tecnologias de virtualização têm várias limitações (NAVET; DELORD; BAUMEISTER, 2010). Primeiro, o desempenho em tempo real não é previsível em geral, pois a virtualização pode resultar em agendamento em

dois níveis, no hipervisor e no nível da VM. Uma maneira de resolver essa limitação é pela alocação estática de VMs para núcleos. Em segundo lugar, as VMs utilizam recursos de memória consideráveis. Terceiro, a virtualização de periféricos é um problema complexo que requer investigação adicional. Quarto, os hipervisores devem ser mantidos pequenos para serem seguros, protegidos e livres de bugs, para que possam ser desenvolvidos com o mais alto nível de integridade de segurança quando usados como SEOCs. Finalmente, no passado, havia suporte de hardware limitado para virtualização em ECUs.

No entanto, essa situação está melhorando atualmente com a introdução do suporte à virtualização de hardware em CPUs automotivas. Para a indústria a virtualização fornece uma solução pronta para um problema difícil enfrentado por todos os fabricantes automotivos e para a academia oferece novos métodos para integrar as metodologias de desenvolvimento de sistemas automotivos cada vez mais complexos, com os requisitos de normas como a ISO 26262. Em ambos os casos, a virtualização é uma tecnologia capacitadora indispensável.

### 6.3 REDE

Tradicionalmente, os barramentos CAN têm sido usados como padrão para conectividade em veículos. Os barramentos CAN são barramentos seriais usados para interconectar ECUs dentro de um veículo. Com a crescente complexidade das funções veiculares e seu tráfego de dados resultante, as redes CAN estão se tornando menos adequadas para futuras arquiteturas E/E devido ao seu limite de taxa de dados de 1 megabit por segundo (ANDRADE *et al.*, 2018).

CAN FD e Ethernet automotiva podem ser usados para substituir os barramentos CAN em diferentes domínios. Os recursos do CAN FD fornecem a atualização de desempenho necessária para funções avançadas no trem de força, acionamentos híbridos e elétricos, no domínio da carroceria, componentes avançados da carroceria relacionados ao conforto e no domínio do chassi excluindo o subdomínio de assistência ao motorista (NAVALE *et al.*, 2015).

A transição de uma rede existente de CAN para CAN FD pode reduzir significativamente a carga do barramento, permitindo que mais dados sejam transmitidos com atrasos aceitáveis (ANDRADE *et al.*, 2018). No entanto, sendo idêntico ao nível de sinalização para CAN, podemos esperar tipos semelhantes de



limitação em relação ao número máximo de nós e comprimento máximo do cabo. O CAN FD não é versátil o suficiente com o que é exigido em veículos modernos e futuros. Nessas aplicações, a orientação a serviços se torna o paradigma de software dominante.

A integração de serviços pré-definidos, bem como serviços não conhecidos no momento da fabricação do veículo e a integração com infraestrutura de tráfego – exige taxas de dados e versatilidade em termos de separação funcional, reserva de largura de banda, segurança, etc., que o CAN FD não pode fornecer (EICHHORN *et al.*, 2010).

Acima de um certo nível de complexidade, tecnologias de comunicação ainda mais rápidas, confiáveis e versáteis, por exemplo, Ethernet automotiva, serão necessárias para fornecer maior largura de banda para diferentes aplicações automotivas, incluindo o domínio ADAS e o domínio de infoentretenimento. Ethernet automotiva refere-se a esquemas de comunicação baseados em Ethernet usados em veículos e que são completamente diferentes no nível de sinalização da Ethernet original.

A Ethernet automotiva fornece um meio de comunicação leve e econômico que usa cabeamento de par trançado não blindado. A alta taxa de dados apresenta uma vantagem significativa da Ethernet automotiva sobre os barramentos de campo automotivos tradicionais.

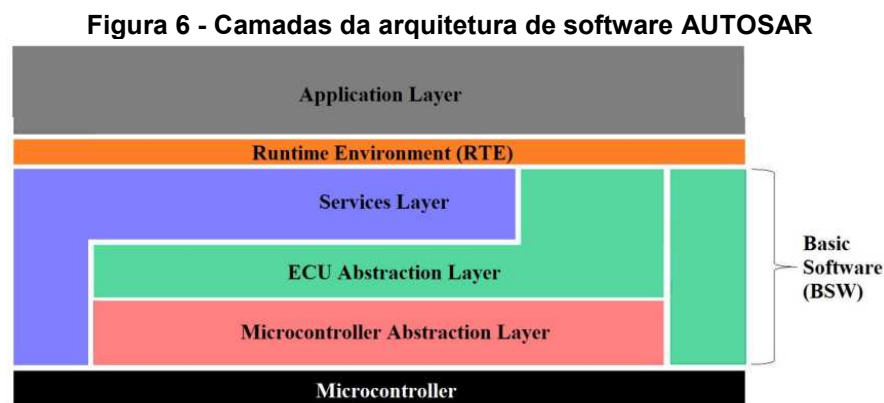
De fato, os especialistas do mercado estão confiantes de que a adoção total da Ethernet automotiva é inevitável devido a uma produção de volume de dados estimada em 4 TB/h em futuros veículos autônomos (BURKACKY *et al.*, 2018).

Também ampliada apropriadamente com extensões em tempo real e de segurança está surgindo como a solução mais adequada para comunicação entre domínios. Com extensões em tempo real, a Ethernet automotiva também é perfeitamente adequada para comunicações intradomínio com atuadores inteligentes, onde as garantias de tempo devem ser atendidas, por exemplo, para controle de motores elétricos e sistemas de detecção SONAR/RADAR/LIDAR. Além disso, pode-se esperar que o veículo seja cada vez mais obrigado a se integrar aos Sistemas de Transporte Inteligentes, uma função na qual os requisitos de comunicação em tempo real se tornarão cada vez mais rigorosos à medida que as regulamentações sobre como o veículo se comunica com seu ambiente se tornam

mais exigentes. Isso colocará uma demanda extra na tecnologia de rede no veículo para dimensionar e atender a essa demanda no futuro.

#### 6.4 AUTOSAR CLASSIC & ADAPTIVE

A centralização da arquitetura E/E requer um suporte adequado ao nível de arquitetura de software. A indústria automotiva vem gradualmente se movendo em direção ao cumprimento de diversos padrões, incluindo o AUTOSAR. A tendência de padronização do AUTOSAR tem várias vantagens, todas alinhadas com os objetivos da centralização E/E, como facilitar a integração de componentes de diferentes fornecedores, reutilização de componentes em diferentes programas e plataformas veiculares e controle de falhas de forma sistemática. *AUTomotive Open System ARchitecture* (AUTOSAR) oferece uma estrutura para o desenvolvimento de sistemas embarcados automotivos. O padrão foi desenvolvido por um consórcio de OEMs, fornecedores e vendedores, com o objetivo de facilitar a portabilidade e composição de software veicular. A arquitetura de software do AUTOSAR define três camadas de software que são executadas em uma ECU, conforme mostrado na Figura 6.



Fonte: Autosar (2015).

Essas camadas são a Camada de Aplicação (*Application Layer*), Ambiente de Tempo de Execução (*Runtime Environment - RTE*) e Software Básico (*Basic Software - BSW*). A camada de aplicação implementa a funcionalidade de uma ECU na forma de componentes de software independentes de hardware, que executam funções veiculares ou funções de sensor/atuador. O RTE é o meio de comunicação da arquitetura, ou seja, os componentes de software se comunicam com outros

componentes de software (na mesma ECU ou em outra ECU) e com os módulos BSW, através do RTE. O RTE é o gateway através do qual o software aplicativo do veículo acessa a funcionalidade da ECU para atingir seus objetivos. Essa funcionalidade é implementada no BSW, em várias camadas de abstração, Figura 6, em serviços utilizáveis pelo software aplicativo.

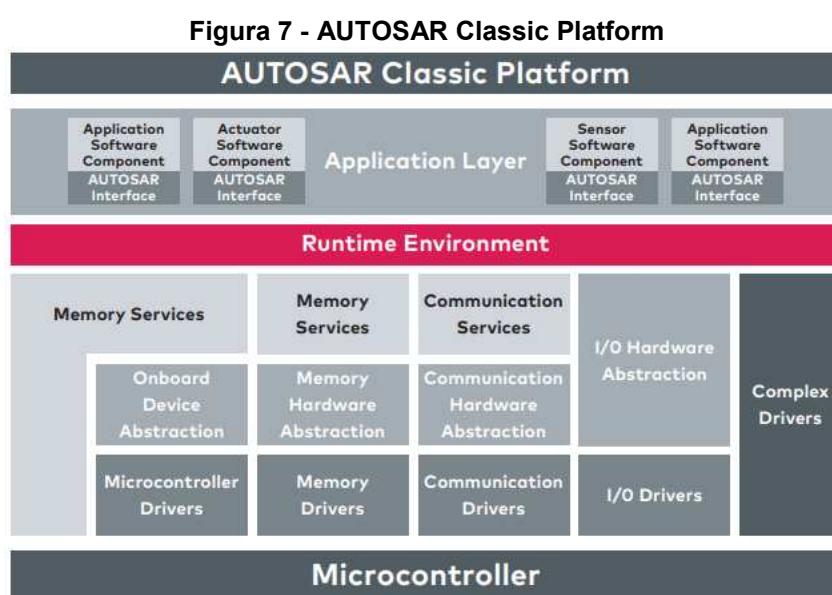
A camada mais alta e abstrata do BSW é a Camada de Serviços, que fornece serviços para os aplicativos, o RTE e os módulos BSW. Esses serviços incluem serviços do sistema que são funções que podem ser usadas por todos os módulos. Na outra extremidade do espectro de abstração está a Camada de Abstração do Microcontrolador (MCAL), a camada mais baixa do BSW. É composto por drivers que acessam diretamente o microcontrolador e os periféricos. Essa camada é específica do hardware.

A arquitetura em camadas do AUTOSAR suporta a centralização separando os componentes de software veiculares da plataforma de hardware, melhorando efetivamente a modularidade e a reutilização do software e, por sua vez, facilitando sua implantação e realocação para diferentes ECUs dentro de uma arquitetura E/E. Portanto, vemos o AUTOSAR como um importante pilar de arquitetura de software para centralização e como uma solução de arquitetura E/E para problemas de escalabilidade que assolam a indústria automotiva.

Em relação à segurança funcional, AUTOSAR define mecanismos que facilitam a detecção e tratamento de falhas para garantir um ambiente de execução livre de interferências para componentes de software em uma ECU compatível com AUTOSAR (AUTOSAR, 2017), o que é necessário para conformidade com a ISO 26262.

A mudança do setor para arquiteturas E/E centralizadas muitas vezes exigirá a migração de aplicativos AUTOSAR sequenciais já verificados para plataformas modernas de *multi-cores*. Esta migração enfrenta vários desafios (WIDLUND; ANNENKOV, 2017). Primeiramente, cada componente de software em AUTOSAR é composto de executáveis, e os executáveis devem ser mapeados para tarefas que, por sua vez, serão alocadas aos núcleos. O mapeamento executável para tarefa e a alocação de tarefas para núcleos precisam ser realizados simultaneamente, para evitar comunicações cruzadas excessivas, mantendo as restrições do sistema. Em segundo lugar, os serviços do sistema na Camada de Serviços do BSW do AUTOSAR (Figura 7), foram projetados para ECUs de núcleo único.

Como mencionado anteriormente, os serviços do sistema são funções auxiliares que podem ser usadas por todos os módulos em todas as camadas AUTOSAR (por exemplo, um sistema operacional). Assim, a migração para ECUs *multi-cores* pode exigir a adaptação desses serviços do sistema para suportar diferentes instâncias do mesmo módulo BSW em execução em diferentes partições. Para enfrentar esses desafios, trabalhos futuros devem definir padrões de projeto paralelos e fornecer diretrizes para mapeamento, agendamento, sincronização e comunicação (BECKER *et al.*, 2015).

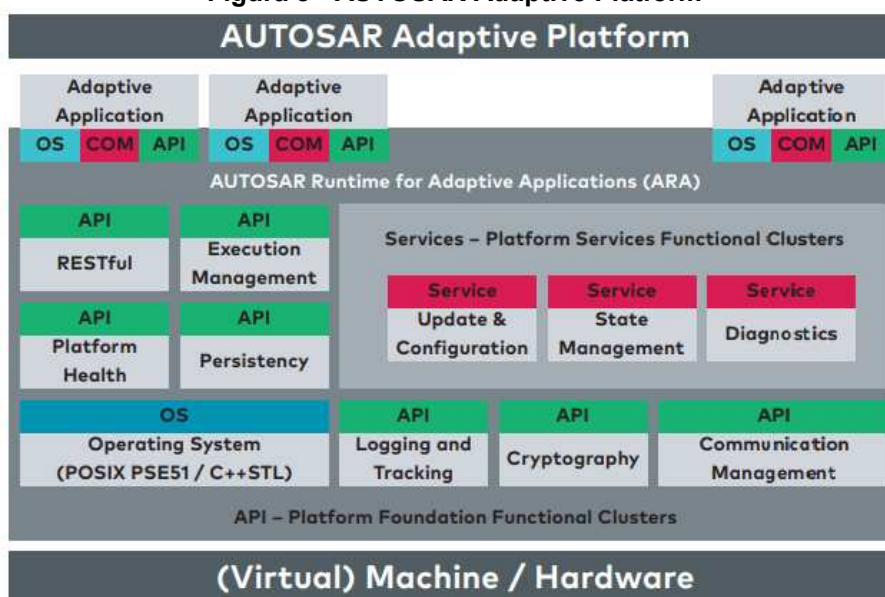


Fonte: Autosar (2015).

Muitos OEMs automotivos se comprometeram a migrar seu software para o AUTOSAR, o que é um grande empreendimento porém, enquanto os OEMs estão fazendo a transição para a versão do AUTOSAR descrita aqui, chamada AUTOSAR “Classic”, o consórcio AUTOSAR está trabalhando em outra plataforma AUTOSAR para atingir precisamente as demandas colocadas nas arquiteturas E/E veiculares pela complexidade e diversidade cada vez maiores de funções do veículo, em particular aplicativos de alta largura de banda, como ADAS e direção altamente automatizada, infotainment, bem como conectividade V2X.

O resultado é o padrão AUTOSAR “Adaptive”, lançado em 2017, efetivamente, o AUTOSAR Adaptive, apresentado na Figura 8, faz uma mudança para uma arquitetura orientada a serviços, onde serviços e clientes são vinculados dinamicamente durante o tempo de execução da ECU.

Figura 8 - AUTOSAR Adaptive Platform



Fonte: Autosar (2015).

O AUTOSAR Adaptive não substitui o AUTOSAR Classic - eles visam diferentes aplicativos e, portanto, se complementam. Enquanto o AUTOSAR Classic visa sistemas críticos de segurança com requisitos rígidos de tempo real e com comunicação de baixa largura de banda, implementado em hardware de poucos recursos, o AUTOSAR Adaptive visa sistemas de alto desempenho e baixa criticidade, com alta largura de banda e *Over-The-Air*.

As duas plataformas são concebidas para coexistir dentro de uma rede veicular, juntamente com plataformas não AUTOSAR e sistemas de back-end, como infraestrutura rodoviária (AUTOSAR, 2017).

Embora se espere que o AUTOSAR Adaptive assuma domínios como direção autônoma/automatizada, conectividade e infoentretenimento, o AUTOSAR Classic continuará sendo a plataforma de escolha para domínios automotivos tradicionais, como trem de força e chassi.

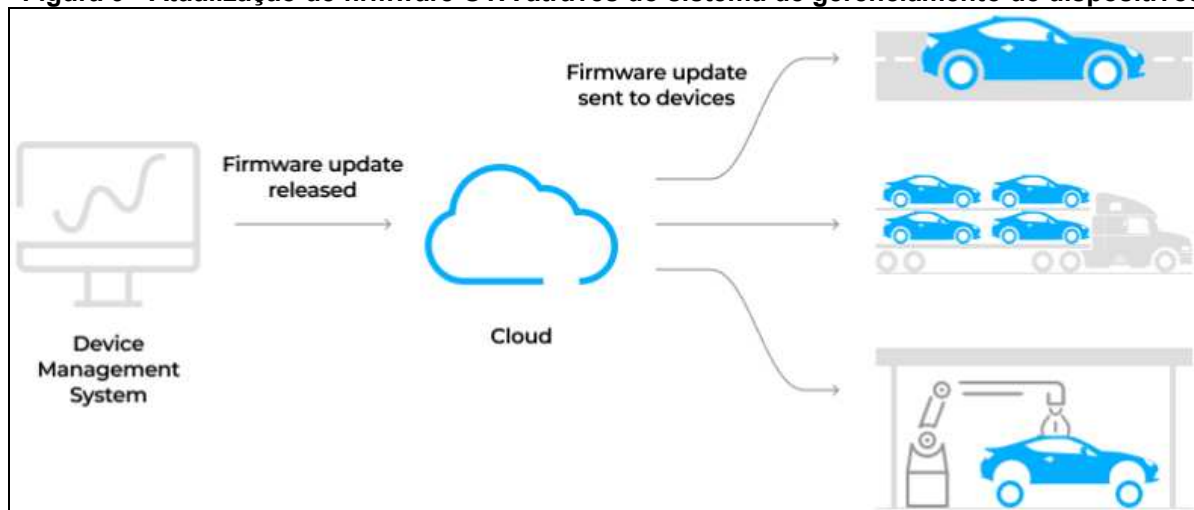
Com a nova tendência de consolidação de funcionalidades em sistemas *multi/many-cores* cruzando os limites do domínio, não é difícil imaginar a coexistência de partições AUTOSAR Classic e partições AUTOSAR Adaptive na mesma plataforma. Algoritmos de escalonamento eficientes, porém seguros, para tais sistemas foram propostos.

## 6.5 OVER THE AIR

Na indústria automotiva, *Over-The-Air* (OTA) refere-se à prática crescente de distribuição de atualizações de software sem fio para veículos após a compra. O sucesso do veículo definido por software depende da OTA para a evolução contínua dos recursos que os consumidores esperam em outros produtos.

As atualizações automotivas OTA, cuja a forma é apresentada na Figura 9, são um facilitador crítico para veículos definidos por software. À medida que recursos mais avançados de segurança, conveniência e experiência do usuário são adicionados a um veículo, mais software reside nas plataformas de computação dentro do veículo. Idealmente, esses aplicativos devem ser atualizados regularmente com aprimoramentos de segurança ou aprimoramentos de recursos. A oportunidade é especialmente clara com recursos de segurança ativa, principalmente quando os OEMs mudam para arquiteturas mais centralizadas. As atualizações do OTA automotivo permitem que os fabricantes tornem os veículos mais seguros à medida que melhoram seus algoritmos, e a centralização ajuda a garantir que isso possa ser feito com segurança e eficiência.

**Figura 9 - Atualização de firmware OTA através do sistema de gerenciamento de dispositivos**



Fonte: Tsiukhai (2021).

A maioria das pessoas já está acostumada a essas atualizações em seus smartphones para aplicativos e sistemas operacionais e as recebe sem fio e automaticamente. Assim como nos smartphones, a tecnologia usada para realizar o download OTA para aplicativos automotivos seria sem fio – provavelmente uma rede

celular 4G LTE ou Wi-Fi – embora outras tecnologias possam ser usadas. Muitos na indústria esperam que o celular 5G surja como a tecnologia sem fio líder para OTA automotivo nos próximos anos.

Para um veículo, a distribuição de atualizações OTA pode evitar que os consumidores precisem visitar uma concessionária para obter essas atualizações, aumentando a satisfação do cliente.

Os OEMs economizam dinheiro porque as atualizações OTA não exigem trabalho manual de um técnico de serviço para executá-las, e o OTA automotivo é adequado para resolver problemas em subsistemas com os problemas mais frequentes e caros. Além disso, enquanto a maioria das campanhas de garantia pode se arrastar por meses as correções de garantia OTA podem atingir uma cobertura quase completa em questão de dias. Quando combinado com ferramentas e processos de diagnóstico de veículos, o OTA automotivo pode reduzir os custos de garantia em até 50% para itens relacionados a software endereçáveis. Da mesma forma, é possível desenvolver insights significativos a partir de dados coletados de veículos, ajudando a identificar problemas mais cedo e levando a uma melhor experiência do cliente e gerenciamento de relacionamento. Esses benefícios aumentam com a centralização de computação e a abstração de software do hardware. Por exemplo, em uma arquitetura E/E centralizada, o OTA ajuda os desenvolvedores a fazer upload de atualizações dinamicamente e ir ao mercado mais rapidamente com recursos mais avançados, reduzindo custos.

As atualizações OTA são recebidas por um *Secure Connected Gateway*. Este dispositivo no veículo baixa as atualizações, as valida e, em seguida, atualiza outros sistemas no veículo em um momento apropriado, quando o veículo pode ser atualizado com segurança.

As atualizações automotivas OTA tornaram-se cada vez mais importantes à medida que a indústria incorpora recursos de infoentretenimento e experiência do usuário mais sofisticados nos veículos. E à medida que as funções de direção automatizada progredem para uma direção totalmente autônoma, a manutenção do software que permite essas funções será fundamental.

Os principais OEMs estão lançando veículos definidos por software com a intenção de fornecer mais recursos posteriormente, usando redes celulares ou Wi-Fi para fornecer atualizações OTA para software e firmware.

Cada vez mais, os recursos residem em sistemas complexos e de segurança crítica, portanto, é imperativo que essas atualizações sejam feitas com segurança e confiabilidade.

Embora o OTA esteja se tornando onipresente, não é um recurso que pode ser apenas parafusado; em vez disso, a arquitetura do veículo deve ser projetada com a OTA em mente. A chave para otimizar para OTA é centralizar o poder de computação em um veículo, de modo que as atualizações só precisem ser baixadas para esse local central, em vez de distribuídas aos sistemas em todo o veículo.

Felizmente, as arquiteturas eletrônicas dos veículos já estão se movendo em direção à centralização. Essa abordagem mantém os custos baixos, pois requer menos recursos de engenharia para verificar quaisquer alterações de software.

Cada atualização OTA terá certos custos associados a ela além da reavaliação, incluindo os custos de upload do software para a nuvem, gerenciamento de nuvem, criptografia, download e uso do tempo de antena. Simplificar ao máximo essas atualizações pode ajudar a manter os custos baixos. Se as atualizações não puderem ser completamente centralizadas, ainda faz sentido designar um mestre para controlar as atualizações de todos os outros componentes do veículo, garantindo que todos sejam atualizados corretamente e compatíveis entre si.

Além da OTA, a centralização de software também traz outros benefícios. Com os aplicativos de software contidos em uma plataforma comum, a realização de testes de interoperabilidade e a aplicação de segurança cibernética para esses aplicativos se torna muito mais fácil. Por todas essas razões e mais, a centralização continua ganhando força na indústria.



## 7 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Soluções individuais para o problema de escalabilidade na indústria automotiva, como aumentar as capacidades das ECUs ou mudar a rede CAN para CAN FD ou Ethernet, requerem suporte adequado no nível de arquitetura E/E. Não é uma solução viável simplesmente atualizar ECUs individuais conforme necessário para lidar com o aumento da carga de processamento, pois o processamento sofisticado eventualmente cria grandes volumes de dados. Da mesma forma, é proibitivo aumentar a capacidade de taxa de transferência de uma arquitetura descentralizada atualizando todas as ECUs com a tecnologia Ethernet automotiva.

A arquitetura centralizada é uma abordagem promissora, pois aborda a escalabilidade em diferentes vetores: é possível incorporar ECUs cada vez mais poderosas e permitir versatilidade nas topologias de implantação de componentes de software, reduzindo o número de variantes de software e facilitando os esforços da engenharia de produto. Além disso, a arquitetura centralizada protege o backbone crítico de comunicação de alta velocidade, minimizando o número de nós presentes nele.

Testemunhamos a centralização de E/E sendo aplicada na indústria. Os fornecedores foram rápidos em dar suporte aos experimentos de centralização. A integração de CPUs automotivas poderosas de *multi-cores* com hardware de ECU personalizado é onipresente no mercado.

Atualmente, as ofertas de DCU incluem suporte de hardware para o elemento crítico de segurança funcional, hipervisores e, normalmente, suporte para recursos avançados de automação, como processamento de dados RADAR e LIDAR, visão e aprendizado de máquina e fusão de sensores. Eles também incluem suporte de hardware para segurança de veículos em relação a ataques cibernéticos.

Como apresentou-se, OEMs e fornecedores têm experimentado essas novas tecnologias, que geralmente têm prazos de entrega muito longos. Isso indica que OEMs e fornecedores acreditam que esses experimentos valem o tempo e os investimentos financeiros.

Como esperado, o infoentretenimento e o ADAS foram as primeiras aplicações de centralização e continuarão sendo pontos quentes para centralização em arquiteturas E/E. A implementação da centralização nesses domínios específicos demonstra a disponibilidade da tecnologia necessária para esses aplicativos (por

exemplo, CPUs multi-core e Ethernet automotiva). No entanto, as ofertas mais recentes de Tier 1 e OEM, e o estado da arte tecnológico, indicam que há massa crítica tecnológica suficiente para tornar a centralização uma solução viável em aplicações automotivas com requisitos rígidos de tempo real, alto desempenho e altos níveis de criticidade de segurança, como os domínios do trem de força e do chassi.

O processo de desenvolvimento da arquitetura E/E envolve encontrar uma alocação satisfatória de funções veiculares em diferentes ECUs e dentro de ECUs, a fim de satisfazer um grande número de restrições e requisitos funcionais e não funcionais, incluindo minimização de custos, uso eficiente de recursos disponíveis, manutenção e escalabilidade.

Para a indústria, mudar para arquiteturas E/E centralizadas é um empreendimento muito grande que vem com desafios genéricos de engenharia de uma arquitetura E/E, mas também cria alguns problemas distintos. Por exemplo, no lado da segurança funcional, como as funções são consolidadas em uma ECU poderosa, uma falha dessa ECU pode ter implicações maiores na segurança funcional. Por sua vez, padrões de arquitetura de segurança eficazes e eficientes são necessários para fornecer um comportamento operacional de falha no caso de tais falhas.

Além disso, enquanto as ECUs de *multi-cores* oferecem maior poder de processamento, como projetar e, especialmente, como reprojetar, software para obter aceleração com mais núcleos ainda é uma questão em aberto na indústria automotiva.

Outro grande desafio da centralização está em adaptar o software automotivo existente e os processos de segurança para alcançar os ganhos esperados da centralização. Por exemplo, no caso de arquiteturas centralizadas em domínio, o teste de integração precisa ser adaptado e realizado em vários níveis de integração, ou seja, teste de integração no nível do cluster de domínio e, em seguida, teste de integração de todos os clusters de domínio.

Além disso, historicamente, diferentes domínios dentro das arquiteturas E/E automotivas alavancaram diferentes ferramentas e métodos de desenvolvimento. Assim, ao integrar funções desses domínios em uma ECU em uma arquitetura centralizada, a harmonização de processos e ferramentas seria um grande esforço para a indústria automotiva.

## 8 CONCLUSÃO

O aumento do número e sofisticação de funções em carros modernos está impulsionando a necessidade de evolução das arquiteturas E/E automotivas. Em particular, o desenvolvimento da tecnologia de direção autônoma desencadeará operações lógicas complexas e cenários de processamento de dados não estruturados. Fica evidente que as arquiteturas E/E automotivas precisam fazer a transição para esse tipo de arquitetura E/E como um próximo passo diante do aumentando da complexidade dos veículos. As tendências atuais da indústria também indicam que este é o futuro das arquiteturas E/E automotivas.

Neste trabalho, relatou-se essas tendências e foram apresentadas as tecnologias que tornam este conceito de arquitetura viável. Foi destacado as implicações da centralização e suas tecnologias facilitadoras na segurança funcional. Além disso, embora este trabalho motive e defenda a centralização na indústria automotiva. O trabalho também destaca os desafios e as lacunas nas tecnologias e padrões facilitadores que ainda precisam ser desenvolvidos.

## REFERÊNCIAS

AMEND, J. M. **Delphi: Industry Must Go Digital or Die**. Copyright© Informa USA, Inc., publicado em: 21 set. 2017. Disponível em: <<https://www.wardsauto.com/technology/delphi-industry-must-go-digital-or-die>>. Acesso em: 04 nov. 2021.

ANDRADE, R. De; et al. **Analytical and Experimental Performance Evaluations of CAN-FD Bus**. In IEEE Access, v. 6, 2018. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8338047>>. Acesso em: 03 nov. 2021.

APTIV. **Evolution of Vehicle Architecture**. The evolution of electronics brings vehicle architecture to a turning poin. Copyright© Aptiv, publicado em: 21 jun. 2018. Disponível em: <<https://www.aptiv.com/en/insights/article/evolution-of-vehicle-architecture>>. Acesso em: 18 nov. 2021.

AUTOSAR. **Layered Software Architecture**. Copyright© AUTOSAR, atualizado em: 03 jul. 2015. Disponível em: <[https://www.autosar.org/fileadmin/user\\_upload/standards/classic/4-3/AUTOSAR\\_EXP\\_LayeredSoftwareArchitecture.pdf](https://www.autosar.org/fileadmin/user_upload/standards/classic/4-3/AUTOSAR_EXP_LayeredSoftwareArchitecture.pdf)>. Acesso em: 07 nov. 2021.

AUTOSAR. **Explanation of Adaptive Platform Design**. Copyright© AUTOSAR, atualizado em: 17 mar. 2017. Disponível em: <[https://www.autosar.org/fileadmin/user\\_upload/standards/adaptive/17-03/AUTOSAR\\_EXP\\_PlatformDesign.pdf](https://www.autosar.org/fileadmin/user_upload/standards/adaptive/17-03/AUTOSAR_EXP_PlatformDesign.pdf)>. Acesso em: 07 nov. 2021.

BANDUR, V.; et al. **Making the Case for Centralized Automotive E/E Architectures**. in IEEE Transactions on Vehicular Technology, v. 70, n. 2, p. 1230-1245, fev. 2021. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/9337216>>. Acesso em: 21 nov. 2021.

BECKER, M.; et al. **Investigation on AUTOSAR-Compliant Solutions for Many-Core Architectures**. 2015 Euromicro Conference on Digital System Design, 2015. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7302256>>. Acesso em: 27 nov. 2021.

BOSCH. **E/E-Architecture in a Connected World**. Copyright© Robert Bosch GmbH, publicado em: 8 dez. 2020. Disponível em: <<https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/mobility-topics/ee-architecture/>>. Acesso em: 11 nov. 2021.

BURKACKY, O.; *et al.* **Rethinking Car Software and Electronics Architecture**. Copyright© McKinsey & Company, publicado em: 14 fev. 2018. Disponível em: <<https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our%20insights/rethinking-car-software-and-electronics-architecture>>. Acesso em: 17 nov. 2021.

CHEN, G. **Semiconductors - The Next Wave**. Opportunities and winning strategies for semiconductor companies. Copyright© Deloitte Asia Pacific Services Limited, publicado em: abr. 2019. Disponível em: <<https://www2.deloitte.com/tw/en/pages/technology-media-and-telecommunications/articles/semiconductor-next-wave.html>>. Acesso em: 09 nov. 2021.

DI NATALE, M.; SANGIOVANNI-VINCENTELLI, A. L. **Moving From Federated to Integrated Architectures in Automotive: The Role of Standards, Methods and Tools**. in Proceedings of the IEEE, v. 98, n. 4, p. 603-620, abr. 2010. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/5440059>>. Acesso em: 11 nov. 2021.

EICHHORN, M.; *et al.* **A SOA-based Middleware Concept for In-vehicle Service Discovery and Device Integration**. 2010 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 2010. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/5547977>>. Acesso em: 18 nov. 2021.

FAUSTEN, M.; *et al.* **Automated driving - Impacts on the vehicle architecture**. 2015 Symposium on VLSI Technology (VLSI Technology), 2015, p. C28-C31. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7223632>>. Acesso em: 09 nov. 2021.

HANSEN, P. **BMW and Audi Want to Separate Vehicle Hardware from Software**. Copyright© Endeavor Business Media, LLC., publicado em: 28 abr. 2017. Disponível em: <<https://www.electronicdesign.com/markets/automotive/article/21804988/bmw-and-audi-want-to-separate-vehicle-hardware-from-software>>. Acesso em: 18 nov. 2021.

HERKERSDORF, A.; *et al.* **Multicore Enablement for Automotive Cyber Physical Systems**. v. 54, n. 6, 2012. Disponível em: <<https://www.degruyter.com/document/doi/10.1524/itit.2012.0690/html>>. Acesso em: 14 nov. 2021.

KANAJAN, S.; *et al.* **Exploring Trade-off's Between Centralized versus Decentralized Automotive Architectures Using a Virtual Integration Environment.** Proceedings of the Design Automation & Test in Europe Conference, 2006, p. 1-6. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1656943>>. Acesso em: 07 nov. 2021.

MATHEUS, K.; KÖNIGSEDER, T. **Automotive Ethernet.** 1. ed. USA: Cambridge Univ. Press, 2015.

NAVALE, V.; *et al.* **(R)evolution of E/E Architectures.** SAE Int. J. Passeng. Cars - Electron. Electr. Syst. 8(2):282-288, 2015. Disponível em: <<https://saemobilus.sae.org/content/2015-01-0196/>>. Acesso em: 11 nov. 2021.

NAVET N.; DELORD, B.; BAUMEISTER, M. **Virtualization in Automotive Embedded Systems: An Outlook.** RTS Embedded Syst. 2010.

NOVICKIS, R.; *et al.* **Functional Architecture for Autonomous Driving and its Implementation.** 17th Biennial Baltic Electronics Conference (BEC), 2020.

OLMEDO, I. S.; CAPODIECI, N.; CAVICCHIOLI, R. **A Perspective on Safety and Real-Time Issues for GPU Accelerated ADAS.** IECON 2018 - 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2018. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8591540>>. Acesso em: 14 nov. 2021.

REINHARDT, D.; KUCERA, M. **Domain Controlled Architecture - A New Approach for Large Scale Software Integrated Automotive Systems.** In Proceedings of the 3rd International Conference on Pervasive Embedded Computing and Communication Systems (PECCS-2013), p. 221-226. Disponível em: <<https://www.scitepress.org/papers/2013/43407/43407.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2021.

RIBEIRO, R. **Quantos Módulos Eletrônicos Existem em um Automóvel de Luxo?** Revista Quatro Rodas, publicado em: 20 abr. 2018. Disponível em: <<https://quatrorodas.abril.com.br/auto-servico/quantos-modulos-eletronicos-existem-em-um-automovel-de-luxo/>>. Acesso em: 07 nov. 2021.

STOLZ, W., *et al.* **Domain Control Units - the Solution for Future E/E Architectures?** SAE Technical, Paper 2010-01-0686, 12 abr. 2010. Disponível em: <<https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2010-01-0686/>>. Acesso em: 30 nov. 2021.

TSIUKHAI, T. **How OTA Technology Helps Update Connected Cars On the Fly**. Copyright© Softeq Development Corp, publicado em: 17 jun. 2021. Disponível em: <<https://www.softeq.com/blog/ota-technology-updating-connected-cars-on-the-go>>. Acesso em: 13 nov. 2021.

ZHU, H.; *et al.* **Requirements-Driven Automotive Electrical/Electronic Architecture: A Survey and Prospective Trends**. In IEEE Access, 2021.

WIDLUND, S.; ANNENKOV, A. **Migrating a Single-core AUTOSAR Application to a Multi-core Platform: Challenges, Strategies and Recommendations**, Chalmers Univ. Technol., Gothenburg, Sweden, 2017. Disponível em: <<https://odr.chalmers.se/bitstream/20.500.12380/250043/1/250043.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2021.

WOOD, L. **Global Automotive Domain Control Unit (DCU) Industry Report 2018-2019 with Focus on the Chinese Market**. Copyright© Cision US Inc., publicado em: 06 mar. 2019. Disponível em: <<https://www.prnewswire.com/news-releases/global-automotive-domain-control-unit-dcu-industry-report-2018-2019-with-focus-on-the-chinese-market-300807740.html>>. Acesso em: 14 nov. 2021