

Ferramenta de Avaliação para a Maturidade Digital na Indústria 4.0

Luiz Augusto de Oliveira Almeida, Alvaro Santana de Campos Junior, Josiel Maimone Figueiredo

Instituto de Computação – Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)
Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367 – Boa Esperança – Cuiabá – MT – Brasil

luiz.almeida4@sou.ufmt.br, alvaro.junior1@ufmt.br, josiel@ic.ufmt.br

Resumo. Este artigo apresenta a “Maturidade Digital 4.0”, uma ferramenta de autoavaliação projetada para auxiliar micro, pequenas e médias empresas (MPMEs) a diagnosticar seu nível de prontidão para a Indústria 4.0. A metodologia da ferramenta baseia-se no framework Toolbox Industrie 4.0 da Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA), avaliando 12 indicadores distribuídos nas dimensões de Produto e Produção. Os resultados são apresentados visualmente através de um gráfico de radar e pontuações de maturidade, permitindo a identificação de pontos fortes e fracos. A principal contribuição é a disponibilização de um instrumento prático e fundamentado que facilita a criação de um roteiro estratégico (roadmap) para a transformação digital.

Abstract. This paper presents “Maturidade Digital 4.0”, a self-assessment tool designed to help small and medium-sized enterprises (SMEs) diagnose their readiness level for Industry 4.0. The tool’s methodology is based on the Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) Toolbox Industrie 4.0 framework, evaluating 12 indicators across the Product and Production dimensions. The results are visually presented through a radar chart and maturity scores, enabling the identification of strengths and weaknesses. The main contribution is the provision of a practical and well-founded instrument that facilitates the creation of a strategic roadmap for digital transformation.

1. Introdução

A Indústria 4.0, ou a quarta revolução industrial, representa uma mudança de paradigma na manufatura, impulsionada pela fusão de tecnologias de informação e comunicação com processos de produção (Bitkom, VDMA e ZVEI, 2016). O conceito preconiza a criação de redes de valor dinâmicas, auto-organizadas e otimizadas em tempo real, conectando pessoas, objetos e sistemas. Essa transformação promete ganhos significativos em flexibilidade, eficiência e customização, permitindo a produção de lotes unitários a custos próximos aos da produção em massa (VDMA, 2016).

Apesar do potencial evidente, a adoção da Indústria 4.0 apresenta desafios substanciais, especialmente para micro, pequenas e médias empresas¹ (MPMEs). Muitas

¹ Na literatura em língua inglesa, as MPMEs são comumente referidas simplesmente como *small and medium-sized businesses* (pequenos e médios negócios, em tradução direta).

destas ainda demonstram relutância, confrontadas por incertezas sobre o retorno econômico, a complexidade da implementação e a falta de uma visão clara sobre como iniciar a jornada (Lichtblau *et al.*, 2015). Essa hesitação é um risco competitivo, pois empresas de base tecnológica, nativas digitais, avançam sobre mercados tradicionais com novos modelos de negócio (Gimpel e Röglinger, 2015).

Nesse contexto, os modelos de maturidade digital surgem como ferramentas estratégicas essenciais. Eles permitem que as organizações avaliem seu estado atual de prontidão, identifiquem lacunas e estruturem um caminho evolutivo para a transformação digital (Issa *et al.* 2018; Schuh *et al.*, 2020). Diversos *frameworks* foram propostos por instituições de renome, como o *Industrie 4.0 Maturity Index* da Acatech (2017) e o *Toolbox Industrie 4.0* da *Verband Deutscher Maschinen - und Anlagenbau* (VDMA, 2016), este último focado na aplicabilidade prática para MPMEs industriais.

Este artigo apresenta a ferramenta “Maturidade Digital 4.0”, uma aplicação web de suporte à avaliação, desenvolvida para simplificar o diagnóstico da prontidão para a Indústria 4.0. Fundamentada diretamente no *framework Toolbox Industrie 4.0* da VDMA (2016), a ferramenta oferece um método estruturado e acessível para que as MPMEs industriais possam não apenas medir sua maturidade, mas também visualizar suas forças e fraquezas e, a partir daí, construir um plano de ação concreto. O objetivo é demonstrar como a ferramenta – que ainda é um protótipo muito enxuto – traduz um modelo teórico em um instrumento prático que facilita as empresas a iniciarem sua jornada de transformação digital de forma estratégica e informada.

2. Metodologia

A ferramenta Maturidade Digital 4.0 é uma aplicação web – feita nas linguagens HTML, CSS e JS – projetada para autoavaliação, que opera inteiramente no navegador do usuário, garantindo que todos os dados inseridos permaneçam locais e confidenciais. Sua metodologia foi construída sobre a base conceitual do *Guideline Industrie 4.0* e seu *Toolbox*, com o objetivo específico de fornecer orientação prática para MPMEs industriais (VDMA, 2016). Adicionalmente, foram utilizadas ferramentas de inteligência artificial, como o ChatGPT 5 Thinking e o Gemini 2.5 Pro, para apoio na programação do modelo e escrita e correções textuais.

2.1. Estrutura da Avaliação

O processo de avaliação na ferramenta é dividido em etapas lógicas. Primeiramente, o usuário realiza um cadastro básico da empresa. Em seguida, pode criar diferentes “setores” ou áreas de análise (ex.: “Usinagem”, “Logística”, “Montagem”), permitindo uma avaliação granular que reflete a heterogeneidade da organização.

O núcleo da avaliação é um questionário estruturado com base em 12 indicadores, divididos em duas dimensões principais, conforme proposto pelo *Toolbox* da VDMA (2016):

- Dimensão Produto: avalia o grau de digitalização e inteligência incorporado nos produtos da empresa.
- Dimensão Produção: avalia o nível de digitalização e conectividade dos processos produtivos.

Cada indicador é avaliado em uma escala de maturidade de 0 (nenhuma implementação) a 4 (implementação autônoma/completa). A Tabela 1 detalha a correspondência direta entre os indicadores da ferramenta e as áreas de aplicação do *Toolbox* da VDMA.

Tabela 1. Mapeamento dos Indicadores da Ferramenta com o Toolbox VDMA.

Dimensão: Produto	Dimensão: Produção
1. Sensores/Atuadores	7. Processamento de Dados
2. Comunicação/Conectividade	8. Comunicação M2M
3. Armazenamento & Troca de Dados	9. Conectividade Empresa–Produção
4. Monitoramento	10. Infraestrutura de TIC na Produção
5. Serviços de TI (Produto)	11. Interfaces Homem–Máquina (IHM)
6. Modelos de Negócio	12. Eficiência com Pequenos Lotes

2.1. Geração de Resultados e Plano de Ação

À medida que o usuário preenche a avaliação, a ferramenta atualiza automaticamente os resultados. Para cada setor avaliado, e de forma consolidada para a empresa, são gerados três principais artefatos:

a) Pontuações de Maturidade: cálculo da média dos níveis para cada dimensão (Produto e Produção) e uma média geral, com classificação em estágios (ex.: Inicial, Emergente, Integrador, Conectado, Autônomo).

b) Gráfico de Radar: gráfico polar com 12 eixos, um para cada indicador, exibindo visualmente o perfil de maturidade do setor ou da empresa, facilitando a identificação de áreas de excelência e de carência, tal qual indicado na Figura 1.

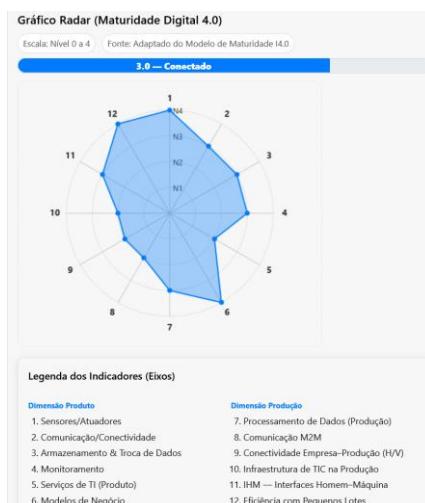


Figura 1. Gráfico Radar indicando a maturidade digital do ambiente em 12 aspectos em um exemplo fictício.

c) Plano de Ação: módulo para criação de um plano de ação, com registro de tarefas específicas por indicador, prioridade, responsável, custo e prazo, permitindo traduzir o diagnóstico em um roteiro de implementação.

A ferramenta também permite a exportação de um relatório completo em formato de planilha (.xlsx) e de documento (.pdf), contendo todos os dados cadastrais, as avaliações detalhadas por setor e o plano de ação, facilitando o compartilhamento e a análise aprofundada das informações.

3. Resultados e Discussão

A ferramenta Maturidade Digital 4.0 se propõe a ser mais do que um simples *checklist*; ela funciona como um instrumento de diagnóstico guiado e planejamento estratégico. A sua utilidade pode ser discutida sob a ótica dos artefatos que produz e da forma como eles se alinham com as melhores práticas para a transformação digital.

3.1. Estado da arte

A ferramenta “Maturidade Digital 4.0” corresponde a um protótipo funcional, porém deliberadamente enxuto, que já implementa cadastro por setores, cálculo de escores, visualização em gráfico radar e exportações (XLSX/PDF) com persistência local no navegador, mas que ainda demanda revisão de robustez e completude. Essas funcionalidades estão evidenciadas na interface (botões de exportação e *reset*, resumo geral e radar consolidado) e no fluxo de uso (“dados salvos localmente”, avaliação dos 12 indicadores e geração de plano de ação), indicando um núcleo operante para diagnóstico e planejamento.

Em paralelo, observam-se pontos de observação: (i) necessidade de testes em campo, com usuários reais e aplicação em indústrias e contextos produtivos concretos, para validar usabilidade, aderência e robustez do modelo; (ii) necessidade de consolidar testes (validação de entrada, acessibilidade, compatibilidade entre navegadores, impressão/PDF e consistência das exportações). Por conseguinte, a ferramenta encontra-se em fase prototípica, com mérito aplicado — radar e plano de ação alinhados ao modelo —, porém requer ciclos sistemáticos de aperfeiçoamento, correções e completude documental/técnica antes de ser considerada estável para uso em maior escala.

3.2. Diagnóstico Visual e Identificação de Lacunas

O principal resultado visual da ferramenta é o gráfico de radar. Essa representação é eficaz para fornecer uma visão holística e imediata do perfil de maturidade digital. Em vez de analisar 12 números isoladamente, o gestor visualiza a “forma” da maturidade da empresa, identificando rapidamente os eixos mais e menos desenvolvidos. Essa abordagem é similar à utilizada em outros modelos de autoavaliação, que contrastam o estado atual com um estado-alvo para evidenciar lacunas estratégicas (Gimpel e Röglinger, 2015). O gráfico gerado serve precisamente a esse propósito, tornando tangível onde a empresa está e onde precisa melhorar.

As pontuações calculadas permitem diagnosticar “doenças digitais” comuns. Baixos escores em “Conectividade” e “Infraestrutura de TIC” podem indicar integração frágil de sistemas de informação, um sintoma recorrente apontado por Schuh *et al.* (2020). Da mesma forma, baixa maturidade em “Comunicação M2M” e “Conectividade Empresa–Produção” evidencia falta de integração horizontal e vertical, pré-requisito fundamental para a Indústria 4.0. A ferramenta, portanto, não apenas quantifica a maturidade, mas qualifica as deficiências em termos de desafios práticos e conhecidos.

3.3. Estratificação e Criação de Roteiros (*Roadmaps*)

A classificação da maturidade em estágios progressivos (de “Início” a “Autônomo”) está em conformidade com a teoria de evolução por estágios, central em modelos de capacidade e maturidade (Issa *et al.*, 2018; Cozmiuc e Petrișor, 2021). Essa estratificação permite que a empresa se posicione em uma jornada evolutiva. Em vez de almejar o nível máximo em todos os indicadores de uma só vez — objetivo irrealista e dispendioso —, a empresa pode focar em avançar para o próximo estágio de forma consistente. Isso se alinha à abordagem que classifica empresas como “novatas”, “aprendizes” ou “líderes” (Lichtblau *et al.*, 2015). Uma empresa “novata” pode, por exemplo, focar em atingir o nível 1 ou 2 em conectividade e processamento de dados antes de ambicionar modelos de negócio baseados em serviços (nível 3 ou 4).

O benefício final de qualquer ferramenta de diagnóstico reside em sua capacidade de guiar a ação. A literatura enfatiza a necessidade de um roteiro (*roadmap*) para orientar a transformação digital, transformando a visão em plano executável (Issa *et al.*, 2018; DIN/DKE, 2023). A funcionalidade “Plano de Ação” atende diretamente a essa necessidade. Ao permitir registrar ações específicas, priorizadas e com responsáveis definidos para cada indicador deficiente, a ferramenta facilita a transição do diagnóstico para o planejamento, aumentando significativamente as chances de sucesso da transformação digital.

3.4. Potencial de Inovação nas Indústrias

A ferramenta amplia a capacidade das empresas de visualizar seu potencial de inovação, ao indicar claramente onde estão e onde podem chegar. Com base nos resultados, os gestores conseguem identificar caminhos concretos para alcançar novos estágios de maturidade, direcionando esforços para desenvolver produtos, processos e modelos de negócio mais inovadores, alinhados às demandas da Indústria 4.0.

3.5. Licenciamento Aberto e *Freeware*

O fato de a ferramenta ser disponibilizada em modelo *freeware* representa um diferencial estratégico, pois elimina barreiras de acesso e democratiza a avaliação. Além disso, manter o sistema aberto reforça a importância da transparência e da colaboração, permitindo que empresas, universidades e centros de pesquisa contribuam para o aprimoramento contínuo da solução.

3.6. Adoção do *Guideline Industrie 4.0*

Para potencializar os resultados da avaliação, recomenda-se que as empresas sigam integralmente as etapas previstas no *Guideline Industrie 4.0* da VDMA, desde a fase de análise até a implementação prática. Esse alinhamento garante que a ferramenta não apenas forneça diagnóstico, mas também atue como guia estruturado para evolução real, em consonância com metodologias internacionalmente reconhecidas.

3.7. Disponibilização em Repositório Aberto

O código-fonte da ferramenta foi disponibilizado em repositório aberto e pode ser livremente adaptada e customizada por programadores, instituições e empresas, estando acessível por meio do link (1):

4. Conclusões

A transição para a Indústria 4.0 é um processo complexo e multifacetado, que exige das empresas, especialmente das MPMEs industriais, uma compreensão clara de seu ponto de partida e uma visão estratégica para o futuro. A ferramenta de autoavaliação “Maturidade Digital 4.0”, apresentada neste artigo, estabelece-se como um potencial recurso valioso para auxiliar as empresas nessa jornada.

Ao basear sua metodologia no *Toolbox Industrie 4.0* da VDMA (2016), um *framework* reconhecido e orientado para a prática, a ferramenta garante fundamento teórico e setorial robusto. Sua estrutura, que avalia 12 indicadores críticos nas dimensões de Produto e Produção, permite diagnóstico abrangente e granular.

Embora ainda se encontre em estágio prototípico enxuto, a ferramenta já pode apoiar MPMEs industriais na conexão entre diagnóstico e ação, tomando a avaliação de maturidade como primeiro passo de um roteiro estratégico e contribuindo para a elaboração de planos de ação.

Referências

- BITKOM; VDMA; ZVEI. *Implementation strategy Industrie 4.0: report on the results of the Industrie 4.0 platform*. 2016. Disponível em: <https://www.bitkom.org/Bitkom/Publikationen/Implementation-Strategy-Industrie-40-Report-on-the-results-of-the-Industrie-40-Platform.html>. Acesso em: 12 out. 2025.
- COZMIUC, D.; PETRIŞOR, I. *Digital transformation to Industry 4.0 maturity index*. In: BRATIANU, C. et al. (org.). *Strategica. Shaping the future of business and economy*, 2021. p. 232–248.
- DIN/DKE. *German Standardization Roadmap Industrie 4.0: version 5*. Standardization Council Industrie 4.0, 2023.
- GIMPEL, H.; RÖGLINGER, M. *Digital transformation: changes and chances – insights based on an empirical study*. Project Group Business and Information Systems Engineering (BISE). Fraunhofer Institute for Applied Information Technology FIT, 2015.
- ISSA, Ahmad; HATIBOGLU, Bumin; BILDSTEIN, Andreas; BAUERNHANSL, Thomas. *Industrie 4.0 roadmap: framework for digital transformation based on the concepts of capability maturity and alignment*. Procedia CIRP, [S.l.], v. 72, p. 973-978, 2018. DOI: 10.1016/j.procir.2018.03.151.
- LICHTBLAU, Karl; STICH, Volker; BERTENRATH, Roman; BLUM, Matthias; BLEIDER, Martin; MILLACK, Agnes; SCHMITT, Katharina; SCHMITZ, Edgar; SCHRÖTER, Moritz. *Industrie 4.0 Readiness*. Frankfurt: IMPULS-Stiftung des VDMA, 2015.
- SCHUH, Günther; ANDERL, Reiner; DUMITRESCU, Roman; KRÜGER, Antonio; TEN HOMPEL, Michael (org.). *Using the Industrie 4.0 Maturity Index in Industry: current challenges, case studies and trends*. Munich: Acatech, 2020.
- VDMA. *Guideline Industrie 4.0: guiding principles for the implementation of Industrie 4.0 in small and medium sized businesses*. Frankfurt: VDMA Verlag GmbH, 2016.