



REALIDADE AUMENTADA E VIRTUAL, *DIGITAL TWINS* E SIMULADORES

INTRODUÇÃO

A Internet das Coisas (IoT) tem gerado várias possibilidades de uso e integração com sistemas computacionais que, por meio dos dados coletados, geram simulações e réplicas de processos e produtos. Nesse cenário, é possível se antecipar e prever falhas, gerar correções e otimizar a eficiência operacional.

Esta aula tem como objetivos:

- Apresentar as técnicas de otimização aplicadas aos processos de simulação;
- Apresentar as implicações da simulação no aspecto financeiro;
- Apresentar o conceito de gêmeos digitais (*digital twins*);
- Mostrar os benefícios dos gêmeos digitais.

TEMA 1 – OTIMIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO

A simulação de um processo ou produto é realizada por meio de softwares dedicados, que atualmente possuem interfaces intuitivas e permitem criar modelos de simulação que consigam reproduzir os modelos reais, aliados a processos de otimização.

Conforme apresentado em aulas anteriores, as etapas iniciais de um processo de simulação são as seguintes:

1. Identificar e estabelecer o problema que deve ser resolvido com a simulação;
2. Estabelecer um modelo virtual que consiga reproduzir, de forma mais precisa, o modelo real;
3. Realizar algumas simulações e comparar os resultados obtidos com os resultados reais a fim de validar o modelo estabelecido.

Após aplicar as alterações e/ou hipóteses, a nova simulação gerará resultados que servirão como apoio à tomada de decisões. A análise dos resultados é uma etapa de extrema importância e, em geral, requer alto grau de especialização em estatística e tratamento de dados.

Na maioria das vezes, as simulações envolvem processos complexos, com um grande número de variáveis, portanto, o uso de técnicas e algoritmos de otimização se torna necessário.

De acordo com Bateman et al. (2013), a motivação para realizar uma simulação é a obtenção de respostas para perguntas similares à seguinte:

- Quais são os ajustes ótimos _____ para minimizar (ou maximizar) _____?

Conforme mencionado em aulas anteriores, o modelo gerado para a simulação pode ser comparado a uma caixa preta, que produz saídas que demonstram como o sistema responderia a determinadas variáveis de entrada.

O primeiro tracejado da pergunta acima diz respeito às variáveis de decisão, ou seja, os dados de entrada; o segundo tracejado indica as saídas que são obtidas por meio de modelos estocásticos de simulação.

Em geral, a simulação envolve uma grande quantidade de variáveis, tanto nas entradas quanto nas saídas, fazendo com que seja necessária a aplicação de técnicas e/ou algoritmos de otimização para a indicação da melhor solução, a opção considerada *ótima*.

As etapas recomendadas para encontrar a solução ótima, de acordo com Bateman et al. (2013), são:

1. Identificar todas as variáveis de entrada (decisão) que possam afetar as saídas do sistema;
2. Elencar e avaliar todas as soluções possíveis;
3. Comparar as soluções;
4. Identificar a solução que oferece a melhor resposta.

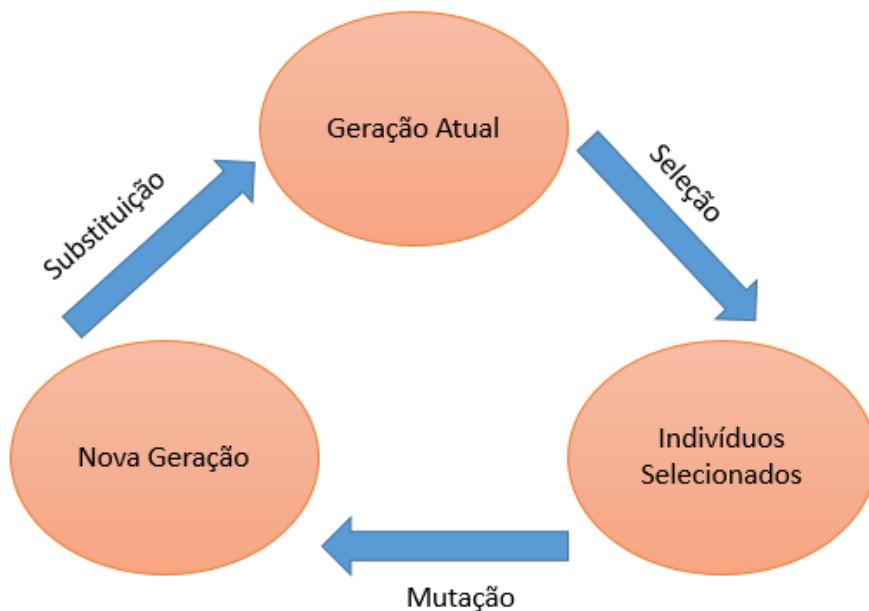
Existem métodos de otimização, tais como o método de Newton-Rapson e a programação linear, que permitem encontrar a solução considerada ótima, de forma rápida, quando os problemas são bem delineados. Quando o problema é estocástico, é necessário usar outros métodos de otimização.

As técnicas de busca direta são usadas para encontrar valores considerados *ótimos* para as variáveis de decisão (entrada) com o intuito de maximizar ou minimizar os resultados de saída. Essas técnicas são recomendadas quando não existem modelos matemáticos nos quais seja possível extrair informações que possam orientar a busca por soluções consideradas *ótimas* (modelos de simulação estocásticos).

A combinação do uso de simulação e técnicas de otimização traz benefícios, já que possibilita a otimização automática das decisões em um processo de simulação.

Os algoritmos evolutivos são técnicas de busca de direta, baseadas no conceito da teoria da evolução. Nesses algoritmos, as populações são manipuladas de modo que as piores soluções desapareçam, enquanto as melhores soluções continuam a evoluir em busca da solução ótima.

Figura 1 – Algoritmos evolutivos



Os algoritmos evolutivos mais conhecidos são os *algoritmos genéticos*, a *programação evolutiva* e as *estratégias evolutivas*, que aplicam as ideias de evolução de formas diferentes. Em geral, a metodologia usada por eles é a mesma:

1. Gerar um conjunto de soluções;
2. Realizar a análise de cada resposta obtida (para cada solução);
3. Escolher as melhores respostas de cada solução e aplicar o *operador genético* para que um novo conjunto de soluções seja gerado;
4. Retomar a segunda etapa até que o algoritmo ache a melhor solução.

De acordo com Bangsow (2020), o uso de algoritmos genéticos pode reduzir de forma considerável o número de simulações a serem realizadas e podem ser aplicados em três situações:

1. Tarefas sequenciais;
2. Tarefas de seleção;
3. Tarefas de alocação.

TEMA 2 – SIMULAÇÃO: ASPECTOS FINANCEIROS

Os sistemas de simulação são utilizados com o objetivo de melhorar o desempenho operacional em suas atividades e devem considerar também a influência e o impacto dos ajustes e/ou alterações realizados no desempenho financeiro.

As limitações de recursos financeiros terão impacto nas hipóteses que serão simuladas, por exemplo, a inclusão de uma máquina pode reduzir de forma considerável o tempo de produção, entretanto não há recurso financeiro disponível para esse tipo de investimento.

Os softwares de simulação mais atuais já permitem a inclusão de informações financeiras nos modelos. Alguns aspectos devem ser levados em conta:

1. Levantar as informações financeiras necessárias;
2. Como obter as informações financeiras e onde estas são processadas?
3. Avaliar os impactos financeiros a simulação do processo.

A Tabela 1 mostra os passos e objetivos que devem ser considerados *antes* e *durante* um projeto de simulação. A Tabela 2 apresenta um corolário financeiro para cada passo do projeto.

Tabela 1 – Requisitos financeiros – Simulação

Antes do Início da Simulação	
PASSOS	RESUMO
1. Entender os resultados financeiros e os objetivos da organização	Resumo dos fatores de custo
2. Documentar os resultados financeiros e os objetivos do projeto de simulação	Trabalho de grupo Resumo dos fatores de custo
3. Determinar como os custos serão computados	Hierarquia da integração de custo

Durante a Simulação	
PASSO	RESUMO
1. Maximizar a interligação entre os aspectos operacionais do processo e os aspectos financeiros	Cumprir o corolário financeiro em cada passo de construção do modelo

Fonte: Bateman et al., 2013, p. 79.

Tabela 2 – Corolários financeiros – Simulação

PASSOS DA SIMULAÇÃO COROLÁRIO FINANCEIRO	
1. Definição do problema e dos objetivos	Estabelecer objetivos financeiros
2. Formulação e Planejamento do Modelo	Instruir a equipe sobre as características da simulação Mostrar como os aspectos de custo são incorporados ao modelo e como podem ser interpretados os resultados Identificar condições de contorno Acessar e avaliar informações financeiras Identificar a formação do custeio da empresa
3. Coleta de Dados	Buscar dados preliminares de custeio Concordância da equipe com os dados de custeio coletados
4. Desenvolvimento do Modelo	O plano de integração de custo precisa ser alterado? Inserir os dados no modelo de simulação
5. Verificação do Modelo	Verificar se a modelagem de custeio está condizente com as informações recolhidas da realidade
6. Validação do Modelo	Verificar se o método adotado no modelo condiz com o método adotado na realidade Verificar se ao final da simulação se obtêm valores similares aos obtidos na realidade para custo já conhecido Fazer modificações se necessário
7. Experimentação	Estabelecer um plano para proceder às comparações entre as diferentes soluções apresentadas Determinar o número de vezes em que será rodado o modelo (replicações) para serem obtidos níveis confiáveis de variabilidade
8. Análise dos Resultados e Apresentações	Estabelecer, se necessário, uma análise estatística para os resultados gerados Estabelecer o custo total e áreas de custo crítico de acordo com os objetivos financeiros Relacionar resultados financeiros com os objetivos financeiros e de produção da empresa Observar, comparar e analisar os resultados de cada "replicação" de cada experimento Resumir os impactos financeiros das várias alternativas encontradas Ter sempre disponíveis dados financeiros detalhados
9. Implementação	Documentar o sucesso dos objetivos financeiros alcançados Identificar riscos e oportunidades

Fonte: Bateman et al., 2013, p. 80.

De acordo com Bateman et al. (2013), os resultados da simulação fornecerão várias soluções, e a decisão financeira deve levar em conta:

- Benefícios tangíveis;
- Diferenças de custos;
- Custos do produto (final, total, qualidade e capital);
- Tecnologias e recursos disponíveis;
- Treinamento;
- Flexibilidade e adaptabilidade do sistema.

TEMA 3 – GÊMEOS DIGITAIS (*DIGITAL TWINS*)

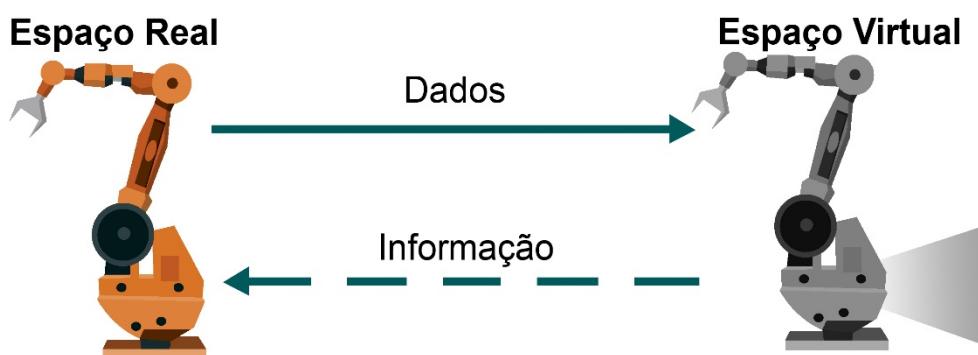
A indústria 4.0 possui como característica a forte integração entre os dados de chão de fábrica e sistemas de gerenciamento, possibilitando a implementação de novos modelos de negócios, e a produção deve ter flexibilidade para se adaptar à customização e necessidades dos clientes. Segundo Rolle, Martucci e Godoy (2020), para que as empresas se tornem competitivas no mercado, precisam lidar com alguns fatores, tais como:

- Curto ciclo de vida do produto;
- Flutuações na demanda;
- Gerenciamento da relação de tempo de entrega e qualidade.

Dentro desse contexto, ganham destaque os sistemas que servem como apoio à tomada de decisões, tais como os gêmeos digitais (em inglês, *digital twins*), que possibilitam a criação de uma réplica digital (gêmeo) de um sistema ou produto, em um ambiente de simulação.

Os objetivos de se construir uma réplica digital são os seguintes: mensurar o desempenho, testar técnicas de otimização, predição de falhas, entre outros. Segundo Cândido (2021), o conceito surgiu no início dos anos 2000, por meio de Michael Grieves e vem sendo adotado pelas indústrias nos últimos anos. A projeção da taxa de crescimento anual dessa tecnologia até 2026 é de 58%.

Figura 2 – Gêmeo digital



Crédito: Elias Aleixo.

Esse aumento de mercado é impulsionado pela adoção do IoT (em inglês, *Internet of Things*), que permite a coleta de dados nos mais variados segmentos e setores. No Brasil, empresas como a Petrobrás e Vale já adotam essa tecnologia: a Petrobrás criou um gêmeo digital da plataforma P-50 na Bacia de

Campo, Rio de Janeiro. Os sensores instalados na plataforma permitem a coleta de dados em tempo real para alimentar o gêmeo digital que também recebe dados históricos e de outras fontes. O principal objetivo é compreender o que acontece na plataforma e se antecipar a problemas na operação.

A empresa Vale utiliza um gêmeo digital e inteligência artificial para o controle e prevenção de corrosão nas estruturas metálicas de suas unidades fabris.

Saiba mais

Acesse os *links* a seguir e assista aos vídeos do ESSSgroup e de Lucas Becker sobre o *digital twin*:

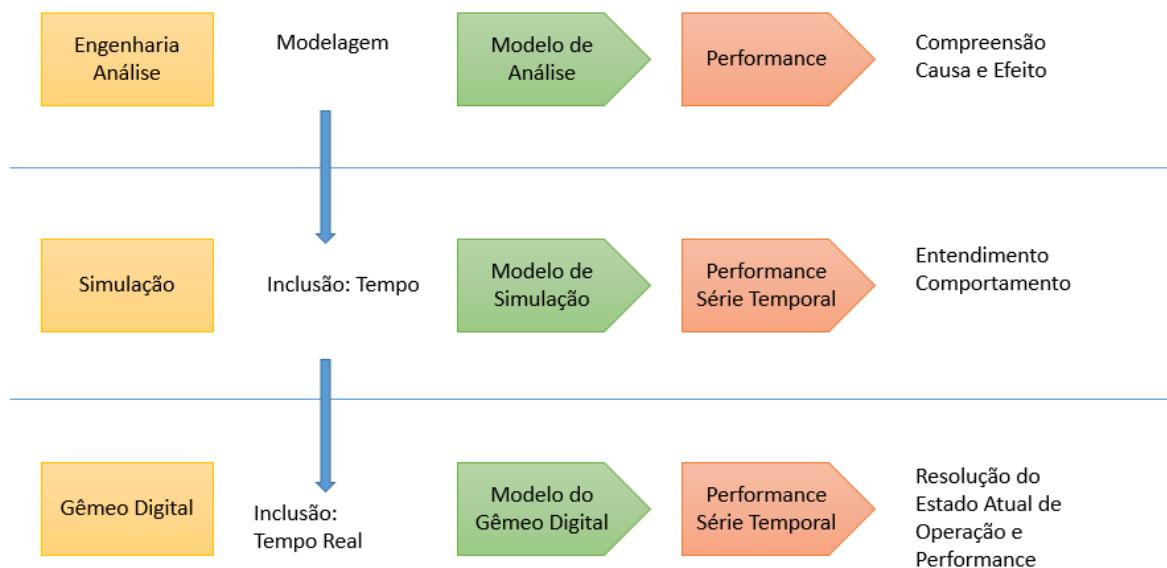
CRIANDO um *digital twin* com Ansys. **ESSSgroup**, 19 maio 2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=RPJjjYV_80Y&t=126s>. Acesso em: 29 jun. 2021.

GÊMEO digital na indústria de alimentos e bebidas 4.0. **Lucas Becker**, 7 fev. 2019. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=CpvJaOWAFLQ>>. Acesso em: 29 jun. 2021.

Segundo Oliveira (2020), a literatura considera duas abordagens possíveis quando se trata de gêmeos digitais:

- Baseado em dados: recebe um grande volume de dados coletados em tempo real, nos quais, os modelos preditivos e prescritivos são baseados em algoritmos de *machine learning* ou *deep learning*;
- Baseado em simulação: é gerado um modelo de simulação que é atualizado constantemente por meio de medições frequentes.

Figura 3 – Concepção – *Digital twins*



Não há ainda um consenso em relação a um *framework* padrão de gêmeos digitais. Em 2020, entidades, empresas, governos e academias se juntaram para estabelecer alguns padrões, arquiteturas, entre outros, devido à grande perspectiva de uso dessa tecnologia nas indústrias.

Saiba mais

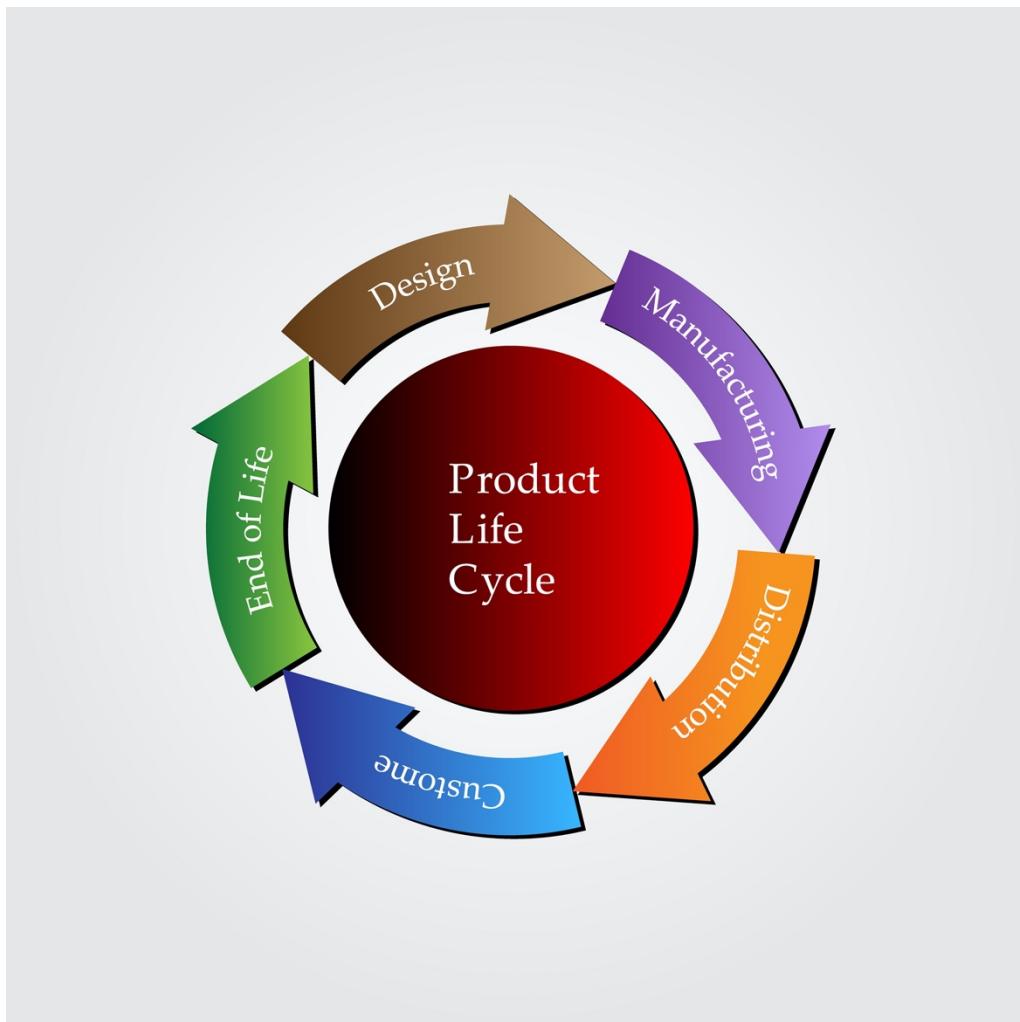
Acesse o *link* a seguir para conhecer duas empresas *digital twin*:

- INDUSTRIAL DIGITAL TWIN ASSOCIATION. Disponível em: <<https://idtwin.org/en/>>. Acesso em: 29 jun. 2021 (Alemanha).
- DIGITAL TWIN CONSORTIUM. Disponível em: <<https://www.digitaltwinconsortium.org/>>. Acesso em: 29 jun. 2021 (Estados Unidos).

TEMA 4 – *DIGITAL TWIN: CONTEXTUALIZAÇÃO*

Incialmente, os gêmeos digitais eram usados com o intuito de gerenciar o ciclo de vida dos produtos, como PLM (em inglês, *Product Lifecycle Management*), pois o sistema permite ter um panorama completo: design, manufatura, qualidade, manutenção até o descarte do produto.

Figura 4 – Etapas PLM



Créditos: Asdhala/Shutterstock.

Atualmente, esse modelo é utilizado em projetos de produtos e sistemas com elevados requisitos e bastante complexos nos quais há dificuldades de testes e/ou impactos financeiros consideráveis em uma eventual parada.

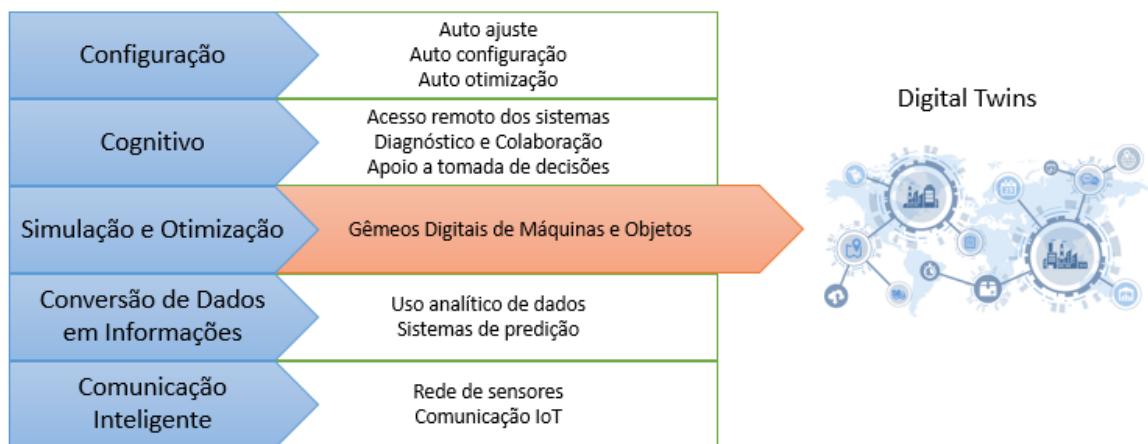
E com relação à integração dos gêmeos digitais nos sistemas industriais? Qual é o seu posicionamento na pirâmide da automação?

A indústria 4.0 introduziu o conceito de sistemas ciberfísicos, que representam a integração entre o mundo real e os sistemas computacionais e de comunicação na internet. De acordo com Josifovska, Yigitbas e Engels (2019), a arquitetura de um sistema ciberfísico possui cinco camadas:

1. Comunicação inteligente: facilidade de integração e comunicação por meio de IoT;

2. Conversão de dados para informações: uso de sistemas para análise de dados que permitem a contextualização e geram informações relevantes ao processo;
3. Gêmeos digitais: réplica dos sistemas e objetos;
4. Cognitivo: permite a interação remota, bem como diagnóstico e colaboração para a tomada de decisões;
5. Configuração: autoconfiguração e autoajuste dos sistemas para otimização.

Figura 5 – Camadas dos sistemas ciberfísicos



Fonte: Josifovska et al., 2019.

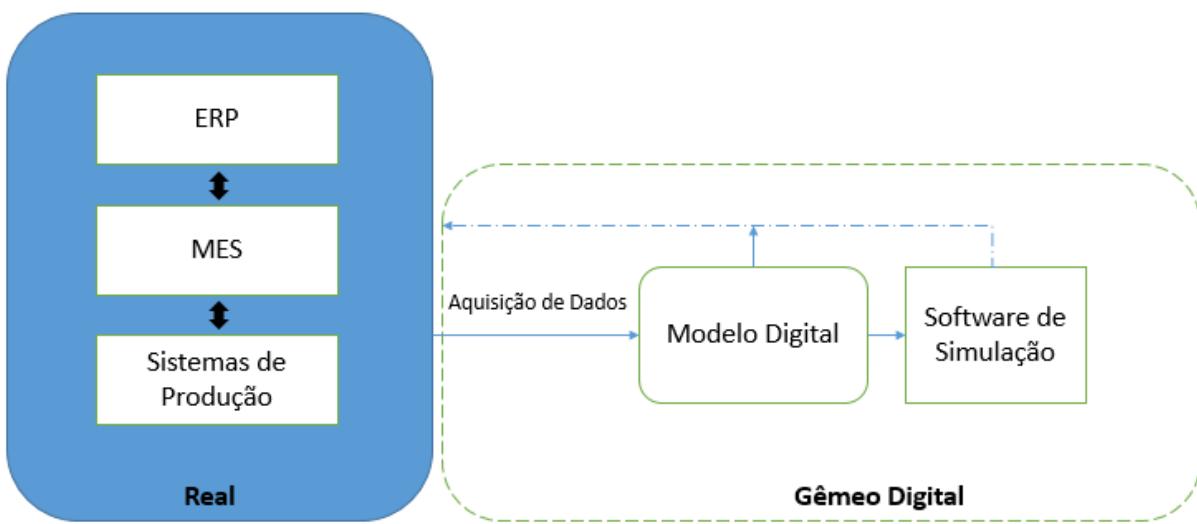
A coleta de dados por meio de IoT permite o monitoramento de uma ampla gama de sensores e dispositivos, que servem como base para o funcionamento dos gêmeos digitais. A integração dos gêmeos digitais com sistemas de *Big Data* é essencial para haja a análise de dados e adoção de algoritmos de inteligência artificial ou *machine learning*.

Os gêmeos digitais se integram aos sistemas de produção, MES (em inglês, *Manufacturing Execution System*) e ERP (em inglês, *Enterprise Resource Planning*) servindo de apoio à tomada de decisões e planejamento.

De acordo com Venturelli (2021), as novas tendências em relação aos gêmeos digitais são as seguintes:

- Planejamento e desenvolvimento todo baseado em gêmeo digital;
- Imersão e experiência associada às realidades aumenta e virtual;
- Treinamento operacional de plantas de simulação.

Figura 6 – Integração do gêmeo digital e demais sistemas



Fonte: Cimino et al., 2019.

TEMA 5 – BENEFÍCIOS

A adoção dos gêmeos digitais vai transformar muitos processos e indústrias, pois eles trazem vários benefícios, como os que elencamos a seguir.

5.1 Redução de custos e do tempo de produção

O uso do gêmeo digital permite uma análise crítica dos processos, possibilitando identificar falhas de processo, máquinas e equipamentos. Também permite identificar gargalos na etapa de produção e criar hipóteses, com o intuito de otimização do tempo e de custos.

De acordo com dados publicados pela Petrobrás, o uso da tecnologia possibilitou o ganho de US\$ 20 milhões ao ano em plataformas e de US\$ 3,82 milhões em 12 semanas nas refinarias.

Figura 7 – Uso de gêmeos digitais em plataformas da Petrobrás



Créditos: Elnur/Shutterstock.

5.2 Melhoria na qualidade do produto

As simulações realizadas nos gêmeos digitais permitem identificar vulnerabilidades nos produtos e prever otimizações visando a melhoria na qualidade do produto. Além disso, permite a diminuição no tempo de fabricação.

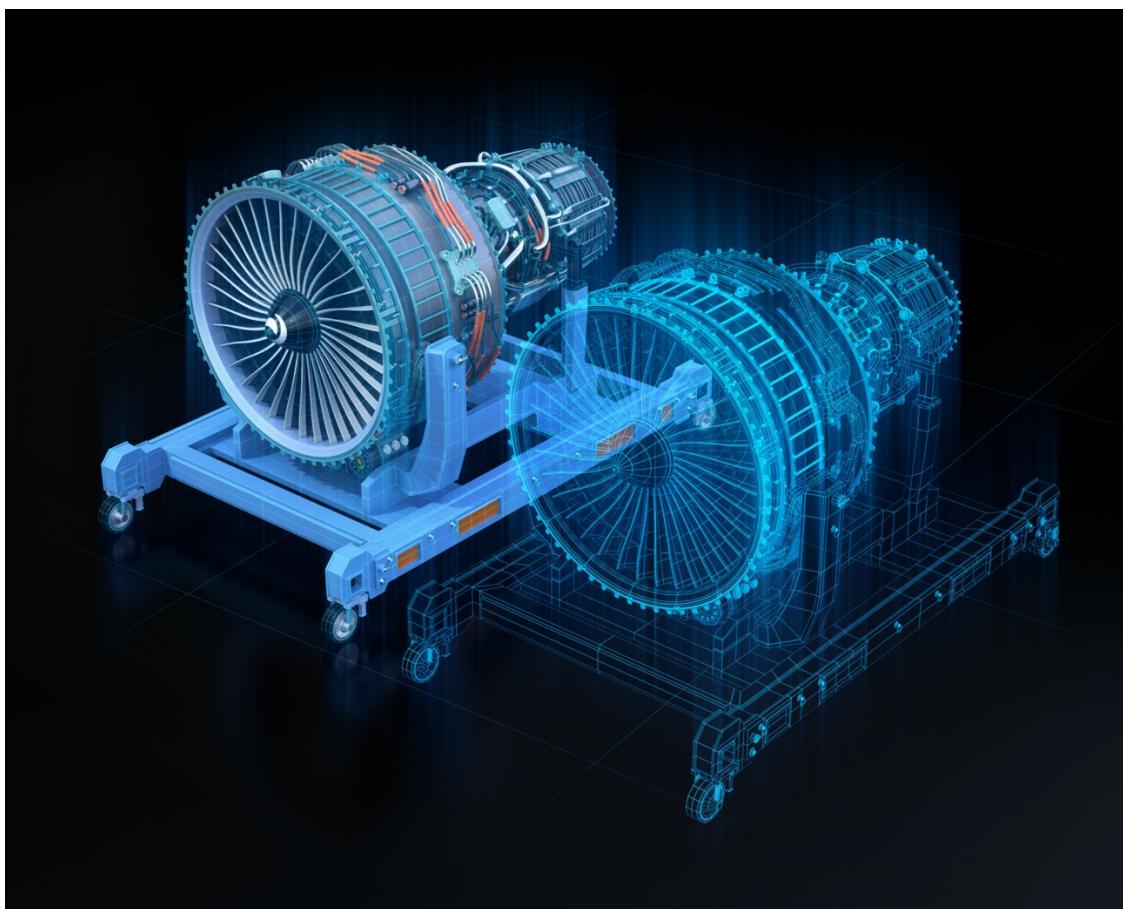
5.3 Aumento da eficiência operacional

Com o uso da tecnologia, é possível estabelecer uma meta nos indicadores de performance (KPIs) operacionais e, com isso, buscar o aumento da eficiência operacional.

5.4 Previsão e correção de falha em equipamentos

Com o uso combinado de algoritmos de inteligência artificial e *machine learning*, é possível avaliar e detectar um padrão de comportamento em máquinas e equipamentos, antecipando-se a problemas, gerando impactos nos custos da manutenção.

Figura 8 – Gêmeos digitais em produtos



Créditos: Chesky/Shutterstock.

REFERÊNCIAS

- BANGSOW, S. **Tecnomatix plant simulation** – Modeling and programming by means of examples. 2. ed. Zwickau, Germany: Springer, 2020.
- BATEMAN, R. E. et al. **Simulação de sistemas**: aprimorando processos de logística, serviços e manufatura. São Paulo: GEN LTC, 2013.
- CÂNDIDO, G. *Digital twins*: como essa tecnologia disruptiva pode ajudar o mercado. **Consumidor Moderno**, 25 mar. 2021. Disponível em: <<https://www.consumidormoderno.com.br/2021/03/25/digital-twins-tecnologia-disruptiva-ajudar-mercado/>>. Acesso em: 29 jun. 2021.
- CIMINO, C.; NEGRI, E.; FUMAGALLI, L. Review of digital twin applications in manufacturing Chiara. **Computers in Industry**, v. 113, p. 103-130, 2019.
- CRIANDO um Digital Twin com Ansys. **ESSSgroup**, 19 maio 2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=RPJjjYV_80Y&t=126s>. Acesso em: 29 jun. 2021.
- GÊMEO digital na indústria de alimentos e bebidas 4.0. **Lucas Becker**, 7 fev. 2019. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=CpvJaOWAFLQ>>. Acesso em: 29 jun. 2021.
- JOSIFOVSKA, K.; YIGITBAS, E.; ENGELS, G. Reference framework for digital twins within cyber-physical systems. In: IEEE/ACM INTERNATIONAL WORKSHOP ON SOFTWARE ENGINEERING FOR SMART CYBER-PHYSICAL SYSTEMS (SEsCPS), 5. **Anais...**, IEEE, 2019.
- OLIVEIRA, A. L. Como os gêmeos digitais fazem a diferença para sistemas críticos e operações complexas. **Certi**, 16 jul. 2020. Disponível em: <<https://certi.org.br/blog/gemeos-digitais/>>. Acesso em: 29 jun. 2021.
- ROLLE, R.; MARTUCCI, V.; GODOY, E. Architecture for Digital Twin implementation Focusing on Industry 4.0. **IEEE Latin America Transactions**, v. 18, 2020.
- VENTURELLI, M. Gêmeos digitais – Unindo a fábrica física com a fábrica digital. **Márcio Venturelli**, 15 abr. 2021. Disponível em: <<https://marcioventurelli.com/2021/04/15/gemeos-digitais/>>. Acesso em: 29 jun. 2021.