

A INDÚSTRIA 4.0 SOB O PRISMA DA CIÊNCIA DE DADOS: Uma proposta de modelo de maturidade

Industry 4.0 under the prism of Data Science: A proposal for a maturity model

Jacqueline Zonichenn Reis¹

(1) Universidade Paulista, Rua Dr. Bacelar 1212 - São Paulo/SP, zonichenn@hotmail.com

Resumo:

O objetivo deste artigo é propor um modelo de maturidade da Indústria 4.0 sob o prisma da ciência de dados. A Indústria 4.0 se tornou referência no desenvolvimento de aplicações e tecnologias para atender aos requisitos de uma produção mais ágil e inteligente. Entretanto, existem lacunas sobre quais tecnologias se adequam melhor à uma determinada cadeia produtiva ou quais seriam suficientes para classificá-la como já inserida na Indústria 4.0. Os modelos de maturidade existentes trazem fases deste avanço porém sem indicar como alcançá-las. A partir da revisão da literatura, observou-se dois fatores importantes para tal evolução: a conectividade; e a obtenção, análise e uso de dados. Neste contexto, um modelo teórico-conceitual foi proposto para traçar cenários da Indústria 4.0 com relação à adoção destas inovações. O modelo apresenta dois eixos, conectividade e ciência de dados, que resulta em quatro quadrantes ou cenários de maturidade: automação; digitalização; visibilidade e análise descritiva; e adaptabilidade e análise preditiva. Este trabalho, ainda preliminar, visa apoiar gestores e profissionais a identificar em que patamar estaria determinado negócio, bem como embasar os investimentos em tecnologia e os impactos esperados. O artigo também deriva recomendações para pesquisas futuras sobre o tema.

Palavras-chave: Indústria 4.0; Modelo de maturidade; Ciência de Dados

Abstract:

The purpose of this article is to propose an Industry 4.0 maturity model from the perspective of data science. Industry 4.0 has become a reference in the development of applications and technologies to meet the requirements for an agile and intelligent production. However, there are gaps about which technologies best suit a given production chain or which would be sufficient to classify it as Industry 4.0. Existing maturity models bring stages for advancing but without indicating how to achieve them. From the literature review, two important factors for such evolution were observed: the connectivity; and the collection, analysis, and use of data. In this context, a theoretical-conceptual model was proposed to outline Industry 4.0 scenarios regarding the adoption of these innovations. The model presents two axes, connectivity, and data science, which results in four quadrants or maturity scenarios: automation; digitization; visibility and descriptive analysis; adaptability and predictive analytics. This study, which is still preliminary, aims to support managers and professionals in identifying the level at which a given business would be, as well as providing a basis for investments in technology and the expected impacts. The article also derives recommendations for future research on the topic.

Keywords: Industry 4.0; Maturity model; Data Science

1 Introdução

Em um mercado dinâmico e competitivo, a indústria vem adaptando suas operações para atender aos requisitos de uma produção cada vez mais ágil e inteligente. O período denominado Quarta Revolução Industrial, ou Indústria 4.0, se torna referência na aplicação de inovações e tecnologias na manufatura. Destacam-se tecnologias que buscam integrar internet das coisas e de serviços, sistemas cyberfísicos, big data, computação na nuvem, inteligência artificial, realidade aumentada, manufatura aditiva, entre outros (ZUTIN et al., 2022)

Diferentes abordagens são sugeridas como caminho a ser seguido para o alcance da Indústria 4.0. Porém, surgem lacunas em

se determinar qual conceito ou tecnologia devem ser adotados (ALCÁCER; CRUZ-MACHADO, 2019). A mesma dificuldade é percebida com relação ao que seria pré-requisito para classificar uma determinada fábrica como já inserida na indústria 4.0; ou ainda operando com a mesma automação, algo que seria fruto, na verdade, da revolução industrial anterior. Jeremy Rifkin sugere, inclusive, que muitas das inovações que dizem pertencer à quarta revolução industrial são oriundas do surgimento da computação desde os anos 1960 como parte da terceira revolução industrial (PRISECARU, 2016).

Pesquisas recentes indicam que a transição para a Indústria 4.0 não se traduz

em realidade para a maioria das empresas. De acordo com Ruggero et al. (2020), falta infraestrutura, e a adaptabilidade ainda não é tecnicamente possível. Torna-se relevante, portanto, identificar não só o que as empresas devem tratar como pré-requisito para a maturidade da Indústria 4.0, mas também como acessar em que estágio elas estão, para que assim possam melhor direcionar as ações e os investimentos de forma assertiva.

Na literatura científica e empírica sobre a Indústria 4.0, existem modelos de maturidade que mostram fases deste processo e servem como uma orientação para as empresas. Porém, estes modelos geralmente abordam níveis de maturidade em camadas, como uma forma linear, em termos de conexão com a internet das coisas e digitalização. Este trabalho traz um enfoque voltado para a ciência de dados, além dos domínios de infraestrutura e conectividade.

O artigo propõe um modelo teórico-conceitual, em que a ciência de dados componha o quadro de maturidade da Indústria, trazendo uma contribuição para a discussão sobre o tema. Os resultados trazem um modelo de distribuição em dois eixos: conectividade e ciência de dados. A menor ou maior adesão a essas tecnologias resulta em quatro quadrantes ou cenários de maturidade. No primeiro quadrante estaria a automação, seguida pela digitalização, no segundo. No terceiro estariam a visibilidade e a análise descritiva, até se chegar no quarto quadrante em que a Indústria 4.0 atinge sua maturidade, através da adaptabilidade e análise preditiva.

2 Fundamentação teórica

Alguns conceitos serão explorados nesta seção para melhor entendimento do artigo.

2.1 Da primeira à quarta revolução Industrial

As três primeiras revoluções industriais trouxeram mudanças significativas para o processo de manufatura; desde os motores a vapor até a produção com o uso da energia elétrica e, posteriormente, a automação e computação (WAHLSTER, 2012). Essa evolução se deu devido à mecanização, eletricidade e a tecnologia da informação,

Revoluções	Período	Principais inovações
1ª Rev Industrial	1760-1850	Máquina a vapor
2ª Rev Industrial	1850-1945	Motor de combustão interna
3ª Rev Industrial	1950-2010	Computadores Robôs
4ª Rev Industrial	a partir de 2011	Internet, Impressão 3D Engenharia genética

respectivamente. A Tabela 1 mostra as contribuições das revoluções industriais.

Tabela 1 – Revoluções Industriais (adaptado de Prisca, 2016)

Na segunda década do século XXI, inicia-se o período considerado Quarta Revolução Industrial, ou Indústria 4.0. O termo Indústria 4.0 foi enraizado na estratégia do governo alemão em 2011, com o objetivo de ganhar força na manufatura global por meio da aplicação avançada de sistemas de informação e comunicação. Através destas novas tecnologias, o ambiente fabril se torna inteligente e possibilita a customização em massa (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

Entre as tecnologias, as principais seriam a Internet das Coisas (IoT, ou *Internet of Things*), Internet de Serviços (IoS, ou *Internet of Services*), e os Sistemas CiberFísicos (CPS, ou *CyberPhysical Systems*). Os CPS são sensores e atuadores que monitoram processos físicos e criam uma cópia virtual do mundo físico (JAZDI, 2014). Pela IoT, os CPS comunicam e cooperam entre si e com humanos em tempo real (GIVEHCHI et al., 2017). Em seguida, através da IoS, serviços são oferecidos na nuvem e utilizados pelos participantes da cadeia de valor. A IoS seria uma Internet do Futuro que detecta e usa informações contextuais para se adaptar a um cenário imprevisível, permitindo a configuração *ad-hoc* de novos modelos de negócios (REIS et al., 2022).

2.3 Ciência de dados

A ciência de dados é definida como a extração de conhecimento de dados de alto volume, usando habilidades em ciência da

computação, estatística e o conhecimento de especialistas (NASUTION, 2021).

O desenvolvimento da ciência de dados tem sido motivado pela explosão de dados neste momento de transformação digital. Vicario e Coleman (2020) ressaltam que muitas das técnicas matemáticas, estatísticas e de aprendizado de máquina que envolvem a ciência de dados já existem há muitos anos. O que mudou foi a disponibilidade de maiores quantidades de dados coletados através da IoT e que agora podem ser armazenados ao invés de serem meramente observados e sobrescritos. Isso se deve a um conjunto de fatores, como maior acesso à Internet, barateamento de sensores, maior capacidade e disponibilidade de recursos computacionais, entre outros (APPIAH-OTOO; SONG, 2021).

Atualmente, as técnicas de ciência de dados têm aplicações em quase todos os campos, e estão sendo aplicadas também à Indústria 4.0. Nesta configuração avançada, dados massivos são criados e armazenados a cada segundo. Especialistas com experiência em matemática e computação avançada são requisitados para identificar as causas-raiz de falhas e desvios de qualidade das máquinas. Além disso, novos elementos com propriedades personalizadas podem ser descobertos com teorias de materiais e habilidades computacionais. A integração da ciência de dados com a indústria 4.0 aumentará a eficiência e será útil para promover a qualidade do material, contribuindo para minimizar a perda de tempo e dinheiro (SAJID et al., 2021).

3 Procedimentos Metodológicos

O método utilizado para escrever o artigo foi a pesquisa exploratória. Através de uma revisão bibliográfica, não sistemática, foram encontradas referências de modelos de maturidade que a indústria já utiliza. Em seguida, fazendo um contraponto a estes modelos, foi proposto um novo modelo teórico-conceitual.

3.1 Modelos de maturidade da Indústria 4.0

Um modelo conhecido para implantação da Indústria 4.0 é o da Acatech (SCHUH et al., 2020), representado pela Figura 1. São consideradas seis etapas, sendo as duas

primeiras a informatização e a conectividade, que fazem parte da fase de digitalização. Nessa fase são estabelecidas as conexões entre os dispositivos, sensores, máquinas e software, possibilitando a comunicação do mundo físico com o virtual. Em seguida, na fase da Indústria 4.0 propriamente dita, estão as demais etapas: visibilidade, transparência, capacidade preditiva e adaptabilidade.

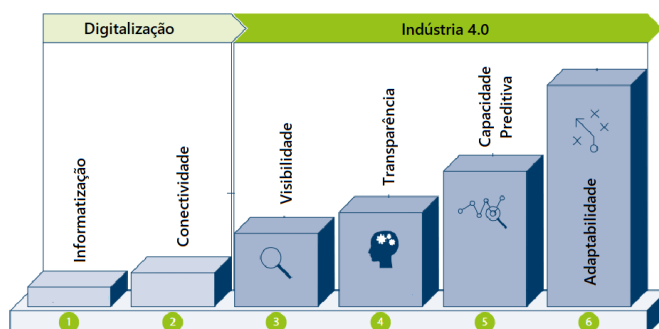


Figura 1 – Modelo Acatech de maturidade da Indústria 4.0 (adaptado de SCHUH et al., 2020)

3.2 Modelo de maturidade proposto

É crescente o número de publicações na literatura científica que buscam ou propõem novos modelos para a avaliação do nível de maturidade da Indústria 4.0. Tais modelos sempre variam de 4 a 6 níveis, sendo que cada nível seria um degrau nesta evolução (SILVA; BARBALHO, 2019).

Um aspecto importante da Indústria 4.0 é a obtenção de dados em tempo real e seu tratamento para obtenção de informações atuais e precisas que possibilitam melhores decisões. A troca ágil de informações entre subsistemas permite a colaboração para a atuação em questões que afetam a cadeia de produção como um todo. Destacam-se dessa forma dois fatores importantes para tal integração: a conectividade para troca de dados; e a obtenção, análise e uso dos dados (SANTOS; RUGGERO; SILVA, 2021).

Ao longo da implementação da Indústria 4.0, muitas empresas tendem a investir mais em conectividade do que em ciência de dados. O inverso também pode acontecer e, baseado nesta dicotomia, propomos um modelo distribuído em dois eixos, ao invés de camadas como os outros. Na figura 3 é apresentado o modelo proposto.

4 Resultados e discussão

O modelo proposto na Figura 3 mostra as diferentes fases da Indústria com relação à ciência de dados (eixo x) e conectividade (eixo y). Quatro cenários ou quadrantes se formam a partir desta distribuição.

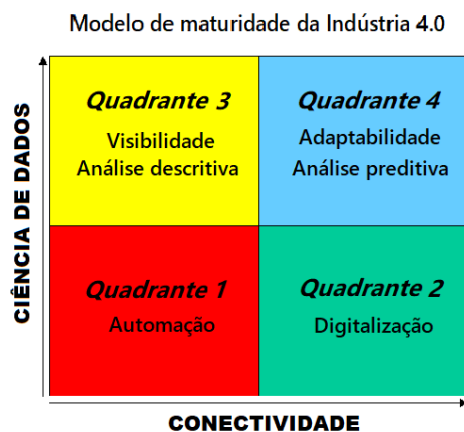


Figura 3 – Modelo de maturidade da Indústria 4.0 (da autora)

4.1 Cenários de maturidade

- **Automatização (quadrante 1 ou Q1):** Estágio inicial em que a produção é automatizada, principalmente nas tarefas manuais e repetitivas. A automatização é algo que já se inicia na Terceira Revolução Industrial, por isso já existem a informatização e a robotização. Entretanto, a conectividade e a ciência de dados ainda não são bem trabalhadas neste cenário.
- **Digitalização (quadrante 2 ou Q2):** Neste estágio ocorre uma transposição de processos, serviços ou produtos para o meio digital. Os sistemas CiberFísicos criam uma cópia virtual do mundo físico. Ocorre um investimento maior em conectividade, porém isso ainda não seria suficiente para se ter a Indústria 4.0 em sua plenitude. A digitalização é vista, de forma errônea, como uma transformação digital, porém essa última implica em mudanças muito mais profundas no negócio da organização, impactando sua estrutura e sua estratégia competitiva. A digitalização

traz melhorias, mas sem impacto nestes aspectos.

- **Visibilidade e Análise Descritiva (quadrante 3 ou Q3):** Estágio em que se torna possível visualizar o andamento das operações, baseando-se na coleta e análise dos dados de diferentes processos. Consegue-se a visibilidade e análise descritiva, que seria a análise voltada para o passado, proporcionando uma melhora na tomada de decisão. O que predomina é um investimento em ciência de dados, maior do que em conectividade. Fazendo um paralelo com Q2, neste estágio de Q3 os processos são melhor estudados para que os dados sejam de qualidade, e para que seja feita também uma análise destes dados, ao invés de somente uma coleta dos mesmos de forma aleatória.
- **Adaptabilidade e Análise Preditiva: (quadrante 4 ou Q4):** Neste estágio tem-se o funcionamento pleno da Indústria 4.0, que envolve não apenas uma rede conectada e a troca automática de informações, mas também um sistema que se tornou consciente e inteligente o suficiente para prever e manter máquinas, controlar o processo de produção, e gerenciar o sistema fabril de forma descentralizada. Através dos sistemas de informação integrados entre a produção e os ERP, consegue-se a tomada de decisão em tempo real para se reagir às mudanças do ambiente de forma contextual e adocrática, reconfigurando unidades e retroalimentando os sistemas.

4.2 Validação dos cenários

O presente trabalho é preliminar e deve ser validado em estudos de casos ou pesquisas futuras.

O modelo proposto pode ser ilustrado considerando o seguinte cenário: uma indústria siderúrgica utiliza um sistema de filtros de emissão, fornecido por um parceiro. Sua capacidade produtiva é volátil e exige elasticidade, bem como taxas de repasse e atualização das regras de alocação. Quando

há um aumento na demanda de produção, a capacidade de filtragem deve ser maior para atender o novo volume de emissão. Por outro lado, quando a demanda cai, a indústria não deve pagar por uma filtragem de emissão mais alta. Porém é isso que acontece em um cenário de automação, do Quadrante 1 do modelo proposto.

Mesmo que sensores sejam instalados e permitam uma conectividade dos filtros, o sistema se torna digital, porém ainda não se torna inteligente. Sensores que alertam quando aumentar ou diminuir a capacidade manualmente, estão digitalizando parte do processo, mas não o tornam mais ágil. Esse seria o cenário de digitalização do quadrante 2 do modelo.

Aplicando a ciência de dados e coletando os dados fornecidos sobre o uso dos filtros, obtém-se mais visibilidade. Análises desses dados ajudam a prever uma sazonalidade e aumentam a capacidade descritiva para uma tomada de decisões futuras, o que configura o cenário do quadrante 3 do modelo.

Se a análise dos dados e o controle de acesso ocorrem em tempo real por sistemas de informação, a precisão da demanda se torna maior. Os sensores conectados com equipamentos “inteligentes” possibilitam a tomada de decisão descentralizada e em tempo real. Além disso, contratos inteligentes podem reduzir a burocracia e automatizar as regras contratuais, substituindo os contratos de serviços convencionais. Esse modelo orientado ou “pay-per-use” é um exemplo do cenário de adaptabilidade do quadrante 4 do modelo.

4.3 Discussão dos resultados

A automação e digitalização, quadrantes Q1 e Q2 respectivamente, podem proporcionar a abertura de novos mercados, alavancar a inovação e os ganhos de produtividade, especialmente nas economias em desenvolvimento. Porém isso ainda não é a Indústria 4.0. Como o Jeremy Rifkin sugere, muitas das inovações digitais que dizem pertencer à quarta revolução industrial devem ser agrupadas com a computação e acesso à Internet oriundos da terceira revolução industrial (PRISECARU, 2016).

Ao se investir mais em ciência de dados consegue-se deslocar para os quadrantes Q3 e Q4. Enquanto a ciência de dados trabalha no acesso, processamento, análise dos dados, e soluções para tomadas de decisão, utilizando uma abordagem “top-down” que seria orientada ao negócio; a conectividade foca nos dispositivos e na conexão dos mesmos aos sistemas.

Em Q4 é que a real convergência entre Tecnologia de Informação (IT ou *Information Technology*) e Tecnologia de Operações (OT ou *Operational Technology*) acontece. Com estudo e investimento adequado, não só em conectividade, mas também em ciência de dados, consegue-se a adaptabilidade e análise preditiva que seriam as premissas para se ter uma Indústria 4.0 mais madura.

Enquanto os CPS e a IoT permitem a aquisição de dados, como por exemplo o consumo de energia e a análise no nível das máquinas e da linha de produção, os sistemas inteligentes fazem o processamento e análise desse volume massivo de dados em tempo real, conectando a cadeia de valor e gerando novos serviços e negócios.

5 Conclusão ou Considerações Finais

O objetivo deste artigo foi propor um modelo de maturidade da Indústria 4.0 sob a perspectiva da ciência de dados. A partir de uma revisão bibliográfica, são trazidos conceitos sobre o tema e um modelo teórico é proposto.

O modelo resulta em quatro quadrantes que caracterizam a Indústria 4.0 com relação à uma menor ou maior aplicação da ciência de dados. Os quadrantes são: automação; digitalização; visibilidade e análise descritiva; adaptabilidade e análise preditiva. Com o modelo distribuído em quadrantes pelos eixos de conectividade e ciência de dados, fica mais claro que a coleta de dados e a oportunidade de analisá-los para realizar processos mais avançados são cruciais para a maturidade da Indústria 4.0. O modelo pode servir como referência aos profissionais quando forem avaliar o nível de maturidade de determinado negócio. A pesquisa pode ainda derivar estudos de caso dentro destes cenários, o que é uma oportunidade para trabalhos futuros.

O trabalho mostra a relevância da ciência de dados na distribuição de tecnologia e investimento para que seja alcançado um patamar diferenciado na Indústria 4.0, revertendo este ganho para os gestores, acionistas, governo e sociedade.

Referências

- ALCÁCER, V.; CRUZ-MACHADO, V. Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems. **Engineering Science and Technology, an International Journal**, v. 22, n. 3, p. 899–919, jun. 2019.
- APPIAH-OTOO, I.; SONG, N. The impact of ICT on economic growth-Comparing rich and poor countries. **Telecommunications Policy**, v. 45, n. 2, p. 102082, mar. 2021.
- GIVEHCHI, O. et al. Interoperability for Industrial Cyber-Physical Systems: An Approach for Legacy Systems. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 13, n. 6, p. 3370–3378, dez. 2017.
- JAZDI, N. **Cyber physical systems in the context of Industry 4.0**. 2014 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics. **Anais...** Em: 2014 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOMATION, QUALITY AND TESTING, ROBOTICS (AQTR). Cluj-Napoca, Romania: IEEE, maio 2014.
- KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0 – Final Report of the Industrie 4.0 working group**. Acatech – National Academy of Science and Engineering. [s.l.: s.n.].
- NASUTION, M. K. M. Industry 4.0: Data science perspective. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 1122, n. 1, p. 012037, 1 mar. 2021.
- PRISECARU, P. Challenges of the fourth industrial revolution. **Knowledge Horizons. Economics**, v. 8, n. 1, p. 57–62, 2016.
- REIS, J. Z. et al. Business Models for the Internet of Services: State of the Art and Research Agenda. **Future Internet**, v. 14, n. 3, p. 74, 25 fev. 2022.
- RUGGERO, S. M. et al. Industry 4.0: Maturity of Automotive Companies in Brazil for the Digitization of Processes. Em: LALIC, B. et al. (Eds.). **Advances in Production Management Systems. The Path to Digital Transformation and Innovation of Production Management Systems**. IFIP Advances in Information and Communication Technology. Cham: Springer International Publishing, 2020. v. 591p. 131–138.
- SAJID, S. et al. Data science applications for predictive maintenance and materials science in context to Industry 4.0. **Materials Today: Proceedings**, v. 45, p. 4898–4905, 2021.
- SANTOS, N. A. DOS; RUGGERO, S. M.; SILVA, M. T. DA. Indústria 4.0 no Brasil: desafios do segmento automotivo para integração da cadeia de suprimentos. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, p. e18110817251, 10 jul. 2021.
- SCHUH, G. et al. **Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies – UPDATE 2020**. [s.l.] Acatech – National Academy of Science and Engineering, 22 abr. 2020.
- SILVA, I. A. DA; BARBALHO, S. C. M. **MODELOS DE MATURIDADE: DO CMM AOS MODELOS PARA INDÚSTRIA 4.0**. Blucher Engineering Proceedings. **Anais...** Em: 12º CONGRESSO BRASILEIRO DE INOVAÇÃO E GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO. São Paulo: Editora Blucher, nov. 2019.
- VICARIO, G.; COLEMAN, S. A review of data science in business and industry and a future view. **Applied Stochastic Models in Business and Industry**, v. 36, n. 1, p. 6–18, jan. 2020.

WAHLSTER, W. From Industry 1.0 to Industry 4.0: Towards the 4th Industrial Revolution, Forum Business meets Research. Em: [s.l: s.n.].

ZUTIN, G. C. et al. Readiness levels of Industry 4.0 technologies applied to aircraft manufacturing—a review, challenges and trends. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 120, n. 1–2, p. 927–943, maio 2022.