

Tecnologia embarcada e a Indústria 4.0

Embedded technology and Industry 4.0

Recebido: 15/03/2022 | Revisado: 18/03/2022 | Aceito: 20/03/2022 | Publicado: 22/03/2022

Roberto Pereira dos Santos Filho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8913-4640>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: robertofilho875@gmail.com

Isabel Lausanne Fontgalland

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0087-2840>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: isabelfontgalland@gmail.com

Resumo

Este trabalho tem por objetivo explicitar a relação presente entre as tecnologias embarcadas e a indústria 4.0. Explicitando para tanto, novos conceitos e interfaces de relacionamento entre produtos, *lifestyle* e a informação em tempo real. O estudo foca nas dinâmicas de mercado, visando apresentar a indústria 4.0 como a indústria de transformação das tecnologias embarcadas, exemplificando aplicabilidades, conceitos e normatização. A metodologia do estudo foi de caráter bibliográfico e informativo, baseando-se sobretudo em periódicos em evidência como os das plataformas Web Of Science e ResearchGate. Como resultados elucidou-se a conexão entre tecnologia e indústria 4.0 apresentando fluxogramas e resultados em termos de patentes de eficiência convergindo para dois outros conceitos quais sejam sociedade inteligente e Smart Cities.

Palavras-chave: Tecnologias Embarcadas; Indústria 4.0; Mercado.

Abstract

This work aims to explain the present relationship between embedded technologies and Industry 4.0. Explaining that, new concepts and interfaces of relationship between products, *lifestyle* and information in real time. The study focuses on the market dynamics, aiming to present Industry 4.0 as the industry of embedded technologies transformation, exemplifying applicability, concepts, and standardization. The methodology of the study was bibliographic and informative, based mainly on journals in evidence, such as those of the Web Of Science and ResearchGate platforms. As a result, the connection between technology and Industry 4.0 was elucidated, presenting flowcharts and results in terms of efficiency patents converging to two other concepts, namely Smart Society and Smart Cities.

Keywords: Embedded Technologies; Industry 4.0; Market.

1. Introdução

Há mais ou menos 70 anos contados em 2022, o mundo começou a usar programação e computadores de forma mais habitual. Os eletrônicos, portanto, estavam orientados para substituição de recursos analógicos que vieram para ficar de vez e incorporaram a palavra *Smart* na sua extensão. A comunicação via Internet por satélite, as redes neurais, e a internet transformaram a inteligência artificial (IA) e a aprendizagem de máquinas (ML), tornando esse conteúdo obrigatório, e emplacaram o ar da modernidade. **As nuvens e janelas** dão tônica à vida dos jovens da chamada geração *millennial* ou Z e as mudanças no design eletrônico online, garantiu que os produtos fossem consumidos de casa (favorecendo o *e-commerce*) (Fontgalland, 2021). Hoje, as tecnologias fundamentais como a comunicação, smartphones, a potência, e os testes de precisão, tem por base os conteúdos multimídia e abrangem tópicos como *operating system*, e power supply design, de forma simples a toque de tela.

Nas últimas duas décadas, vislumbrou-se um célere desenvolvimento em áreas como: engenharia das (tele) comunicações, e informática, e a internet tornou possível a criação de soluções inteligentes e flexíveis. Desta forma, as IoTs (internet das coisas) foram apresentadas como sinônimo de Intelligent Society of Thinking (IST), onde mais tarde derivou-se o termo Smart Cities (cidades inteligentes). De 1990 para cá, houve uma intensificação em aplicações de sistemas ligados às

atividades industriais e que representam grande parte das soluções de mitigação de retornos de escala, tempo de consumo da sociedade, e as formas de investigações da informação, especialmente nos Estados Unidos, Europa, Japão e Brasil.

As tecnologias chamadas embarcadas vêm dominando as diferentes etapas de produção e nos diferentes segmentos do mercado, estando presente cada vez mais em objetos usuais, bem como no processamento de operações complexas, como monitoramento industrial. A facilidade do controle, em tempo real, de rotinas e processos, fez com que se encurtasse desperdícios, sinônimos de custo da informação e melhorasse a eficiência econômica, aludindo respostas simples e rápidas em termos de performance e resultados. Em 2004, foi implementado o revolucionário sistema de monitorização via GPS (Global Sistema de Posicionamento), devido às situações de emergência e dados operacionais úteis para fins de planejamento e monitorização, melhorou-se o *modus operandi* societário e com isso coube mais itens do tipo **TO DO**¹ com menos tempo empregado em execução. Desta feita, foi desenvolvido o SIM (Sistema Integrado de Monitorização) que teve por definição processar todas as informações e distribuir os dados para os vários centros de controle e gestão de operações, chamado de **BIG DATA**. Em 2009, os objetivos eram apenas de permitir a intervenção em tempo real na fixação de problemas operacionais, e a geração de uma informação para completar base de dados para o planejamento dos governos e grandes empresas, como por exemplo a implementação de indicadores de desempenho utilizados para avaliar o serviço.

As tecnologias embarcadas também criam espaço crítico, levando sistemas inteligentes ao alcance das cidades, continentes e espaços comuns de maneira simplificada e segura. Esse nicho, tem se tornado cada vez mais necessário, conforme vai-se evoluindo necessidades seja de qual natureza for.

2. Metodologia

A metodologia aplicada no desenvolvimento deste artigo foi de cunho bibliográfico e informativo. Por estudo bibliográfico define-se a investigação documental como aquela que é realizada com base na revisão de documentos, manuais, revistas, jornais, teses, dissertações, conclusões de simpósios e seminários e/ou qualquer tipo de publicação considerada como fonte de informação. Gil (2006) aponta cinco indicadores de qualidade são desenvolvidos para a revisão bibliográfica: 1 - operacionalização dos critérios e indicadores, é utilizada a norma ISO 11620: 1998, 2 - indicação dos mais acessados; 3 - reunião das principais métricas e indicadores de desempenho; 4 - confiabilidade dos editores e 5 - Acesso à informação de maneira gratuita e rápida. Portanto, estes foram os critérios aplicados para inclusão ou exclusão de todo o conteúdo encontrado. Neste estudo foram levados em consideração definições e termos aplicados à gestão das tecnologias embarcadas, no sentido de interpretar o juízo de valor às diferentes formas de apresentação deste tema. Para tanto, observou-se que a expressão juízo de valor é obtida através da interpretação da diferença resultante da comparação de duas medidas: **o que é hoje e o que deve ser no futuro**. O recorte temporal feito pela pesquisa vai do ano de 2008 a 2017, e os principais meios de pesquisa utilizados foram motores de busca online, destaque para o Google. No caso das tecnologias embarcadas, os condicionantes e antecedentes fazem referência aos objetivos operacionais dos sistemas de intranet e internet emitidos por organizações do tipo governamentais ou empresas que usam esse condicionante.

3. Resultados e Discussão

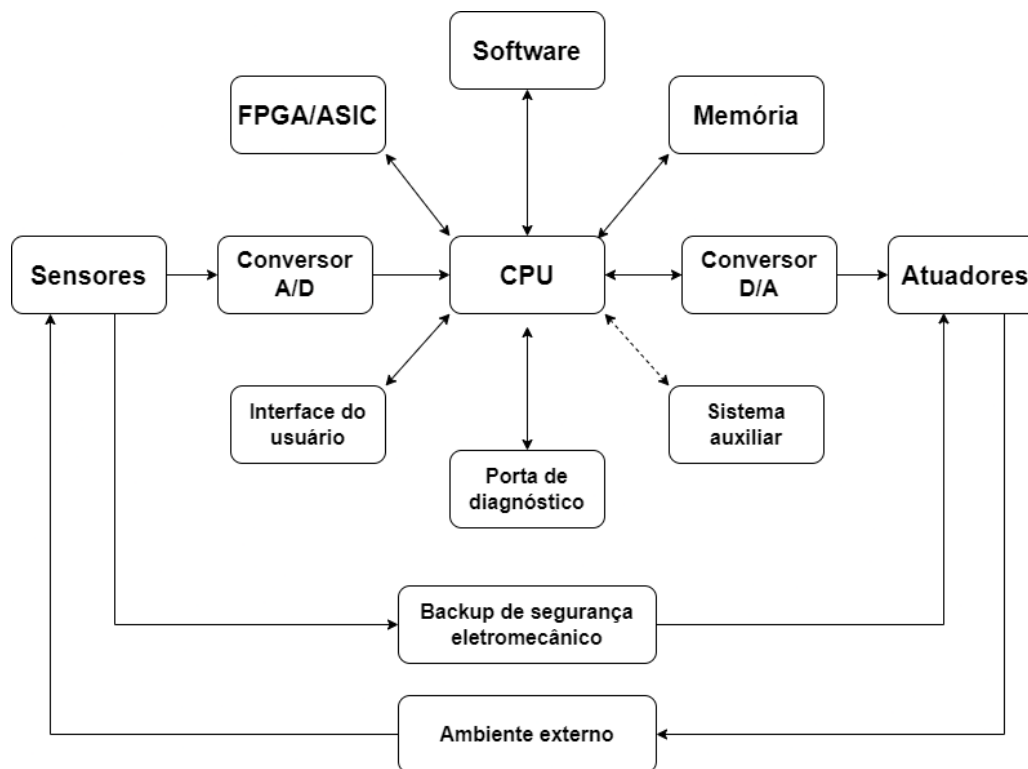
Partindo da definição, as tecnologias embarcadas são sistemas em hardware e software com propósitos específicos, construídos de forma reduzida e que trabalham de modo autônomo (Jung & Osório, 2005). Portanto, uma única tecnologia embarcada não é responsável por todo um sistema, mas um conjunto destes faz parte do conjunto de todo um microsistema, a

¹ Do inglês TO DO = FAZER. Atividades que temos a realizar.

exemplo do trânsito e toda engenharia viária, ou o comando de uma aeronave por terra.

Abaixo, é possível encontrar a Figura 1, a qual apresenta um fluxograma simples dos componentes que formam um sistema embarcado, que de maneira simples, capta informações do exterior, as envia para a CPU, em que um software é responsável por fazer as operações para qual a tecnologia foi projetada, por fim este produto gerado por essas operações é destinado ao próximo passo do sistema a qual está integrado.

Figura 1 - Definição de um sistema embarcado.



Fonte: Tradução própria a partir de Swathi Prabhala (2015).

Nota: A estrutura básica de um sistema embarcado inclui os seguintes componentes: 1 - **Sensor**: O sensor mede e converte a quantidade física para um sinal elétrico, que pode então ser lido por um engenheiro de sistemas embutidos ou qualquer instrumento eletrônico. Um sensor armazena a quantidade medida na memória. 2 - **Conversor A - D**: Um conversor analógico - digital converte o sinal analógico enviado pelo sensor num sinal digital. 3 - **Processador & ASICs**: Os processadores avaliam os dados para medir a saída e armazená-los na memória. 4 - **Conversor D - A**: Um conversor digital para analógico muda os dados digitais alimentados pelo processador para dados analógicos. 5 - **Atuador**: Um atuador compara a saída dada pelo Conversor D - A com a saída real armazenada e armazena a saída aprovada.

Embora a Figura 1 não seja um retrato fiel de todo o funcionamento de um sistema embarcado, é o suficiente para entender superficialmente o processo de interação dessa tecnologia com ela mesma e com o ambiente externo.

Por outro lado, mas com o mesmo segmento tecnológico, a chamada indústria 4.0 vem se consolidando desde 2018 e a constante utilização de tecnologias de informação, em sistemas online (smart systems), é responsável pela vida como se conhece hoje. Os produtos e processos cada vez mais implantam interfaces de comunicação digital, fazendo com que a vida comum prescindia de cada desses recursos como parte da gestão do indivíduo.

Na Figura 2, identifica-se algumas das tecnologias e sistemas que as TEs as quais são utilizadas, como

microcontroladores, rede mundial de internet, rede de comunicações sem fio – como rádio, internet e operadoras de telefonia – comunicação móvel, e toda a tecnologia presente em um display que permite a ele entregar imagens de ótima qualidade, além do “touch screen” (tela sensível ao toque), nos dispositivos USB, permitindo a eles capacidade de armazenamento cada vez maiores, sistemas e organização de arquivos, dispositivos de áudio de ótima qualidade e diferentes tipos de conexão e a biometria como recurso de segurança, tanto em escala pessoal quanto empresarial.

Figura 2 - Tecnologias embarcadas mais usadas nas indústrias 4.0.



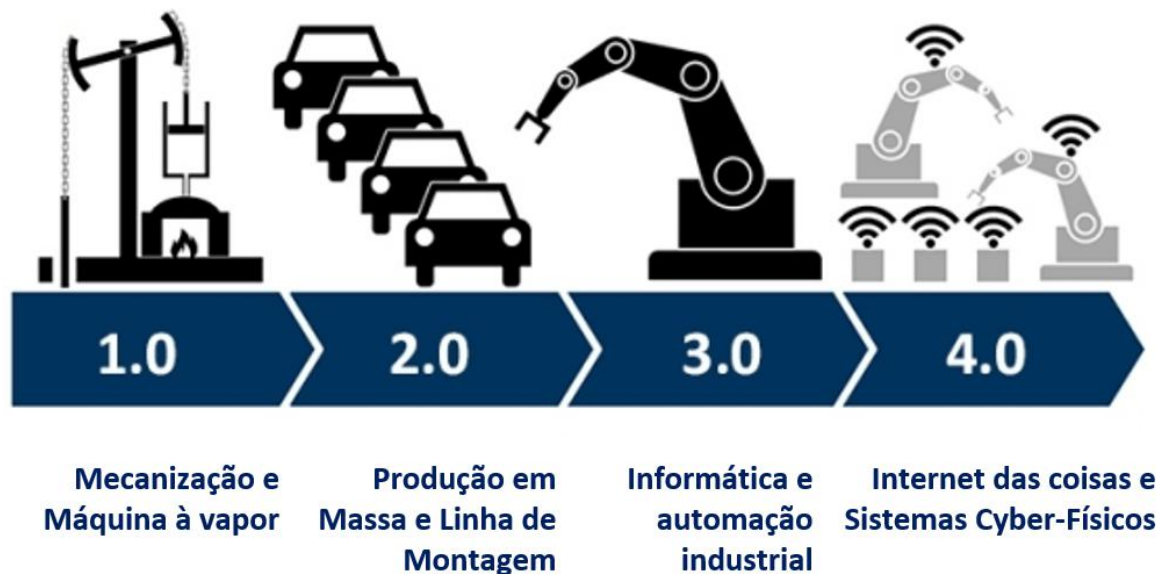
Fonte: Flexis – Sis (2015).

A Figura 2, além de mostrar as aplicações das TEs nessas tecnologias, a fim de melhorar tanto sua utilização quanto seu funcionamento em geral, também reforça a ideia de que, mesmo que não seja facilmente observável, o uso das tecnologias embarcadas é cada vez mais constante.

3.1 Como as tecnologias embarcadas se relacionam com a indústria 4.0?

Todas as revoluções industriais realizadas até hoje foram feitas com o intuito de atender não somente as necessidades da sociedade, mas também medir indicadores econômicos como a demanda e a oferta geradas pelo grande crescimento industrial. Como pode ser observado na Figura 3, iniciando-se na indústria a vapor, no século XVIII, que tinha foco em substituir o trabalho braçal pelo mecanizado com o intuito de aumentar a produtividade, chamada de indústria 1.0. Em seguida, no século XIX com a descoberta da eletricidade, vem a produção em massa e linha de montagem, partindo para a construção dos automóveis, chamada de indústria 2.0. Em terceiro, em meados da década de 1990 veio a automação industrial, que buscava substituir todo o trabalho humano, permitindo às máquinas fazerem todo o processo industrial de maneira totalmente autônoma, chamada de indústria 3.0. E por fim, a indústria 4.0, que agrega ao processo industrial o as tecnologias de informação e comunicação.

Figura 3 - Evolução da indústria



Fonte: Sienge. (2019).

A Figura 3, embora seja de simples visualização, revela a ideia do quanto a sociedade foi capaz de se desenvolver rapidamente depois da ascensão da indústria 1.0, e que no futuro, não tão distante quanto se possa imaginar, pois a cada nova evolução da indústria, a próxima chega mais rápido, a comunidade estará cada vez mais mergulhada na tecnologia em todos os aspectos.

As tecnologias embarcadas trabalham com sistemas com recursos limitados, e são definidos em subconjuntos das instalações das indústrias, principalmente utilizando o conceito Tecnologia de Tempo de Luz (ToF). Os sistemas ToF podem capturar a forma e posição exatas dos objetos em movimento, identificando o seu tamanho, distância e taxa de movimento. Esses subconjuntos têm propriedades altamente desejáveis, incluindo eficiência, previsibilidade, analisabilidade, ausência de impasse, bloqueio limitado, ausência de inversão de prioridade, um programador em tempo real, vinculados ao núcleo em tempo real. O carro-chefe é a aderência e a portabilidade elevando o poder expressivo como as principais vantagens da utilização das instalações padrão da concorrência, resultando potencialmente em consideráveis economias de custos de transação e mitigação de externalidades.

Na Figura 4, podemos observar os três grupos principais que englobam os esforços de produção da indústria 4.0, sendo eles:

Figura 4 - Grupos das tecnologias da indústria 4.0



Fonte: Sienge. (2020).

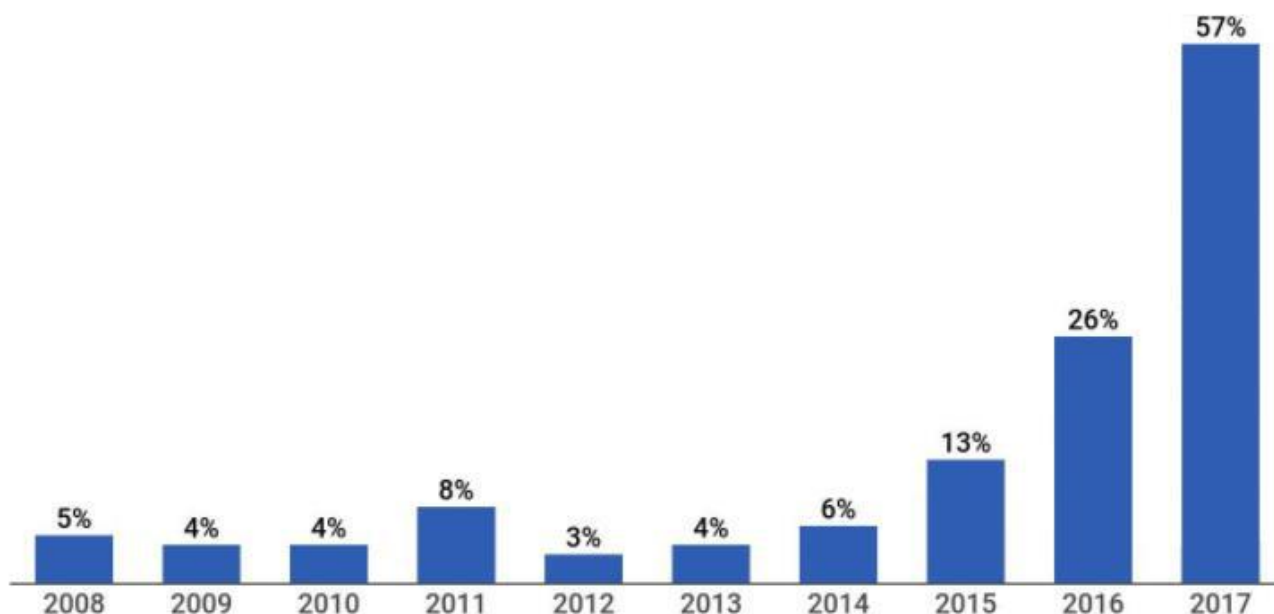
Na imagem, estão presentes os grupos das tecnologias centrais, como computadores, celulares e outros dispositivos relacionados a conectividade e comunicação, das tecnologias que permitem mais avanços na indústria 4.0, como a inteligência artificial, análise de dados e sistemas de energia, e por fim, das tecnologias pessoais do tipo não industrial e servem de controle microeconômico e individual.

De maneira objetiva, as tecnologias embarcadas são responsáveis pela rápida evolução e desenvolvimento da indústria 4.0, que por sua vez é responsável pela construção de novas tecnologias embarcadas. Ao pensar ou desenvolver uma nova tecnologia, é possível também pensar em outros dispositivos e tecnologias menores que auxiliem no pleno funcionamento desta, gerando então um processo de desenvolvimento de todo um sistema que se auto-alimenta, até, enfim, alcançar um resultado de desempenho totalmente otimizado, ou seja um conjunto de avanços disruptivos inter-relacionados, que formam uma constelação de tecnologias interdependentes, isto é, “um cluster de clusters²” (Perez, 2010, p. 189).

Pode-se observar, na Figura 5, o crescimento de depósitos de patentes na indústria 4.0 entre os anos de 2008 a 2017, apenas no cenário brasileiro. Em 2008, o Brasil realizou 1.202 depósitos de patentes de invenções relacionadas às tecnologias da Indústria 4.0, o que representou 5% do total de 23.170 pedidos realizados naquele ano. Uma década depois, em 2017, o Brasil depositou 14.634 patentes relacionadas a essa indústria, o que representa 57% do total de 25.658 pedidos no ano (Bonfanti, 2020). Sendo assim, para a CNI, o país precisa acelerar o processo de implementação de tecnologias da indústria 4.0, indicando um grande interesse ou necessidade da sociedade por novas tecnologias.

² Cluster são aglomerações concentradas geograficamente (empresas e instituições) interligadas num determinado domínio (mesma tecnologia ou setor de atividade). Os clusters englobam uma série de indústrias interligadas e outras entidades importantes para a concorrência. Incluem, por exemplo, fornecedores de inputs especializados tais como componentes, maquinaria e serviços, e fornecedores de infra-estruturas especializadas. Os clusters estendem-se também frequentemente a jusante aos canais e clientes e lateralmente a fabricantes de produtos complementares e a empresas em indústrias relacionadas por competências, tecnologias, ou insumos comuns. Finalmente, muitos clusters incluem instituições governamentais e outras - tais como universidades, agências de normalização, grupos de reflexão, fornecedores de formação profissional, e associações comerciais - que fornecem formação especializada, educação, informação, investigação e apoio técnico (Porter, 1998).

Figura 5 - Proporção de depósitos de patentes da indústria 4.0 na comparação com o total.

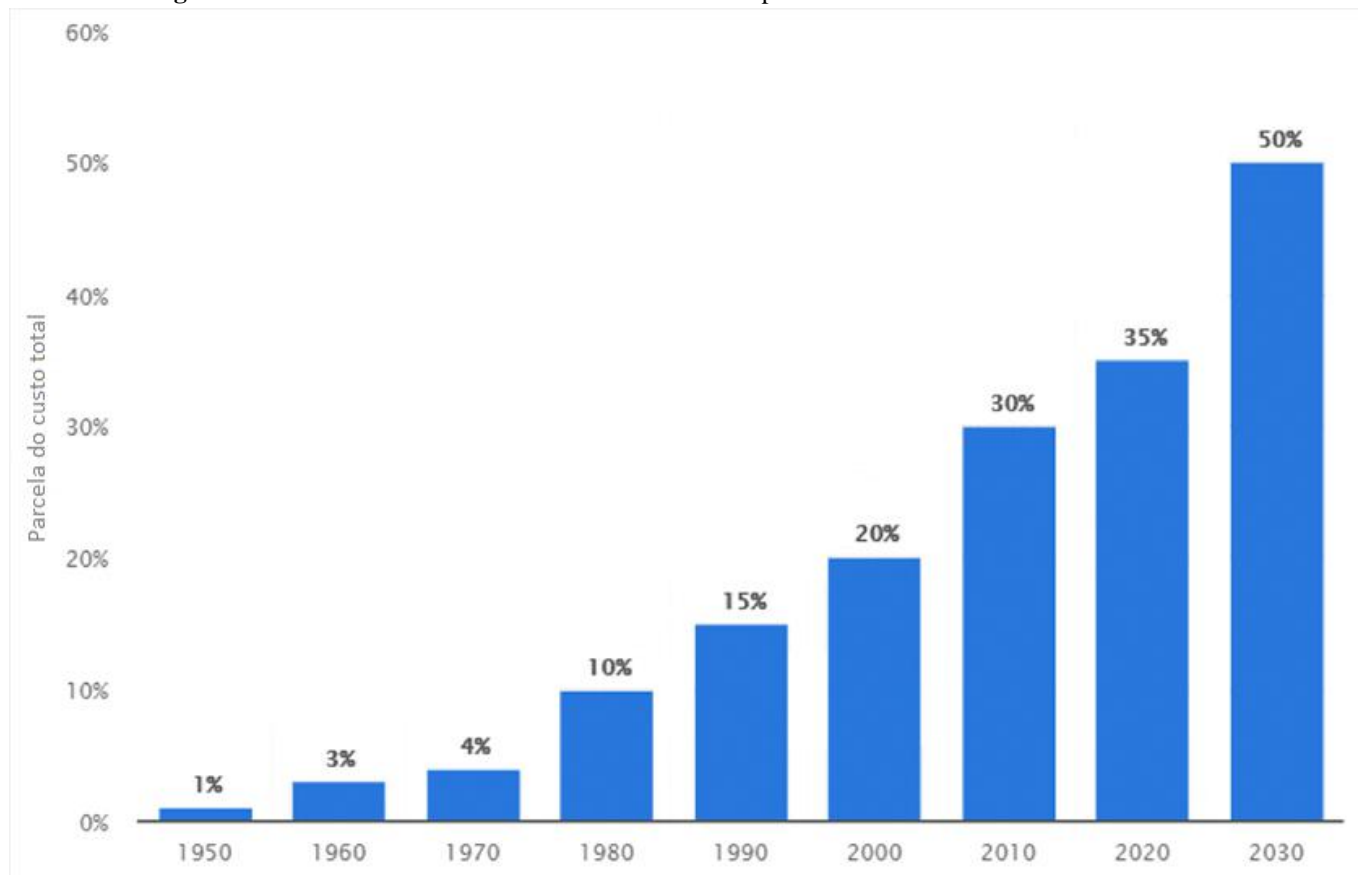


Fonte: CNI. (2020).

Ao todo, foram feitos um total de 35.196 depósitos de patentes pelo Brasil em 10 anos, tendo um aumento significativo nos últimos 3 anos, sendo estes últimos responsáveis por 75% do total depositado pelo país na indústria.

Em seguida, temos a Figura 6, que mostra o crescimento do custo total dos automóveis sendo influenciados pela utilização das tecnologias embarcadas, não só mostrando dados dos anos anteriores, mas também uma projeção até o ano de 2030. Iniciando-se em 1% do preço total em 1950, podendo chegar até 50% em 2030, estando atualmente próximo a 35% do preço completo do automóvel.

Figura 6 - Custos de eletrônicos automotivos como uma parcela do custo total do carro 1950 – 2030.



Fonte: Tradução a partir de Statista. (2022).

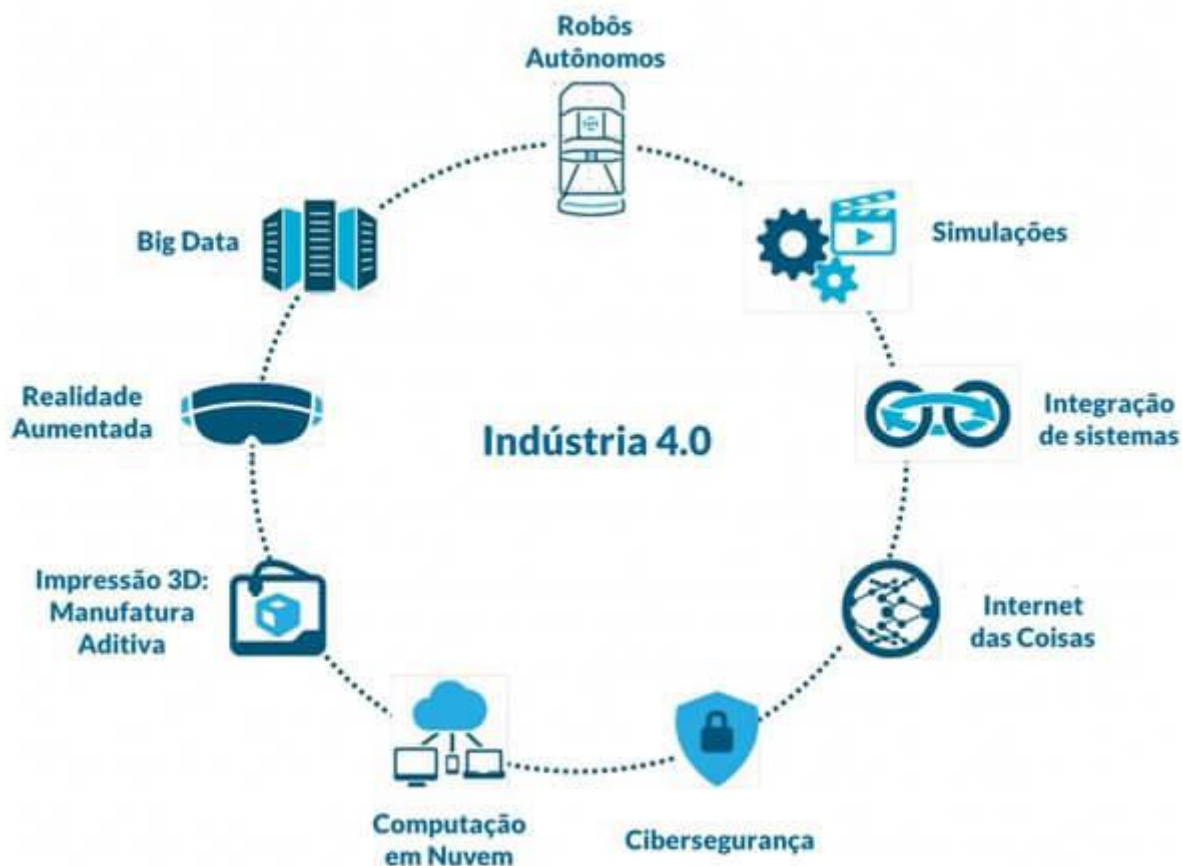
Sendo assim, o preço final para o cliente não indica apenas um acréscimo no custo total da construção do automóvel, mas também uma melhoria na qualidade do produto que ele está adquirindo, pois a subida da curva é justificável, entre outras coisas, pela qualidade e quantidade de implementação das TEs.

A tecnologia embarcada surgiu com o intuito de tornar a utilização de um produto a mais autônoma possível, produtos esses desenvolvidos pela indústria 4.0, como carros inteligentes, que tem o objetivo de auxiliar o motorista o máximo possível durante o trajeto, ou até mesmo dispensar totalmente a necessidade de trabalho humano, os carros elétricos, que tem um combustível mais barato e sustentável, aeronaves cada vez mais completas quanto a implantação tecnológica, aerodinâmica e material utilizado na construção, celulares com cada vez mais funções, câmeras que entregam uma resolução de imagem cada vez maior, e assim por diante.

3.2 Outras aplicações das Tecnologias Embarcadas

Na Figura 7, pode-se observar o universo pelo qual a indústria 4.0 é responsável pela produção.

Figura 7 - Aplicações da indústria.



Fonte: CNI. (2019).

Contudo, mesmo abrangendo todas essas áreas, uma indústria tecnológica não é capaz de se manter em plena capacidade sem que sejam fornecidas informações para ela, então as tecnologias embarcadas são encarregadas de gerar uma parte dessa informação para que seja possível o total funcionamento dessa indústria.

- Câmeras e lasers ópticos que identificam marcações na pista a fim de gerar a rota de tráfego;
- Ultra sons, scanners e radares geoespaciais que auxiliam na detecção de objetos, imperfeições, acidentes na pista, bem como objetos e seres vivos no fundo do mar;
- Bússolas e GPS que permite que o veículo siga uma trajetória predefinida;
- Sensores que auxiliam no funcionamento de uma aeronave e automóveis, a fim de gerar manutenções preditivas e realidades virtuais para treinamento de pilotos e motoristas;
- Sensores que colhem informações permitem a geração de uma peça em realidade virtual para que possa ser estudada ou modificada;
- Novas oportunidades de negócio, pois esta é responsável por gerar ambiente de mesclagem tecnológica para geração de novos softwares ou produtos físicos, capaz de causar uma reorganização nos diferentes segmentos do mercado, por dar oportunidade a entrantes em um tipo de segmento considerado consolidado;
- Câmeras em drones para obtenção de imagens para: auxiliar a construção de obras, permitindo modernização na engenharia civil; auxiliar no desenvolvimento de propagandas e produções midiáticas;
- Controladores que permitem um pouso seguro e controlado ao fim da missão de foguetes lançados para órbita terrestre.

Porém, essas tecnologias não funcionam apenas para geração de informação para um macrosistema individual, mas também gera informações para a chamada Big Data, um banco que contém dados importantes para criação de novos softwares e hardwares em geral.

Por fim, as tecnologias embarcadas são de fundamental importância para o total funcionamento das IoT (Internet of Things), tecnologia que permite a comunicação entre aparelhos digitais, proporcionando uma vida mais eficiente e facilitada quanto ao uso destas pelas pessoas. Isso torna-se de fundamental importância para a implantação de uma Smart City, que é próximo passo da evolução das cidades em todo o mundo de forma a se adequar com os largos passos de desenvolvimento tecnológico e intelectual feitos pela humanidade.

4. Conclusão

Foi possível concluir que as tecnologias embarcadas são cada vez mais comuns, no meio industrial e no uso individual. Responsável por evoluir a sociedade em geral, variando desde auxiliar nas necessidades básicas até a solidificação da indústria 4.0. As tecnologias embarcadas também fomentam um ambiente tecnológico criando ecossistemas digitais capazes de absorver as informações geradas, abrangendo diversas esferas do conhecimento, baseada em dados gigantescos, permitindo um futuro de dinamismo nos diferentes segmentos de mercado e da vida cotidiana das pessoas.

O entendimento da segurança e do design associa os requisitos do ciclo de desenvolvimento econômico e se conecta às transferências de valor em termos de nova arquitetura, concepção, prototipagem, verificação e validação que dependem da interpretação humana.

Por fim, a evolução da sociedade como um todo, devido a chegada configurada no que se tem por Smart Cities, cria ecossistemas eficientes de interação entre humanos, máquinas e meio ambiente, permitindo uma constante evolução causada pela necessidade humana de fazer suas necessidades básicas em relação ao sistema social, como trabalho e estudos, como também seus desejos por entretenimento.

Sugere-se que no futuro seja plausível uma discussão a respeito da ideia de uma Smart City, bem como o processo necessário para que seja possível a implantação desta, além de como isso pode afetar de maneira benéfica ou não a sociedade como um todo.

Referências

- Barbieri Ferreira, M. J. & Neris Junior, C. P. (2022) Uma avaliação dos impactos da Indústria 4.0 sobre o setor aeronáutico. Revista Brasileira de Inovação [em linha]. 2020, 19, e0200019. ISSN 2178-2822 [consult. 04 mar 2022]. Disponível em: [doi:10.20396/rbi.v19i0.8658722](https://doi.org/10.20396/rbi.v19i0.8658722)
- CAR COST (2022) - automotive electronics costs worldwide 2030 | Statista. Statista [em linha]. [sem data] [consult. 14 mar 2022]. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/277931/automotive-electronics-cost-as-a-share-of-total-car-cost-worldwide/>
- Costa, A. H. P. & Macedo, J. M. G. Engenharia de Tráfego – Conceitos Básicos (2008). Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte, Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- Coutinho, L.G. (1992) A terceira revolução industrial e tecnológica. As grandes tendências das mudanças. Economia e Sociedade, Campinas, 1(1), 69-87, ago. 1992.
- Coutinho, L.G.; Ferraz, J.C.; Kupfer, D. & Penna, C. (2018.). Mapa de Clusters Tecnológicos e Tecnologias Relevantes para a Competitividade de Sistemas Produtivos. Documento Interno de Trabalho. Rio de Janeiro, IE-UFRJ; Campinas, IE-Unicamp.
- Chuerubim, M. (2017). Tecnologias embarcadas em veículos autônomos e sua utilização na Engenharia de Tráfego e Transporte. 10.13140/RG.2.2.27984.51208.
- Desoutter tools. (2022) Revolução Industrial - Da Indústria 1.0 à Indústria 4.0. Desoutter Industrial Tools (2022)- Ferramentas Pneumáticas Industriais para a Indústria Aeronáutica e Automotiva [em linha]. 6 maio 2018 [consult. 14 mar 2022]. Disponível em: <https://www.desouttertools.com.br/industria-4-0/noticias/507/revolucao-industrial-da-industria-1-0-a-industria-4-0>
- Embedded Systems. Electronics P.S [em linha]. [sem data] [consult. 14 mar 2022]. Disponível em: <https://swathiprabhala.blogspot.com/2019/02/embedded-systems.html>

- Ezequiel de Melo, T. & Fontgalland, I. L. (2022) Inovação de Soluções através de um modelo de Startup: o estudo de caso da empresa Escape Room RA. *e-Acadêmica* [em linha]. 2021, 8 [consult. 8 mar 2022]. Disponível em: <https://eacademica.org/eacademica/article/view/64/67>
- Fontgalland, I. L. (2022) a nova teoria do consumidor: uma análise acerca da abordagem da influência, da motivação e do status. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, 7, 220-246, 2021.
- Gil, A. C. (2006) Como elaborar projetos de pesquisas, Atlas, São Paulo.
- Loral, C.A. (2017). Cluster Tecnológico: Tecnologias de Redes. Documento Interno de Trabalho, Projeto Indústria 2027 (2017). Rio de Janeiro, IE-UFRJ; Campinas, IE-Unicamp.
- Miozzo, M.; & Soete, L. (2001). Internationalization of services: a technological perspective. *Technological Forecasting and Social Change*. 67, 159-185, 2001.
- Nascimento, R. & Nakandakare, C. A. (2022). Sistemas embarcados: a chave para a inteligência das “coisas”. cpqd.com.br [em linha]. [sem data] [consult. 14 mar 2022]. Disponível em: <https://www.cpqd.com.br/internet-das-coisas-iot-backup/sistemas-embarcados-a-chave-para-a-inteligencia-das-coisas/>
- Nelson, R.R.; & Winter, S.G. (1977) In search of a useful theory of innovation. *Research Policy*, 6(1), 36-76, Jan. 1977.
- Nelson, R.R.; & Winter, S.G. (2006) Uma teoria evolucionária da mudança econômica. Campinas: Editora da Unicamp.
- Nelson, R.R. (1995) Co-evolution of industry structure, technology and supporting institutions, and the making of comparative advantage. *International Journal of the Economics of Business*, 2(2), 171-184.
- Perez, C. (2009). Technological revolutions and techno-economic paradigms. *Cambridge Journal of Economics* [em linha]. 2009, 34(1), 185–202. ISSN 1464-3545 [consult. 04 mar 2022]. Disponível em: [doi:10.1093/cje/bep051](https://doi.org/10.1093/cje/bep051)
- Porter, M.E. (1998) Clusters and the new economics of competition. *Harvard Business Review*, 76(6) 77.
- Rosito Jung, Cláudio et al (2005). Computação Embarcada: Projeto e Implementação de Veículos Autônomos Inteligentes. UNISINOS. Pedidos de patentes da Indústria 4.0 sobem de 5% para 57% do total em 10 anos. Agência de Notícias CNI [em linha]. [sem data] [consult. 04 mar 2022]. Disponível em: <https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/politica-industrial/pedidos-de-patentes-da-industria-40-sobem-de-5-para-57-do-total-em-10-anos-mostra-levantamento-inedito-da-cni/>
- Sienge (2022). Disponível em: <https://www.sienge.com.br/blog/construcao-0/#:~:text=Também%20na%20cadeia%20produtiva%20da,são%20realidade%20em%20alguns%20países.>
- Salgado Neto, A. & Longaray Caldeira N. (2021) Estudo de casob - análise de imagens geradas por vant (drone) para o monitoramento e controle do avanço de obras de infraestrutura. *Ânima*.
- Simon, A., Söhinitz, I, Becker, J., & Schumacher, W. (2000) “Navigation and Control of an Autonomous Vehicle”, 9o IFAC Symposium on Control in Transportation Systems. Braunschweig; 13-15 Junho.