

## **1 Introdução**

### **1.1 Tema**

O *Retrofit* é considerado uma opção para a modernização da manufatura existente rumo aos conceitos da indústria 4.0, pelo baixo custo de sua implementação, tornando-se assunto de grande interesse atual.

### **1.2 Problema de pesquisa**

Com os desafios da implementação dos conceitos da indústria 4.0 na manufatura existente, a utilização do *Retrofit* se torna uma opção importante a ser considerada na modernização dos equipamentos, trazendo a seguinte questão de pesquisa: Quais são as oportunidades da utilização do *Retrofit* como opção na implementação dos conceitos da indústria 4.0?

### **1.3 Objetivos**

Identificar como a opção de *Retrofit* de equipamentos e sistemas da manufatura, se torna relevante no processo de atualização dos sistemas legados, com o objetivo de modernizá-los rumo aos conceitos da indústria 4.0 com custo e prazo menor quando comparados com a aquisição de novos equipamentos e sistemas.

## **2 Referencial Teórico**

### **2.1 Indústria 4.0**

A manufatura da indústria moderna passa pela chamada 4ª revolução industrial. As revoluções anteriores tiveram como características principais a utilização de energia a vapor nos processos industriais (Indústria 1.0), seguidos pelo uso da energia elétrica (Indústria 2.0) e, posteriormente pelas transformações da tecnologia da informação (Indústria 3.0). Tais revoluções, trouxeram crescimento significativo aos setores de manufatura das indústrias. No entanto, nos últimos anos, a introdução de sistemas ciberfísicos (CPS), os avanços em conectividade aplicados com o conceito de Internet das coisas (IoT), tecnologias de realidade aumentada, digitalização, entre outras, deram início a 4ª e nova revolução industrial, nomeada como Indústria 4.0 em 2011 em uma tradicional feira de tecnologia industrial realizada em Hannover na Alemanha (Wankhede & Vinodh, 2021).

A combinação de tecnologias que estão em constante desenvolvimento, suportadas por conceitos de Internet das Coisas (IoT *Internet of Things*), Computação em nuvem (*Cloud computing*), *BigData* e Inteligência artificial (AI *Artificial Intelligence*), baseadas nos Sistemas Ciberfísicos (CPS *Cyber-physical Systems*), que por sua vez permitem a conexão entre equipamentos e os diversos sistemas da manufatura da empresa (Benjamin, Néstor, Joana, & Alejandro, 2021).

A evolução dos Sistemas Ciberfísicos permitiu a coleta e digitalização dos mais variados tipos de informações dos equipamentos e, em altíssima velocidade. Com esta evolução, a quantidade de dados gerados pelos sistemas cresceu exponencialmente exigindo assim a evolução na área de conhecimento que estuda como armazenar, filtrar, analisar e obter informações a partir deste conjunto de dados coletados, área está também conhecida como Big Data (D'emilia, Gaspari, Natale, Adduce, & Vecchiarelli, 2021). Com a disponibilidade dos dados praticamente online, a gestão dos processos pode extrair os mais variados indicadores de desempenho (KPI's *Key Performance Indicators*) do processo produtivo. Indicadores básicos importantes como: Eficiência Global dos Equipamentos (OEE *Overall Equipment*

*Effectiveness*), Produtividade Homem / Hora, Tempo médio para reparos (MTTR *Mean Time to Repair*), Tempo de inatividade, entre outros, são atualizados, digitalizados e mostrados praticamente em tempo real em painéis (Dashboards), auxiliando a gestão em rápidas respostas e decisões sobre o processo produtivo (Kousay, Khabbazi, Maffei, & Onori, 2021). Além dos indicadores básicos de produção, com os dados obtidos, pode-se aplicar outros conceitos que, do mesmo modo evoluem exponencialmente na indústria 4.0: Inteligência Artificial e Aprendizado de Máquina (ML *Machine Learning*). As tecnologias e conceitos de Inteligência artificial e Aprendizado de Máquina aplicados aos dados obtidos dos Sistemas Ciberfísicos, possibilitam a extração de informação que permitem uma análise preditiva avançada dos equipamentos. Os dados recebidos permitem prever, de maneira confiável, possíveis problemas nos equipamentos, permitindo que a gestão da produção e setores como manutenção, estejam preparados para eventuais paradas, reduzindo assim o tempo de manutenção e, conseqüentemente aumentando a disponibilidade dos equipamentos para o sistema de produção. Com os indicadores básicos e outros indicadores importantes disponíveis, a gestão dos sistemas de produção podem planejar alterações, evoluções, paradas de maneira antecipada, tornando o sistema produtivo cada vez mais eficiente (Yuan *et al.*, 2021).

Em dados específicos da indústria brasileira, além dos investimentos com recursos próprios, as indústrias buscam agências públicas que financiam projetos de inovação e desenvolvimento. Baseado em pesquisas realizadas e com dados destes órgãos públicos no ano de 2020, foram solicitados investimentos na ordem de 1,7 trilhões de reais em projetos com conceitos 4.0, divididos em Agronegócio, Cidades Inteligentes, Indústria e Saúde. Deste montante, em torno de 37% foram para projetos de pesquisa e desenvolvimento para a Indústria 4.0, considerando desde Micro a Grandes empresas. Os dados apresentam de maneira quantitativa a significância do tema e como as empresas tem investido no tema. (Fernandes, Barros & Hamatsu, 2020).

Mesmo que os conceitos da Indústria 4.0 já estejam sendo amplamente discutidos e aplicados nas indústrias de manufatura, a implementação ainda apresenta muitos desafios e paradigmas a serem quebrados, entretanto as oportunidades desta nova revolução também mostram resultados positivos, principalmente nos âmbitos de eficiência e qualidade (Zeba, Dabic, Cicak, Daim, & Yalcin, 2021).

## **2.2 Desafios na implementação da indústria 4.0**

São muitos os desafios que as indústrias enfrentam na implementação dos conceitos da indústria 4.0. Os desafios vão desde o âmbito tecnológico até desafios e questionamentos éticos, trazendo assim a necessidade de transformações em diversas áreas da indústria em desenvolvimento. No entanto, em proporções similares aos desafios, estão as oportunidades e os benefícios trazidos pelos conceitos de indústria 4.0. São expressivos os ganhos previstos e conquistados, que trazem oportunidades de desenvolvimento tecnológico, social, financeiros, em conceitos de sustentabilidade e, conseqüentemente trazem novas oportunidade para evolução e para a transformação do negócio. O processo de implementação de conceitos da indústria 4.0 é complexo e a transformação pode influenciar na indústria como um todo. Estudos apontam que os desafios organizacionais são os de maior importância, seguidos pelos desafios tecnológicos, estratégicos, financeiros, segurança, jurídicos e inclusive questões éticas (Luthra & Mangla, 2018). Dentro desses desafios, as indústrias enfrentam algumas barreiras como: altos custos na implementação dos conceitos da indústria 4.0, falta de conhecimento em sistemas de tecnologia de informação e segurança cibernética, questões de privacidade e segurança de dados, falta de qualificação da força de trabalho (Kamble, Gunasekarab & Sharmac, 2018).

Um dos desafios das empresas está relacionado a segurança de informações e operacional. Com o avanço e implementação dos Sistemas Ciberfísicos, a conectividade dos equipamentos se tornou possível e, junto da automação, que utiliza de algoritmos de inteligência artificial e aprendizado de máquina, os equipamentos também ficaram mais suscetíveis a ataques cibernéticos com os mais variados objetivos. Em 2017, motivado por um ataque cibernético ao sistema de produção, uma multinacional fabricante de veículos automotores, teve um dia de paralização de todo o sistema de produção em suas fábricas pelo mundo, gerando custos de milhões de euros para o grupo (Becue, Praça & Gama, 2021). As indústrias com conceitos de 4.0 aplicados, são amplamente conectadas, conceitos de aprendizado de máquina, robótica autônoma, colaborativa e inteligência artificial estão frequentemente se adaptando e criando modelos de decisão que visam a otimizar o sistema de produção. No entanto, da mesma forma que os ganhos trazidos por essas tecnologias são expressivos, existe também o aumento exponencial dos riscos de ataques e da criticidade caso algum ataque aconteça, exigindo assim que as empresas foquem também nos riscos que esta transformação trás para a segurança dos negócios.

Em proporções similares de desafios, estão as habilidades técnicas das pessoas para a implementação dos conceitos de indústria 4.0 na manufatura. Os esforços dos profissionais de recursos humanos na busca de profissionais para a área relacionadas à indústria 4.0 são cada vez maiores. O motivo deste esforço é que os profissionais solicitados devem possuir habilidades multidisciplinares para trabalhar em cargos que exigem desde conhecimentos técnicos em áreas de estatísticas e análise de dados até redes neurais com inteligência artificial assim como habilidades comportamentais sobre pró atividade, criatividade, adaptabilidade e iniciativa (Kipper, *et al.*, 2021). Os desafios estes são tão significativos que existem estudos científicos e propostas de frameworks baseados em inteligência artificial com o objetivo de apoiar os recursos humanos na busca por esses profissionais (Ada, Llic, & Sagnak, 2021).

Profissionais com habilidades específicas e multidisciplinares, somados aos investimentos em tecnologias modernas para implementação dos conceitos da indústria 4.0 também trazem desafios financeiros a serem enfrentados para os investidores. A indústria investe milhões em tecnologia, aquisição e retenção de talentos e segurança de informação, assumindo altos riscos e desafiadores índices de retorno do investimento. Essa mudança de paradigma e os altos investimentos são também, algumas das barreiras enfrentadas pela indústria rumo aos conceitos 4.0. Ainda com os riscos e altos investimentos, vem a necessidade de uma rápida adaptação dos processos trazendo desafios operacionais que envolvem as principais áreas do negócio (Becue, Praça & Gama, 2021). No entanto, alguns conceitos que evoluíram com a indústria 4.0 podem apoiar nestes desafios, reduzindo riscos e prevendo de maneira muito eficiente resultados futuros de maneira preditiva. A utilização de metodologias para tomada de decisão baseada em dados (*Data-Driven Decision*), aplicada aos dados do negócio adquirido com conceitos e *BigData* e baseados em estatísticas, aprendizado de máquina e inteligência artificial, podem trazer oportunidades que apoiem em decisões estratégicas (Hyers, 2020).

Assim como a geração e análise de dados podem mitigar riscos e apoiar nas decisões estratégicas que envolvem altos investimentos, conceitos que evoluíram sobre digitalização também podem contribuir com a redução destes riscos em investimentos de equipamentos e processos. A digitalização e integração de sistemas trouxe uma evolução na prototipagem e simulação de processos com os gêmeos digitais (*Digital Twin*). Com a possibilidade de simular, com protótipos digitais, os processos e máquinas, os gêmeos digitais apoiam na decisão de compra de equipamentos, investimentos em novos e/ou alterações de processos reduzindo os riscos inerentes as alterações e novos processos. Somados aos simuladores digitais de

equipamentos e processo, a evolução da prototipagem com impressoras 3D também permite a geração de protótipos com qualidades suficiente para tomadas de decisão com maior confiabilidade (Semeraro, Lezoche, Panetto & Dassisti, 2021). O conceito dos gêmeos digitais aplicados com tecnologias de realidade aumentada e virtual, permitem evoluções desde áreas da engenharia de produto e máquinas como no marketing, uma vez que torna possível apresentar de forma digital um produto ou processo que ainda esteja em fase de desenvolvimento. A área de manufatura é apenas uma das frentes nas quais a fábrica virtual baseada no gêmeo digital poderá contribuir positivamente, uma vez que as simulações podem também permitir análises sobre viabilidade de logística, ergonomia e segurança entre outras com as simulações possíveis (Yildiz, Moller, & Bilberg, 2021).

Em uma análise feita pela manufatura alemã, uma das pioneiras na implementação dos conceitos da indústria 4.0, descobriu-se que nos próximos dez anos haverá um crescimento de aproximadamente 6% nos empregos relacionados a tecnologia. Neste relativamente curto espaço de tempo, tarefas repetitivas e passíveis de automação serão substituídas, criando assim uma demanda maior por profissionais com habilidades específicas principalmente em tecnologia. Essa transformação traz uma questão social importante para o país. Uma vez que, se não for adequadamente planejada, pode interferir de maneira direta nos índices de desempregos. A busca por profissionais qualificados se torna difícil para as empresas ao mesmo tempo que a qualificação profissional se torna difícil para quem busca o emprego (Khan, Kumar, Kadry, & Nam, 2021).

Pesquisas sobre a adoção destes conceitos e tecnologias em países da América Latina são relativamente novos e, mostram um crescimento relativamente lento no crescimento econômico. Considerando empresas formais de pequeno e médio porte, representam 99,5% sendo que, em sua grande maioria são microempresas que representam 88,4% do total. Empresas deste por possuem menos recursos e, em muitos casos, conseguem investir apenas com o apoio de projetos governamentais na busca destas inovações tecnológicas e mudanças de paradigma, tornando assim os custos de investimento uma barreira para o crescimento dos negócios rumo aos conceitos da indústria 4.0 (Mendoza & Cuellar, 2020).

### **2.3 Oportunidades na implementação da indústria 4.0**

Em proporções similares aos desafios na implementação dos conceitos da indústria 4.0, estão também as oportunidades. É esperado pela indústria assim como pelos seus respectivos gerentes e executivos que, com as tecnologias disponíveis, tenha-se mais controle e que seja possível realizar medições de performance do processo existente em tempo real (Horváth & Szabó, 2019). Consequentemente, existe um esforço das empresas em busca de aumento na qualidade dos produtos produzidos e conceitos utilizados, assim como uma redução nos índices de defeito na manufatura existente, uma vez que os dados adquiridos em tempo real e os conceitos de análise de dados podem contribuir com estes índices (Gruzauskas, Baskutis, & Navickas, 2018, pp. 709 -717). Os riscos existentes com falha de equipamento são reduzidos, os monitoramentos proporcionados pelas tecnologias disponíveis, tornam possível a otimização dos processos, aumentando a produtividade e, consequentemente, reduzindo perdas e custos nos processos existentes que vão sendo transformados (Long, Zeiler & Bertsche, 2017).

A demanda dos clientes e consumidores também passam por uma transformação, aumentando consumos, exigindo maior flexibilidade, agilidade e qualidade dos sistemas produtivos e de entrega. No entanto, as tecnologias estão disponíveis para suportar estas necessidades vinda com a transformação da indústria 4.0, permitindo a produção customizada para clientes, independente de quantidades, do produto ou serviço solicitado e da localização,

permitindo também a flexibilidade em se produzir com características customizadas em tempos antes impraticáveis (Scheuermann, Verclas, & Bruegge, 2015).

Os conceitos vindos com a indústria 4.0, também proporcionam ao negócio um ambiente favorável para conceitos como JIT (Just In Time), JIS (Just in Sequence) e KanBan, trazendo uma evolução digital ao conceito ágil, customizado e enxuto também para as cadeias de suprimento, otimizando entregas, processos de rastreio e fluxos de materiais (Evtodieva, Chernova, Ivanova & Wirth, 2019).

Conceitos de Aprendizado de máquina integrados com Análise de dados e Inteligência artificial foram aplicados com o objetivo de identificar, de maneira preventiva, problemas operacionais que podem causar erros no produto ou processo produtivo como também prever falhas que podem prejudicar operadores que estejam atuando no processo, tornando assim o processo e a realização do mesmo ainda mais seguro. Da mesma forma, esse aprendizado de máquina pode ser utilizado para o recrutamento de pessoas analisando movimentos do corpo de quem está sendo recrutado. (Varela, Ochoa-Zezzatti, & Castellanos, 2021, pp. 195 - 214).

Sistemas de gerenciamento de produção flexíveis permitem menores desafios a implementação dos conceitos da indústria 4.0, reduzindo tempo de implementação e permitindo a empresa usufruir das oportunidades trazidas por essa transformação. Segundo pesquisa realizada com líderes de empresas, principalmente de autopeças, metal mecânica e metalúrgica, as cinco oportunidades mais relevantes para uma empresa flexível são: Aperfeiçoar o controle e planejamento de produção, aumentar a competitividade global da empresa, tornar-se ou ser reconhecida como uma empresa moderna, aperfeiçoar a qualidade das linhas de produção, tornar-se ou ser reconhecida como uma empresa que oferece produtos com performance superior (Contador, Satyro, Contador & Spinola, 2020).

## **2.4 Retrofit na indústria 4.0**

Os conceitos da Indústria 4.0 ganham cada vez mais relevância nos setores de manufatura. No entanto, fatores econômicos, custos e riscos envolvidos trazem grandes barreiras para as empresas nessa revolução. Como alternativa as empresas buscam algumas opções com o objetivo de modernização seus equipamentos sem necessariamente investir em novos, com prazos mais coerentes as necessidades e, conseqüentemente reduzindo riscos nessa implementação dos conceitos da revolução 4.0 (Garcia, Cano & Contreras, 2020).

Embora equipamentos relativamente novos venham equipados com Sistemas Cyber físicos já incorporados ou prontos para os conceitos de Internet das Coisas, existem muitas empresas que possuem um parque fabril no qual se predominam “sistemas legados” que, não oferecem conectividade alguma ou muito possuem as conectividades existentes muito limitada. A aquisição de novos equipamentos, além do custo e do tempo relativamente altos, envolvem desfazer de um equipamento que, em muitos casos, funciona adequadamente, de maneira robusta atendendo as necessidades da produção até o momento, tendo como desafio a integração deste sistema existente com os conceitos trazidos pela revolução da indústria 4.0. Neste contexto, as soluções buscadas resultam no desenvolvimento do *Retrofit* dos equipamentos rumo a modernização da manufatura existente (Zambetti, Khan, Pinto, & Wuest, 2020).

O termo Retrofit, é um termo utilizado para a técnica de reforma, modernização ou revitalização de algum equipamento ou sistema, sem descaracterizar seus elementos e objetivos originais. A atividade de Retrofitting se torna fundamental em áreas nas quais o processo de atualização, do equipamento ou sistema existente, é relativamente caro em termos financeiros ou, quando o tempo de um novo equipamento ou adaptação é extenso e, também quando não se deseja alterar a funcionalidade existente já robusta e consolidada, apenas acrescentando novos recursos ou funcionalidades (Burresti *et al.*, 2020).

### 3 Metodologia

Para o presente estudo, foi realizada uma pesquisa do tipo qualitativa através de entrevistas não estruturadas com dois profissionais de uma indústria multinacional, contando com mais de dez mil funcionários, localizada na região Sudeste do país e, com mais de cinquenta anos de atuação no mercado de autopeças mundial.

Nas tabelas 1 e 2 pode-se encontrar dados demográficos dos profissionais pesquisados:

Tabela 1:

#### Dados gerais dos profissionais pesquisados.

Profissional	Anos de experiência como Engenheiro	Tempo de empresas como Engenheiro	Cargo na empresa	Escolaridade
Profissional 1	16	12	Engenheiro de Processos Industriais	Engenharia de produção MBA Gestão de projetos
Profissional 2	23	23	Engenheiro de Processos	Engenharia de produção

Fonte: Própria (2021).

Tabela 2:

#### Tarefas dos profissionais pesquisados.

Profissional	Tarefas
Profissional 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planejamento dos processos industriais para produtos novos e existentes;</li> <li>- Planejamento de melhorias contínuas dos processos existentes;</li> <li>- Implementação de novas tecnologias aos processos existentes;</li> <li>- Digitalização de processos e automação da análise dos resultados gerados;</li> <li>- Introdução de sistemas de rastreabilidade e resultados do processo;</li> <li>- Implementação de tecnologias da indústria 4.0.</li> </ul>
Profissional 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planejamento dos processos industriais para produtos novos;</li> <li>- Planejamento de melhorias contínuas dos processos existentes;</li> <li>- Implementação de novas tecnologias aos processos existentes;</li> <li>- Digitalização de processos e automação da análise dos resultados gerados;</li> <li>- Introdução de sistemas de rastreabilidade e resultados do processo;</li> <li>- Implementação de tecnologias da indústria 4.0.</li> </ul>

Fonte: Própria (2021).

Durante o processo de entrevista, foram abordadas perguntas sobre a opinião e a experiência dos profissionais com Indústria 4.0, *Retrofit*, com o *Retrofit* na busca por implementação dos conceitos da indústria 4.0., desafios e oportunidades que identificam com o *Retrofit*, se tiveram participação em algum projeto de *Retrofit*, vantagens e desvantagens do *Retrofit* comparado com a compra de novos equipamentos e, se poderiam identificar casos ou tópicos de sucesso e insucesso na implementação do *Retrofit* na manufatura existente das empresas que atuam. Para os casos de sucesso e insucesso abordados, detalhes foram questionados com o objetivo de reduzir possíveis distorções por fatores externos nos resultados apresentados.

Toda a entrevista foi realizada de maneira imparcial, não sendo objetivo do entrevistador demonstrar qualquer tendência tanto para realização do *Retrofit* quanto para não realização do mesmo.

Ainda na busca de manter imparcialidade nos resultados adquiridos pela entrevista, os dois profissionais entrevistados, apesar de trabalharem na mesma empresa e possuírem cargos e tarefas semelhantes, os mesmos não se conhecem pessoalmente, não trabalham no mesmo departamento e não sabem com quais outros funcionários a entrevista foi realizada.

Com o objetivo de manter sigilo empresarial e anonimato, o nome da empresa e nome dos profissionais entrevistados foram omitidos dos dados adquiridos.

#### **4 Análise dos resultados**

A necessidade da transformação da manufatura existente com os objetivos de: modernizar equipamentos, adquirir dados para manutenção preditiva e, que podem auxiliar na melhoria do processo, digitalização dos processos existentes para que se possa atuar mais rapidamente e ter dados praticamente em tempo real, são umas das exigências comuns encontradas na pesquisa realizada. Alinhado a esses resultados encontrados temos a seguinte passagem da entrevista realizada.

*“... a exigência de uma modernização baseado nas diretrizes da empresa e, os custos previstos para isto, não são compatíveis quando pensamos em novos equipamentos, fazendo o Retrofit ser a opção a ser desenvolvida...”* (Profissional 1).

O comentário citado demonstra o conjunto de desafios e oportunidades enfrentadas pelas empresas que buscam a modernização da manufatura existente e, como o *Retrofit* entra como uma opção considerável para desenvolvimento dessa modernização.

Foi identificado no presente estudo, baseado nas experiências avaliadas, que o *Retrofit* possui alguns benefícios na busca da modernização dos processos de manufatura, os resultados esperados foram alcançados em tempo menores se comparado ao tempo previsto para aquisição de uma nova estrutura com novos equipamentos, sendo que o custo da modernização do equipamento fica significativamente menor se comprado também a aquisição de um novo. Desta forma as barreiras custo e prazo na implementação, são contornadas a ponto de atender parte dos processos existentes apenas com a reforma com o adicional da modernização do equipamento.

Outra característica encontrada na pesquisa, como sendo uma vantagem para o *Retrofit* na modernização do equipamento é que, em modo geral os equipamentos que passam por essa reforma são equipamentos robustos para o processo produtivo, ou seja, já apresentam bons resultados, são estáveis em qualidade, processo e manutenção. Em alguns casos, o equipamento inclusive passa por validações com o cliente final do processo. Desta forma, os riscos da reforma foram identificados como menores se comparado aos riscos de um novo equipamento. Apesar de que, para o equipamento novo não se espera problemas com manutenção, não deixa de ser uma tecnologia nova que exige um tempo de adaptação para que consiga alcançar os mesmos resultados em qualidade e robustez do processo anterior. Inclusive, um novo equipamento mesmo que seja para o processo existente, precisa passar por toda uma validação de qualidade interna e externa da empresa que, gera custos e prazos que devem ser alinhados com as necessidades da empresa como fornecedor e do cliente no aguardo do produto final, conforme identificado em uma passagem da entrevista realizada.

*“... um equipamento novo não significa que não haverá um custo operacional e um prazo significativo para validação do mesmo, revisões de qualidade, robustez, estabilidade são necessários e fazem parte do conceito de qualidade da empresa ...”* (Profissional 2).

No entanto, da mesma forma que foram identificadas algumas vantagens na realização do *Retrofit*, foram também levantadas pela experiência dos entrevistados, que essa opção possui sim suas limitações. De forma unânime, foi identificado que mesmo com as inovações tecnológicas dos sistemas cyber-físicos existentes, e também de outras tecnologias adjacentes que compõem os conceitos de modernização rumo a indústria 4.0, as mesmas ainda limitam as possibilidades de integração com sistemas legados. Conforme identificado,

“... alguns sistemas são tão antigos que, as informações que se pode retirar através de um sistema cyber-físico são muito limitadas. Deve-se ter sempre a premissa que aquele sistema legado não foi desenvolvido para essa finalidade...” (Profissional 1).

Em todas as experiências comentadas pelos entrevistados, nas quais o *Retrofit* foi utilizado como opção, não foi possível extrair todos os dados esperados ou não foi possível extrair os dados com nível de detalhe desejado. Uma vez que o dado não está disponível de maneira direta e, mesmo com implementação de sensoriamento não seja possível extrair os dados direta ou indiretamente, este tipo de informação não se consegue apenas com o *Retrofit* do equipamento.

Somados, os entrevistados participaram ao todo de oito projetos nos quais foi decidido pela utilização do *Retrofit* e três nos quais foi decidido por aquisição de novos equipamentos, com o objetivo de atender diretrizes da empresa em busca da implementação dos conceitos da indústria 4.0. Conforme identificado, não existe uma regra com o objetivo de definir qual a melhor opção a ser considerada. Os resultados apresentam que, as barreiras de custo e prazo certamente possuem um peso importante na decisão sobre qual conceito seguir. Porém, faz-se necessário avaliar em detalhes o que se espera conseguir com essa modernização do equipamento ou do sistema de manufatura para que se possa tomar uma decisão que atenda às necessidades tanto da empresa, do processo atual e também, pensar nas necessidades futuras que o processo pode exigir.

## **5 Conclusões/Considerações finais**

Tendo em vista os aspectos observados e argumentos apresentados, nota-se que existem vários fatores na determinação do *Retrofit* como conceito a ser seguido na modernização dos equipamentos existentes. É um caminho relevante a ser considerado, porém detalhes devem ser considerados como: avaliação da cultura e expectativas das empresas, conceitos e tecnologias existentes no processo legado atual e, manter sempre em paralelo a informação do que se deve esperar do futuro daquele processo.

Este trabalho se limitou a entrevistar um número reduzido de pessoas de uma mesma empresa, líder do mercado em que atua. Como sugestão para trabalhos futuros, sugere-se que a pesquisa seja expandida para outras empresas atuando em diversas áreas de atuação, com um número maior de entrevistados, atuando em diferentes cargos com o objetivo de buscar pontos de vista diferente dos identificados, de forma a validar ou refutar os resultados apresentados.

## **Referências**

Ada, N., Llic, D., & Sagnak, M. (2021). A Framework for New Workforce Skills in the Era of Industry 4.0. *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Science*, 6, 111 - 186.



- Becue, A., Praça, I., & Gama, J. (2021). Artificial intelligence, cyber-threats and Industry 4.0: challenges and opportunities. *Artificial Intelligence*, 54, 3849 - 3886.
- Benjamin, M., Néstor, F. A., Joana, M., & Alejandro, G. F. (2021). The four smarts of Industry 4.0: Evolution of ten years of research and future perspectives. *Technological Forecasting and Social Change*, 168. Doi: org/10.1016/j.techfore.2021.120784.
- Burrelli, G., Ermini, S., Bernabini, D., Lorusso, M., Gelli, F., Frustace, D., & Rizzo, A. (2020). Smart Retrofitting by Design Thinking Applied to an Industry 4.0 Migration Process in a Steel Mill Plant. 2020 *9th Mediterranean Conference on Embedded Computing*. Doi: 10.1109/MECO49872.2020.9134210.
- Contador, J. C., Satyro, W. C., Contador, J. L., & Spinola, M. M. (2021). Flexibility in the Brazilian Industry 4.0: Challenges and Opportunities. *Global Journal of Flexible Systems Management*, 21, 15 - 31.
- D'emilia, G., Gaspari, A., Natale, E., Adduce, G., & Vecchiarelli, S. (2021). All-Around Approach for Reliability of Measurement Data in the Industry 4.0. *IEEE Instrumentation and Measurement Magazine*, 24, 30 - 37. Doi: 10.1109/MIM.2021.9345650.
- Evtodieva, T. E., Chernova, D. V., Ivanova, N. V., & Wirth, J. (2019). The Internet of Things: Possibilities of Application in Intelligent Supply Chain Management. *Digital Transformation of the Economy: Challenges, Trends and New Opportunities*, 395 - 403. Doi: 10.1007/978-3-030-11367-4\_38.
- Fernandes, A. N. M., Barros, M. A. C., & Hamatsu, N. K. (2020). Tendência das tecnologias 4.0 no Brasil – o que nos diz a demanda sobre a Seleção Pública MCTI/FINEP/FNDCT Subvenção Econômica à Inovação 04/2020? *Revista Ciência Agronômicas – Agricultura especial 4.0*, 51. Doi: 20207773.
- Garcia, J., Cano, R. E., & Contreras, J. D. (2020). Digital retrofit: A first step toward the adoption of Industry 4.0 to the manufacturing systems of small and medium-sized enterprises. *Institution of Mechanical Engineers Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 234, 1156 - 1169.
- Gruzauskas, V., Baskutis, S., & Navickas, V. (2018). Minimizing the trade-off between sustainability and cost effective performance by using autonomous vehicles. *Journal of Cleaner Production*, 184, 709 - 717.
- Horváth, D., & Szabó, R. (2019). Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities? *Technological Forecasting and Social Change*, 146, 119 - 132.
- Hyers, D. (2020). Big data-driven decision-making processes, industry 4.0 wireless networks, and digitized mass production in cyber-physical system-based smart factories. *Economics, Management, and Financial Markets*, 15, 19 - 28.

- Kamble, S. S., Gunasekaranb, A., & Sharmac, R. (2018). Analysis of the driving and dependence power of barriers to adopt industry 4.0 in Indian manufacturing /industry. *Computer in Industry*, 101, 107-119.
- Khan, F., Kumar, R.L., Kadry, S., & Nam, Y. (2021). The future of software engineering: Visions of 2025 and beyond. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 11, 3443 - 3450.
- Kipper L. M., Lepsen, S., Dal Forno, A. J., Frozza, R., Furstenau, L., Agnes, J., & Cossul, D. (2021). Scientific mapping to identify competencies required by industry 4.0. *Technology in Society Journal*. 64. Doi: 10.1016/j.techsoc.2020.101454.
- Kousay S., Khabbazi, M. R., Maffei, A., & Onori, M. A. (2021). Key Performance Indicators in Cyber-Physical Production Systems. *51st CIRP Conference on Manufacturing Systems*, 72, 498 - 502.
- Long, F., Zeiler, P. & Bertsche, B. (2017). Modelling the flexibility of production systems in Industry 4.0 for analyzing productivity and availability with high-level Petri nets. *IFAC-PapersOnLine*, 50, 5680 - 5687.
- Luthra, S., & Mangla, S. K. (2018). Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies. *Process Safety and Environmental Protection*, 117, 168 – 179.
- Mendoza P., M.A., & Cuellar, S. (2020). Industry 4.0: Latin America SMEs Challenges. *2020 Congreso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingeniería (CONIITI)*. Doi: 10.1109/CONIITI51147.2020.9240428.
- Scheuermann, C., Verclas, S., & Bruegge, S. (2015). Agile Factory - An Example of an Industry 4.0 Manufacturing Process. *IEEE 3rd International Conference on Cyber-Physical Systems, Network, and Applications (2015)*. Doi: 10.1109/CPSNA.2015.17.
- Semeraro, C., Lezoche, M., Panetto, H., & Dassisti, M. (2021). Digital twin paradigm: A systematic literature review. *Computers in Industry*, 130. Doi: doi.org/10.1016/j.compind.2021.103469.
- Varela, J.A.E., Ochoa-Zezzatti, A., & Castellanos, H.G. (2021). Implementation of an Intelligent Framework for the Analysis of Body Movements Through an Avatar Adapted to the Context of Industry 4.0 for the Recruitment of Personnel. *Technological and Industrial Applications Associated With industry 4.0*, 195 - 214. Doi: 10.1007/978-3-030-68663-5\_14.
- Wankhede, V. A., & Vinodh, S. (2021). Analysis of industry 4.0 challenges using best worst method: A case study. *Computer & Industrial Engineering*, 159. Doi: doi.org/10.1016/j.cie.2021.107487.

- Yildiz, E., Moller, C., & Bilberg, A. (2021). Demonstration and evaluation of a digital twin-based virtual factory. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 114, 185 - 203.
- Yuan, M., Alghassi, A., Zhao, S. F., Wu, S. W., Muhammad, A., Cui, J., & Myo, K. S. (2021). Online Overall Equipment Effectiveness (OEE) Improvement Using Data Analytics Techniques for CNC Machines. *Intelligent Systems Reference Library*, 202, 201 – 228.
- Zambetti, M. Khan, M. A., Pinto, R., & WUEST, T. (2020). Enabling servitization by retrofitting legacy equipment for Industry 4.0 applications: benefits and barriers for OEMs. *Procedia Manufacturing*, 48, 1047 - 1053.
- Zeba, G., Dabic, M., Cicak, M., Daim, T., & Yalcin, H. (2021) Technology mining: Artificial intelligence in manufacturing. *Technological Forecasting and Social Change*, 171. Doi: doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120971.