



ConBRepro

X CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



EVENTO
ON-LINE

02 a 04
de dezembro 2020

Gêmeos Digitais e Industria 4.0: uma síntese de estudos de caso.

Ítalo Rockenbach Amaral

Engenharia de Produção - UFPR

Eduarda Shwarzer

Engenharia de Produção - UFPR

Marcelo Gechele Cleto

Engenharia de Produção - UFPR

Resumo: Neste artigo buscou-se apresentar um referencial bibliográfico envolvendo gêmeos digitais e indústria 4.0, de forma a embasar a aplicabilidade dessa ferramenta nas indústrias brasileiras. O artigo trata também sobre as dificuldades de se aplicar as ferramentas tecnológicas no dia a dia de empresas. Nesse sentido, foram apresentados dois casos de sucesso para discussão dos resultados e, com isso, ajudar as empresas brasileiras a adotar essa nova ferramenta.

Palavras-chave: Gêmeos Digitais; Industria 4.0; Gestão de Produção.

Digital Twin and Industry 4.0: a synthesis of case studies.

Abstract: In this article presented a bibliographic reference involving digital twins and industry 4.0, in order to support the applicability of this tool in Brazilian industries. The article also deals with the difficulties of applying technological tools in the daily routine of companies. In this sense, two successful cases were presented to discuss the results and, with this, help Brazilian companies to adopt this new tool.

Keywords: Digital Twin; Industry 4.0; Production Management.

1. Introdução

A tecnologia vem evoluindo muito nos últimos 15 anos e despertando inúmeras mudanças, especialmente em indústrias. A IoT (internet of things) trouxe diversas oportunidades de aumento da eficiência produtiva nas organizações, auxiliando a aceleração da taca de produção. Essa predisposição está diretamente associada ao termo da Indústria 4.0, que alveja a evolução das práticas corporativas e industriais de forma a integrar tecnologias desenvolvidas recentemente ao processo produtivo, trazendo diversos benefícios. (BITTENCOURT, 2017).

Ott e Sniderman (2016) comentam que estes recentes avanços na capacidade de processamento dos computadores, armazenamento de dados e velocidade de transmissão destes dados, conduziram o surgimento de novas tecnologias tais como Machine Learning, conectividade, Big Data (dados massivos), computação em nuvem e IoT. Tais tecnologias

são hoje consideradas como viabilizadoras de uma nova revolução industrial, conhecida como Indústria 4.0.

O conceito de gêmeos digitais aparece ligado com esta nova perspectiva tecnológica, aspirando trazer para um ambiente digital, uma cópia do mundo real, possibilitando que se analise vários aspectos de um objeto, um equipamento, um processo ou até mesmo uma planta industrial em sua totalidade, testando cenários e possibilidades antes de implementá-las em sua cópia física, tornando as tomadas de decisões mais rápidas, eficientes e baratas (MUSSOMELI et al., 2018).

Uma pesquisa realizada pelo Instituto de Manufatura Digital e Inovação em Design (Digital Manufacturing and Design Innovation Institute) demonstra que 81% das empresas pesquisadas acreditam que a digitalização do processo industrial é a chave para se manterem competitivas no futuro, e apenas 14% dos entrevistados assumem que estão adequadamente equipados hoje com as tecnologias e o conhecimento necessários.

Este artigo tem por objetivo explorar o conceito teórico sobre gêmeos digitais e apresentar casos de sucesso da implementação desta tecnologia. Por fim, fazer um comparativo sobre as dificuldades encontradas e sobre os objetivos dos estudos de caso alcançados.

2. Indústria 4.0

A Indústria 4.0 é entendida como uma nova era industrial, determinada pela utilização de sistemas inteligentes, com elevado grau de automação e pela competência de tomar decisões autônomas. Surge com a crescente automação dos processos produtivos, simultaneamente com o avanço da tecnologia de internet e a tecnologia desenvolvida no campo dos objetos inteligentes (máquinas e produtos). Esta nova revolução industrial possui três elementos principais: rede de produção e produto, o ciclo de vida do produto e sistemas cyber-físicos. A rede de produção da empresa, integrando os sistemas MES (Manufacturing Execution Systems) e ERP (Enterprise Resource Planning), aumenta o nível de automação na fábrica, proporcionando a troca total de informações em tempo real para a administração. O segundo elemento seria a fusão dos ciclos de vida do produto e da produção, baseados em um modelo de dados uniforme. Somente assim, os requisitos resultantes de ciclos cada vez menores podem ser gerenciados técnica e economicamente (BRYNJOLFSSON; MCAFEE, 2014; LASI et al., 2014; RUSSWURM, 2014; SCHRÖDER et al., 2015; SUGAYAMA; NEGRELLI, 2015).

O sistema cyber-físico é a união entre os mundos virtual e físico. O sistema conta com a ajuda de sensores e atuadores, os softwares são integrados à todas as partes do processo, possibilitando uma rápida troca de informações, uma alta flexibilidade de processos e controle preciso de todo o processo produtivo. Os sistemas cyber-físico (CPS) ampliam a funcionalidade dos processos da fábrica, permitindo operações muito mais seguras e eficientes. Os CPS proporcionam esta dinâmica de conexão entre o mundo virtual e o físico e, se usados corretamente, podem ser a chave para solucionar problemas de ordem global, problemas relativos às áreas de segurança, saúde, gestão de megacidades, entre outros. Este desenvolvimento é reforçado pelo rápido avanço da tecnologia de redes globais, como a internet, e o fácil acesso a informações via nuvem de dados (HELLINGER; SEEGER, 2011; VDE-DKE, 2014).

3. Internet das Coisas (IoT)

A IoT refere-se a uma rede de objetos interconectados, identificados unicamente, que se comunicam entre si e com outros sistemas, provendo uma gama de serviços. Esse conjunto de objetos ou "coisas" está conectado à Internet, possui capacidades de captura e compartilhamento de dados e pode ser usado para realização de tarefas complexas com um alto grau de inteligência (CONOSCENTI; VETRO; MARTIN, 2016; SETHI; SARANGI, 2017).

A IoT utiliza de Tecnologias da Informação (TI) para conectar todos os subsistemas, processos internos e externos, fornecedores, clientes e pessoas comuns de maneira que a troca de informações passe por toda a cadeia de valor, formando uma grande base de dados (Big Data) e de computação em nuvem. (CARMONA, 2017).

No que se refere a indústria, de acordo com Santos et al. (2016) a IIoT, esta integração de sistemas proporciona uma interligação do digital com o físico na medida em que o ser humano poderá interagir com os meios de produção apropriados durante o processo de produção ao mesmo tempo em que monitora e controla os requisitos de especificação necessários para a satisfação das necessidades do cliente, controlando as unidades logísticas de forma independente e permitindo toda a gestão do ciclo de vida do produto ou serviço de forma imediata, já que no caso industrial, a união de sistemas ciber-físicos com software interativo e integrado através de redes de dados globais, revela ser uma infraestrutura poderosa, altamente flexível, autônoma e adaptativa ao ambiente, eficaz e eficiente no seu desempenho.

A IoT é contemplada por sensores gêmeo digital (refere-se a um clone digital de ativos físicos (hardware), processos e sistemas que podem ser usados para diversos fins), software e a comunicação entre as máquinas (M2M - Machine to Machine) e as linhas de produção, permitindo a coleta e a troca de dados através dos sensores inteligentes, além de ser habilitado a analisar os dados com a integração do CPS e Cloud Manufacturing (CM) (KANG et al., 2016; WEBER et al., 2017).

Dispõe a capacidade de obter em tempo real as informações através dos sensores, além de ter a capacidade de detectar falhas e acionar a manutenção. Após a leitura das informações, encaminha com segurança as informações para a nuvem, sendo atualizada em tempo real com parâmetros de um sistema de circuito fechado (WAN et al., 2016).

4. Gêmeos Digitais

Os gêmeos digitais (tradução para a nomenclatura inglesa “Digital Twins”) são um conceito exposto inicialmente por Grieves (2014), no entanto, atualmente já existem inúmeras explicações e definições propostas para o termo (TAO et al., 2018). Schleich (2017) diz que a tecnologia gêmeos digitais (GDs) consiste na digitalização de componentes, produtos e sistemas físicos com a decorrente geração de modelos computacionais, através de descrições físicas e funcionais, que propõem-se em replicar a realidade por meio de simulações das condições de uso e fabricação destes mesmos produtos, visando as áreas de desenvolvimento de produto e processos industriais.

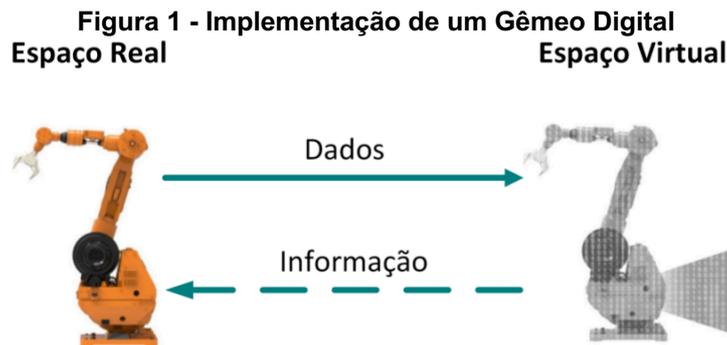
Negri et al (2017) salienta que quando referente a manufatura, o digital twin pode ser estabelecido como uma representação virtual do sistema de produção com características de sincronizar os sistemas virtuais e reais. A qual ocorre por meio de dispositivos inteligentes conectados para uma comunicação de dados em tempo real, característica típica da Indústria 4.0 também por envolver todos os recursos tecnológicos para a prevenção e otimização dos comportamentos recorrentes no sistema.

O alto número de informações e dados são processados, analisados e posteriormente avaliados por ferramentas destinadas para a simulação do sistema. Na procura pela otimização, o uso destas ferramentas auxilia no planejamento em tempo real. (ROSEN et al., 2015). A utilização dos gêmeos digitais é enxergada com grande potencial nas simulações quando envolvidos planejamentos e otimizações (TAO; ZHANG, 2017), revertendo no aumento da eficiência, maior precisão e consideráveis ganhos financeiros para a produção (NEGRI et al., 2017).

O modelo digital representa os status atual do sistema, possibilitando otimizações em tempo real, além de tomada de decisões e a realização de manutenções preditivas de acordo com as condições expostas no modelo virtual (NEGRI et al., 2017). A associação

entre o modelo físico e o modelo digital em tempo real, pode ser acompanhada pela troca de informações gerada por inúmeros sensores distribuídos. O modelo digital está submetido a constantes atualizações proporcionando uma correspondência mais fiel do que está acontecendo no objeto físico (PONOMAREV et al., 2017).

Um gêmeo digital é formado de três partes principais, sendo (1) o produto físico no espaço real, (2) o produto virtual no espaço virtual e (3) a conexão de dados e informações que conecta os espaços real e virtual. A parte virtual não apenas armazena histórico da parte física, mas também pode prover otimização e previsão para ela, de forma que se busca sempre a convergência entre as partes (TAO; ZHANG, 2017). A implementação de gêmeos digitais se dá como mostrado na Figura 1.



Fonte: Adaptado de Grieves (2014)

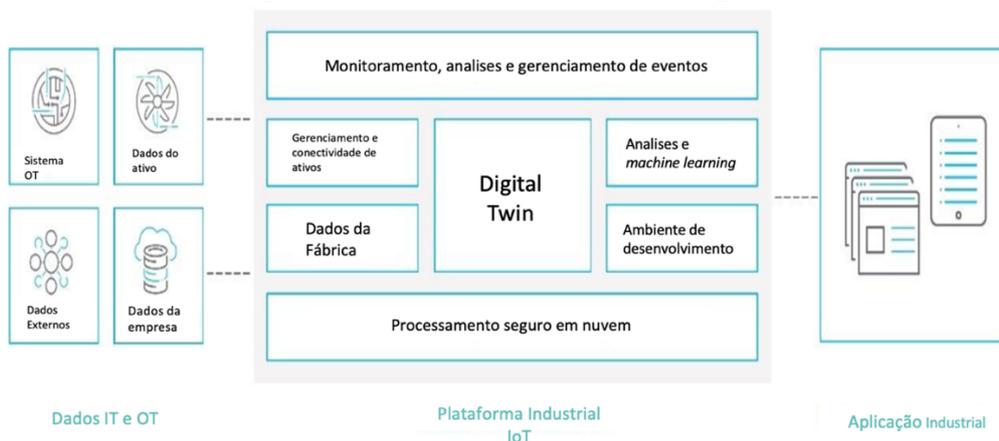
Tao e Zhang (2017) apresentam uma arquitetura conceitual de gêmeos digitais para o chão-de-fábrica que integra os espaços real e simulado, bem como plataformas de serviços agregados ao sistema, encapsulando funções de algoritmos, modelos e ferramentas na forma de sub-serviços que são combinados e executados de forma a atender às demandas do sistema físico e do sistema virtual. É implementada a comunicação de forma que o espaço físico, o espaço virtual e o sistema de serviços interagem entre si de forma a otimizar os parâmetros de desempenho do sistema a partir de metodologias como PLM, MES e ERP. Sendo assim essa ferramenta pode ser utilizada no controle de chão de fábrica de segmentos mais elaborados como a gestão do ciclo de vida de produtos industrializados (TAO et al., 2018).

5. Softwares de gêmeos digitais

Respostas computacionais para o monitoramento de ativos industriais já existem a algum tempo. Algumas empresas do segmento de tecnologia estão desenvolvendo soluções integradas dentro dos conceitos de gêmeos digitais e IoT. É o caso por exemplo da General Electric (GE) que criou uma subsidiária voltada para a pesquisa e desenvolvimento de soluções específicas para o segmento digital da Indústria 4.0, a GE Digital (GEDIGITAL, 2018).

Parris (2016) comenta que dentro destes conceitos, a empresa criou o Predix, uma plataforma capaz de integrar Machine Learning, Big Data e internet industrial, tendo como foco central o gêmeo digital. A plataforma mescla os dados adquiridos do processo industrial, dos sensores instalados no próprio ativo e dados coletados externamente, com informações corporativas, facilitando realizar análises e previsão de anomalias, além de também delinear cenários com possíveis soluções para os problemas detectados, considerando o custo-benefício de cada opção. A arquitetura conceitual da plataforma está ilustrada pela Figura 2.

Figura 2 - Plataforma Predix da GE Digital



Fonte: Gedigital (2018)

Quinalha (2018) diz que as anomalias detectadas no sistema são mostradas em tempo real para o operador ou engenheiro do sistema no próprio gêmeo digital de forma intuitiva, proporcionando um melhor entendimento da situação.

Quinalha (2018) diz que a Predix é a plataforma mais atual já disponível dentro desse assunto. No entanto, soluções semelhantes existem desde antes da disseminação do termo “gêmeo digital”. É o caso por exemplo da plataforma System 1, desenvolvido inicialmente pela empresa Bently Nevada, e adquirida pela GE em 2002. Esta plataforma desempenha as principais funções esperadas de um gêmeo digital, no entanto, dedicado à fase de manutenção e operação do sistema e é especializada em máquinas rotativas, como bombas, compressores, turbinas, dentre outros. Além disso, foi desenvolvida pensando em ativos já prontos, ou seja, fabricados antes do conceito de modelo digital.”

O que o System 1 faz basicamente é permitir que um equipamento físico existente, construído com pouca ou nenhuma tecnologia de monitoramento de campo, seja atualizado por meio de inserção de novos sensores. Uma réplica tridimensional deste equipamento é então construída em uma plataforma digital e tem o monitoramento de seus componentes associados com as medidas coletadas automaticamente em campo (GE, 2008a). A partir desta implementação, podem ser configurados limites de tolerância para variáveis críticas, dados históricos que permitem o acompanhamento do estado do ativo, além da centralização de informações técnicas como desenhos de peças, especificações, laudos, informações coletadas externamente, dentre outras, tudo em uma base de dados centralizada. A Figura 3, ilustra o funcionamento desta plataforma.

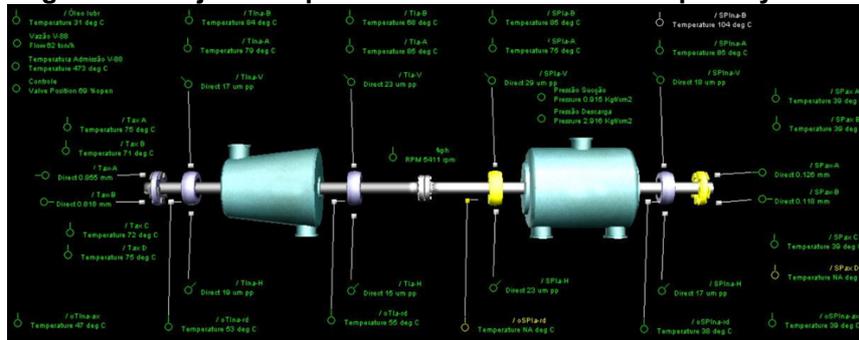
Figura 3 - Plataforma System 1 da GE / Bently Nevada



Fonte: Gedigital (2018)

Como resultado final, obtêm-se uma cópia virtual do equipamento, com uma fotografia instantânea e interativa de seu estado físico, provendo informações importantes tanto à operação do sistema como à manutenção e otimização deste. Um exemplo do aspecto da visualização deste modelo virtual do equipamento pode ser visualizado na Figura 4.

Figura 4 - Conjunto Soprador + Turbina visualizado pelo System 1



Fonte: Quinalha (2018)

Além da GE, que basicamente possui seu foco na fase de operação e manutenção de ativos, outros fabricantes de tecnologia já dispõem de produtos voltados ao conceito de gêmeos digitais. É o caso por exemplo da Dassault Systems, empresa do segmento de softwares do tipo Computer Aided Design (CAD), que atualmente oferece ferramentas para o conceito de gêmeos digitais, focadas nas fases de projeto, prototipagem e fabricação (DASSAULT, 2018). É o caso da plataforma 3DEXPERIENCE, que disponibiliza um ambiente unificado de dados de engenharia de produto, pesquisa, negócios e documentação, em uma nuvem computacional que pode ser privada ou pública, permitindo que todos os envolvidos na fase de projeto de um ativo tenham acesso imediato a informação, à medida em que estas são alimentadas ou alteradas (KAHN, 2017).

6. Método de pesquisa

O método utilizado foi o de Revisão Bibliográfica, que segundo Pereira et al. (2006, p. 97), é o tipo de pesquisa que se baseia na consulta de uma mescla de artigos, livros e documentos de um assunto específico. Foi feita uma análise bibliográfica visando averiguar, como empresas estão lidando no que tange a ferramenta da indústria 4.0 chamada gêmeos digitais, e como estão se preparando, modificando suas políticas internas para que, num futuro próximo, use-se cada vez mais e de forma inteligente as ferramentas da indústria 4.0 para melhorar a eficiência de seu produto e/ou serviço.

Foram selecionados casos de sucesso com ênfase no campo dos gêmeos digitais, trazendo como principal objetivo, através da exposição dos estudos de caso, comprovar no âmbito industrial a importância da discussão e aplicação do material bibliográfico elencado nesta pesquisa.

7. Resultados e Discussão

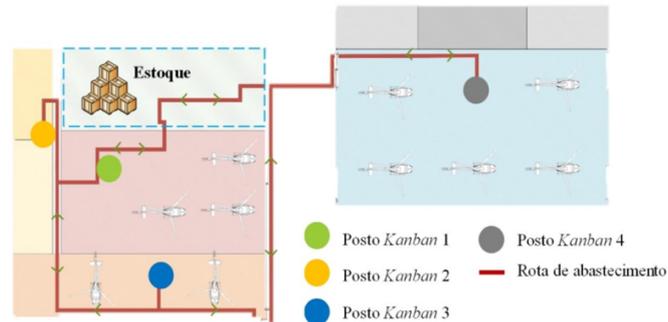
Neste tópico são apresentados dois casos de sucesso relacionados ao uso de gêmeos digitais.

7.1 Estudo 1: Utilização da simulação para tomada de decisões no contexto da indústria 4.0: uma aplicação inserida no conceito de gêmeo digital.

Este estudo foi conduzido por Santos (2019) com o objetivo de averiguar aplicabilidade de um gêmeo digital, construído a partir da simulação, em um processo real e com baixo grau de automatização em uma indústria aeronáutica. O objeto de estudo foi um processo de abastecimento de peças de uma indústria do ramo aeronáutico, o qual é composto por quatro linhas produtivas localizadas em diferentes pontos da planta e que possuem demandas independentes. Cada linha conta com um estoque intermediário no local,

chamado de posto kanban, permitindo que os materiais fiquem dispostos próximos à produção, conforme mostra a figura 5.

Figura 5 - Ilustração da planta produtiva do objeto de estudo
Planta produtiva



Fonte: Santos (2019)

O autor conduziu o experimento em três grandes fases. A primeira fase é chamada de Concepção. Nela foram contempladas as seguintes atividades: (1) Definição dos objetivos e do sistema, (2) Construção do modelo conceitual, (3) Validação do modelo conceitual, (4) Documentação do modelo conceitual e, por fim, (5) Modelagem dos dados de entrada do modelo. Como resultado da fase de Concepção, têm-se o Modelo Conceitual do objeto de estudo. Já a segunda fase é chamada de Implementação e apresenta as seguintes etapas: (6) Construção do modelo computacional, (7) Definição dos dados de atualização do modelo e das respostas desejadas, (8) Estruturação da interface com o processo real e (9) Validação do modelo computacional. As etapas de verificação e validação garantem que o modelo computacional represente fielmente o objeto do estudo. Dessa forma, o resultado desta fase é o chamado Modelo Operacional, o qual pode ser utilizado para experimentos e análises futuras. Finalmente, a última fase é a chamada Análise, a qual é composta pelas etapas: (10) Definição dos cenários a serem testados, (11) Execução dos experimentos, (12) Análise e tomadas de decisões.

Antes mesmo de começar a fase de concepção, Santos (2019) ficou acompanhando o processo durante 7 meses para ter um total entendimento do sistema a ser estudado. Santos (2019) comenta que “para fins de comparação entre a eficiência do processo antes e depois de se implementar o gêmeo digital para otimizar as rotas de abastecimento, bem como analisar os possíveis ganhos advindos da utilização da ferramenta. Foram coletados dados simulados de doze rodadas de abastecimento de materiais, visando comparar as possíveis rotas que o operador poderia seguir para realizar o abastecimento. Vale destacar que tais rotas possuem características semelhantes e o modelo de simulação foi abastecido por dados reais de um dia de operação”

O autor notou que há um potencial de redução de cerca de 20% na distância média percorrida pelo operador durante o abastecimento de materiais. Na comparação realizada, a rota otimizada forneceu uma média de 563,99 metros frente à uma média de 710,47 metros nas demais rotas possíveis. Além da redução dos desperdícios relacionados à movimentação de pessoas e transporte de materiais, destaca-se a possibilidade de utilizar o tempo economizado para outras atividades agregadoras de valor, fato este que vai ao encontro dos conceitos enxutos.

Santos (2019) conclui que “obteve-se um gêmeo digital que, por meio da SED e de uma interface intermediária, extrai os dados advindos do sistema ERP quanto ao consumo de materiais em cada posto kanban, simula e otimiza as possíveis rotas de abastecimento e fornece ao operador responsável pela operação as opções de rota mais eficientes. Com gráficos de comparação de rotas, bem como estimativas de distância, tempo e volume abastecido, nota-se que o gêmeo digital tornou o processo, objeto deste estudo, um sistema

inteligente e conectado com os demais sistemas da operação, fato este que está de acordo com os preceitos da indústria 4.0”

7.2 Estudo 2: Gêmeo digital: revelando potenciais de decisões autônomas em tempo real em uma empresa de manufatura.

O estudo foi conduzido por Feldt et al (2020) em uma empresa X na área de engenharia eletrônica com sede em Hamburgo/Alemanha com o objetivo de diminuir tempo de entrega dos pedidos e aumentar a flexibilidade do processamento de pedidos.

Primeiramente, Feldt et al (2020) fez uma análise de todo o processo, para assim poder decidir qual parte era a mais adequada para a aplicação do gêmeo digital. Foi deixado de fora o setor de compras, pois o autor diz que o mesmo é feito com contratos de longa duração, e qualquer mudança não terá grandes impactos no processo de modo geral, e o processo de produção foi levado apenas parcialmente.

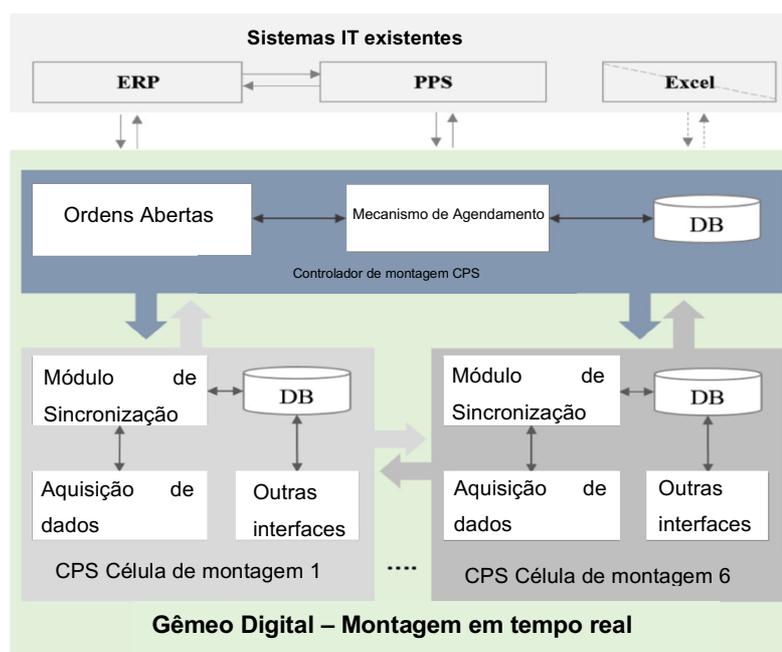
Feldt et al (2020) comenta que os processos na montagem são, por um lado, os mais flexíveis: a capacidade pode variar de uma a duas pessoas por célula de montagem, os produtos podem ser montados em um ou três turnos (8 ou 24 horas por dia); por outro lado, todos os cálculos, como o planejamento de montagem para as próximas semanas, são feitos com a ajuda de relatórios baseados em Excel e os trabalhadores obtêm uma versão em papel do plano de produção para uma célula de montagem no início do dia, o que torna o processo não transparente e rígido. Assim, os processos de montagem, incluindo dois departamentos de planejamento, foram definidos como os mais apropriados para o mapeamento com um Digital Twin, a fim de tornar toda a cadeia de suprimentos mais rápida e flexível.

Para poder definir todos os dados e lógica de decisão do processo futuro, foi criado o conceito de Planejamento de montagem acionado por ordem (s. Fig. 2). Embora a lógica pareça bastante simples, o volume diário é notável. Por exemplo, em um dia a empresa recebe centenas de pedidos, os quais contêm dezenas de linhas de pedidos. Como primeira etapa, o Digital Twin executa a verificação de disponibilidade para cada linha de pedido (pois contém informações sobre o volume solicitado por produto). Se o produto estiver disponível no armazém, ele deverá ser entregue em estoque; nesse caso, o Digital Twin fornecerá as informações respectivas ao sistema ERP. Se o valor exigido não estiver disponível no estoque, outra verificação de disponibilidade será iniciada, desta vez com base na chamada Lista de materiais (do ERP), que contém informações sobre todas as peças de reposição necessárias. (Feldt et al; 2020)

Conforme mostrado na figura 6, o Digital Twin consiste em CPS em diferentes níveis:

- Um controlador de montagem central do CPS foi projetado para analisar os pedidos em aberto (novos pedidos + pedidos não atendidos) e atribuí-los a um dos CPS da célula de montagem. No final do dia ou turno, o CPS central deve "relatar" os dados relevantes de volta aos sistemas ERP e PPS, ou seja, volume total produzido por produto, tempo total de produção, pedidos não atendidos etc. Os dados serão usados para o cálculo dos estoques disponíveis, análise de longo prazo dos KPIs de produção e cálculo de pedidos em aberto para o próximo dia ou turno.
- Cada célula de montagem atuará como um CPS próprio, a fim de coletar dados sobre movimentos de material (produtos produzidos, consumo de material) e trocar informações com outras células.

Figura 6 - Modelo do gêmeo digital



Fonte: Fedt et al (2020)

O gêmeo digital alcançou os dois objetivos propostos no trabalho de Fedt et al (2020) permitindo o melhor uso dos recursos disponíveis. Dessa forma, não apenas os clientes podem receber mercadorias encomendadas em um curto período de tempo, mas uma empresa pode detectar potenciais para um melhor planejamento de recursos.

O autor realizou rodadas de simulação bem-sucedidas no modo de replanejamento de ordens de montagem em tempo real convenceram a gerência da empresa de que um sistema adequadamente desenvolvido agrega enorme valor ao reduzir o esforço de tempo para os processos de planejamento em mais de 90%, fornecendo informações detalhadas para os trabalhadores em montagem células e coleta de dados sobre movimentos de materiais em tempo real. Assim, permitindo que a empresa entregue os produtos não dentro de três semanas, como era no processo original, mas na semana do pedido ou no final da semana seguinte.

8. Conclusão

A ferramenta gêmeo digital é nova no âmbito industrial, sendo assim, ainda há pouco conhecimento sobre ela tanto no quesito de empresas conhecerem a ferramenta, como no âmbito acadêmico. Devido a isso, hoje existem poucas informações e referencial teórico acerca do tema. Por ser uma ferramenta considerada nova, ainda não há pesquisas sobre o modo certo, quando ou até mesmos os requisitos necessários para a aplicação da ferramenta visto que há inúmeras possibilidades para se usufruir desta ferramenta.

Podemos observar no estudo um que foi feita uma simulação como gêmeo digital, pois a empresa não detinha de automação. Após uma rodada de testes, já com o gêmeo digital pronto, Santos (2020) conseguiu o objetivo de seu trabalho, que o qual era na ajuda de tomada de decisões de qual rota seria a melhor para fazer o abastecimento das linhas de montagem. Com o gêmeo digital ele conseguiu obter uma otimização da mesma (conforme os requerimentos de abastecimento de itens dia) e teve uma melhoria de 20%, ou seja, antes o operador tinha uma rota 20% maior.

Já no estudo dois, foi montado um gêmeo digital de processo de montagem, desde as aberturas de pedidos até a expedição dos pedidos, para ajudar no planejamento dos insumos e da logística de entrega dos pedidos. Com o gêmeo digital o autor conseguiu

reduzir o tempo de espera de entrega do pedido de três semanas para uma semana, e em 90% o tempo gasto em planejamento de insumos da produção.

Os gêmeos digitais é uma ferramenta que traz resultados significativos para as empresas que os usam, e se usado juntamente com outras ferramentas da indústria 4.0 poderá ter uma alavancagem enorme, tanto na produção diária quanto na qualidade do produto, sendo assim se destacando entre os concorrentes.

Mesmo não sendo uma ferramenta muito conhecida e muito utilizada nos dias de hoje, com base nos estudos que já foram realizados, podemos dizer que a ferramenta tem uma boa eficiência e empresas que a utilizam juntamente com a indústria 4.0 e outras ferramentas, estão aumentando a produtividade de seus processos.

9. Referências

ALAM, K. M.; SADDIK, A. EL. C2PS: A digital twin architecture reference model for the cloud-based cyber-physical systems. **IEEE Access**, v. 5, p. 2050–2062, 2017. IEEE.

BARGELIS, A.; HOEHNE, G.; ČESNULEVIČIUS, A. Intelligent functional model for costs minimization in hybrid manufacturing systems. **Informatica**, v. 15, n. 1, p. 3–22, 2004.

BARNYCH, G. The Digital Manufacturing and Design Innovation Institute (DMDII). **Manufacturing in America Symposium**. UI LABS,

BITTENCOURT, L. **Gêmeos Digitais: Propulsores da Indústria 4.0**. 27 de junho de 2017. <http://bridgeconsulting.com.br/academy/gemeos-digitais-propulsores-da-industria-4-0/>. <acesso em 02 de junho de 2020>

BRYNJOLFSSON, E.; MCAFEE, A. The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies. **WW Norton & Company**., p. 420–421, 2014.

CARMONA, André Loch Mesones. **Análise dos Impactos da Indústria 4.0 na Logística Empresarial**. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/181717/TCC_Final.pdf?sequence=3>. 2017. Acesso em: 2 de jul. 2020

CONOSCENTI, M.; VETRO, A.; MARTIN, J. C. de. Blockchain for the Internet of things: A systematic literature review. **IEEE/ACS 13th International Conference of Computer Systems and Applications (AICCSA)**. IEEE, 2016. p. 1-6

COTTELEER, M.; SNIDERMAN, B. **Forces of change: Industry 4.0**. Copyright© Deloitte Insights, publicado em: 18 dez. 2017. Disponível em: <<https://www2.deloitte.com/insights/us/en/focus/industry-4-0/overview.html>>. Acesso em: 08 out. 2018.

FELDT, Julia et al. Digital twin: revealing potentials of real-time autonomous decisions at a manufacturing company. **Procedia CIRP**, v. 88, p. 185-190, 2020.

GEDIGITAL (2018). **The digital twin: The foundation for digital industrial applications**. Disponível em: <https://www.ge.com/digital/sites/default/files/The-Digital-Twin_Compressing-Time-to-Value-for-Digital-Industrial-Companies.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2020

GRIEVES, M. Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication. **White paper**, 2014.

HELLINGER, A.; SEEGER, H. Cyber-Physical Systems - Driving force for innovation in mobility, health, energy and production. **Acatech Position Paper, National Academy of Science and Engineering**. p. 48, 2011.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design principles for industrie 4.0 scenarios. **Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences**, v. 2016, p. 3928–3937, 2016.

Industry 4.0. **IEEE Sensors Journal**, v. 16, n. 20, p. 7373-7380. 2016.

KANG, H. S. et al. Smart Manufacturing: Past Research, Present Findings, and Future Directions. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology**, v. 3, n. 1, p. 111-128. 2016.

LASI, H. et al. Industry 4.0. **Business and Information Systems Engineering**, v. 6, n. 4, p. 239–242, 2014.

MONOSTORI, L.; KÁDÁR, B.; BAUERNHANSL, T.; et al. Cyber-physical systems in manufacturing. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 65, n. 2, p. 621–641, 2016.

MUSSOMELI, A. et al. **Expecting digital twins**. Copyright© Deloitte Insights, publicado em: 02 mai. 2018. Disponível em: <<https://www2.deloitte.com/insights/us/en/focus/signals-for-strategists/understanding-digital-twin-technology.html>>. Acesso em: 02 jun de 2020.

NEGRI, E.; FUMAGALLI, L.; MACCHI, M. A Review of the Roles of Digital Twin in CPS-based Production Systems. **Procedia Manufacturing**, v. 11, n. Junho, p. 939–948, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.198>>.

OTT, T.; SNIDERMAN, B. **Industry 4.0 and manufacturing ecosystems**. Copyright© Deloitte Insights, publicado em: 21 nov. 2016. Podcast (23m25s). Disponível em: <<https://www2.deloitte.com/insights/us/en/multimedia/podcasts/manufacturing-ecosystems-exploring-world-connected-enterprises.html>>. Acesso em: 02 junho de 2020.

PARRIS, C. J. **Minds + machines: Meet a digital twin**. Copyright© GE Digital, 2016. (14m18s) Disponível em: <<https://youtu.be/2dCz3oL2rTw>>. Acesso em: 20 jun 2020.

PONOMAREV, K.; KUDRYASHOV, N.; POPELNUKHA, N.; POTEKHIN, V. Main principals and issues of digital twin development for complex technological processes. **Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium**, p. 523– 528, 2017.

ROSEN, R.; WICHERT, G. VON; LO, G.; BETTENHAUSEN, K. D. About the importance of autonomy and digital twins for the future of manufacturing. **IFAC-PapersOnLine**, v. 28, n. 3, p. 567–572, 2015. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.141>>.

QUINALHA, Eduardo. **Gêmeos digitais, o futuro da indústria 4.0: estudo de caso**. 2018.

RUSSWURM, S. Industry 4.0 - from vision to reality. **Background Information**, p. 1, 2014.

SANTOS, B. P. et al. Internet das coisas: da teoria à prática. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES E SISTEMAS DISTRIBUÍDOS**, Salvador. 2016.

- SANTOS, Carlos Henrique dos. Utilização da simulação para tomada de decisões no contexto da indústria 4.0: Uma aplicação inserida no conceito de gêmeo digital. 2019.
- SCHLEICH, B.; ANWER, N.; MATHIEU, L.; & WARTZACK, S. Shaping the digital twin for design and production engineering. **CIRP Annals-Manufacturing Technology**, 2017.
- SCHRÖDER, R. et al. Análise da Implantação de um Processo Automatizado em uma Empresa Calçadista: Um Estudo de Caso a Luz do Sistema Hyundai de Produção e a Indústria 4.0. **Revista Espacios Caracas**, v. 36, n. 18, p. 19, 2015
- SETHI, P.; SARANGI, S. R. Internet of Things: architectures, protocols, and applications. **Journal of electrical and computer engineering**, v. 2017, 2017.
- SUGAYAMA, R.; NEGRELLI, E. Connected vehicle on the way of Industry 4.0. **Anais do XXIV Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva - SIMEA 2016**, p. 48–63, 2015.
- TAO, F. et al. Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, Springer, v. 94, n. 9-12, p. 3563–3576, 2018.
- TAO, F.; ZHANG, M. Digital twin shop-floor: a new shop-floor paradigm towards smart manufacturing. **IEEE Access, IEEE**, v. 5, p. 20418–20427, 2017.
- UHLEMANN, T. H. J.; SCHOCK, C.; LEHMANN, C.; FREIBERGER, S.; STEINHILPER, R. The Digital Twin: Demonstrating the Potential of Real Time Data Acquisition in Production Systems. **Procedia Manufacturing**, v. 9, p. 113–120, 2017. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.043>>.
- VDE-DKE. The German Standardization Roadmap Industrie 4.0. **Vde Association for Electrical, Electronic & Information Technologies**, v. 0, p. 1–60, 2014.
- WAN, Jiafu et al. Software-defined industrial internet of things in the context of industry 4.0. **IEEE Sensors Journal**, v. 16, n. 20, p. 7373-7380, 2016.
- WEBER, Christian et al. M2DDM-a maturity model for data-driven manufacturing. **Procedia CIRP**, v. 63, p. 173-178, 2017.
- YANG, B.; QIAO, L.; CAI, N.; ZHU, Z.; WULAN, M. Manufacturing process information modeling using a metamodeling approach. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 94, n. 5–8, p. 1579–1596, 2018.