

1 INTRODUÇÃO

A Indústria 4.0 está representada por Tecnologias Habilitadoras decorrentes do desenvolvimento de sistemas digitais. A Indústria 4.0 se apresenta como um conjunto de tecnologias digitais disruptivas que apresentam novos valores e serviços para os consumidores e as organizações (PACCHINI, 2019). Dentre as consequências da adoção destas tecnologias inovadoras, apresenta-se como parcela essencial no ambiente de produção de uma manufatura avançada o denominado Sistema Interligado de Gerenciamento Integrado, atuando através de ferramentas modernas de gestão para a Qualidade (DURAKBASA, 2018).

Como parte integrante de sistemas de manufatura, a área de Metrologia se apresenta como garantidora da conformidade geométrica dos produtos fabricados. Dessa maneira, os métodos modernos adotados pelos sistemas integrados de gerenciamento inteligente têm sido desenvolvidos e refinados nas organizações manufatureiras e conseqüentemente exigem a garantia da interação com sistemas de metrologia industrial também alinhados com o estado da arte dos instrumentos de medição utilizados (DURAKBASA, 2018).

Sistemas de medição perfazem um papel central no favorecimento das tecnologias inteligentes da manufatura avançada, o que melhora a qualidade de produtos e aumenta a produtividade na fabricação, principalmente no contexto da Indústria 4.0 (CARMIGNATO, 2020). Neste sentido, o Scanner 3D tem se apresentado um equipamento versátil que pode ser utilizado em medição de peças.

Apesar da relevância de inovações tecnológicas em metrologia, a busca na literatura não identificou estudo que tivesse analisado o uso de Scanner 3D em análise dimensional de peças. A ausência deste tipo de estudo levantou a seguinte questão de pesquisa: Quais vantagens o Scanner 3D oferece em relação ao método convencional de medição de motores Diesel? Para obter a resposta, este estudo teve como objetivo realizar uma análise comparativa de um Scanner 3D e um braço tridimensional em medição de motores Diesel.

A implementação da utilização de Scanner 3D para medição dos motores vem de encontro às expectativas em relação aos possíveis resultados apresentados na direção da eficiência das medições, da melhoria da qualidade dos resultados obtidos em termos de repetibilidade e da diminuição do tempo de inspeção. A expectativa da empresa é que este meio de avaliação dimensional melhore as condições ergonômicas da operação de medição, diminua o tempo de inspeção dimensional e ofereça uma melhor confiabilidade nos resultados obtidos, quando comparados com o sistema anterior, que era realizada através da utilização de um braço de medição tridimensional por contato.

Eventuais limitações do equipamento as dificuldades operacionais e a necessidade de utilização de equipamentos e sistemas auxiliares periféricos, tais como dispositivos de fixação e movimentação da peça a ser avaliada, softwares de captura e interpretação de dados e o desenvolvimento de treinamento específico para a eficaz utilização deste aparato de medição. Além desses itens, faz-se necessário o desenvolvimento e implementação das interfaces de compartilhamento dos dados recolhidos na medição, integrando os sistemas de forma a compatibilizar as informações obtidas para a efetiva performance de sistemas de produção integrados, como preconiza a caracterização de uma Indústria 4.0.

Na seqüência deste trabalho será apresentado o referencial teórico com a fundamentação dos principais conceitos abordados no estudo. A metodologia de pesquisa será mostrada no capítulo 3. Os resultados da análise do Scanner 3D serão detalhados no capítulo 4. Na última parte do trabalho, capítulo 5, serão expostas as considerações finais, contribuições do estudo e suas limitações.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 INOVAÇÃO TECNOLÓGICA E INDÚSTRIA 4.0

O desenvolvimento tecnológico acontece de maneira a oferecer inovações para o setor industrial na direção de melhorias da produtividade, do incremento da qualidade dos produtos e no acréscimo na eficiência global dos processos de produção. Como consequência, experimenta processos de produção mais enxutos, com diminuição dos custos associados a volumes de produtos produzidos mais consistentes com as necessidades de mercado. Isso gera um resultado final melhor para todos os envolvidos na cadeia de fabricação, desde a matéria prima até o consumidor final.

O Manual de Frascati (1994), definiu Inovação Tecnológica como “a transformação de uma ideia em um produto vendável, novo ou melhorado, ou um processo operacional na indústria ou no comércio, ou ainda um novo método de serviço social”.

A área industrial mecânica encontra-se atualmente inserida no contexto das definições que caracterizam a denominada Indústria 4.0. Pode-se encontrar incontáveis caracterizações que incluem definições e classificações para a auto denominada Quarta Revolução Industrial – Indústria 4.0. É bastante comum descrições desta fase da evolução industrial desaguarem nas denominadas Tecnologias Habilitadoras, como significância da Indústria 4.0 (ABII – Associação Brasileira de Internet Industrial, 2021).

A denominada Indústria 4.0 torna-se cada dia mais popular nos meios industrial, político, científico e acadêmico, configurando a promessa de uma nova revolução industrial que venha a somar-se às três revoluções anteriores já experimentadas pela sociedade como um todo (GHOBAKHLOO, 2021).

A Quarta Revolução Industrial conhecida como Indústria 4.0 e sua subjacente transformação de sistemas analógicos para digitais, se constitui em pesquisas baseadas em tecnologias de ponta e apresentam tópicos de estudos em diversas disciplinas (GHOBAKHLOO, 2021).

Dessa forma, atualmente a literatura em desenvolvimento que permeia este campo de conhecimento experimenta um crescimento exponencial acelerado, expandindo de maneira rápida e massiva o entendimento corrente do que possa caracterizar uma Revolução Industrial Digital, através de milhares de publicações acadêmicas (GHOBAKHLOO, 2021).

A primeira referência da Indústria 4.0 aconteceu na Alemanha em 2011, não estando ainda, naquele momento, muito claro se esta denominação que se apresentava de forma repentina como uma “Revolução”, poderia representar efetivamente um movimento característico de uma Revolução Tecnológica (OSTERREICH, 2016).

Nos anos recentes, a denominação “Indústria 4.0” tem sido considerada como um termo popular para descrever uma tendência de digitalização e de automação do ambiente da manufatura como um todo (OSTERRIECH, 2016). Desde a conceituação feita na Alemanha em 2011, ambos, o cenário tecnológico e o entendimento do que seja a denominação “Indústria 4.0” tem evoluído de maneira significativa, levando estas caracterizações na direção de diversas ambiguidades (CULOT, 2020). Dessa maneira, foram sendo implementados conceitos similares frequentemente utilizados, tendo como exemplos as seguintes denominações: “Manufatura Inteligente”; “Transformação Digital” e “Quarta Revolução Industrial”. Esse fato imprimiu um senso de confusão em torno do escopo e das características deste fenômeno (CULOT, 2020).

Como toda “Revolução”, esta, por estar em estágio embrionário, também se apresenta em fase de afirmação como conceito, tendo suas fronteiras ainda não totalmente definidas.

Somente o tempo irá determinar sua amplitude e consequentes limitações, definindo, claramente, sua extensão.

É bastante comum a caracterização da Indústria 4.0 ser analisada sob o ponto de vista do nível de implantação e da utilização das chamadas Tecnologias Habilitadoras que podem ser identificadas em um grande número de definições (PACCHINI, 2019). De maneira geral, as definições disponíveis para essas Tecnologias Habilitadoras constituem-se em um conjunto de sistemas inteligentes de produção que, atuando de forma integrada, configuram a Indústria 4.0 (PACCHINI, 2019). Essas tecnologias se referem, em grande parte, na geração, compilação, organização, distribuição e arquivamento de uma grande quantidade de informações.

A figura 1 representa algumas das Tecnologias Habilitadoras consideradas como de maior aplicabilidade dentro do conceito da Quarta Revolução Industrial.

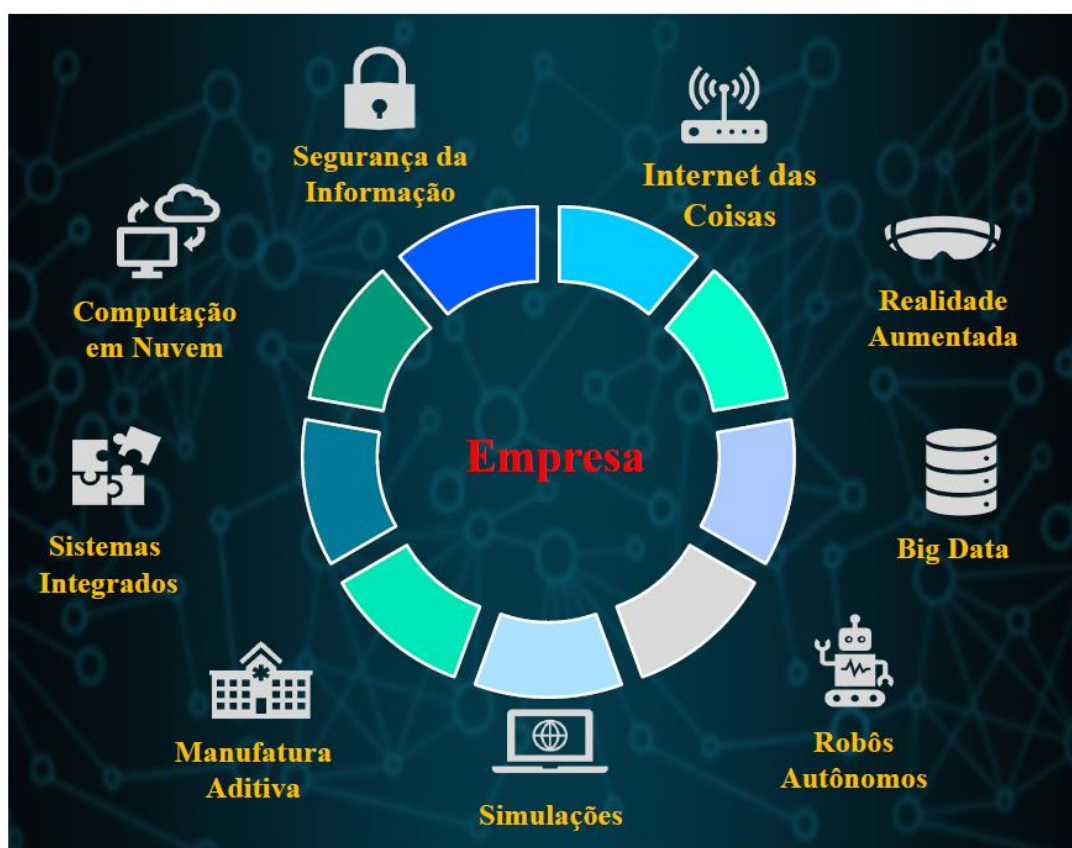


Figura 1: Tecnologias Habilitadoras na Indústria 4.0.

Fonte: ABII – 2021

2.2 SCANNER 3D EM METROLOGIA

De acordo com “The International Bureau of Weight and Measures” metrologia é a ciência da medição, abrangendo determinações teóricas e experimentais em qualquer nível de incerteza e em qualquer campo da ciência e da tecnologia (BROWN, 2021). Metrologia é a estrutura que garante que as medições sejam determinísticas, comparáveis e precisas, apresentando confiança no resultado da medição, estando sempre atrelado à um nível de precisão pré-estabelecido (BROWN, 2021). A partir dessa definição, fica claro que o alcance da metrologia é amplo e abrangente (BROWN, 2021). A geração de nuvens de pontos a partir de novas tecnologias, têm como base a exploração da superfície de peças, com a utilização de

feixes luminosos, para que representem a configuração geométrica de um sólido. A geração dessas nuvens de pontos é realizada através de dispositivos de captura de imagens que atendem a uma série de aplicações, estando incluído nessa lista, exemplos de medição e transformação dessas nuvens de pontos em imagens (AHMADABADIAN, 2014). A figura 2 representa o aparelho de escaneamento que está sendo utilizado no desenvolvimento deste estudo de caso.



ZEISS GOM T_SCAN 20
Your mobile measuring room

Dados Técnicos - Resumo



- Profundidade de Medição = +/- 50mm
- Largura da Linha de Medição = até 125mm
- Alcance da Distância de Trabalho = 150mm
- Frequência da Linha de Medição = até 330Hz
- Taxa de Captura de Dados = 210.000 pontos/segundo
- Peso = 1.100g
- Dimensões do Sensor (incluso manopla e pinos IR) = 300x170x150mm
- Comprimento do Cabo = 10m
- Distância entre Pontos de Captura = 0,075mm
- Classe do Feixe de Laser (IEC 60825-1:2014) = Classe 2M (Seguro para os olhos)
- Software = GOM Inspect Suite
- Campo de Varredura = até 3.200mm x 2.500mm
- Distância de Medição: Objeto-Câmera = 2.0m - 6.0m
- Volume de Medição = 20m³
- Precisão = 40 + (40*/1000)

Um Sistema de Captura de Dados sem necessidade de preparação do objeto a ser medido.

Rápido, intuitivo e muito preciso

O Sistema Modular ZEISS T-SCAN é a forma mais fácil de captura de dados em 3D que dispensa qualquer preparação do objeto em estudo. É composto de componentes que se adaptam perfeitamente - O scanner portátil a laser T-SCAN, O sistema ótico de rastreamento T-TRACK e a sonda T-POINT - constituem uma solução intuitiva e altamente precisa em metrologia 3D. Combinado com o software GOM Inspect Suite disponibiliza uma nova dimensão em tecnologia para medição de coordenadas.

Figura 2: Folha de dados do Scanner 3D.

Fonte: Adaptado de Carl Zeiss Industrielle Messtechnik GmbH

Tomando como base esse desenvolvimento tecnológico, essa tecnologia se coloca à disposição para realização de engenharia reversa, para o desenvolvimento de novos produtos, tem aplicação na manufatura rápida e nas operações de inspeção dimensional e de controle de qualidade, sendo utilizado para tanto um Scanner 3D (HALEEM, 2021).

O processo de escaneamento tem a função de converter um objeto real em um formato digital através de sua conformação, por uma nuvem de pontos geradas a partir de sua superfície (HALEEM, 2021). Um Scanner 3D, na sua versão COMET 3D, capta informações sobre a exata forma e tamanho do objeto a ser medido e registra estes dados, criando sua figura digital em arquivo através de softwares específicos (HALEEM, 2021). Olhando para o que se

apresenta para um futuro próximo na a Indústria 4.0, este fato constitui um requisito essencial para o desenvolvimento de uma manufatura digital. Um Scanner 3D captura a imagem física de um objeto em sua escala natural, utilizando-se de um feixe de laser de luz azul e branca e não necessita de nenhum contato com a superfície da peça a ser verificada (HALEEM, 2021).

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

O método de pesquisa utilizado neste trabalho foi o estudo de caso em uma empresa de motores Diesel, localizada no estado de São Paulo. O estudo de caso é um método de pesquisa com abordagem exploratória, que é a etapa inicial para entender um fenômeno no qual o assunto ainda não possibilita conclusões definitivas (Yin, 2014). Estudo de caso tem mostrado contribuições significativas nos campos teórico e prático (Barrat *et al.*, 2011), e tem se revelado como uma poderosa metodologia de pesquisa em gestão de operações (Voss *et al.*, 2002).

A coleta de dados foi obtida por meio de entrevistas com técnicos da área de metrologia e análise de relatórios da empresa, em julho de 2021. A investigação buscou informações das situações antes e depois da aquisição e uso do Scanner 3D, o T-scan. Com isso, foi possível analisar em profundidade a atividade de medição dimensional de motores estabelecendo um comparativo dos equipamentos braço de tridimensional e o T-scan.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 ESTUDO DE CASO

Nesta seção será apresentado um estudo de caso na área de metrologia no departamento de qualidade em uma empresa do setor automotivo, no qual foi substituído um sistema tradicional de medição através de braço tridimensional por um sistema de Scanner 3D. O plano de implementação, apresentação do equipamento e as vantagens também serão abordadas neste tópico.

4.1.1 Apresentação da Empresa

O estudo de caso foi desenvolvido em uma empresa fabricante de motores diesel. Uma empresa multinacional de grande porte com aproximadamente 1100 colaboradores que está localizada na grande São Paulo, na região de Guarulhos. Está no Brasil desde a década de 70, estando presente em mais de 190 países.

4.1.2 Apresentação do problema

Auditoria de produto na indústria é uma atividade que visa analisar a conformidade de produto por meio da verificação das condições físicas com as especificações técnicas. A empresa foco deste estudo tem definido o cronograma de auditoria de produto. As verificações dimensionais de motores são realizadas por técnicos da Qualidade na sala de metrologia. Devido ao tamanho do produto e a complexidade o equipamento é utilizado um braço tridimensional conforme ilustrado na Figura 3.

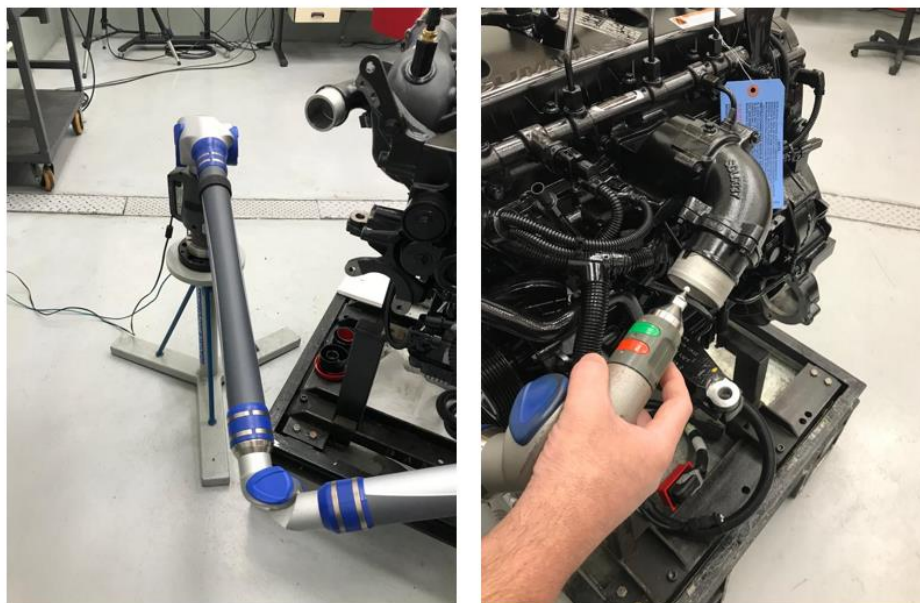


Figura 3: Medição do motor com braço tridimensional.

Fonte: Empresa pesquisada

Antes de iniciar as medições algumas etapas são necessárias que sejam executadas pelo inspetor, tais como: preparação do equipamento, montagem da ponteira e seleção do programa a ser utilizado. No produto o inspetor necessita, criar as referências conforme definido no desenho (alinhamento dos eixos x, y e z da peça).

No atual cenário, onde as empresas buscam mais competitividade, a eficiência, a prontidão nas entregas e qualidade são itens fundamentais para vencer a concorrência. Dentro desse contexto tecnologias cada vez mais avançadas entram para suportar as empresas. Esse mesmo conceito também é válido para os meios de medição e para os sistemas de controle de qualidade, seja na inspeção de componentes dentro do processo produtivo ou através de auditorias realizadas na metrologia. Na indústria, as inspeções na produção muitas vezes são consideradas como um processo que não agrega valor ao produto, e com isso sempre ocorrem grandes esforços para garantir que os produtos sejam produzidos corretamente na primeira vez, evitando retrabalhos ou perda de produção.

Devido a estas questões tecnológicas, alguns fatores foram levados em consideração para que ocorresse a troca do braço tridimensional, tais como: esse equipamento depende da habilidade do operador impactando na precisão e na repetibilidade das medições, a velocidade na medição é baixa, resultando grande tempo de ciclo de medição e dependendo do design e do acesso do produto esse equipamento dificulta a medição.

4.1.3 Apresentação do Scanner 3D

Com a entrada de novos clientes a demanda para a realização de auditorias de produto aumentou, com isso a empresa teve que optar por um equipamento que conseguisse atender com maior rapidez esta nova demanda.

O Scanner 3D foi uma opção encontrada pela empresa para atender esta nova demanda com maior precisão, menor tempo de ciclo e maior flexibilidade, atendendo um número maior de requisitos.

O equipamento é composto pelos seguintes acessórios:

- Scanner 3D modelo T-Scan;
- Sistema de rastreamento óptico modelo T-Track;
- Sistema de toque rápido modelo T-Point.

A visão geral do equipamento é apresentada na Figura 4.

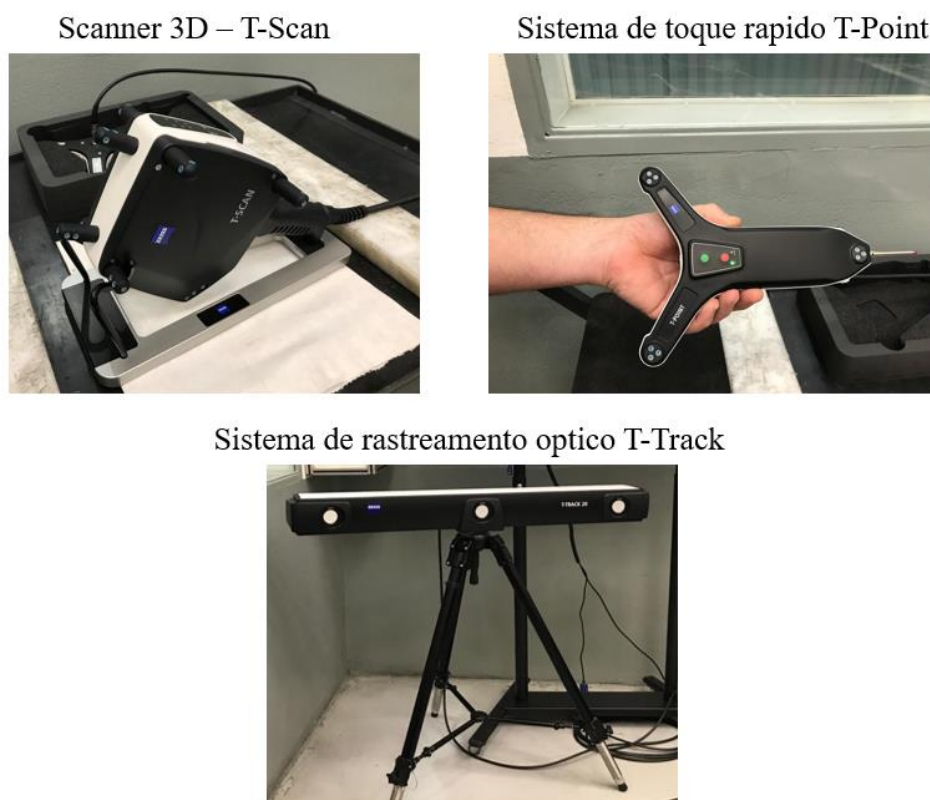


Figura 4: Visão geral do equipamento T-Scan.

Fonte: Empresa pesquisada

4.1.4 Aplicações do Scanner 3D

O Scanner 3D pode ser utilizado em algumas outras aplicações, além da função de dimensionar peças. Quando conectado a um software de suporte pode ser utilizado para engenharia reversa e geração de desenho em 3D. Na empresa pesquisada este mesmo equipamento foi utilizado no suporte para análise de qualidade em um componente em campo, na qual o motor apresentou vazamento no tubo de retorno de óleo.

A peça falhada demonstrada na Figura 5 é composta por duas partes metálicas que são unidas por uma mangueira de borracha. No momento da montagem, para conseguir o correto posicionamento do tubo dreno no motor, era necessário forçar o conjunto, o que acarretava a torção da mangueira. Esse modo de falha pode gerar futuros danos a mangueira com o motor em funcionamento.

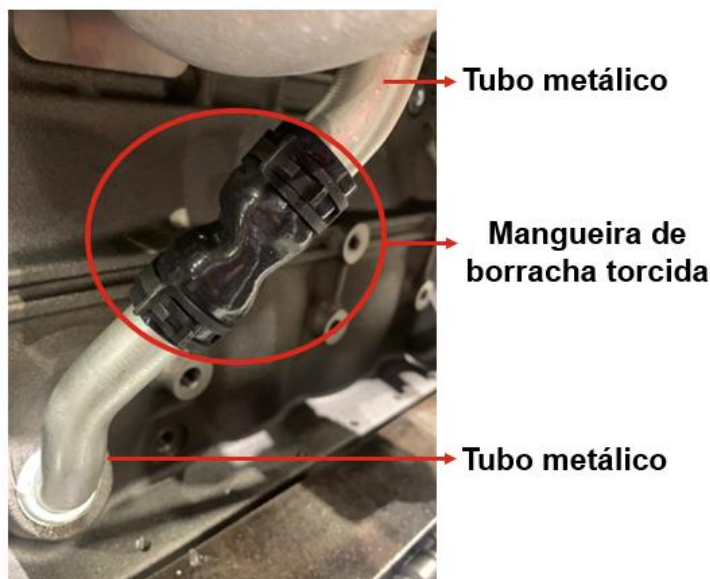


Figura 5: Tubo dreno com torção na mangueira.

Fonte: Empresa pesquisada

Para suportar a análise foi necessário realizar a medição desta peça, porém a mangueira é composta de borracha e utilizar o método tradicional através de apalpação para dimensionar pode apresentar erro nos resultados, não sendo, portanto, um método preciso e confiável. Com o Scanner 3D foi possível dimensionar a peça direto no motor sem ter que tocar no componente. Com isso foi possível gerar um modelo em 3D e realizar uma análise virtual no motor e desenvolver um conceito de componente com melhor aplicação sem gerar a torção da mangueira evitando uma possível perda da qualidade por conta de vazamento de óleo no tubo dreno do turbo.

A Figura 6 demonstra o modelo gerado da peça após o escaneamento com o novo Scanner 3D.

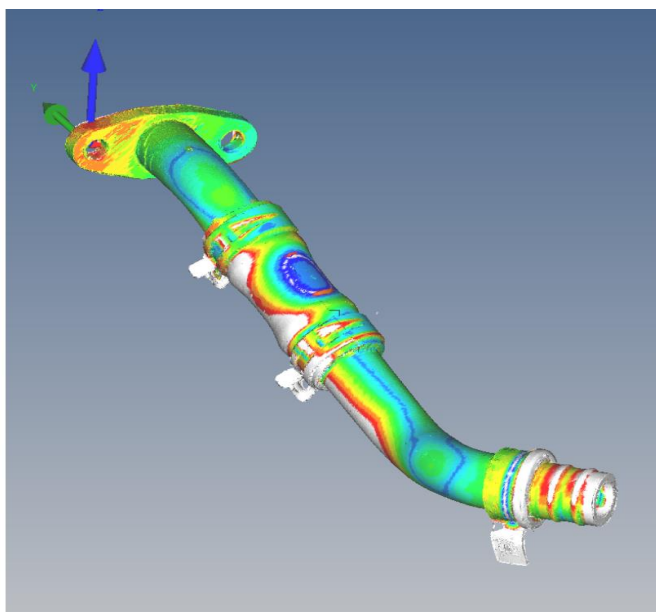


Figura 6: Tubo dreno com torção na mangueira.

Fonte: Empresa pesquisada.

O Scanner 3D apresentou algumas vantagens em relação ao método tradicional, proporcionou vantagens na redução do tempo de ciclo, aumentou a precisão da medição, requer uma menor dependência das habilidades do operador, garante maior flexibilidade nas medições e oferece diversificação de aplicações apresentadas no estudo de caso. Como todo equipamento que faz parte de desenvolvimento de tecnologia o investimento inicial se apresenta como bastante significativo. Existe, portanto, uma expectativa muito grande para que o retorno sobre o investimento seja positivo em curto espaço de tempo.

A seguir é apresentado na Figura 7 um quadro comparativo entre vantagens e desvantagens apresentadas pelo braço de medição tridimensional atualmente usado e do conjunto de medição com Scanner 3D – Tscan.

BRAÇO TRIDIMENSIONAL



Vantagens

- Menor Custo de compra comparado com scanner 3D

Desvantagens

- Maior tempo de medição
- Menor acuracidade comparado com o scanner 3D
- Tempo de ciclo longo

SCANNER 3D



Vantagens

- Melhor acuracidade
- Menor tempo de medição
- Maior flexibilidade
- Menor dependência do operador

Desvantagens

- Maior Custo de compra comparado com o braço tridimensional

Figura 7: Quadro Comparativo de vantagens e Desvantagens entre Braço de Medição e Escaneamento 3D
 Fonte: Empresa Pesquisada

Complementando os dados comparativos para a medição por Escaneamento 3D e através de um Braço de Medição Tridimensional, temos:

- O investimento necessário para implantação de um sistema de medição através de Escaneamento 3D, incluindo os equipamentos e seus acessórios mostrados na Figura 4 anterior,   de aproximadamente 3.5 vezes o custo de implementação de um sistema baseado em Braço de Medição Tridimensional.

- O tempo médio de preparação da peça a ser medida por Escaneamento 3D fica, em média, na metade do tempo necessário para a medição com o Braço Tridimensional. Neste quesito os valores oscilam muito, dependendo do tipo de peça a ser medida, tais como peso da peça, configuração geométrica, volume do sólido, etc. A explicação para este fato fica por conta da forma de medição, que, no caso de Escaneamento 3D, a captura de dados é feita por um

facho de laser, sem contato físico com a peça. Já no Braço Tridimensional a captura de dados é feita por contato físico com a peça.

- Da mesma forma, o tempo de medição para o Escaneamento 3D é, em média, 4,5 vezes menor que o tempo necessário para medição com o Braço Tridimensional.

- A precisão dos resultados obtidos com o Escaneamento 3D também se apresenta significativamente maior em relação aos obtidos por medição com o Braço Tridimensional. Esse fato se refere à geração de uma nuvem de pontos de medição atingida por Escaneamento 3D comparando-se com resultados pontuais gerados pela medição com Braço Tridimensional.

- Por fim, a configuração ergonômica propiciada pela operação de Escaneamento 3D, demonstra-se muito mais confortável para o operador do equipamento de medição que na medição com Braço Tridimensional em razão da não necessidade de contato físico na inspeção com Scanner 3D. Esta situação fornece uma condição de trabalho mais ergonômica, gerando, portanto, maior conforto para operador, o que significa menos fadiga, maior produtividade e melhor qualidade nos resultados obtidos.

O quadro a seguir representado pela Figura 8 resume as diferentes características dos dois sistemas em discussão.

Quadro Comparativo entre Escaneamento 3D e Braço de Medição Tridimensional					
	Custo de Implantação	Tempo de Preparação	Tempo de Medição	Precisão dos Resultados	Ergonomia
Escaneamento 3D X Braço de Medição Tridimensional	Implantação do Sistema de Escaneamento 3D é 3,5 vezes mais caro que do Braço Tridimensional	No Escaneamento 3D o tempo de preparação é a metade do que no Braço Tridimensional	Medição com Escaneamento 3D é 4,5 vezes mais rápida do que com o Braço Tridimensional	A precisão de resultados obtidas pelo Escaneamento 3D é muito superior do que com o Braço Tridimensional	Escaneamento 3D oferece maior conforto na Medição

Figura 8: Quadro comparativo de características dos sistemas de medição em discussão
Fonte: Empresa Pesquisada

5 CONCLUSÕES/CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de caso apresentado neste trabalho indicou a implementação e as vantagens que o Scanner 3D pode agregar ao departamento de metrologia. Os resultados positivos obtidos com os ganhos para área de metrologia denotaram que o objetivo desta pesquisa qualitativa foi alcançado. A transição do braço de medição tridimensional para o T-scan é inquestionável, inclusive, para as empresas que detém esta tecnologia, mostra-se possível sua utilização em inúmeras aplicações, como por exemplo em engenharia reversa, para alta precisão na medição, é um aparelho fácil de usar, na captura dados com rapidez e eficiência.

Como notação para o futuro, existe a possível utilização de um Scanner 3D para gerar desenhos de peças em desenvolvimento, o eventual desenvolvimento de uma engenharia reversa, a aplicabilidade desta forma de “enxergar” de maneira digital componentes e analisar sua inserção em conjuntos pré-existentes. Entre essas e outras tantas possibilidades, a tecnologia até então indicada de escaneamento em 3D pode abrigar campos diversos de pesquisa para o desenvolvimento tecnológico.

A contribuição deste estudo consistiu no aprofundamento científico sobre o tema Scanner 3D em sistemas de medição. Além disso, a implementação do T-scan reduziu o tempo de medição dos produtos na empresa. Também, a nova tecnologia possibilitou a realização de

outras atividades que são tecnicamente inviáveis com o braço de medição tridimensional. Com a implantação do Scanner 3D obteve-se eficiência nas medições dos produtos, aumento da produtividade na área de metrologia, desenvolvimento dos colaboradores com treinamentos e expansão da tecnologia para novas áreas.

Esta pesquisa foi limitada à análise das vantagens no uso do aparelho T-scan e das medidas tomadas na área de metrologia. A avaliação das ações implantadas na metrologia visando a redução do tempo na medição dos produtos, as inúmeras funções e aplicações do aparelho é uma recomendação para futuras pesquisas.

REFERÊNCIAS

ABII – Associação Brasileira de Internet Industrial, 2021.

AHMADABADIAN, A. H.; SARGEANT, B.; ERFANI, T.; ROBSON, S.; SHORTIS, M.; HESS, M.; BOEHM, J. Towards Fully Automatic Reliable 3D Acquisition: From Designing Imaging Network to a Complete and Accurate Point Cloud. **Robotics and Autonomous Systems**, UK, v. 62, p.1197-1207. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.robot.2014.04.001>.

BARRAT, M.; CHOI, T. Y.; LI, M. (2011) Qualitative case studies in operations management: Trends, research, outcomes, and future research implications. **Journal of Operations Management** 29(4), 329-342.

BROWN, R. J. C.; Measuring Measurement – Whats is Metrology and Why Does it Matter? **Measurement**, Teddington, UK, v. 168, 108408. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108408>.

CARMIGNATO, S.; DE CHIFFRE, L.; BOSSE, H.; LEACH, R. K.; BALSAMO, A.; ESTLER, W. T. Dimensional Artefacts to Achieve Metrological Traceability in Advanced Manufacturing. **CIRP Annals – Manufacturing Technology**, Pádua, Itália, v. 69, p. 693-716. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2020.05.009>.

CULOT, G.; NASSIMBENI, G.; ORZES, G.; SARTO, M. Behind the Definition of Industry 4.0: Analysis and Open Questions. **International Journal of Production Economics**, Udine, Itália, v. 226, 107617. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107617>.

DURAKBASA, N. M.; BAUER, J. M.; BAS, G.; KRÄUTER, L. Towards a Sophisticated Approach to Cost Oriented Automation and Intelligent Metrology in the Advanced Manufacturing. **IFAC – International Federation of Automatic Control**. Viena, Áustria. IFAC PapersOnLine v. 51-30, p. 54-59. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.11.245>.

FRASCATI MANUAL. The Measurement of Scientific and Technological Activities – Proposed Standard Practice for Surveys on Research and Experimental Development. **OECD – Organization for Economic Cooperation and Development**. Paris, França, 2002.

GHOBAKHLOO, M.; FATHI, M.; IRANMANESH, M.; MAROUFKHANI, P.; MORALES, M. F. Industry 4.0 Ten Years on: A Bibliometric and Systematic Review of Concepts, Sustainability Values Drives, and Success Determinants. **Journal of Cleaner Production**, Kaunos, Lituânia, v. 302, 127052. 2021. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.clepro.2021.127052> .

HALEEM, A.; GUPTA, P.; BAHL, S.; JAVAID, M.; KUMAR, L. 3D Scanning of a Carburetor Body using COMET 3D Scanner Supported by COLIN 3D Software: Issues and Solutions. **Materials Today: Proceedings**, Nova Deli, India, v. 39, p. 331-337. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.427>.

OESTERREICH, T. D.; TEUTEBERG, F. Understanding the Implications of Digitalization and Automation in the Context of Industry 4.0: A Triangulation Approach and Elements of a Research Agenda for the Construction Industry. **Computers in Industry**, Osnabrück, Alemanha, v. 83, p. 121-139. 2016. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.09.006>.

PACCHINI, A. P. T.; LUCATO, W. C.; FACCHINI, F.; MUMMOLO, G. The Degree of Readness for Implementation of Industry 4.0. **Computers in Industry**, São Paulo Brasil, v. 113, 103125, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.103125>.

VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. (2002) Case research in operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, 22.

YIN, R.Y. Case Study Research: design and methods. Sage, California.