

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

JOSÉ JÚLIO MORAIS MELAZZO

**SMART MANUFACTURING: UMA ANÁLISE DA TECNOLOGIA LIDAR PARA  
QUALIDADE DO PRODUTO NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA**

UBERLÂNDIA - MG

2022

JOSÉ JÚLIO MORAIS MELAZZO

**SMART MANUFACTURING: UMA ANÁLISE DA TECNOLOGIA LIDAR PARA  
QUALIDADE DO PRODUTO NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA**

Trabalho apresentado a Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Campus Santa Mônica, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Brito de Lima

UBERLÂNDIA - MG

2022

Melazzo, José Júlio Morais

Smart Manufacturing: Uma Análise da Tecnologia LIDAR para Qualidade do Produto na Indústria Automotiva / José Júlio Morais Melazzo. – Uberlândia - MG, 2022.

XIV, 44 f.; 29 cm.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Uberlândia, Campus Santa Mônica, Uberlândia - MG, 2022.

Orientador (a): Prof. Dr. Gustavo Brito de Lima.

1. Assunto. 2. Assunto. 3. Assunto. I. Smart Manufacturing: Uma Análise da Tecnologia LIDAR para Qualidade do Produto na Indústria Automotiva. II. Orientador (Lima, Gustavo Brito). III. Universidade Federal de Uberlândia.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

JOSÉ JÚLIO MORAIS MELAZZO

**SMART MANUFACTURING: UMA ANÁLISE DA TECNOLOGIA LIDAR PARA  
QUALIDADE DO PRODUTO NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
como requisito parcial para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Elétrica, pela  
Universidade Federal de Uberlândia.

Aprovado em: 11 de agosto de 2022.

**Banca Examinadora**

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Gustavo Brito de Lima, Universidade Federal de Uberlândia.

\_\_\_\_\_  
(Antônio Costa Neto, Mestre, Universidade Federal de Uberlândia).

\_\_\_\_\_  
(Gabriel Fernandes Cyrino, Mestre, Universidade Federal de Uberlândia).

À minha família e amigos,

## AGRADECIMENTOS

Expresso meus mais sinceros e profundos agradecimentos a todos que me apoiaram durante meu curso de graduação e não menos importante neste Trabalho de Conclusão de Curso. Em especial, aos meus pais Mauro Morais de Oliveira e Rogéria Mendonça Melazzo Oliveira, minha irmã Júlia Morais Melazzo, a meus avós Joana D'arc Mendonça Melazzo e Vitor Rogério Melazzo, aos tios Reginaldo Francisco Bernardes e Roberta Melazzo Bernardes e a prima Sofia Melazzo Bernardes, pelo apoio incondicional durante esses anos, pela confiança e motivação diante os desafios e oportunidades.

Aos amigos de pesquisa e turma, Eduardo Gabriel Palmeira, Gabriel Andrade Queiroz, Isabela de Carvalho Favareto, Leonardo Nery Carrijo dos Santos, Victor Barbosa Gonçalves e Victor Biagiotti Saint-Martin, meus agradecimentos pela parceria e apoio mútuo durante os percalços encontrados. Sem vocês a nossa experiência de graduação não seria a mesma. São amigos de valor, os quais levarei comigo durante minha vida.

Ao Professor Dr. Gustavo Brito de Lima, sob a função de meu orientador, meus sinceros agradecimentos pelo apoio e atenção durante o desenvolvimento deste trabalho. Ao Professor Dr. Carlos Eduardo Tavares, Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, o qual sempre se mostrou disponível, buscando o melhor para o curso e alunos. Aos professores Alexandre Cardoso e Sérgio de Paula Ferreira Silva pela oportunidade e confiança durante minhas pesquisas e iniciações científicas. Por fim, deixo o agradecimento a todos os professores e aqueles que compõem a Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, buscando sempre ser um diferencial no ensino.

Além destes, a todo Grupo Renault e MM Motorsports pela oportunidade de trabalho e aprendizado conjunto com a universidade, desenvolvendo as melhores soluções para nossos carros. Com vocês, tive a melhor experiência que poderia imaginar, trabalhando e me desenvolvendo no setor automobilístico, o qual tenho profunda admiração e paixão.

Por fim e em especial, a minha namorada Maria Carolina Nogueira, ingressante no mesmo ano e na mesma universidade, por dividir comigo todas as vitórias, conquistas, frustrações e desafios durante a nossa graduação.

"É ótimo celebrar o sucesso, mas mais importante ainda é assimilar as lições trazidas pelos erros que cometemos". - Bill Gates

## RESUMO

MELAZZO, J. J. M. **Smart Manufacturing: Uma Análise da Tecnologia LIDAR para Qualidade do Produto na Indústria Automotiva**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022.

O conceito de Indústria 4.0 apareceu pela primeira vez em 2011, em um artigo publicado pelo governo alemão como estratégia de alta tecnologia para 2020. Nos últimos anos, esse termo tem sido amplamente discutido, se referindo a um sistema complexo e flexível, que envolve a digitalização da tecnologia de manufatura, engenharia e automação. Com isso, a indústria busca cada vez mais explorar a ‘*Smart Manufacturing*’, que nada mais é que a adoção de novas tecnologias e teorias de fabricação para ajudar as indústrias a se adaptarem as mudanças e elevar a qualidade do produto. Além disso, após a terceira revolução industrial, a explosão dos algoritmos de autoaprendizagem de Inteligência Artificial (IA) e *Machine Learning* (ML) lançaram uma base sólida para receber uma indústria cada vez mais conectada.

Usando desta base sólida, o objetivo da monografia é, com base no estado atual da literatura, revisar e apresentar o uso de sistemas baseados em autoaprendizagem (Inteligência Artificial/*Machine Learning*) em conjunto com o sensor LIDAR (*Light Detection and Ranging*) dentro dos conceitos propostos na Indústria 4.0 e ‘*Smart Manufacturing*’. Dessa forma, além de base para futuros trabalhos, esta monografia apresenta como oportunidade e desafio, uma nova forma de avaliação da qualidade do produto no processo de fabricação da indústria automotiva.

**Palavras-chave:** Inteligência Artificial. Indústria Automotiva. LIDAR. Manufatura Inteligente.



## ABSTRACT

MELAZZO, J. J. M. **Smart Manufacturing: An Analysis of LIDAR Technology for Product Quality in the Automotive Industry.** Monography (Bachelor in Electrical Engineering) – Faculty of Electrical Engineering, Federal University of Uberlândia, Uberlândia, 2022.

The concept of Industry 4.0 first appeared in 2011, in an article published by the German government as a high-tech strategy for 2020. In recent years, this term has been widely discussed, referring to a complex and flexible system, which involves the digitization of manufacturing, engineering and automation technology. With this, the industry increasingly seeks to explore 'Smart Manufacturing', which is nothing more than the adoption of new technologies and manufacturing theories to help industries adapt to changes and raise product quality. Furthermore, after the third industrial revolution, the explosion of artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) self-learning algorithms laid a solid foundation for an increasingly connected industry.

Using this solid foundation, the objective of the monograph is, based on the current state of the literature, to review and present the use of systems based on self-learning (Artificial Intelligence/Machine Learning) in conjunction with the LIDAR (Light Detection and Ranging) sensor within the concepts proposed in Industry 4.0 and 'Smart Manufacturing'. Thus, in addition to being a basis for future work, this monograph presents as an opportunity and challenge, a new way of evaluating product quality in the manufacturing process of the automotive industry.

**Key-words:** Artificial Intelligence. Automotive Industry. LIDAR. Smart Manufacturing.

## RESUMÉ

MELAZZO, J. J. M. **Smart Manufacturing: Une Analyse De La Technologie LIDAR Pour La Qualité Des Produits Dans L'industrie Automobile.** Monographie (Baccalauréat em Génie Électrique) – Faculté de Génie Électrique, Université Fédéral d'Uberlândia, Uberlândia, 2022.

Le concept d'Industrie 4.0 est apparu pour la première fois en 2011, dans un article publié par le gouvernement allemand en tant que stratégie de haute technologie pour 2020. Ces dernières années, ce terme a été largement débattu, faisant référence à un système complexe et flexible, qui implique la numérisation des technologies de fabrication, d'ingénierie et d'automatisation. Avec cela, l'industrie cherche de plus en plus à explorer la « fabrication intelligente », qui n'est rien de plus que l'adoption de nouvelles technologies et théories de fabrication pour aider les industries à s'adapter aux changements et à améliorer la qualité des produits. De plus, après la troisième révolution industrielle, l'explosion des algorithmes d'auto-apprentissage de l'intelligence artificielle (IA) et de l'apprentissage automatique (ML) a jeté les bases solides d'une industrie de plus en plus connectée.

Sur cette base solide, l'objectif de la monographie est, en s'appuyant sur l'état actuel de la littérature, de faire le point et de présenter l'utilisation de systèmes basés sur l'auto-apprentissage (Intelligence Artificielle/Apprentissage Automatique) en lien avec le LIDAR (Light Detection and Rangement) capteur dans les concepts proposés dans Industrie 4.0 et 'Smart Manufacturing'. Ainsi, en plus d'être une base pour des travaux futurs, cette monographie présente comme une opportunité et un défi, une nouvelle façon d'évaluer la qualité des produits dans le processus de fabrication de l'industrie automobile.

**Mots-clés:** Intelligence Artificielle. Industrie Automobile. LIDAR. Fabrication Intelligente.

**LISTAS DE FIGURAS**

Figura 1 -	Revoluções Industriais	15
Figura 2 -	Paradigmas da Indústria 4.0	16
Figura 3 -	Tecnologias e Métodos Disruptivos da Indústria 4.0	19
Figura 4 -	Tecnologias da Smart Manufacturing	21
Figura 5 -	Estrutura da Inteligência Artificial	22
Figura 6 -	Método da Inteligência Artificial	23
Figura 7 -	Modelo Representativo do Objeto Escaneado	25
Figura 8 -	Modelo Representativo Renderizado Após Escaneamento do Objeto	26
Figura 9 -	Processo de Estampagem	28
Figura 10 -	Tampa do Porta Malas do Sandero RS	28
Figura 11 -	Estrutura Sandero RS	29
Figura 12 -	Carroceria Completa Sandero RS	30
Figura 13 -	Processo de Pintura	31
Figura 14 -	Carroceria Completa Pintada	32
Figura 15 -	Sandero RS Completo	33
Figura 16 -	Fluxo do Processo de Estamparia	34
Figura 17 -	Sistema de Eixos	35
Figura 18 -	Plano da Tampa do Porta Malas do Sandero RS	36
Figura 19 -	Reta da Tampa do Porta Malas do Sandero RS	36
Figura 20 -	Exemplo de Regiões Hipotéticas de Medição 3D	37
Figura 21 -	<i>Laser Tracker Romer Absolute Arm</i>	38
Figura 22 -	Resultado da Medição com o Sensor LIDAR <i>Romer Absolute Arm</i>	39
Figura 23 -	Alinhamento entre as Laterais e a Tampa do Porta Malas	40

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 -	<i>Strings</i> e Base de Dados dos Trabalhos de Referência.	18
Tabela 2 -	Comparação entre o Método Atual e o Método Proposto	40

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAS	Complexo Ayrton Senna
AI/IA	<i>Artificial Intelligence</i> (Inteligência Artificial)
IoT	<i>Internet of Things</i> (Internet das Coisas)
LIDAR	<i>Light Detection and Ranging</i>
ML	<i>Machine Learning</i> (Aprendizado de Máquina)

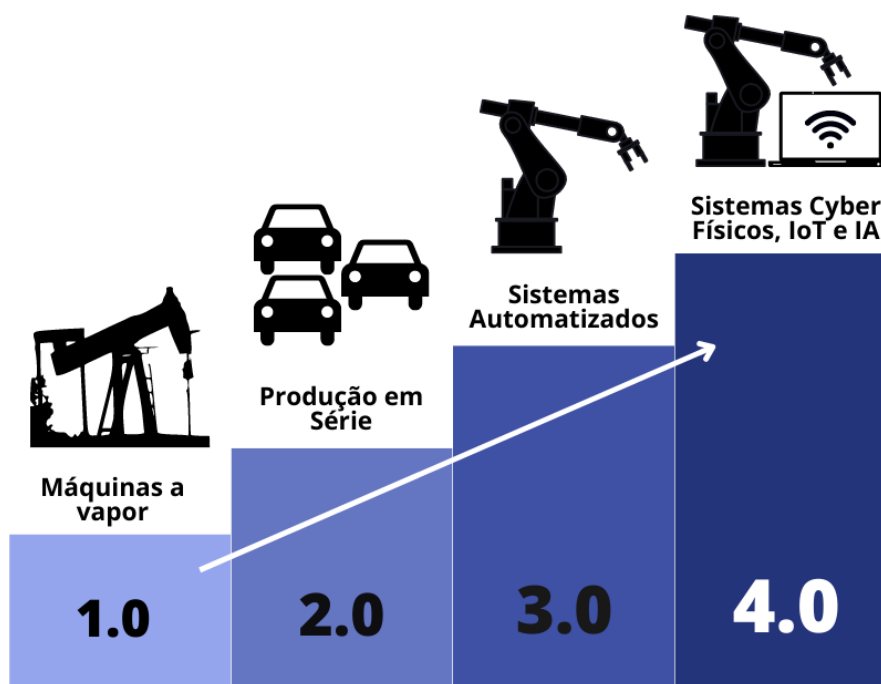
## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	17
2.1 Indústria 4.0 .....	18
2.2 <i>Smart Manufacturing</i> .....	21
2.3 Sistemas Baseados em Autoaprendizagem .....	22
2.3.1 Inteligência Artificial e <i>Machine Learning</i> .....	22
2.4 LIDAR ( <i>Light Detection and Ranging</i> ).....	24
3 DESENVOLVIMENTO .....	26
3.1 Análise da Linha de Produção Renault do Brasil.....	27
3.1.1 Estamparia .....	27
3.1.2 Carroceria .....	29
3.1.3 Pintura.....	31
3.1.4 Montagem .....	33
3.2 Método Atual de Verificação da Qualidade do Produto (Geometria) .....	34
3.3 Método Proposto de Verificação da Qualidade do Produto (Geometria).....	38
4 CONCLUSÕES .....	41
REFERÊNCIAS.....	43

## 1 INTRODUÇÃO

Desde a primeira revolução industrial, a alteração do modo de produção devido as novas tecnologias emergentes de cada período foi o principal fator para essa mudança (Liao *et al.*, 2017). Representadas pela Figura 1, a primeira revolução foi promovida pelo uso do motor a vapor; na segunda revolução teve o início da produção em série; e na terceira, a chegada da tecnologia da informação atrelada à eletrônica (Liao *et al.*, 2017). Atualmente teve-se a popularização da Internet das Coisas (IoT), dos sistemas *Cyber Físicos* e autoaprendizagem. Esta é considerada a quarta revolução industrial ou Indústria 4.0, a qual traz uma grande variedade de tecnologias digitais (Lu, 2017) incluindo materiais avançados (Schumacher *et al.*, 2016) e novos processos de fabricação (Wagner *et al.*, 2017).

**Figura 1 – Revoluções Industriais**



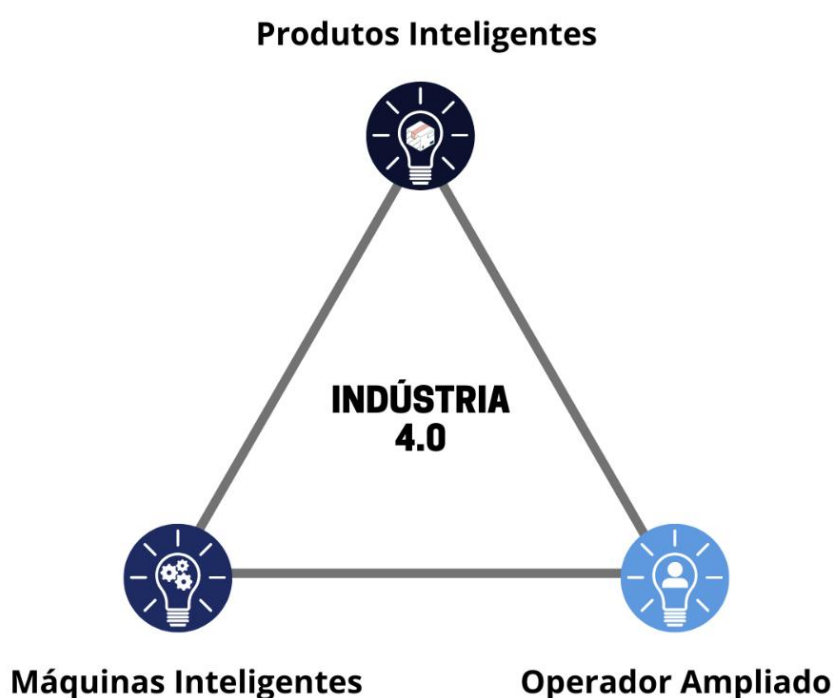
Fonte: Próprio autor.

A Indústria 4.0 é um conceito emergente derivado do avanço tecnológico e dos desenvolvimentos no setor industrial mundial nos últimos anos (Dallasega *et al.*, 2017). Ela define uma metodologia que aplica tecnologias para revolucionar a fabricação atual, passando da fabricação majoritariamente de máquinas para a fabricação

digital (Oztemel e Gursev, 2018). Este conceito também se refere em adquirir, compartilhar, usar e organizar dados para que o produto seja entregue mais rápido, mais barato, mais eficaz e sustentável (Piccarozzi *et al.*, 2018).

Subdividida por três paradigmas, tem-se: produtos inteligentes, o qual se refere aos objetos e máquinas equipadas com sensoriamento remoto através de softwares conectados na rede/internet (Lu, 2017); máquina inteligente, referindo-se aos dispositivos equipados com tecnologias de autoaprendizagem e/ou computação cognitiva (Pereira e Romero, 2017); e o operador ampliado, o qual o conceito enfatiza o suporte tecnológico ao trabalhador no sistema de produção (Weyer *et al.*, 2015), conforme Figura 2 abaixo.

**Figura 2 – Paradigmas da Indústria 4.0**



Fonte: Próprio autor.

Usando de base os três paradigmas, podemos trazer como união destes, o sensor óptico analógico LIDAR (*Light Detection and Ranging*), o qual consegue escanear uma determinada superfície com um alto nível de resolução espacial (Warren,



2019). Com isso, é possível utilizar deste recurso para aprimorar ainda mais os paradigmas-base da Indústria 4.0, voltando esforços para os produtos da indústria automotiva.

Neste trabalho, os esforços serão concentrados em obter uma forma de trabalhar com os princípios da Indústria 4.0 e do *Smart Manufacturing*, utilizando o sensoriamento remoto LIDAR em conjunto aos sistemas de autoaprendizagem. Portanto, propôs-se utilizar como um estudo de caso, o produto de estamparia da linha de produção da Renault do Brasil, evidenciando a possibilidade de melhoria no método de verificação da qualidade das peças produzidas.

A monografia será organizada da seguinte forma: na seção 2 serão apresentados os estudos sobre a base do trabalho, de modo que na seção 3 toda a metodologia para o desenvolvimento do método de verificação do produto será apresentada. Finalmente, a seção 4 apresenta as conclusões do estudo e os trabalhos futuros.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O método usado para encontrar os trabalhos de referência consistiu no *snowballing* e *string* de busca. Toda a busca se voltou para os trabalhos publicados nos últimos anos, com a mais recente tecnologia para o setor automotivo.

As *strings* de busca utilizadas foram:

- *Industry 4.0 AND Manufacturing*;
- *Smart Manufacturing*;
- *LIDAR Technology*;
- *Automotive LIDAR*.

Após a finalização das buscas e com vários trabalhos selecionados, foi iniciada uma fase de seleção dos artigos com trabalhos pertinentes relacionados ao tema proposto. Considerando que houve uma baixa quantidade de artigos identificados pelas

*strings* de busca, para selecionar os artigos relevantes, efetuou-se a leitura completa dos textos.

A partir das *strings*, os principais trabalhos de base foram encontrados, listados na Tabela 1, os quais serão utilizados ao longo de todo o referencial teórico.

**Tabela 1 – *Strings* e Base de Dados dos Trabalhos de Referência.**

<b>Strings</b>	<b>Base de Dados</b>	<b>Título do Trabalho</b>	<b>Ano</b>	<b>DOI/ISSN</b>	<b>Tipo de Documento</b>
<b>Industry 4.0 AND Manufacturing</b>	Emerald Insight	Lessons learned from Industry 4.0 implementation in the German manufacturing industry	2019	1741-038X	Artigo de Revista
<b>Industry 4.0</b>	Emerald Insight	The fourth industrial revolution (Industry 4.0): technologies disruption on operations and supply chain management	2019	0144-3577	Artigo de Revista
<b>Smart Manufacturing</b>	Science-Direct	Smart manufacturing process and system automation – A critical review of the standards and envisioned scenarios	2020		Artigo de Revista
<b>LIDAR Technology</b>	IEEE Xplore	Automotive LIDAR Technology	2019	10.23919/LSIC.2019.8777993	Artigo de Conferência
<b>Automotive LIDAR</b>	IEEE Xplore	Accurate Alignment Inspection System for Low-Resolution Automotive LIDAR	2021	10.1109/JS-EN.2020.3049091	Artigo de Revista

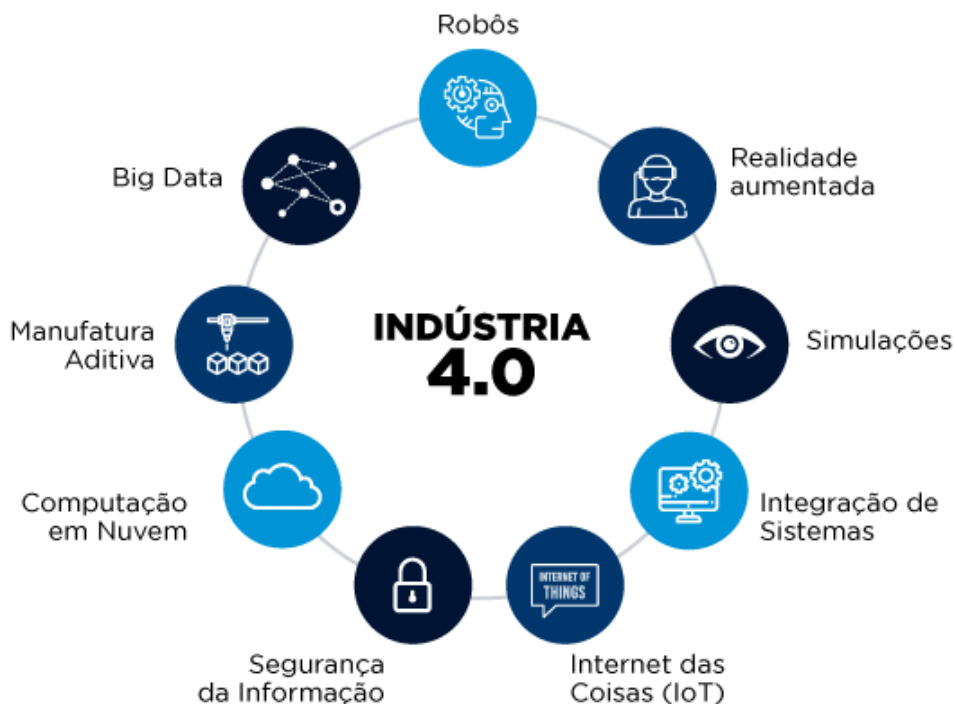
Fonte: Próprio autor.

## 2.1 Indústria 4.0

Também conhecida como a quarta revolução industrial, a Indústria 4.0 inicia uma nova era industrial, a qual envolve novos e modernos conceitos de processos de fabricação. Seu conceito é baseado na integração da informação e comunicação, tecnologias industriais (Figura 3), e é principalmente dependente da construção de Sistemas *Cyber Físicos* (CPS) para obter uma fábrica inteligente, a fim de promover uma manufatura mais digital, orientada pela informação, personalizada e ecológica. O seu objetivo é construir um modelo de produção altamente flexível de produtos

personalizados e digitais, com interações em tempo real entre pessoas, produtos e dispositivos durante todo processo de produção (Wan *et al.*, 2015).

**Figura 3** – Tecnologias e Métodos Disruptivos da Indústria 4.0



Fonte: <https://bit.ly/3Ptwm2J>.

O futuro da manufatura verá os sistemas de produção industriais se tornarem mais inteligentes através do uso de sistemas digitais, melhorando a eficiência e a competitividade nas fábricas, estimando-se um aumento de 30% na produtividade industrial (Wan *et al.*, 2015).

Com base nos três paradigmas pontuados na introdução deste trabalho, são definidos seis princípios para implementação da Indústria 4.0, os quais são: interoperabilidade, virtualização, descentralização, capacidade em tempo real, orientação de serviço e modularidade. (Lu, 2017; Oztemel e Gursev, 2018).

A interoperabilidade, vista como uma das principais vantagens desse novo modelo de produção, se refere à capacidade dos sistemas se comunicarem entre si (dados em nuvem), desenvolvendo troca de dados e compartilhando funções entre sistemas, tudo isso durante todo o processo autônomo (Lu, 2017).

Por outro lado, a virtualização (obtida por meio da IoT) é utilizada para o monitoramento de processos de comunicação máquina-máquina. Isso acontece, pois, sensores estão ligados ao sistema de planta virtual e modelos de simulação, obtendo a cópia virtual do processo. Dessa forma, é possível detectar riscos e falhas antes do processo acontecer, reduzindo taxa de erro e suavizando as operações (Kamble *et al.*, 2018).

Como terceiro princípio tem-se a descentralização, a qual denota que empresa, operadores e dispositivos são capazes de tomar decisões independentes, em vez de depender da tomada de decisões centralizadas (Kamble *et al.*, 2018).

A capacidade em tempo real ou análise de dados, refere-se a rapidez em coletar e analisar dados, bem como transmiti-los. A fábrica inteligente demanda um monitoramento e uma análise contínua dos dados, possibilitando a detecção de erros em tempo hábil de correção, se necessário. Isso garante a consistência da operação (Kamble *et al.*, 2018).

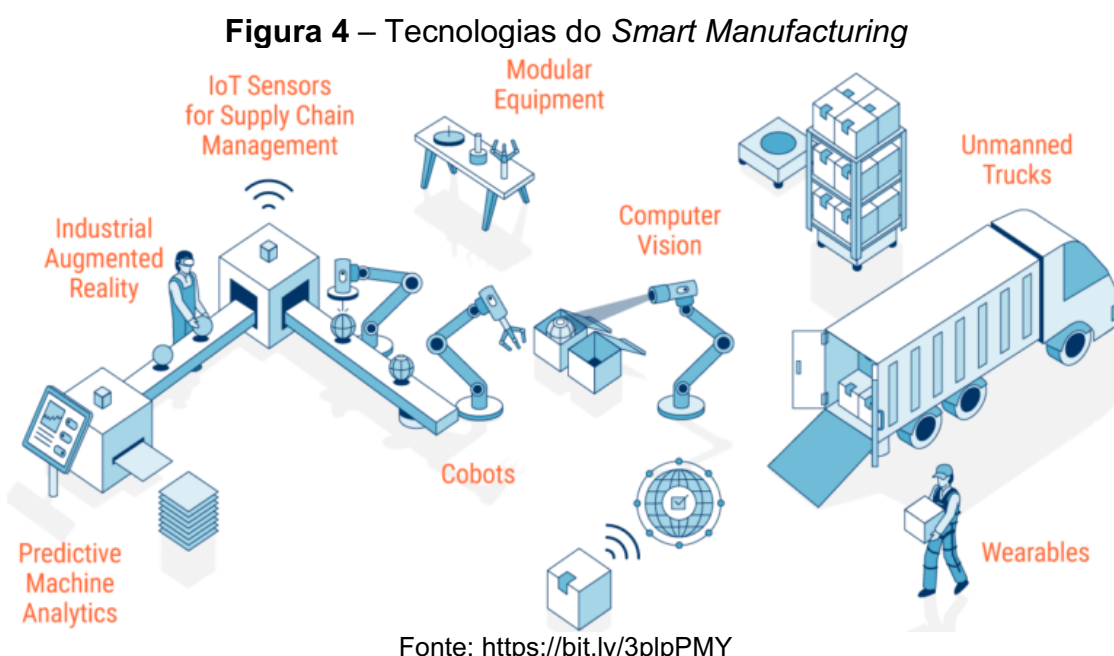
Como quinto princípio, a orientação do serviço indica que o produto deve considerar as necessidades dos usuários, tais como facilidade de uso ou conveniência para manutenção, uma vez que empresas podem ganhar flexibilidade e agilidade diante uma possível mudança do mercado (Kamble *et al.*, 2018).

Por fim, a modularidade (sistemas robóticos) se refere ao sistema ou aos componentes de um sistema produzido com base em normas e orientações de processo. Assim, fornece às fábricas inteligentes a capacidade de operar com um custo mais baixo para lidar com mudanças na necessidade de produção (Mrugalska e Wyrwicka, 2017).

Em resumo, a IoT pode como base, fornecer à fábrica a capacidade de coletar dados em tempo real e transmiti-los rapidamente, beneficiando a integração e coordenação do fluxo de produtos e informações, o que permite a descentralização das tomadas de decisão (Yang *et al.*, 2017). Acompanhando a coleta dos dados por meio da IoT, existe a possibilidade de analisá-los por meio de algoritmos, aumentando a capacidade do sistema em tomar decisões em tempo real, detectar falhas e garantir a consistência dos dados (Kamble *et al.*, 2018).

## 2.2 Smart Manufacturing

Concebida pela *Smart Manufacturing Leadership Coalition* (SMLC), a fabricação inteligente é o conjunto de práticas de fabricação que respondem a uma nova onda de dados em rede e capacidade de tecnologia da informação destinada a moldar, de modo inteligente, responsivo e eficiente, todas as operações de fabricação (LU et al., 2016). Essa definição de manufatura destaca o uso da Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) e análise avançada de dados para alcançar operações de fabricação flexíveis e inteligentes, desde a matéria-prima até o cliente. A Figura 4 ilustra as tecnologias e seu uso no *Smart Manufacturing*.



Após a terceira revolução industrial, a ascensão dos algoritmos e da tecnologia da computação lançaram uma base sólida para uma indústria cada vez mais conectada. Algoritmos de Inteligência Artificial (IA) permitem que dispositivos e sistemas industriais obtenham poderosos recursos de computação remota, possibilitando a tomada de decisão em tempo real, trazendo mais agilidade e inteligência nos processos de manufatura. Dessa forma, as indústrias vêm cada vez mais repensando suas estratégias em como aplicar essas tecnologias (Lu et al., 2020), e uma delas é a utilização do *Machine Learning* (ML), o qual já é muito utilizado e dispõe de grande acervo informativo e fóruns para desenvolvimento de soluções voltadas para a indústria, sendo uma delas a indústria automotiva.

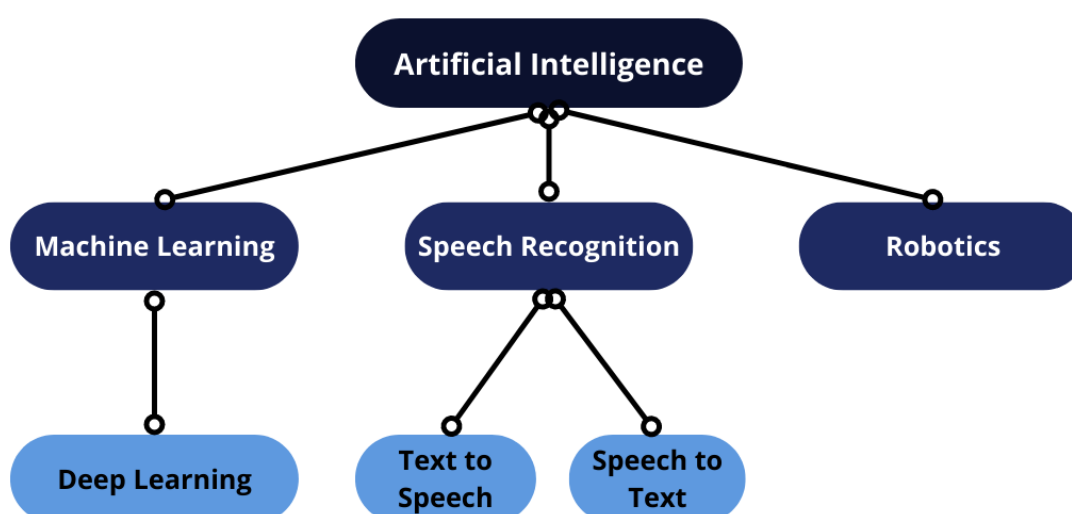
## 2.3 Sistemas Baseados em Autoaprendizagem

Os sistemas de autoaprendizagem ou aprendizado de máquina é um subcampo da Engenharia e da ciência da computação que evoluiu do estudo de reconhecimento de padrões e da teoria do aprendizado computacional em inteligência artificial. Adiante, serão mencionadas a Inteligência Artificial e o *Machine Learning*, fruto do avanço nos estudos de autoaprendizagem e presentes na monografia em questão.

### 2.3.1 Inteligência Artificial e *Machine Learning*

A Inteligência Artificial (IA) e o *Machine Learning* (ML) referem-se à capacidade de uma máquina em desempenhar funções que os humanos associam como “humanísticas”, como "aprender" e "resolver problemas". Na Ciência da Computação, IA significa o estudo de "agentes inteligentes", ou seja, qualquer dispositivo que percebe seu ambiente e toma ações que maximizam sua probabilidade de atingir com sucesso seus objetivos. Ultimamente, ambos têm demonstrado seu potencial para revolucionar indústrias, serviços públicos e a sociedade, alcançando ou mesmo superando os níveis de desempenho humano em termos de precisão para uma série de problemas, como, por exemplo, o reconhecimento de imagem e fala (Mnih et al., 2015) e tradução de idiomas (Young et al., 2018).

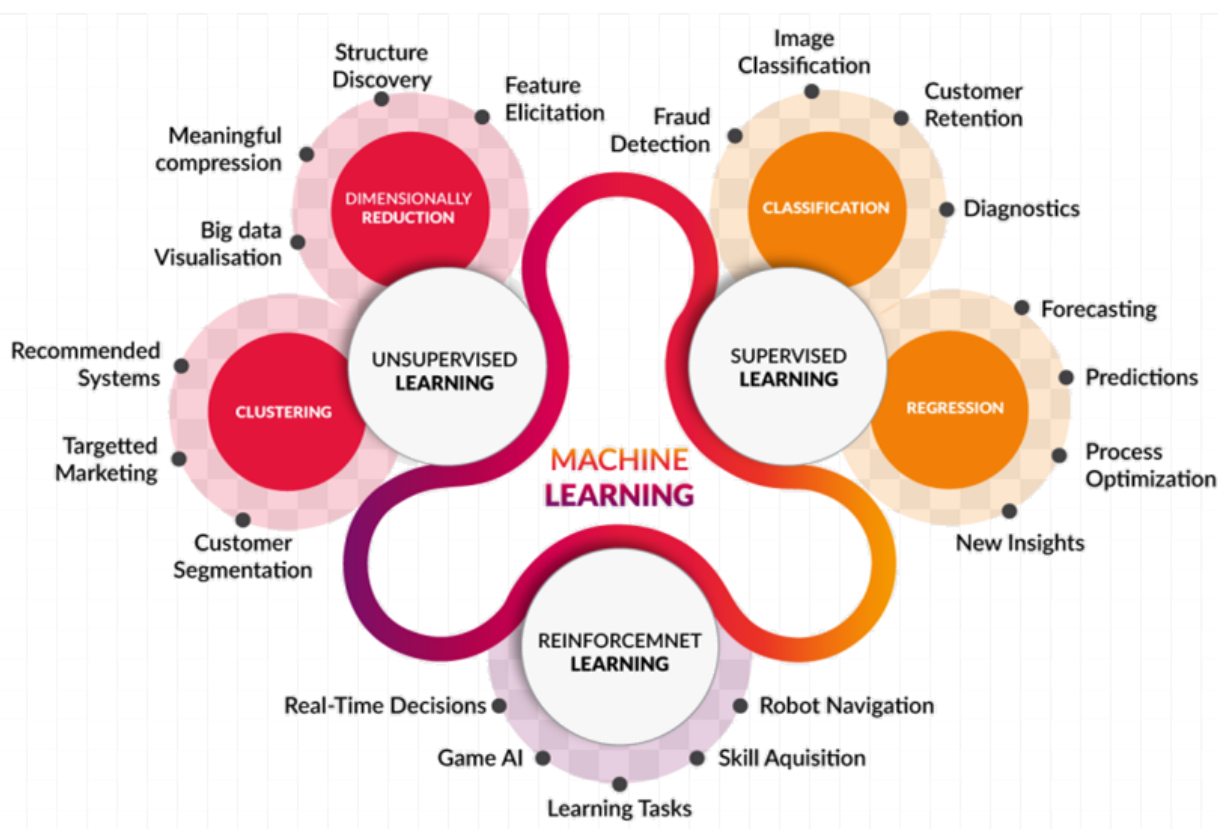
Figura 5 – Estrutura da Inteligência Artificial



Fonte: Próprio autor.

Como visto na Figura 5, a estrutura que liga a IA ao ML, nota-se que a IA está intimamente ligada tanto ao ML quanto às formas lógicas e simbólicas de raciocínio, desde seu início em meados do século XX (Samuel, 1959; Smolensky, 1987). Naquela época, “Máquinas Inteligentes” era o termo de autoria que familiarizou o mundo com outra área em que as máquinas estavam tentando se tornar inteligentes como nós, seres humanos. Este foi o movimento inicial para vagar em uma nova era. O primeiro programa de inteligência artificial a incorporar aprendizagem, escrito por Anthony Oettinger foi chamado de “programa de aprendizagem de resposta” e “programa de compras”, em 1951. O programa de compras reproduziu a conduta de uma criança durante as compras. Esta foi uma grande referência sobre o aprendizado de máquinas (Chibuluma e Kalezhi, 2017).

**Figura 6** – Métodos do *Machine Learning*



Fonte: <https://bit.ly/3dvxqPM>.

Os primeiros métodos de IA, como árvores de decisão, IA simbólica, Sistemas Especialistas, lógica Fuzzy e raciocínio automatizado, bem como algumas formas de

Redes Neurais Artificiais (RNAs), por exemplo, foram significativamente mais interpretáveis e auto explicáveis do que as formas mais recentes e mais eficientes, como máquinas de vetor de suporte (SVMs) (Hearst et al., 1998) e a maioria das outras formas de RNAs.

Nos últimos anos, as técnicas estatísticas orientadas a dados ganharam força devido a um aumento sem precedentes no número e complexidade dos dados disponíveis: atualmente, a maioria dos dados não é estruturada, com muito mais imagens/vídeos, bem como texto/fala em comparação com o século XX (Goodfellow et al., 2014). Dessa forma, o nível de complexidade dos sistemas de *Machine Learning* aumentou, mas, por outro lado, as possibilidades de utilização dessa tecnologia vieram fortemente ligadas à sua complexidade. Um exemplo seria a utilização de sistemas de análise de imagens e/ou representações 3D de objetos por meio do escaneamento de sua superfície, como disposto na seção seguinte.

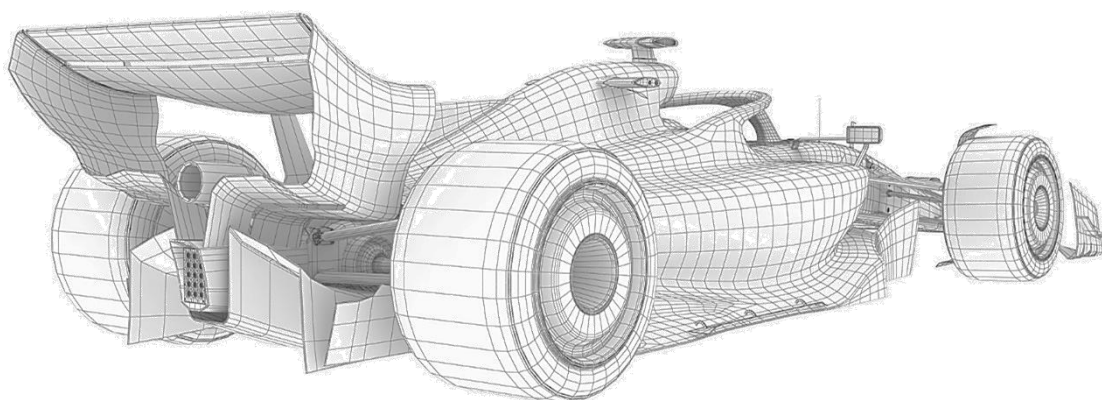
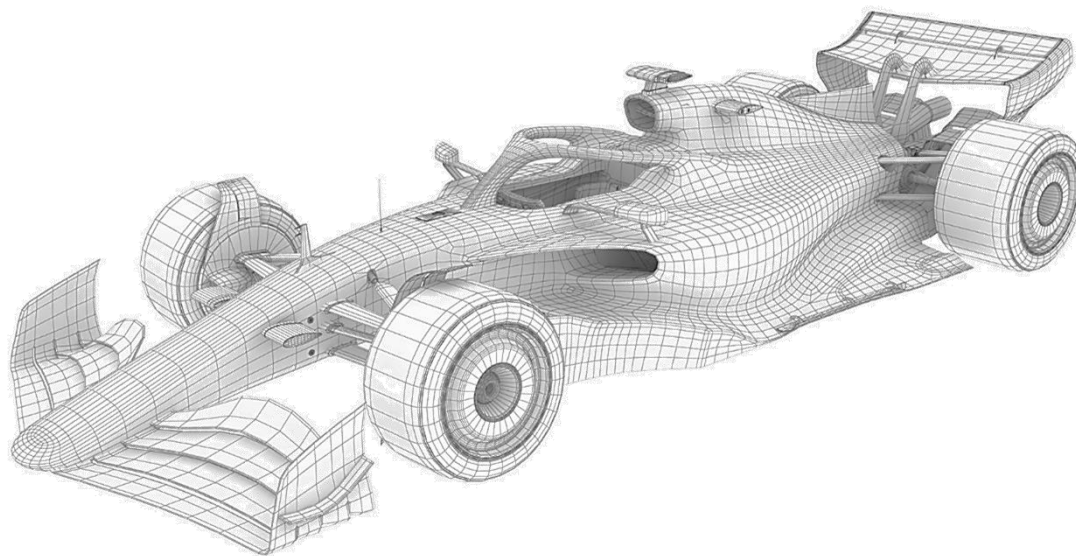
## **2.4 LIDAR (*Light Detection and Ranging*)**

Considerado um sensor óptico que fornece informações com alta resolução espacial, o LIDAR, por meio de sua câmera e sensor infravermelho, escaneia a superfície gerando uma nuvem de pontos 3D (Figura 7), os quais são usados para construir digitalmente a representação 3D do objeto (Figura 8). Na prática, a sua “matéria-prima” é a luz, funcionando com o mesmo conceito de sonares e outros radares, mas ao invés de emitir ondas para recebê-las de volta e fazer os cálculos de distância e monitoramento, tudo é feito com a luz, em uma velocidade muito superior.

A varredura de um LIDAR reúne um grande número de pontos 3D. O pré-processamento é realizado para segmentar a região de interesse (ROI) do alvo para reduzir o esforço computacional. Assim, um laser é pulsado rapidamente durante a varredura, de modo que sua largura angular e sua taxa de varredura determinam a resolução do objeto escaneado. Em seguida, a luz de retorno é coletada por uma ótica de imagem que terá um único ponto detector para uma varredura 2D (raster) e uma matriz linear de detectores para uma varredura de linha.



**Figura 7 – Modelo Representativo de Objeto Escaneado**



Fonte: <https://bit.ly/3QrfFq3>.

Como a superfície do alvo se destaca claramente diante dos dados de fundo, o algoritmo euclidiano de agrupamento é aplicado para detectar e segmentar a superfície de interesse. O algoritmo agrupa todos os pontos 3D que possuem distâncias euclidianas próximas entre si. Dos candidatos de agrupamento, o ROI é selecionado com base nas condições de distância média, do número de pontos e os valores médios de refletividade do feixe. Depois de segmentar os dados da nuvem de pontos na superfície alvo, o modelo do alvo é estimado (Burns, 2018).

**Figura 8** – Modelo Representativo Renderizado Após Escaneamento do Objeto



Fonte: <https://bit.ly/3w4kWeZ>.

Com isso, é possível comparar a nível de engenharia, variações em superfícies de objetos, terrenos etc., dependendo da aplicação do sensor. Usando de exemplo um carro, as peças de carenagem/carroceria desempenham um papel importante de estrutura e aerodinâmica, o que impacta diretamente na segurança, performance e economia, respectivamente. Além disso, todo o conjunto de peças assembled devem obedecer à geometria veicular com um nível máximo de simetria para aprovação do produto e conseqüentemente pra satisfação do cliente, uma vez que sua aerodinâmica impacta diretamente sua performance e economia. Portanto, o uso dessa tecnologia favorece a fabricação dessas peças do ponto de vista de qualidade e performance, uma vez que a velocidade de aferição de qualidade é maior sem demandar uma estrutura mais robusta para tal.

### **3 DESENVOLVIMENTO**

Para o estudo de caso foi utilizado como exemplo o veículo esportivo da marca Renault, o qual foi desenvolvido no Brasil e tirado de linha em 2022: o Sandero RS. No desenvolvimento foram abordados os setores da fábrica de veículos de passeio, e logo em seqüência a aplicação da tecnologia LIDAR na análise do produto de estamparia e carroceria. Todas as informações adiante não são de segredo industrial do Grupo Renault.

### 3.1 Análise da Linha de Produção Renault do Brasil

Atualmente, uma linha de produção automotiva está muito distante daquela fábrica representada por Charles Chaplin em seu filme *'Tempos Modernos'*, no qual o cineasta faz uma crítica ao modelo de produção do início do século XX. Na Renault do Brasil, os robôs são responsáveis por 70% das tarefas relacionadas à fabricação de carros. O trabalho de homem e máquina se complementa: enquanto as máquinas são imbatíveis em determinados tipos de solda, há situações em que a habilidade e o raciocínio do ser humano não podem ser substituídos.

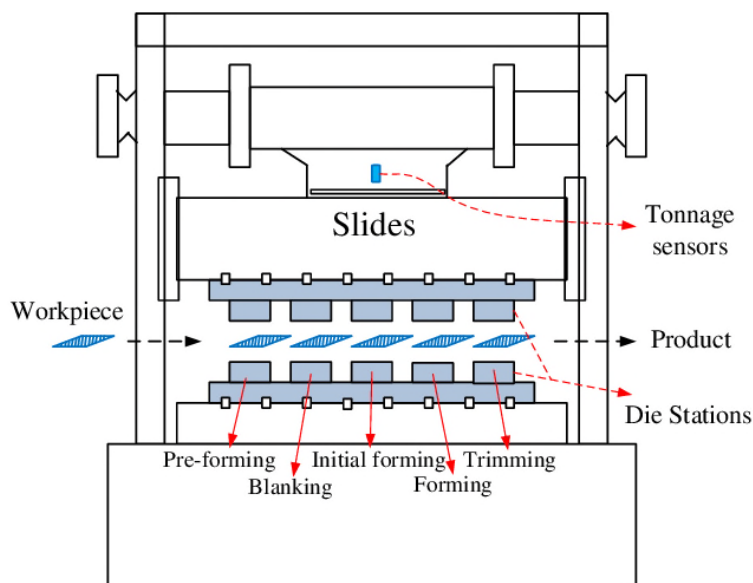
Como referência, a capacidade de produção da planta de veículo de passeio (CVP) é de 60 carros por hora, ou seja, a cada minuto tem-se um carro novo saindo da linha e indo ao pátio, esperando seu destino final.

#### 3.1.1 Estamparia

Na estamparia, também chamada de *"Stamping Shop"* ou *"Emboutissage"*, tudo começa com a chegada das bobinas vindas dos fornecedores, onde elas são aferidas com base nas dimensões solicitadas do fabricante para produzir cada tipo de veículo. Na primeira etapa da estamparia, o desbobinamento e corte, as chapas são agrupadas em *"blanks"*, com etiquetas que apontam para quais modelos se destinam.

Depois de passar por um controle de qualidade, elas são destinadas ao processo de prensagem, onde são conformadas e *"recortadas"* em prensas de até 2.400 toneladas, programadas com as dimensões específicas das peças que formarão o veículo. Esta etapa é composta de 5 operações, onde a primeira delas é a de repuxo, onde a chapa de aço ganha a forma geométrica da peça a ser produzida; a segunda é a operação de corte, onde algumas rebarbas e furações são feitas para as etapas de calibração adiante, onde são feitos os furos, cortes e dobras mais precisas, focando no acabamento da peça. A Figura 9 exemplifica o processo de estampagem presente na Renault do Brasil.

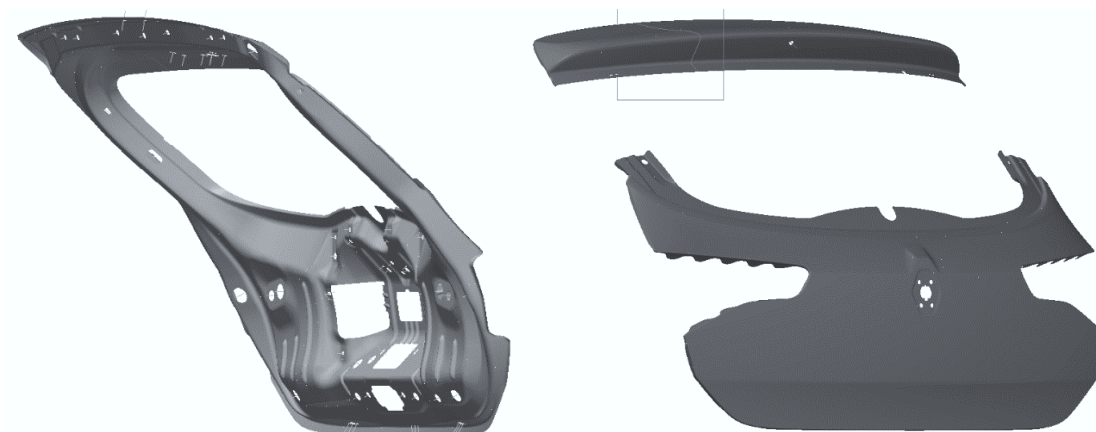
**Figura 9** – Processo de Estampagem



Fonte: (Zhou *et al.*, 2016)

No fim desse processo, cada peça produzida (exemplificada na Figura 10 abaixo, tem-se a tampa do porta malas do Sandero RS) passa por uma inspeção visual inicial, de modo que aquelas que não estiverem em conformidade devem seguir para o “retrabalho”. Além disso, existe a verificação do lote do ponto de vista da geometria da peça, fundamental a conformidade para etapa de carroceria. Por dia, são fabricadas 25.000 peças, cerca de 1.040 por hora. Elas são guardadas em “racks” e acumuladas em lotes para depois serem encaminhadas para a carroceria.

**Figura 10** –Tampa do Porta Malas do Sandero RS

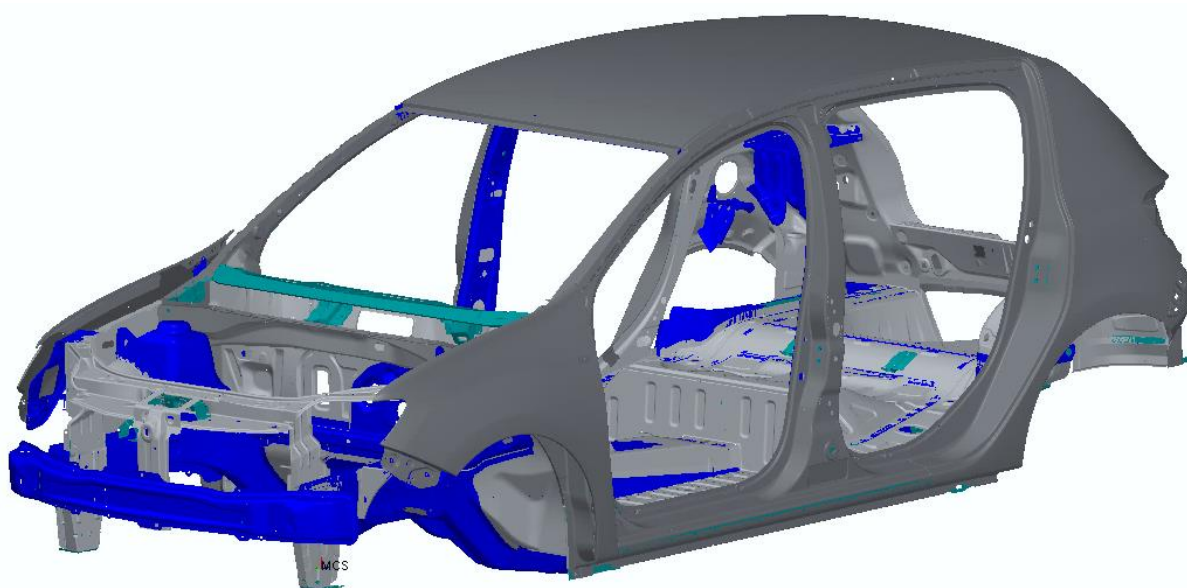


Fonte: Acervo Renault e MetrologX4

### 3.1.2 Carroceria

Também chamada de “*body shop*”, a fase responsável pela montagem da carroceria só começa quando ela recebe sua etiqueta de identificação, que já a credencia como um novo automóvel. As partes laterais do veículo são trazidas por um robô e se juntam à parte dianteira e ao assoalho.

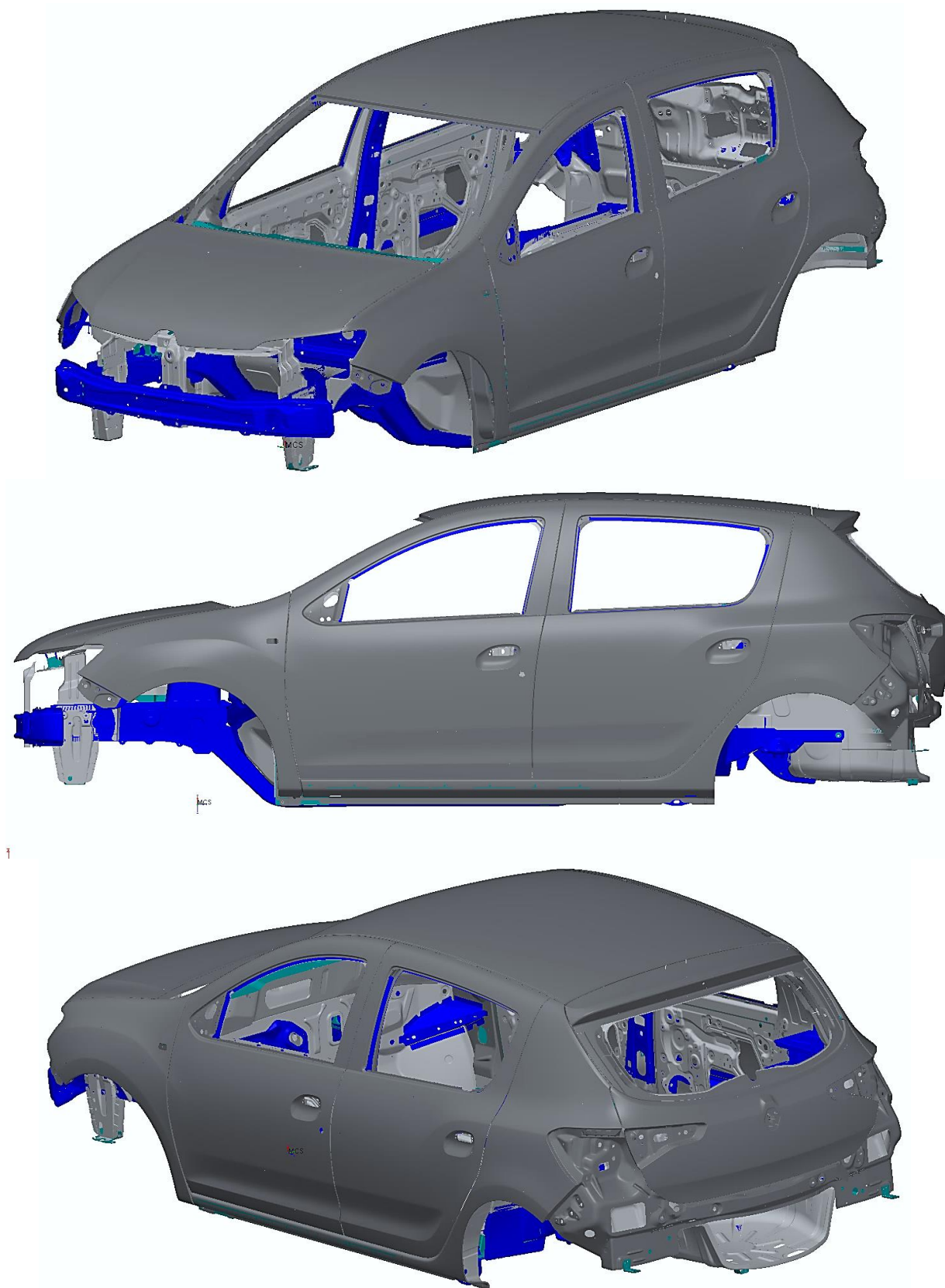
**Figura 11** – Estrutura do Sandero RS



Fonte: Acervo Renault e MetrologX4.

Cerca de 70% das soldas são feitas por robôs, em locais que são de difícil acesso para o homem. Ao todo, são cerca de 5.000 pontos de solda. Após a carroceria ser soldada (Figura 11), os operários fazem os ajustes finais e uma inspeção visual. A cada minuto nasce uma nova carroceria. Após a estruturação da carroceria, os pequenos defeitos são corrigidos, além de serem testadas as aberturas de portas, capôs e porta-malas, uma a uma pelos técnicos. A Figura 12 representa a carroceria completa do carro, com as partes fixas soldadas e partes móveis devidamente encaixadas.

Figura 12 – Carroceria Completa do Sandero RS



Fonte: Acervo Renault e MetrologX4.

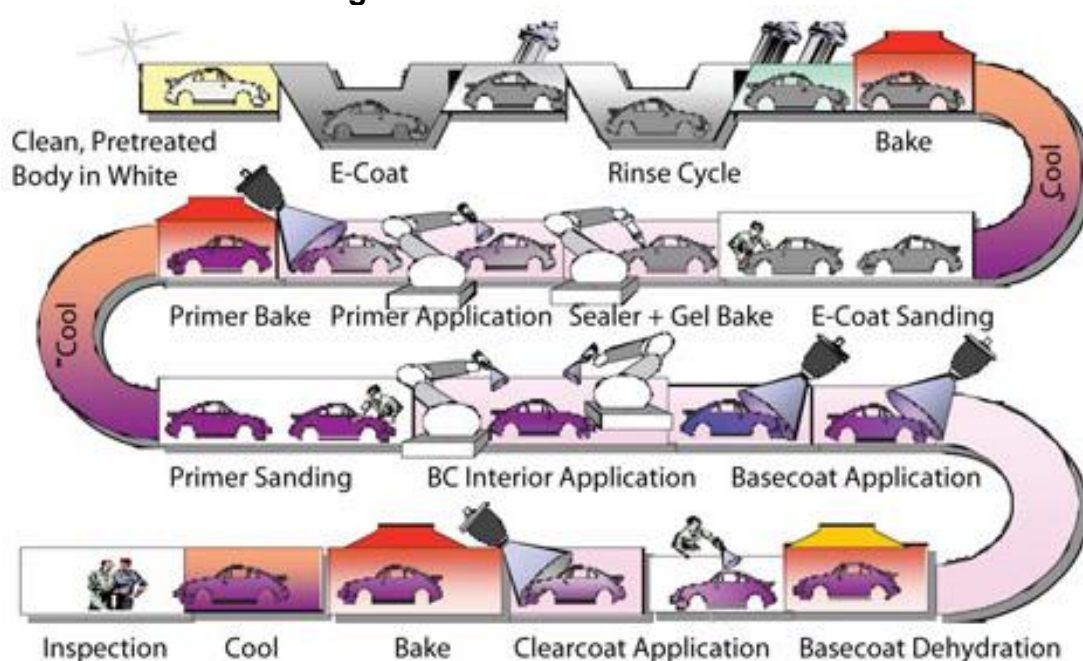
Por fim, cada carroceria recebe um número do chassi. Ou seja, a partir daí o automóvel começa a existir legalmente. Cada operário tem um tempo determinado para executar o serviço: são apenas 80 segundos.

### 3.1.3 Pintura

No processo de pintura representado pela Figura 13, esta começa com um pré-tratamento, quando as impurezas do processo de soldagem são retiradas. Logo após, o carro é destinado ao chamado banho de cataforese e mergulhado no Elpo, um líquido anticorrosivo que tem a função de nivelar a superfície da carroceria. Depois, o carro passa pela calafetação, para evitar a infiltração de impurezas, e por uma aplicação robotizada de primer, que deixa a carroceria com uma coloração bem próxima da final. Ela protege a carroceria e a prepara para a cor definitiva.

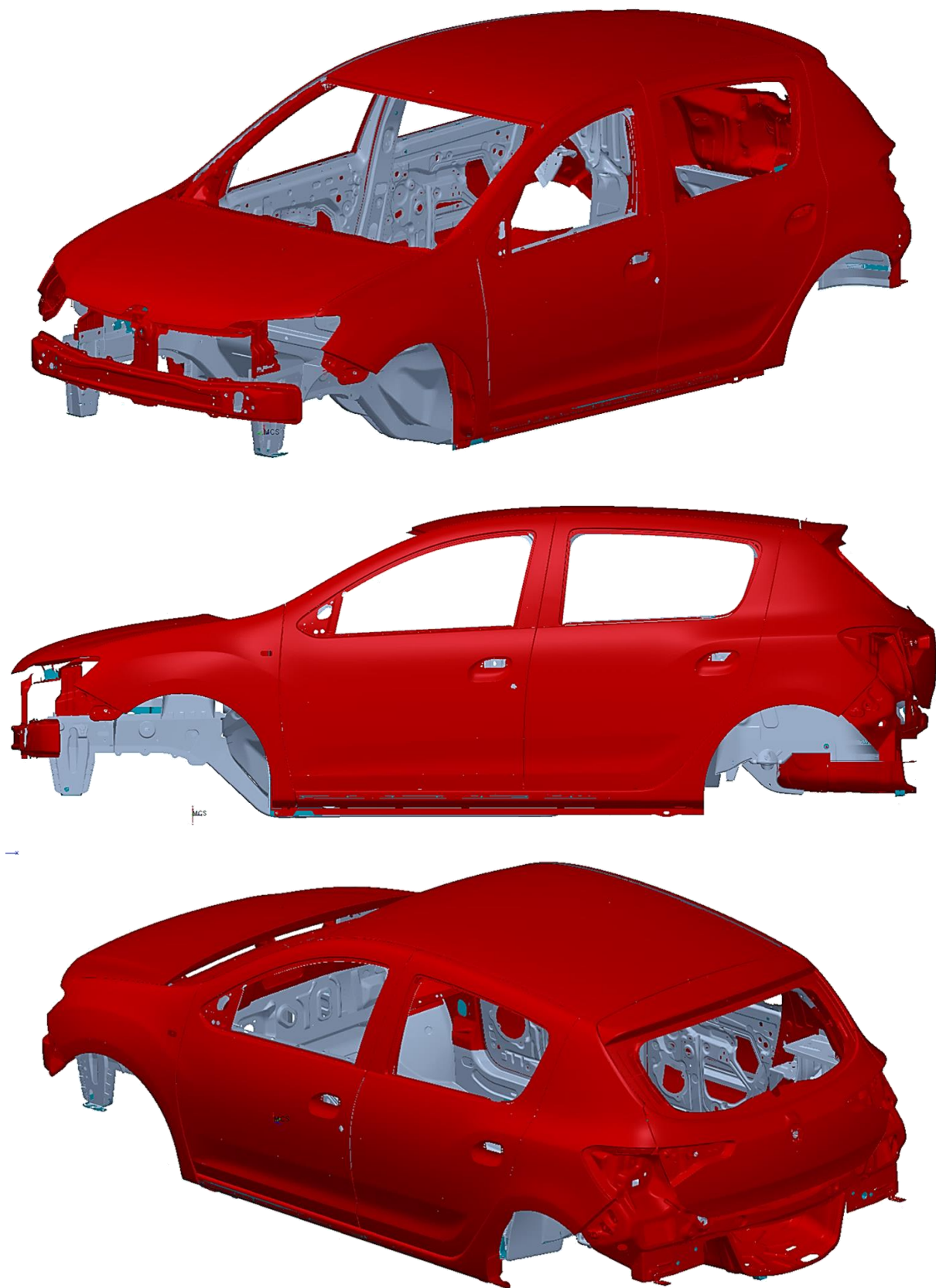
Após o lixamento, é a vez da aplicação da base por spray, que confere a cor final ao veículo. Para terminar, é aplicado o verniz que protege e dá o brilho na lataria, exemplificado pela Figura 14. Novamente chega a hora de realizar uma inspeção visual, a fim de corrigir possíveis falhas.

**Figura 13 – Processo de Pintura**



Fonte: <https://bit.ly/3bW6y1K>.

Figura 14 – Carroceria Completa Pintada



Fonte: Acervo Renault e MetrologX4.



### 3.1.4 Montagem

Com a carroceria pintada, o carro é direcionado para linha de montagem. Nessa etapa serão inseridas cerca de três mil peças no veículo. Primeiro, as portas são desmontadas do carro e por um trecho seguem sozinhas, onde recebem os vidros, maçanetas, fiações, revestimentos etc. Elas só voltarão a ser instaladas, de forma manual, após a colocação dos itens de maior volume nos chassis do carro, como bancos, painel, acabamentos de laterais e tetos etc.

Depois, o chamado casamento entre carroceria e *powertrain* (junção de motor e transmissão) acontece, de modo que motor e transmissão são colocados na carroceria com todos os componentes de série ou opcionais do veículo. Ainda suspenso, o carro recebe rodas e pneus com a ajuda de máquinas específicas. Nessa área, o número de robôs diminui, porque os operários detectam facilmente as falhas. Apenas 10% do processo é robotizado.

**Figura 15** – Sandero RS Completo



Fonte: <https://bit.ly/3AjxPVe>.

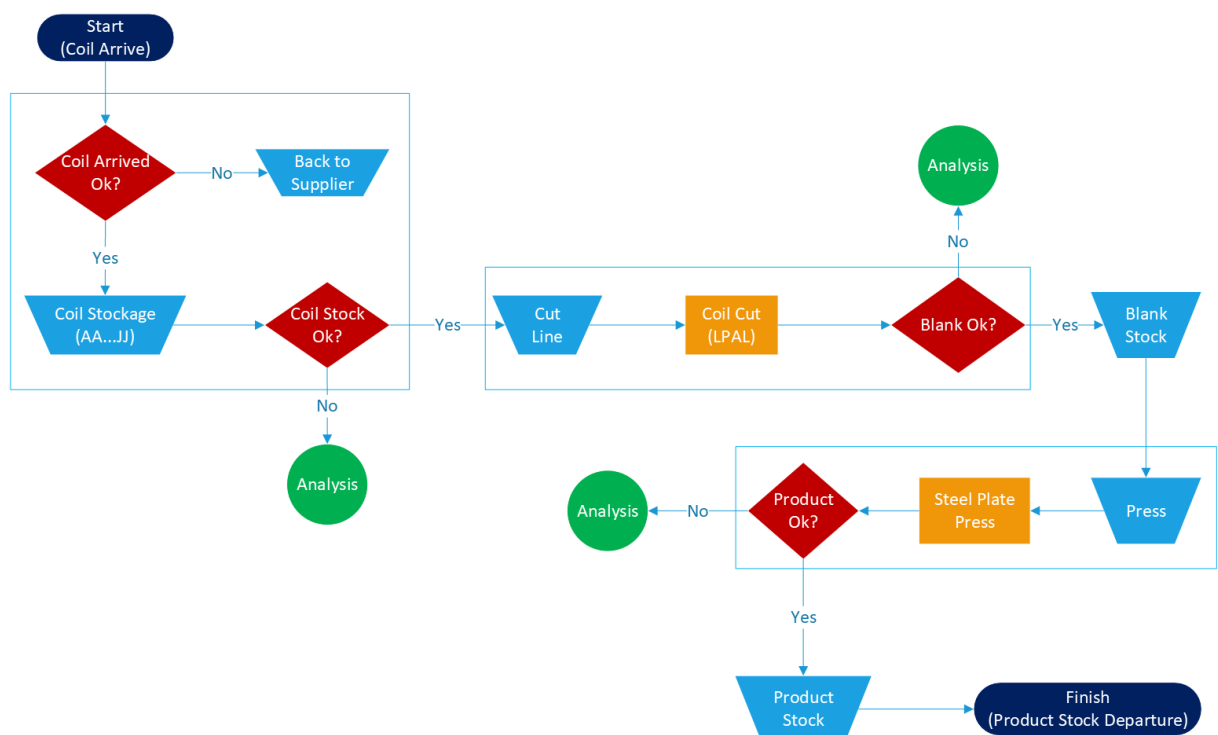
Ao final do processo, o carro sai da linha de montagem abastecido, tem a sua primeira partida de motor e se desloca as cabines de testes como o de rodagem, infiltrações etc. São testadas as partes elétricas e mecânicas, conferidas as junções da carroceria, a abertura e fechamento de portas. Finalmente, o carro percorre cerca de 20 km em uma pista de testes para as últimas verificações antes de ir pro pátio. Para este estudo, tem-se representado pela Figura 15 o Sandero RS montado, como ao final da linha de montagem.

### 3.2 Método Atual de Verificação da Qualidade do Produto (Geometria)

Os dados coletados, bem como todas as informações que serão tratadas, são provenientes da estamperia e carroceria do Complexo Ayrton Senna (CAS).

O produto de estamperia é fruto de um processo que vai desde a fabricação (qualidade) da matéria-prima até os processos internos de produção de cada peça/parte do veículo. O fluxo se divide conforme é mostrado na Figura 15.

**Figura 16** – Fluxo do Processo de Estamperia

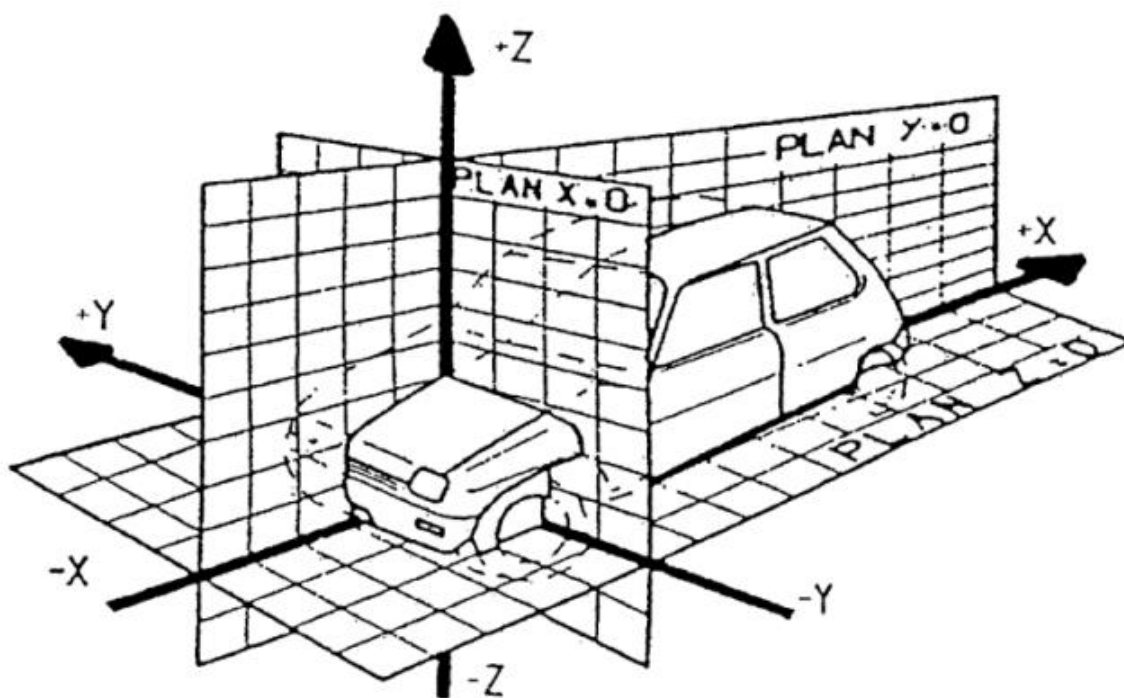


Fonte: Próprio autor.

Usando como referência o fluxograma do processo da estamparia mostrado na Figura 16, e do ponto de vista da qualidade, todo o fluxo tem o seu impacto no produto final. A bobina de aço que chega deve ter suas dimensões mínimas para produzir determinada parte do carro, pois tanto ela quanto a linha de corte podem impactar nas dimensões da peça, aspecto final etc. Falando no processo de prensagem, se feito com matéria-prima com características diferentes e parâmetros de máquina diferentes do preconizado pela engenharia, o produto é impactado em sua geometria.

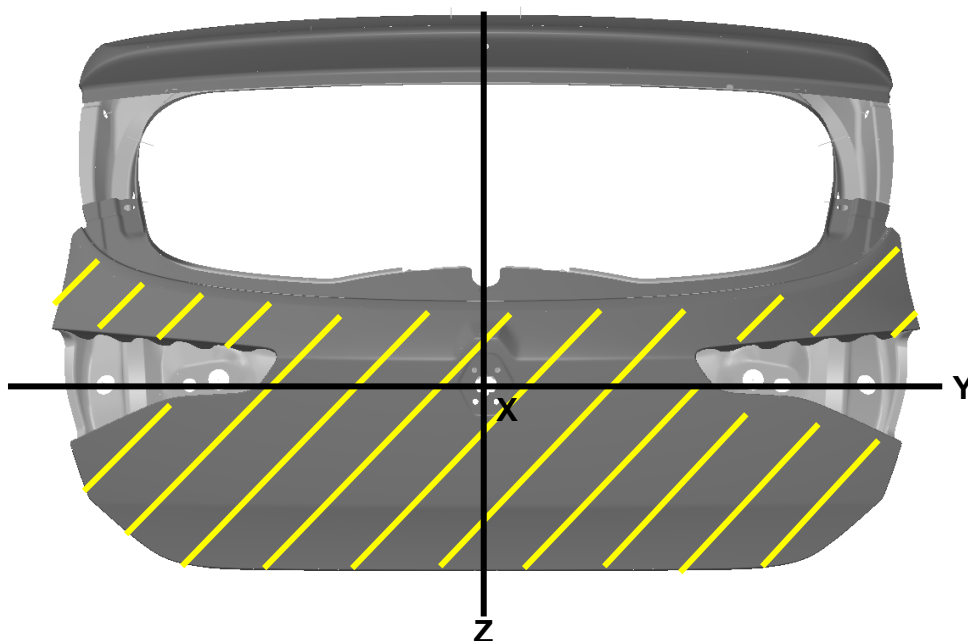
Quando se fala na geometria do carro, é válido salientar a orientação do carro nos planos, ou seja, sua posição no sistema de eixos. Não só ele como um todo, mas cada peça sua tem a orientação no que chamamos de plano, reta e ponto, de modo que os ajustes e controles de qualidade possam ser feitos.

**Figura 17** – Sistema de Eixos



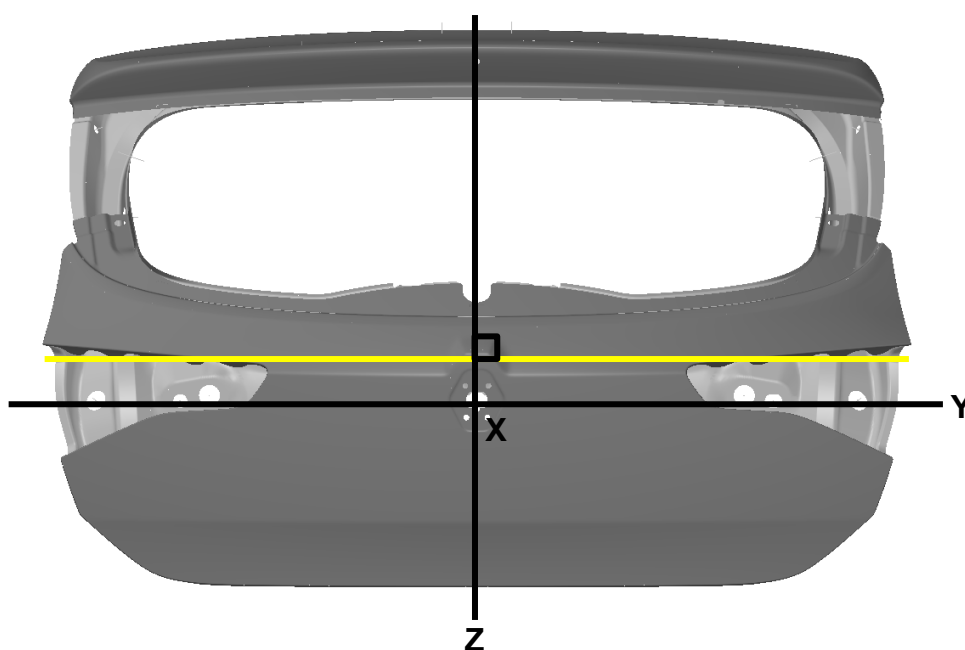
Fonte: Acervo Renault.

O plano da peça é definido pela maior área perpendicular a um dos eixos. Imagina-se, como base na Figura 17, usando como exemplo a tampa do porta malas de um carro. Seu plano está definido em X, representado em amarelo na Figura 18.

**Figura 18** – Plano da Tampa do Porta Malas do Sandero RS

Fonte: Acervo Renault e MetrologX4 (Adaptado pelo autor).

Agora, para saber a reta, basta verificar com base no plano definido, qual a maior reta que corre perpendicular ao eixo do plano. Dessa forma, tem-se que a reta está definida em Z, representado em amarelo na Figura 19.

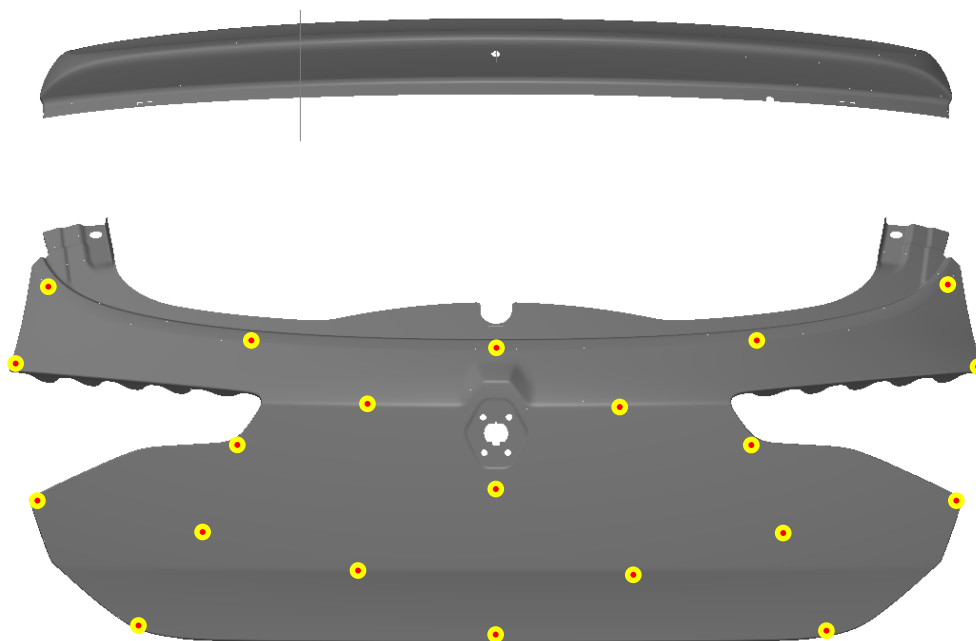
**Figura 19** – Reta da Tampa do Porta Malas do Sandero RS

Fonte: Acervo Renault e MetrologX4 (Adaptado pelo autor).

Por fim, temos que o ponto está definido em Y. De posse dessas informações, podemos definir que o plano “trava” a peça no eixo X, impedindo que ela se movimente em -X ou +X, tendo liberdade agora só em Y e Z. Por outro lado, com X já travado, a reta “trava” a peça no eixo no eixo Z, impedindo seu movimento em -Z e +Z, de modo que a liberdade de movimento agora esteja só para Y. Por fim, o eixo Y traz uma particularidade, a qual define uma tolerância ao ponto de trava (logo o formato do ponto é um retângulo com cantos arredondados, muito próximo de ser um círculo), permitindo ajustes caso seja necessário.

Todas as informações acima são necessárias para medição 3D de uma peça pertencendo a um determinado lote produzido. Existe um meio de controle para cada peça do carro, que recebe pelo menos três exemplares de um lote produzido para verificar os parâmetros de geometria. A medição é feita por uma máquina, que com base no referencial de medida, usa uma ponta de rubi, a qual toca em regiões específicas da peça, seja no eixo X, Y ou Z, exemplificadas em amarelo na Figura 20, verificando a posição da peça no espaço e a sua espessura.

**Figura 20** – Exemplos de Regiões Hipotéticas de Medição 3D



Fonte: Acervo Renault e MetrologX4 (Adaptado pelo autor).

Todo esse processo de medição é demorado, pois depende da logística de retirar o produto do final da linha, leva-lo até a sala de medição para que depois venha o técnico e faça a verificação. De posse do resultado, a análise pode ser feita para nesse momento ter a resposta sobre o indicador de qualidade. Todo esse ciclo é demorado, o que leva a somente uma medição de cada peça por mês, ou seja, o tempo de resposta com ações é demorado, acarretando diretamente na qualidade do produto.

### 3.3 Método Proposto de Verificação da Qualidade do Produto (Geometria)

O método proposto usa da mais recente tecnologia de análise de superfície. O sensoriamento LIDAR é feito por meio de raios *laser* que são emitidos e captados por sensores que leem a superfície e analisam ela com seu modelo *standard*.

A Renault do Brasil dispõe atualmente do *Laser Tracker Romer Absolute Arm CMS108*, o qual é uma plataforma *high-end* modular projetado para cumprir as tarefas de metrologia mais exigentes. Ele oferece recursos de classe mundial em todos os tipos de superfícies. Graças ao ajuste automático da potência do laser para cada digitalização, o ponto de medição é rápido e eficiente. CMS108 é o primeiro scanner a laser com uma função de zoom, o que garante até três diferentes larguras das linhas de varredura.

**Figura 21** – *Laser Tracker Romer Absolute Arm*

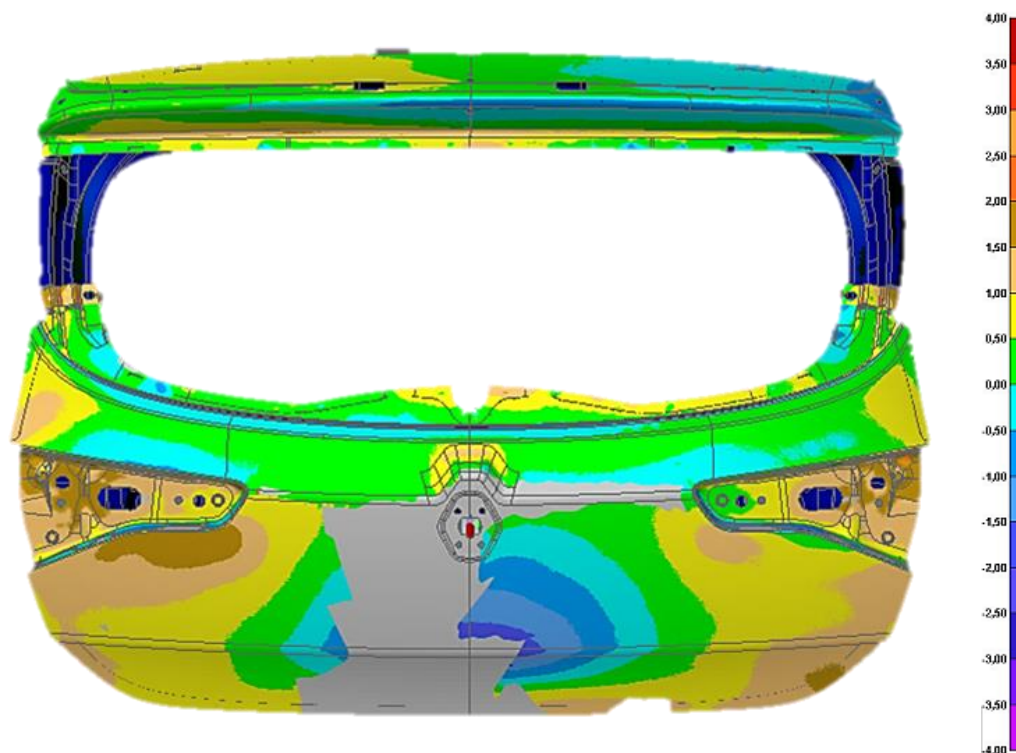


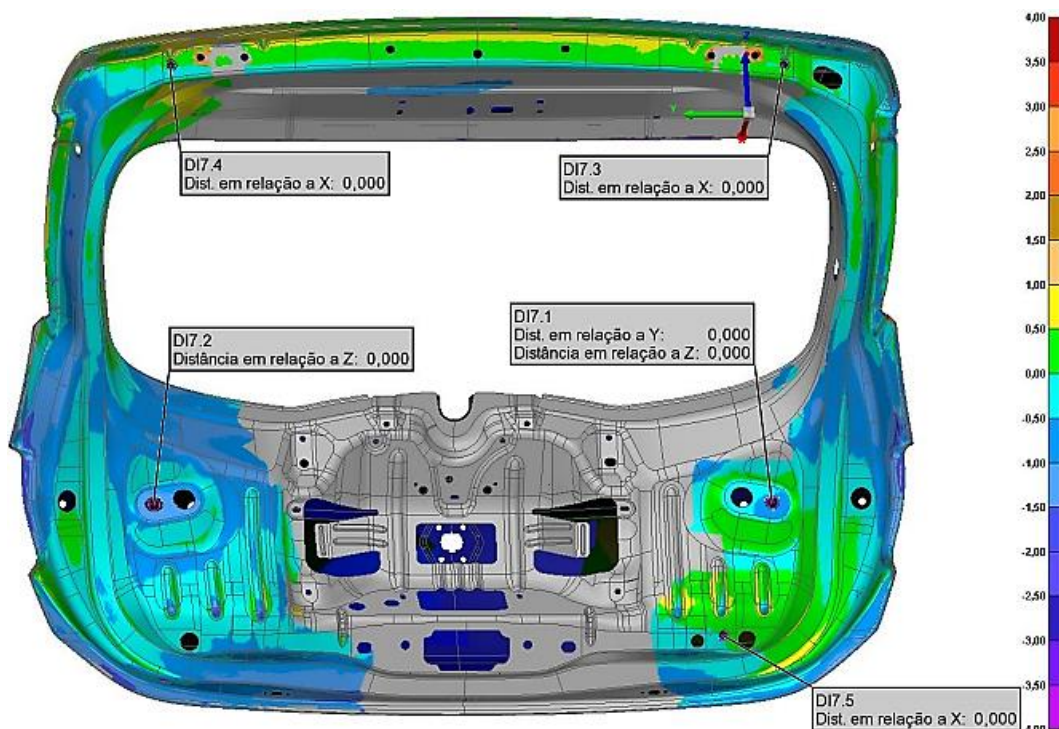
Fonte: <https://bit.ly/3SOgOJW>.

Este *laser tracker* emite os raios *laser* pulsativos, de modo que a cada pulso refletido pela peça e coletado pelo sensor do braço, a superfície vai se sobrepondo, aumentando a precisão de medição cada vez mais. Além disso, ele tem características que possibilitam operar com mais facilidade como por exemplo seu peso de apenas 7,1Kg, sua precisão de 0,016mm que fornece maior precisão dos dados (como citado no início do parágrafo), sua ferramenta RDS de simples calibração e suas certificações B89.4.22 e VDI/VDE 2617-9.

A peça usada para efeito de estudo neste trabalho foi a tampa do porta malas do Sandero RS, a qual foi medida pelo braço em questão. Durante a medição, tanto do *Caisson de Porte Coffre* (Estrutura da tampa do porta-malas) quanto do *Panneau de Porte Coffre* (Pele da tampa do porta-malas, parte visual), foram circundados pelo sensor inúmeras vezes, pois como discutido, é dessa forma que se obtém maior precisão na renderização da superfície que está sendo medida. Ao final da medição, o modelo standard (em cinza) foi sobreposto pelo modelo renderizado (colorido), possibilitando a análise da peça produzida.

**Figura 22** – Resultado da Medição com o Sensor LIDAR *Romer Absolute Arm*





Fonte: Dados do *Laser Tracker Romer Absolute Arm*.

Com base na aferição de superfície demonstrada na Figura 21, é possível perceber que as regiões com valores negativos representam um menor volume, isto é, com aquela aparência de afundamento. Por outro lado, as regiões com valores positivos representam um maior volume. Isso nos permite observar que, mesmo com valores em milímetros, a peça medida apresenta certa deformação não vista a olho nu, e rapidamente percebida pela utilização do método de escaneamento.

A Tabela 2 abaixo apresenta a comparação entre o método atual e o proposto, salientando e ratificando os benefícios do uso do *Laser Tracker Romer Absolute Arm*.

**Tabela 2** – Comparação entre o Método Atual e o Método Proposto

Pontos Chave de Comparação	Método Atual	Método Proposto
Complexidade de Medição da Peça	Média	Baixa
Demanda de Logística para Medição?	Alta	Baixa
Equipamento Portátil?	Não	Sim
Espaço Físico Robusto para o Sistema?	Sim	Não
Investimento	Alto	Médio
Tempo de Medição	Muito Demorado	Pouco Demorado

Fonte: Próprio autor.

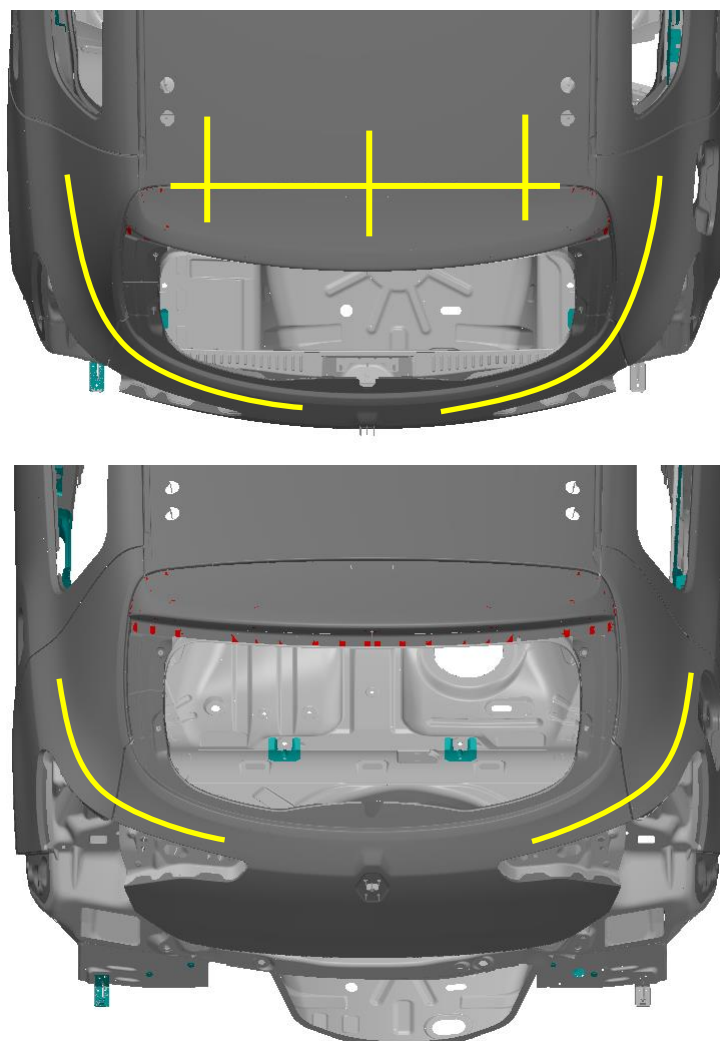


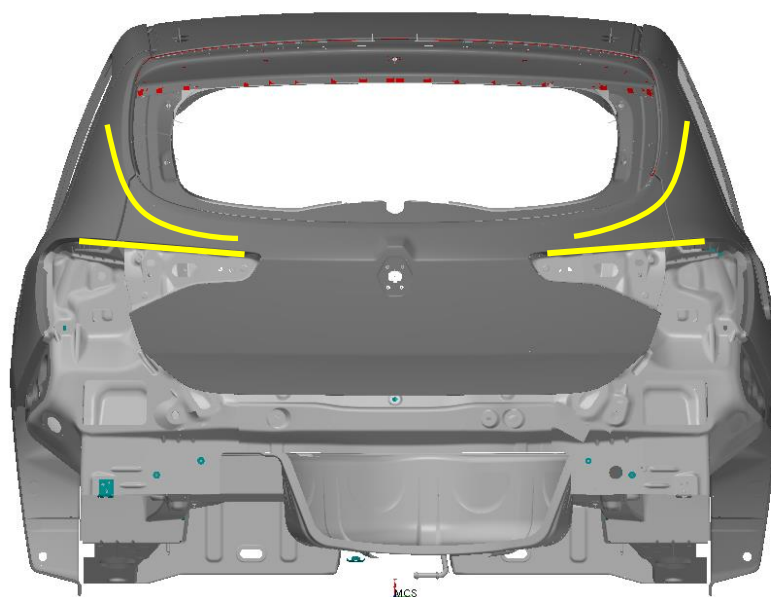
## 4 CONCLUSÕES

Diante do exposto, esta monografia propôs um método preciso de verificação da qualidade do produto de indústria automotiva, em específico os da estamparia da Renault do Brasil, o qual foi desenvolvido com a base do *Smart Manufacturing*, *Machine Learning* em conjunto com o sensor LIDAR.

Ao contrário do método convencional já utilizado, o sistema proposto é um método de análise de superfícies que utiliza o escaneamento do sensor *Laser Tracker Romer Absolute Arm* a curta distância sem quaisquer ajudas de outros sensores, como uma câmera ou INS. Resultados experimentais (Item 3.3) mostraram que o método proposto poderia estimar com precisão o “status” de cada peça produzida no final da linha, com uma menor taxa de erro. A Figura 22 mostra os benefícios de uma peça geometricamente ideal.

**Figura 23** – Alinhamento entre as Laterais e a Tampa do Porta Malas





Fonte: Acervo Renault e MetrologX4 (Adaptado pelo autor).

A alta precisão e simplicidade de utilização do sistema proposto o torna prático para aplicações industriais de grande escala, como processo de estampagem e soldagem da carroceria. No entanto, apenas como amostragem, este estudo foi limitado em avaliar somente uma peça (tampa do porta malas) do veículo Sandero RS para a avaliação experimental.

Portanto, idealmente, uma bancada de avaliação avançada deve ser projetada para analisar ao final de cada lote produzido, pelo menos três exemplares, aumentando a precisão dos dados e diminuindo a taxa de erro no indicador de qualidade, em específico geometria.

Adicionalmente, sugere-se a publicação de um artigo sobre o tema e futuramente, o desenvolvimento de um algoritmo genético de *Machine Learning*, o qual aprende a interpretar os dados de cada produção, e conseqüentemente envia um novo parâmetro de máquina para a prensa, objetivando chegar no ponto ótimo de operação para cada peça que será produzida.

## REFERÊNCIAS

- LIAO, Y.; DESCHAMPS, F.; LOURES, E.D.F.R e RAMOS L.F.P (2017), "Past, presente and future of Industry 4.0 – A systematic literature review and research agenda proposal" *International Journal of Production Research*, Vol. 55 No. 12, pp. 3609-3629.
- LU, Y. (2017), "Industry 4.0: a survey on Technologies, applications and open research issues", *Journal of Industrial Information Integration*, Vol. 6, pp. 1-10.
- SCHUMACHER, A.; EROL, S. e SIHN, W. (2016), "A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises", *Procedia CIRP*, Vol. 52, pp.161-166.
- WAGNER, T.; HERRMANN, C. e THIEDE, S. (2017), "Industry 4.0 impacts on lean production systems", *Procedia CIRP*, Vol. 63, pp. 125-131.
- DALLASEGA, P.; RAUCH, E.; e LINDER, C. (2018), "Industry 4.0 as an enabler of proximity for construction supplychains: a systematic literature review", *Computers in Industry*, Vol. 99, pp. 205-225.
- OZTEMEL, E. e GURSEV, S. (2018) "Literature review of Industry 4.0 and related Technologies", *Journal of Intelligent Manufacturing*, pp. 1-56.
- PICCAROZZI, M.; AQUILANI, B. e GATTI, C. (2018), "Industry 4.0 in management studies: a systematic literature review", *Sustainability*, Vol. 10 No. 10, p. 3821.
- PEREIRA, A.C. e ROMERO, F. (2017), "A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept", *Procedia Manufacturing*, Vol. 13, pp. 1206-1214.
- WEYER, S.; SCHMITT, M.; OHMER, M. e GORECKY, D. (2015), "Towards Industry 4.0 – standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems", *ifac-Papersonline*, Vol. 48 No. 3, pp.579-584.
- WARREN, M. E. (2019), "Automotive LIDAR Technology", *Symposium on VLSI Circuits Digest of Technical Papers*, pp. 254-255.
- KAMBLE, S.S.; GUNASEKARAN, A. e GAWANKAR, S.A. (2018), "Sustainable Industry 4.0 framework: a systematic literature review identifying the current trends and future perspectives", *Process Safety and Environmental Protection*, Vol. 117, pp. 408-425.
- MRUGALSKA, B e WYRWICKA, M.K. (2017), "Towards lean production in Industry 4.0", *Procedia Engineering*, Vol. 182, pp. 466-473.
- WAN, J.; CAI, H. e ZHOU, K. (2015), "Industrie 4.0: Enabling Technologies.", *Intelligent Computing and Internet of Things (ICIT)*, pp. 135-140.

YANG, C.; LAN, S.; SHEN, W.; HUANG, G.Q.; WANG, X. e LIN, T. (2017), "Towards product customization and personalization in IoT-enabled cloud manufacturing", *Cluster Computing*, Vol. 20, No. 2, pp. 1717-1730.

LU, Y.; MORRIS, K.C.; FRECHETTE, S. (2016), "Current standards landscape for smart manufacturing systems", *National Institute of Standards and Technology*, NISTIR, p. 22-8

LU, Y.; XU, X e WANG, L. (2020), "Smart manufacturing process and system automation – A critical review of the standards and envisioned scenarios", *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 56, pp. 312-325.

MNIH, V.; KAVUKCUOGLU, K.; SILVER, D.; RUSU, A. A.; VENESS, J.; BELLEMARE, M. G.; GRAVES, A.; RIEDMILLER, M.; FIDJELAND, A. K.; OSTROVSKI, G.; PETERSEN, S.; BEATTIE, C.; SADIK, A.; ANTONOGLU, I.; KING, H.; KUMARAN, D.; WIERSTRA, D.; LEGG, S. e HASSABIS, D. (2015). Human-level control through deep reinforcement learning, *Nature*, Vol 518, 529–533.

YOUNG, T.; HAZARIKA, D.; PORIA, S. e CAMBRIA, E. (2018). Recent trends in deep learning based natural language processing. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, Vol. 13, pp55–75.

CHIBULUMA, M. e KALEZHI, J. (2017), "Application of a modified perceptron learning algorithm to monitoring and control", *IEEE PES PowerAfrica*.

GOODFELLOW, I.; POUGET-ABADIE, J.; MIRZA, M.; XU, B.; WARDE-FARLEY, D.; OZAIR, S.; COURVILLE, A. e BENGIO, Y. (2014). Generative adversarialnets, *Advances in Neural Information Processing Systems*, Vol. 3, 2672–2680.

BURNS, L. (2018), "Autonomy: The Quest to Build the Driverless Car - And How It Will Reshape Our World", Paperback, HarperCollins.

ZHOU, C.; LIU, K.; ZHANG, X.; ZHANG, W. E SHI, J. (2016), "An automatic process monitoring method using recurrence plot in progressive stamping processes", *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, Vol. 13, pp. 1102-1111.