



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE  
*PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE  
PRODUÇÃO*

DUAN VILELA FERREIRA

**MODELO DE MATURIDADE DA INDÚSTRIA 4.0 PARA  
AVALIAÇÃO DE PROCESSOS TÊXTEIS**

Caruaru

2021

DUAN VILELA FERREIRA

**MODELO DE MATURIDADE DA INDÚSTRIA 4.0 PARA  
AVALIAÇÃO DE PROCESSOS TÊXTEIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção.

**Área de concentração:** Otimização e Gestão da Produção.

**Orientadora:** Prof<sup>ta</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Paula Henriques Gusmão de Araújo Lima.

Caruaru

2021

Catálogo na fonte:  
Bibliotecária – Paula Silva - CRB/4 - 1223

F383m Ferreira, Duan Vilela.  
Modelo de maturidade da indústria 4.0 para avaliação de processos têxteis. / Duan Vilela Ferreira. – 2021.  
90 f.; il.: 30 cm.

Orientadora: Ana Paula Henriques de Gusmão.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Mestrado em Engenharia de Produção, 2021.  
Inclui Referências.

1. Indústria de tecnologia de ponta - Pernambuco. 2. Avaliação – Pernambuco.  
3. Processo decisório por critério múltiplo. 4. Modelos e construção de modelos - Pernambuco. 5. Planejamento estratégico – Pernambuco. 6. Indústria têxtil - Pernambuco. I. Gusmão, Ana Paula Henriques de (Orientadora). II. Título.

CDD 658.5 (23. ed.) UFPE (CAA 2021-270)

DUAN VILELA FERREIRA

**MODELO DE MATURIDADE DA INDÚSTRIA 4.0 PARA AVALIAÇÃO DE  
PROCESSOS TÊXTEIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção.

**Área de concentração:** Otimização e Gestão da Produção.

Aprovada em: 07/12/2021.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Paula Henriques Gusmão de Araújo Lima (Orientadora)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Jônatas Araújo de Almeida (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Flávio Trojan (Examinador Externo)  
Universidade Federal Tecnológica do Paraná

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, que me abençoa diariamente na busca pelo conhecimento e aos meus pais, Luiz e Galiana, por todos os ensinamentos, proteção e suporte durante a minha vida. Agradeço também à minha irmã, Tassiana, e a todos os meus familiares pelo apoio e carinho que só uma família unida pode fornecer.

Ainda no âmbito familiar, agradeço em especial ao meu irmão, compadre, professor e incentivador, Tarso. Nunca existirão palavras suficientes que possam expressar minha gratidão por tudo que ele fez e faz por mim nessa jornada acadêmica. Obrigado, meu irmão!

À minha orientadora, Ana Paula Gusmão, por todas as oportunidades e ensinamentos, sempre me incentivando a buscar o conhecimento. Uma referência que levarei para a vida. Obrigado, professora.

Agradeço também a todos os meus amigos que, pelo fato de serem muitos, não serão citados, mas sabem que são. Sempre se fazem presentes nos momentos bons e ruins da vida tornando-a sempre leve e alegre.

Aos meus colegas de turma do mestrado, em especial a Nicolas Bomfim, com quem construí uma relação de amizade sincera e recíproca.

Durante a vida de estudante, alguns mestres foram inspiração para que eu pudesse seguir o mesmo caminho e estes também precisam ser mencionados: Helenice Garcia, Mário Neves, Malvino Junior. Muito obrigado!

Também sou grato a todos que fazem parte do corpo administrativo e docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Campus Agreste da UFPE. Obrigado por todo suporte e conhecimento compartilhado durante a minha formação.

Por fim, agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio institucional e ao Grupo de Pesquisa em Sistemas de Informação e Decisão (GPSID) da UFPE. Agradeço também a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE) pelo suporte financeiro nesta pesquisa.

## RESUMO

Os conceitos e potenciais benefícios associados à aplicação de ferramentas tecnológicas da indústria 4.0 têm chamado a atenção de empresas e instituições técnico-científicas como oportunidade de incremento do potencial competitivo das organizações em um mercado turbulento. Assim, pode-se perceber a relevância e complexidade de decisões relacionadas ao planejamento e execução da estratégia de implementação das ferramentas adequadas ao cenário de negócio de empresas para promoção da competitividade. No Brasil, um dos setores marcados pela necessidade de melhoria da competitividade é o têxtil e de confecções, que apesar de ter significativa relevância para a economia nacional, ainda possui insuficiências a serem sanadas em relação ao aspecto competitivo. Porém, para planejamento de ações de melhoria da competitividade, é pertinente que seja avaliado o estado atual da organização em relação a referenciais competitivos para um melhor estabelecimento de objetivos estratégicos. Neste cenário, surgem os modelos de maturidade que são ferramentas para suporte a este tipo de avaliação. Apesar da existência de variados modelos com este propósito, muitos não possuem clareza metodológica e de parametrização, além de não serem adequadamente alinhados com os aspectos da área têxtil. Sendo assim, esta pesquisa busca preencher a lacuna encontrada no campo científico, bem como contribuir para a gestão organizacional a partir do desenvolvimento e aplicação de um modelo para avaliação de empresas do setor de têxtil em termos de maturidade tecnológica da indústria 4.0, baseado em uma abordagem multicritério, a partir do método FITradeoff para problemática de classificação. Como forma de demonstração da aplicabilidade do modelo, foram realizadas avaliações de empresas do Arranjo Produtivo Local (APL) têxtil do Agreste pernambucano. Em termos de resultado, foi possível conhecer os níveis de maturidade das organizações que participaram do estudo, e também foram analisados os principais aspectos associados aos atributos avaliados. Por fim, acredita-se que esse estudo possa servir como ferramenta de apoio no processo de planejamento estratégico para gestores e demais envolvidos nas empresas do mercado têxtil e de confecções, na busca por estratégias de desenvolvimento relacionadas à temática referida, além de colaborar para mitigação da lacuna encontrada na literatura.

Palavras-chave: indústria 4.0; maturidade; FITradeoff; problemática de classificação.

## **ABSTRACT**

The concepts and potential benefits associated with the application of industry 4.0 tools 4.0 has called companies and technical-scientific institutions attention as an opportunity to increase the competitive potential of organizations in a turbulent market. Thus, it is possible to realize the relevance and complexity of decisions related to the planning and implementation of the application of appropriate tools to the business scenario of companies to promote competitiveness. In Brazil, one of the sectors marked by the need to improve competitiveness is textile and clothing, which, despite having significant relevance to the national economy, still has shortcomings to be healed in relation to the competitive aspect. However, for planning competitiveness improvement actions, it is pertinent to evaluate the current state of the organization in relation to competitive references for a better establishment of strategic objectives. In this scenario arise the maturity models which are tools to support this type of evaluation. Despite the existence of varied models for this purpose, many of them do not have methodological and parameterization clarity, besides being not properly aligned with the aspects of the textile area. Thus, this research seeks to fill the gap found in the scientific field, as well as contribute to the organizational management of the development and application of a model for the evaluation of companies in the textile sector in terms of technological maturity for industry 4.0, based on a Multicriteria approach from the FITradeoff method for sorting problems. As a demonstration of the applicability of the model, evaluations of companies of the local productive arrangement (APL) of the Agreste Pernambuco were performed. In terms of results, it was possible to know the maturity levels of organizations that participated in the study, and the main aspects associated with the evaluated attributes were analyzed as well. Finally, it is believed that this study can serve as a support tool in the process of strategic planning for managers and other involved in companies in the textile and clothing market, in the search for development strategies in relation to the aforementioned theme, in addition to collaborating to the mitigation of the gap found in the literature.

Keywords: industry 4.0; maturity; FITradeoff; sorting problems.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>9</b>
<b>1.1</b>	<b>Justificativa</b>	<b>10</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos</b>	<b>11</b>
<b>1.3</b>	<b>Metodologia da pesquisa</b>	<b>12</b>
<b>1.4</b>	<b>Estrutura da dissertação</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA</b>	<b>14</b>
<b>2.1</b>	<b>Indústria têxtil e de confecções no Brasil</b>	<b>14</b>
<i>2.1.1</i>	<i>APL têxtil de Pernambuco</i>	<i>17</i>
<b>2.2</b>	<b>Indústria 4.0</b>	<b>19</b>
<i>2.2.1</i>	<i>Tecnologias disruptivas</i>	<i>20</i>
<i>2.2.2</i>	<i>Propostas de integração tecnológica e tendências de pesquisa</i>	<i>21</i>
<i>2.2.3</i>	<i>Integrações tecnológicas e processos têxteis</i>	<i>26</i>
<i>2.2.4</i>	<i>Perspectivas brasileiras do setor têxtil relacionadas à indústria 4.0</i>	<i>29</i>
<b>2.3</b>	<b>Modelos de maturidade</b>	<b>31</b>
<i>2.3.1</i>	<i>Modelos de maturidade da indústria 4.0</i>	<i>32</i>
<b>2.4</b>	<b>Suporte à decisão multicritério</b>	<b>36</b>
<i>2.4.1</i>	<i>Métodos multicritério de classificação</i>	<i>36</i>
<i>2.4.2</i>	<i>O método FITradeoff para classificação</i>	<i>40</i>
<b>3</b>	<b>PROPOSIÇÃO DO MODELO</b>	<b>47</b>
<b>3.1</b>	<b>Justificativa do método</b>	<b>47</b>
<b>3.2</b>	<b>O modelo proposto</b>	<b>48</b>
<i>3.2.1</i>	<i>Critérios de avaliação</i>	<i>48</i>
<i>3.2.2</i>	<i>Classes de maturidade</i>	<i>53</i>
<b>4</b>	<b>APLICAÇÃO DO MODELO E RESULTADOS</b>	<b>57</b>
<b>4.1</b>	<b>Identificação do decisor</b>	<b>57</b>
<b>4.2</b>	<b>Empresas avaliadas</b>	<b>57</b>
<b>4.3</b>	<b>Aplicação do MM</b>	<b>59</b>
<b>4.4</b>	<b>Discussão dos resultados e feedbacks</b>	<b>66</b>
<i>4.4.1</i>	<i>Resultados empresa A</i>	<i>66</i>
<i>4.4.2</i>	<i>Resultados empresa B</i>	<i>67</i>
<i>4.4.3</i>	<i>Resultados empresa C</i>	<i>69</i>
<i>4.4.4</i>	<i>Panorama geral de resultados</i>	<i>69</i>



<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>71</b>
<b>5.1</b>	<b>Considerações finais</b>	<b>71</b>
<b>5.2</b>	<b>Limitações e propostas futuras</b>	<b>72</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>74</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Desde meados de 2000, a indústria 4.0 ou quarta revolução industrial tem sido abordada por alguns pesquisadores como sendo a era da integração entre os ambientes virtuais e físicos através de tecnologias e objetos inteligentes que interagem entre si (ÖBERG; GRAHAM, 2016; SONY; NAIK, 2019). Esta interação pode promover fábricas inteligentes por meio de equipamentos automatizados e sistemas autônomos de manufatura (CHEN et al., 2017; RAFAEL et al., 2020)

De acordo com Lasi et al. (2014), a quarta revolução industrial descreve principalmente mudanças em sistemas de fabricação que são orientadas para tecnologia da informação (TI). Tais mudanças não têm apenas implicações tecnológicas, mas também organizacionais. Klingenberg, Borges e Antunes (2019), ao realizar estudos sobre o novos padrões da quarta revolução industrial, estabelecem que a informação é um recurso chave no processo de desenvolvimento do novo paradigma, onde este é totalmente orientado para dados, uma vez que faz melhor uso das informações para incremento da geração de valor possibilitando a geração de novos modelos operacionais.

Estes modelos partem da aplicação de ferramentas como inteligência artificial (*AI*) na tomada de decisões, alto desempenho no armazenamento e processamento de dados com uso de *Big Data*, transmissão de informações com a internet das coisas (*IoT*) ou ainda operação de sistemas e dispositivos de forma remota através de sistemas cyber físicos (*CPS*). A utilização destas tecnologias e ferramentas é capaz de gerar uma consequente melhoria na geração de valor, ao longo das cadeias produtivas, e trazer benefícios como redução de custos ou aumento da produtividade, gerando potencial competitivo (LOM; PRIBYL; SVITEK, 2016).

No Brasil, um dos setores marcados pela necessidade de melhoria da competitividade é o têxtil e de confecções, que apesar de ter significativa relevância para a economia nacional, ainda possui um longo caminho a ser seguido em termos de melhoria da competitividade em relação aos concorrentes asiáticos, principalmente (SEBRAE, 2013). Contudo, para planejamento de ações de melhoria da competitividade, é pertinente que seja avaliado o estado atual da organização em relação a referenciais competitivos para um melhor estabelecimento de objetivos estratégicos.

Neste cenário, surgem os modelos de maturidade (MM), que são ferramentas para suporte a este tipo de avaliação. Estas ferramentas podem ser definidas como *frameworks* que auxiliam as organizações na análise da situação atual em termos de maturidade tecnológica em direção à

indústria 4.0, e também propõem ações para atingir níveis superiores (WAGIRE et al., 2020). Em outras palavras, um MM pode ser utilizado para orientar o processo de mudança do modelo de negócios de uma empresa, bem como auxiliar no entendimento dos recursos necessários para implementar a indústria 4.0 (LIN; WANG; SHENG, 2020).

Sendo assim, esta pesquisa busca contribuir para a gestão organizacional a partir do desenvolvimento e aplicação de um MM para avaliação de empresas do setor de têxtil em termos de maturidade tecnológica da indústria 4.0. Como forma de demonstração da aplicabilidade do MM, foram realizadas avaliações de empresas do Arranjo Produtivo Local (APL) têxtil do Agreste pernambucano. A próxima seção irá apresentar as justificativas para a pesquisa.

### **1.1 Justificativa**

Os têxteis e o vestuário são uma parte fundamental da vida cotidiana e um setor importante na economia global. No mundo, a indústria de roupas de US\$ 1,3 trilhão emprega mais de 300 milhões de pessoas ao longo da cadeia de valor. A produção de algodão, sozinha, responde por quase 7% de todo o emprego em alguns países de baixa renda (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017). Na América Latina, o setor tem contribuído de forma significativa para a regionalização da produção, mobilidade industrial e reestruturação econômica nos últimos anos, após acordos de livre comércio que viabilizaram o retorno da produção para a região ocidental (SENAI-CETIQT, 2006).

No Brasil, o setor estrutura-se com empresas espalhadas por todo o país, gerando milhões de empregos, sejam eles diretos, na fase de produção fabril, ou indiretos, na produção de matérias-primas e vários outros insumos. Contudo, no que tange ao comércio mundial, encontra-se na 46ª posição entre os maiores países exportadores, e na 43ª entre os maiores importadores, pelo fato de a maior parte da produção nacional ser direcionada ao mercado interno (ABIT, 2015; FIEMG, 2016).

Informações publicadas pela ABIT (2015) evidenciam que a importação de peças de vestuário teve um incremento de 25 vezes entre os anos de 2003 e 2014. Em confirmação, Mayumi, Fujita e Jorente (2015) afirmam que após a liberação comercial ocasionada pela extinção de acordos comerciais, a globalização do mercado doméstico ocorreu e trouxe um choque estrutural para o mercado brasileiro. Além disso, o Brasil vive uma invasão de produtos importados asiáticos, que apresentam um percentual de crescimento constante até o momento atual (MAYUMI; FUJITA; JORENTE, 2015).

Por questões como as citadas anteriormente, o Brasil possui uma série de desafios que devem ser tratados na forma de projetos estruturantes para melhoria da competitividade. Dentre eles, pode-se citar os diferentes níveis tecnológicos das empresas ao longo da cadeia produtiva e a dependência de mão de obra especializada em alguns processos (ABIT, 2015).

Diante das informações expostas, torna-se evidente a necessidade de direcionamento estratégico das empresas do mercado têxtil brasileiro no contexto da indústria 4.0 como forma de melhoria da competitividade no mercado global. Portanto, este trabalho propõe o desenvolvimento e aplicação de um MM no contexto do setor têxtil como ferramenta de direcionamento da estratégia empresarial brasileira que possa auxiliar gestores neste processo de avaliação.

Essa proposta teve também, como motivação, o fato de ter sido identificada na literatura uma lacuna relacionada a MMs que incorporem em sua estrutura os parâmetros particulares dos processos da indústria têxtil em sua essência, com clareza metodológica para aplicação. O modelo foi baseado em um método de apoio a decisão multicritério (MCDA), o FITradeoff, com foco na problemática de classificação e teve a contribuição de especialistas do setor para parametrização.

## **1.2 Objetivos**

Propor e aplicar um modelo de maturidade da indústria 4.0 para processos têxteis, considerando a validação de decisores especialistas na área e baseado na aplicação de uma abordagem multicritério. Assim, o modelo tem o objetivo de suportar a identificação de níveis de maturidade, de maneira que esta possa auxiliar o direcionamento para estratégias de atingimento de patamares mais elevados e consequente incremento competitivo das empresas avaliadas. Para tanto, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- ✓ Identificação das tecnologias e suas formas de aplicação através de revisões da literatura;
- ✓ Estruturação de parâmetros do MM proposto a partir de referenciais bibliográficos relacionados ao tema;
- ✓ Proposição de um MM baseado em métodos MCDA para classificação de negócios do setor têxtil em relação à indústria 4.0, considerando parâmetros estabelecidos de acordo com parecer de especialistas e respeitando a estrutura de preferências dos decisores;

- ✓ Validação do modelo através da aplicação do MM em empresas do APL têxtil pernambucano;
- ✓ Identificação de pontos críticos das empresas avaliadas para consecução de patamares mais elevados de maturidade.

### 1.3 Metodologia da pesquisa

Para desenvolvimento desta pesquisa, cujo objetivo está relacionado ao desenvolvimento de um MM da indústria 4.0 para avaliação de negócios têxteis, em que as empresas serão classificadas em níveis de maturidade através de uma abordagem multicritério, foi adotada uma metodologia que se divide em 3 fases.

Na primeira fase, foi realizada uma pesquisa bibliográfica com objetivo de adquirir o conhecimento relacionado ao tema central do trabalho e suas particularidades, objetivando a criação de um alicerce conceitual por meio de uma revisão da literatura para aplicação no estudo. Conforme proposto por Cauchick (2018), pesquisas conceituais buscam realizar discussões a partir de revisões sistemáticas da literatura. Desta forma, permitem conhecer os principais conceitos estabelecidos relacionados a determinado tópico da ciência, como também suas principais direções futuras, baseadas nas pesquisas mais recentes.

Em seguida, na segunda fase, foi realizada a proposição do modelo de decisão, com base no procedimento de análise e solução de problemas estabelecido por de Almeida et al., 2015. Tal procedimento compreende as fases preliminar, modelagem de preferências e finalização, que serão detalhadas nos capítulos finais.

Na terceira fase, foi desenvolvida a aplicação do modelo proposto em empresas do APL de confecções no Agreste de Pernambuco, a fim de demonstrar a aplicabilidade e a significância dos resultados gerados com a avaliação de maturidade estabelecida.

Neste contexto, os parâmetros do modelo foram levantados com base na revisão da literatura e validados por especialistas da área. Em termos de método multicritério, foi utilizado o FITradeoff para problemática de classificação, através do software do respectivo método, facilitando assim a aplicação do modelo.

#### **1.4 Estrutura da dissertação**

Esta pesquisa está estruturada em cinco capítulos:

O capítulo 1 apresenta as informações introdutórias sobre o tema trabalhado, envolvendo a problemática de pesquisa e justificativa, bem como objetivos e a metodologia empregada na pesquisa.

O capítulo 2 aborda a revisão da literatura e referencial teórico. Destacam-se os temas relacionados ao setor têxtil e seu panorama atual, bem como conceitos da indústria 4.0. Por fim, abrange os aspectos associados a modelos de maturidade e métodos de apoio à decisão multicritério.

O capítulo 3 apresenta o modelo proposto e seus parâmetros da indústria 4.0 para negócios têxteis.

O capítulo 4 apresenta a aplicação do modelo e os resultados encontrados, abordando os principais pontos em relação ao diagnóstico de maturidade das empresas avaliadas no estudo.

Por fim, o capítulo 5 abrange as considerações finais sobre o desenvolvimento da pesquisa, discute os principais pontos da análise e apresenta sugestões para possíveis trabalhos futuros.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA**

Esta seção destina-se à fundamentação teórica e revisão da literatura do presente estudo. Inicialmente, são discutidos o cenário brasileiro e pernambucano em relação à indústria têxtil, em termos de situação atual, e principais desafios para melhoria da competitividade. Logo após, abordam-se tópicos relacionados à indústria 4.0 e suas principais ferramentas, incluindo uma visão geral destes conceitos, além de proposições de aplicação destas ferramentas em diferentes processos, evidenciando o cenário atual e tendências de pesquisa. De forma adicional, também são abordadas aplicações destas ferramentas na área têxtil e de confecções. Em seguida, explana-se sobre MMs, sua definição e relevância, bem como uma revisão da literatura relacionada aos MMs da indústria 4.0, principais características e particularidades. Por fim, este capítulo abrange os aspectos associados a métodos de apoio a decisão multicritério, como também detalha o método FITradeoff com foco na problemática de classificação, utilizado no presente estudo.

### **2.1 Indústria têxtil e de confecções no Brasil**

O setor de indústrias têxteis e de confecções é um dos mais tradicionais e complexos do mundo. Historicamente, a indústria têxtil é conhecida por ser a principal responsável por impulsionar a primeira revolução industrial no século XVIII, em um período em que houve a substituição dos teares manuais por máquinas movidas a vapor (CNI, 2017; RAMOS, 2020).

No Brasil, a indústria têxtil nasceu ainda no período colonial e se desenvolveu acentuadamente a partir do início do século XX, chegando à maturidade em meados de 1940, quando passou a ser considerada um setor industrial dinâmico de uma economia subdesenvolvida. Isso ocorreu pelo fato de o país ter alcançado uma sólida estrutura que lhe conferiu a posição de segundo lugar na produção têxtil mundial, exportando para grande parte do mundo, por ocasião da Segunda Guerra Mundial (KON; GOMIDE; COAN, 2005).

Segundo Kon, Gomide e Coan (2005), o processo de globalização do setor têxtil nacional iniciou-se na década de 90, com a abertura comercial da economia brasileira e a implantação do plano real, e houve, inicialmente, impactos negativos para o setor que passou a ser bombardeado pelos produtos importados que chegavam ao país em grandes quantidades, oriundos principalmente da Ásia.

Desde então, o Brasil tem enfrentado um cenário desfavorável em relação ao mercado externo. Informações publicadas pelo FIEMG (2016) mostram que a entrada de produtos

estrangeiros no Brasil tem crescido significativamente ao longo dos anos. Entre 2006 e 2012, as importações tiveram um incremento médio anual de 15%, chegando a 17,5 bilhões de dólares anuais.

A participação brasileira no comércio internacional tem sido pequena, ocupando a 26ª posição em exportação de têxteis e a 48ª em exportação de artigos confeccionados (MAYUMI; FUJITA; JORENTE, 2015). Atualmente, a Ásia é responsável por 73% dos volumes totais produzidos no mundo, com destaque para China, Índia, Paquistão, Coreia do Sul, Taiwan, Indonésia, Malásia, Tailândia e Bangladesh (ABIT, 2015). Conforme afirmam Mayumi, Fujita e Jorente (2015), alguns fatores merecem destaque para o crescimento das importações asiáticas no Brasil:

- Fim de acordos comerciais flexibilizando o comércio internacional dos anos 90;
- A crise econômica vivida entre 2014 e 2017 inviabilizou investimentos;
- Volatilidade cambial brasileira;
- Custos baixos de mão de obra asiática;
- Alta amplitude e variedade de produção asiática;

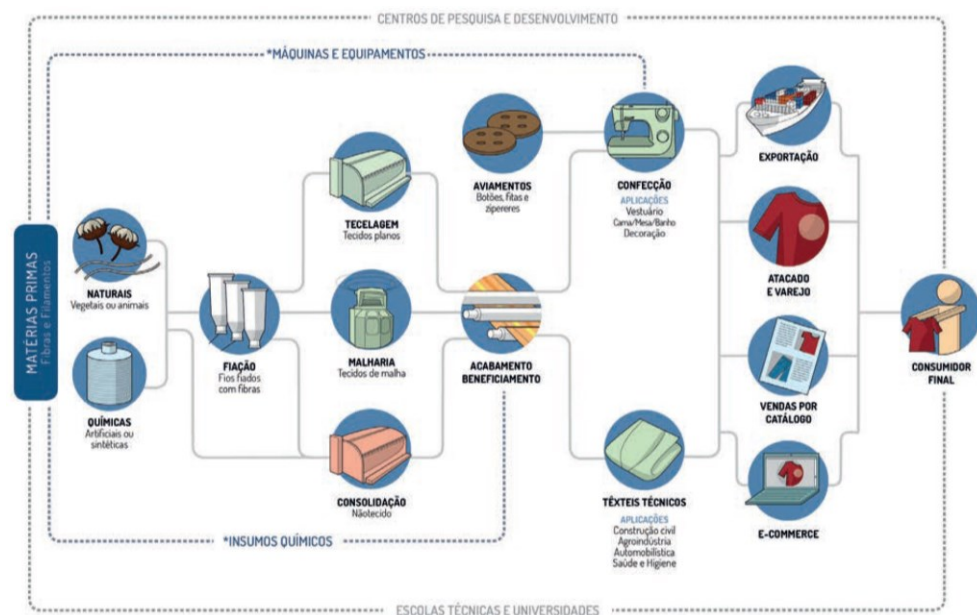
O aumento das importações também evidencia que o Brasil é um país que consome grande parte da sua produção anual. Em 2019, o setor têxtil brasileiro teve faturamento de 185,7 bilhões de reais, com uma produção média de 9 bilhões de peças no mesmo ano, empregando cerca de 9,5 milhões de pessoas entre empregos diretos e indiretos em 33 mil empresas brasileiras que são referências mundiais em design de moda praia, *jeanswear* e *homewear*, com recente crescimento em nichos como *fitness* e *lingerie* (ABIT, 2020; IEMI, 2017). Informações publicadas pela CNI (2017) mostram que, no Brasil, o setor têxtil é compreendido por empresas pulverizadas nos 27 estados brasileiros, com maior concentração no Sudeste (49%), Sul (28%) e Nordeste (15%), sendo que do total, 99,7% são micro e pequenas empresas, e 96,8% são negócios de confecções.

Em termos de estrutura de processos, a fabricação de produtos têxteis compreende as atividades de preparação das fibras, fiação, tecelagem, acabamento e confecção, principalmente. A preparação das fibras têxteis compreende processos tais como: lavagem, carbonização, cardação, penteação e outros. A fiação é um processo intermediário na cadeia produtiva têxtil, e tem como insumo as fibras para produzir fios (FIEMG, 2016).



Em seguida, a partir de técnicas que aplicam o entrelaçamento de dois conjuntos de fios que se cruzam em ângulo reto, é realizada a tecelagem. Já a malharia é resultado da formação de laços que se interpenetram e se apoiam lateral e verticalmente. As atividades de acabamento podem realizar-se em fibras, fios e tecidos, e constituem-se em uma série de operações que preparam os produtos têxteis para o uso a que se destinam, como alvejamento, tingimento, estamparia, conferindo ao produto durabilidade e características específicas, com a possibilidade de utilização de componentes químicos para este fim (FIEMG, 2016). No esquema apresentado na Figura 1 pode-se observar a estrutura produtiva do setor.

Figura 1 – Estrutura da cadeia produtiva têxtil e de confecções



Fonte: ABIT (2017)

Após a etapa de acabamento, os têxteis são direcionados para os processos de manufatura de acordo com o mercado para o qual os produtos serão direcionados: confecções ou técnicos. No Brasil, tomando-se a média considerando o intervalo entre os anos de 2012 e 2016, 76% da produção é realizada no mercado de confecções, e o restante, na área técnica. Finalmente, os produtos são escoados pelos canais de distribuição até o consumidor final. Considerando os processos de venda da produção brasileira, o varejo tem sido predominante, porque abrange grandes lojas especializadas, pequenas lojas de rede, lojas de departamento e supermercados. Este setor representa 74% do total distribuído, enquanto o comércio atacadista e vendas institucionais (prefeituras, empresas) representam 22%. As vendas através da internet (*e-commerce*) representam 1%, e as exportações, 3% (IEMI, 2017).

Os processos descritos anteriormente são normalmente segregados em diferentes unidades produtivas (CNI, 2017). Em outras palavras, podem estar associados a fábricas pulverizadas em termos de localização ou associadas a arranjos produtivos que serão abordados na próxima seção.

### **2.1.1 APL têxtil de Pernambuco**

Conforme proposto pelo Ministério da Economia (2021), APLs são aglomerações de empresas localizadas em um mesmo território, que apresentam especialização produtiva e mantêm vínculos de cooperação e aprendizagem entre si e com outros atores locais, tais como governo, associações empresariais, instituições de crédito, ensino e pesquisa. O APL têxtil do Agreste pernambucano teve suas primeiras atividades observadas há cerca de 80 anos.

Segundo Amorim, Prazeres e Santos (2017), em meados de 1940 surgiu uma feira na então vila de Santa Cruz do Capibaribe, onde alguns comerciantes negociavam resíduos de panos produzidos por indústrias. Com o passar dos anos, o centro comercial se popularizou, sendo conhecido como a feira da Sulanca, onde pessoas buscavam comprar produtos do vestuário diretamente de fabricantes nos municípios de Caruaru, Santa Cruz do Capibaribe e Toritama. Em 1980, os processos destas cidades se expandiram a partir dos processos relacionados ao *jeans*, com a instalação de fábricas e lavanderias que realizavam tingimento das peças (AMORIM; PRAZERES; SANTOS, 2017).

Ainda segundo os autores, em 1990, com a abertura do mercado brasileiro para o exterior, a região sofreu impactos econômicos que demandaram a união dos confeccionistas para fazer frente à concorrência estrangeira. Assim, com a criação da Associação dos Confeccionistas de Santa Cruz do Capibaribe (ASCAP) e a Câmara de Dirigentes Lojistas (CDL) o grupo de empresas da região se une para encontrar melhorias no processo produtivo, trazendo melhorias de mão de obra, tecnologia. Com a posterior estabilização do mercado, Caruaru se transformou no maior centro de comercialização confeccionista, além de escoar boa parte da produção para outros estados, inclusive até outros países, sendo uma das principais cidades do APL têxtil do Agreste pernambucano (AMORIM; PRAZERES; SANTOS, 2017).

Assim, ao passar dos anos, o APL se expandiu no entorno das três cidades pioneiras citadas anteriormente, e hoje compreende dez municípios, majoritariamente: Caruaru, Toritama, Santa Cruz do Capibaribe, Surubim, Cupira, Agrestina, Brejo da Madre de Deus, Riacho das Almas, Vertentes, Taquaritinga do Norte. Vale ressaltar que existem outras cidades pernambucanas,

fora do Agreste, onde atividades de produção têxtil são observadas, como na região metropolitana de Recife, Belo Jardim e Gravatá, por exemplo (SEBRAE, 2013).

Nos últimos anos, a região Agreste pernambucana tem desempenhado um relevante papel no estado. Indicadores demográficos e econômicos da região evidenciam este ponto: entre os anos 2000 e 2010, a população da região cresceu cerca de 31%, e o PIB aumentou em 57%, principalmente em função do crescimento das atividades comerciais da região (SEBRAE, 2013). De acordo com informações publicadas pelo IEMI (2017), entre 2012 e 2016, houve aumento de 6,0% no número de empresas têxteis em atividade no estado. Já no setor de confecção houve aumento de 1,3% no mesmo período. Na região Agreste estão localizadas 3,3% das empresas da cadeia têxtil brasileira, ou 1.216 empresas, sendo 89 produtoras têxteis e 1.127 fabricantes de artigos confeccionados. A maior participação do estado em quantidade de empresas se verifica no setor confeccionista, com 4,2% do total nacional.

Ao considerar as unidades têxteis do estado, estas se caracterizam como micro (de 5 a 19 funcionários) e pequenas (de 20 a 99 funcionários), representando mais de 92,1% das unidades têxteis do estado. As médias empresas (de 100 a 499 funcionários) são 6,7%, e as grandes, (acima de 500 funcionários) representam apenas 1,1%. Em relação às confecções, as empresas de micro e pequeno porte são ainda mais representativas: em 2016, a participação de ambos os portes chegou a 98,7% das unidades de confecções instaladas no estado, ficando as unidades de médio porte com 1,2%, e as grandes com apenas 0,1% de participação (IEMI, 2017).

Ainda em relação ao porte das organizações produtoras da região, o SEBRAE (2013) estabelece duas classificações possíveis para as unidades produtivas: empresas e facções. As empresas são unidades produtivas de confecções, entendidas como peças de vestuário na forma de produtos finais. Algumas empresas executam todas as etapas e fabricam todos os componentes de seus produtos finais; outras, subcontratam algumas dessas etapas ou componentes. As facções são unidades produtivas que desempenham tarefas que correspondem a etapas do processo produtivo de confecções, como costurar peças de uma calça ou produzir partes ou componentes das confecções, como forros de bolsos de calças e outros.

Em termos de informalidade, cerca de 80% das unidades produtivas da região são informais. Até hoje, o APL tem se expandido, em grande medida, porque paga poucos impostos e, menos ainda, direitos e obrigações trabalhistas. Como num efeito de cascata, a informalidade favorece a baixa qualificação da força de trabalho. Em média, 25% da população com mais de 15 anos de idade das cidades que pertencem ao APL, não sabem ler e escrever (SEBRAE,

2013). Ainda neste contexto, em torno de 87% dos funcionários das unidades produtivas não possuem formação em moda, design, corte ou costura (IEMI, 2017).

Assim como ocorre com a informalidade, a baixa qualificação da mão de obra constitui uma vantagem transitória, mas por outro lado pode ser vista como uma ameaça. A tendência de longo prazo é que o recolhimento de impostos, o atendimento às normas ambientais e o pagamento dos direitos trabalhistas sejam mais exigidos. Adicionalmente, os empresários precisarão também investir e utilizar melhor o maquinário, racionalizar a administração apoiada no uso intensivo da informática e modernizar a criação de novas peças e coleções como forma de se diferenciar da concorrência (SEBRAE, 2013). Neste contexto, investimentos em novas tecnologias e processos serão naturalmente necessários para as empresas do APL.

Assim, no sentido de obter um maior entendimento sobre novas tecnologias aplicáveis neste cenário, a próxima seção abordará o tema.

## **2.2 Indústria 4.0**

O termo indústria 4.0 surgiu na Alemanha, em Hannover no ano de 2011 para descrever como tecnologias integradas poderiam alterar as cadeias globais de valor, permitindo a personalização dos produtos e a criação de novas formas de se produzir bens e serviços. É a fusão de tecnologias e sua interação constante nos domínios físico, digital e biológico que tornam a quarta revolução industrial fundamentalmente diferente das revoluções anteriores (SCHWAB, 2016).

O instituto *Germany Trade and Invest (GTAI)*, define que a indústria 4.0 está associada à evolução tecnológica dos sistemas embutidos para sistemas *cyber*-físicos. Ou ainda, representa a quarta revolução industrial através da internet, dados e serviços. Simplificando, significa que o maquinário industrial não mais simplesmente processa o produto, mas que o produto se comunica com o maquinário dando direcionamento ao processo produtivo (GTAI, 2014).

Com base em processos altamente desenvolvidos em termos de automação, digitalização e na aplicação de ferramentas de tecnologia da informação, a indústria 4.0 possibilitará a integração e análise em tempo real de dados maciços, otimizando os recursos no processo de fabricação (LU, 2017). Os principais conceitos e características associados a estas ferramentas serão discutidos a seguir.

### 2.2.1 *Tecnologias disruptivas*

A integração entre as tecnologias da 4.0 é feita principalmente através da internet e outros dispositivos referenciados nela. De acordo com Georgakopoulos et al. (2016), a internet das coisas (*IoT*) está associada a uma integração entre bilhões de sensores, câmeras, equipamentos industriais, monitores, *smartphones* e outros dispositivos de comunicação. É através desta integração que dados podem ser coletados e transportados continuamente em grandes volumes, contribuindo para geração de informações em tempo real.

Os dados gerados em alto volume nos processos de manufatura são uma característica resultante da integração entre tecnologias. No entanto, o crescimento exponencial do volume de dados vai além da capacidade de processamento dos usuários. A computação em nuvens (*CC*) é uma tecnologia baseada na internet em que os recursos compartilhados são acessados de acordo com a demanda, gerando alta qualidade de serviço a um custo baixo (QI; TAO, 2019).

Ainda no contexto do alto volume de dados, a Big Data (*BDA*) traz grandes benefícios. Conforme Qin e Chiang (2019), apesar de não haver um conceito preciso sobre *BDA*, as definições se referem ao tamanho e a variedade dos dados que desafiam a habilidade dos meios de captura e processamento tradicionais de coletar, armazenar e analisar. Normalmente, as questões envolvendo *BDA* envolvem grande volume, velocidade, variedade e veracidade dos dados.

Além das ferramentas já citadas, os sistemas *cyber-físicos* (*CPS*) são relevantes neste cenário. Segundo Jazdi (2014), os *CPSs* são sistemas que possibilitam a conexão das operações da realidade física com infraestrutura de computação. Ao contrário dos sistemas embarcados tradicionais, o foco destes sistemas está na rede de vários dispositivos e seguem a tendência de ter informações e serviços sobre processos em tempo real e que podem ser acessadas de qualquer lugar.

Outra ferramenta de grande relevância no contexto é a inteligência artificial (*AI*), que está associada à capacidade das máquinas de refletirem o raciocínio humano para tomada de decisões. Zhang et al. (2018) estabelecem que é a *AI* uma integração profunda da tecnologia e do processo industrial, em que as empresas utilizam funções inteligentes em todas as fases da cadeia de valor, desde a busca por clientes à gestão de operações, serviços.

Conforme mencionado anteriormente, boa parte dos potenciais benefícios da indústria 4.0 poderão ser obtidos através da integração entre as tecnologias disruptivas nos processos em que são aplicadas. Na seção a seguir serão abordados alguns tópicos relacionados a esta integração.












tamanho da fonte representa a quantidade de citações recebidas. Ou seja, quanto maior a fonte, maior a quantidade de citações. Além disso, é possível perceber que há uma formação de 9 *clusters* de autores de acordo com as cores do mapa. Os 78 autores representados no mapa concentram 67,63% das publicações e 74,85% das citações na amostra da *Scopus*. Estes percentuais evidenciam a representatividade dos trabalhos considerados em relação à amostra analisada.

Com o objetivo de obter uma visão preliminar dos enfoques da pesquisa e tecnologias, foi realizada uma análise dos *clusters*. Assim, a partir do estabelecimento das redes de coautoria, os *clusters* foram classificados de acordo com as palavras-chave dos trabalhos para identificar conceitos significativos que são abordados no conteúdo dos artigos (LIAO et al., 2017). As informações bibliométricas dos *clusters* podem ser visualizadas na Tabela 1.

Ressalta-se que o *VOSviewer* permite a geração dos mapas de uma base de periódicos por vez, não sendo possível incorporar dados de duas bases no mesmo mapa. Portanto, em função desta limitação, foi considerado o mapa da *Scopus* para classificação dos *clusters*. Outra característica que contribuiu neste sentido foi a maior quantidade de trabalhos desta base, bem como a condição comum de trabalhos e autores entre elas.

Tabela 1 – Detalhamento clusters Scopus

Cluster	Cor	Quantidade		
		Autores	Publicações	Citações
1		20	157	4477
2		13	100	1712
3		12	138	6568
4		9	71	1429
5		7	65	4305
6		7	46	458
7		4	30	1540
8		3	21	274
9		3	24	1039
Total		78	652	21802

Fonte: O autor (2020)

Em virtude da relevância em termos de quantidade de autores e citações, (aproximadamente 90%), os *clusters* de 1 a 7 foram classificados de acordo com as ferramentas

da indústria 4.0 mais recorrentes nos trabalhos e seus contextos de aplicação. Além disso, dada a característica integrativa da 4.0, bem como a capacidade de suporte transversal de algumas tecnologias e da forte rede de coautoria entre autores, temas de pesquisa são abordados em dois ou mais *clusters* que serão detalhados a seguir.

- *Cluster 1*: Estrutura de *CPS*, *IoT* e *BDA* para manufatura

Este cluster, bem como os demais, é representado pelos trabalhos mais relevantes dos autores que o compõem, apresentando formas de aplicação integrada das tecnologias em processos específicos existentes, ou em forma de arquitetura de sistemas compostos pelas mesmas, com a idealização de fábricas inteligentes.

Ao apresentar a estrutura de uma fábrica inteligente, Wang et al. (2016) demonstram um *CPS* de vários agentes com capacidade de auto-organização, através integração de terminais de rede, nuvens e controle, proporcionando objetos inteligentes como máquinas e produtos. No trabalho, os autores demonstram camadas de recursos físicos, rede, nuvem e controle, além de classificar os agentes de acordo com sua finalidade. Assim, é desenvolvido um mecanismo de negociação entre os agentes do processo para cooperação, no sentido de decidir em relação a atividades de produção como: transportar, armazenar, alterar posição, e ainda tipos de estratégia para evitar impasses na tomada de decisão nos processos de negociação.

Ao relacionar as ferramentas de *IoT*, *CPS* e *CC*, Tao et al. (2017) propõem uma ferramenta de simulação para balanceamento em suprimento e demanda, envolvendo recursos de diferentes capacidades no contexto de serviços de fabricação. Os autores detalham a arquitetura baseada em hiper-rede para o simulador, bem como suas sete funções e subsistemas principais, incluindo gerenciamento de serviços e tarefas da manufatura.

- *Cluster 2*: Avanços na *IoT* e *CPSs* com virtualização de máquinas

Baseados no advento da *IoT* aplicada aos processos de manufatura, Lee et al. (2017) desenvolveram uma revisão relacionada a progressos recentes de sensores (mecanismos de detecção de estímulos) que possuem componentes orgânicos em sua estrutura, mais especificamente nos transistores (OFET). Estes são baseados em polímeros conjugados ou pequenas moléculas, e possuem várias vantagens, incluindo alta sensibilidade, flexibilidade mecânica e processos de fabricação de baixo custo, fatores que contribuem diretamente para o desenvolvimento da quarta revolução industrial.

Com foco na integração entre os meios virtuais e físicos proporcionada pelos *CPSs* e *IoT*, Angrish et al. (2017) apresentam um método de armazenamento de dados escalável e flexível,



baseado em esquema de documentos utilizando o *software MongoDB* (banco de dados de plataforma cruzada). Além disso, detalham uma arquitetura que permite a integração de aplicativos de *software* de terceiros para interagir com as máquinas de fabricação virtual (*VMMs*). Finalmente, discutem a aplicação de *VMMs* em todo o meio virtual do processo, abrindo novas possibilidades para *CPSs* na manufatura.

- *Cluster 3: Arquitetura de CPSs e IoT em processos industriais*

No sentido de desenvolver a IoT aplicada à indústria, Wan et al. (2016) sugerem uma arquitetura de gerenciamento de recursos de redes industriais. Os autores analisam arquitetura, implantação, e apresentam as funcionalidades desta formatação, bem como suas iterações com os demais dispositivos conectados em cada camada do processamento de dados (física, controle e aplicação). Simulações foram realizadas em sistemas protótipos, evidenciando melhorias de eficiência e redução de consumo de energia.

Orientados pelas vantagens potenciais que podem ser obtidas com a aplicação de redes *wireless (WN)* nos processos industriais, Li et al. (2017) apresentam uma visão geral das *WNs* industriais (*IWNs*), discutem os recursos e as técnicas relacionadas, bem como fornecem uma nova arquitetura baseada na qualidade do serviço e na qualidade dos dados dos *IWNs*. Por fim, são apresentados os principais problemas e tendências de pesquisa na área.

- *Cluster 4: AI para manutenção*

A partir do potencial de análises avançadas através do *deep learning (DL)*, Wang et al. (2018) realizam uma pesquisa com o objetivo de identificar os algoritmos de *DL* mais utilizados, e discutem suas aplicações para tornar processos inteligentes. Inicialmente, são apresentadas as vantagens do *DL* em relação aos processos tradicionais e um detalhamento dos principais modelos de *DL*. Ao final, são apresentados tendências e desafios na área, como a evolução dos recursos de computação na nuvem ou inteligência computacional, de forma que seja possível incorporar a *AI*, permitindo serviços de computação sob demanda.

Ainda no contexto de *AI*, Wu et al. (2017) conduzem um estudo relacionado à utilização de *random forests* aplicadas à manutenção preditiva. Tal método baseia-se no aprendizado de máquina para classificação e regressão, que opera construindo uma infinidade de árvores de decisão para previsão dos eventos de falha. Os autores realizam uma comparação da tecnologia com métodos já existentes, como redes neurais e vetores de suporte. Para tal, são realizados experimentos com base em dados de um processo de fresagem, que demonstram maior precisão das *random forests* em relação aos outros métodos.

- *Cluster 5: CPSs e IoT* para logística e manufatura

Com suporte na *IoT*, Zhong et al. (2015) propõem uma abordagem de *BDA* à partir da extração de informações através de rádio frequência (*RFID*) de produtos ao longo da cadeia logística, com objetivo de suportar decisões de planejamento e programação utilizando alguns mecanismos: bancos de dados altamente integrados e mapas para vinculação destes bancos. Além disso, os autores propõem um método para avaliação quantitativa dos operadores e máquinas logísticas a partir de trajetórias espaciais também definidas com base nas extrações de dados de *RFID*.

No sentido de desenvolver os *CPSs*, Lee, Bagheri e Kao (2015) sugerem uma arquitetura da ferramenta baseada em 5 níveis de estrutura, fornecendo uma orientação passo a passo para o desenvolvimento e a implantação de um *CPS* para aplicação na manufatura. A arquitetura apresentada define de maneira sequencial o fluxo de trabalho para construir um *CPS* a partir da aquisição de dados para análises até a criação final do valor.

- *Cluster 6: CPSs baseados em gêmeos digitais*

Ding et al. (2019) desenvolveram um sistema de produção utilizando *CPS* baseado na tecnologia gêmeo digital. Nesta ferramenta, constrói-se um gêmeo virtual do sistema físico para transparecer seu status através de conexões de *IoT*, fornecendo a otimização em tempo real e controle do sistema. No trabalho, um sistema digital de produção *cyber*-físico digital foi desenvolvido com detalhamento de mecanismos de configuração e controle.

Seguindo a mesma linha, Zhuang, Liu e Xiong (2018), estabelecem um modelo de arquitetura de controle e gerenciamento inteligente baseado em gêmeo digital na montagem de produtos complexos, com base em 4 técnicas principais: aquisição de dados, construção do modelo, previsão e análise de dados do chão de fábrica, controle e gerenciamento de produção. Os autores apresentam um processo detalhado de implementação, controle e gerenciamento inteligente, baseados em um cenário de chão de fábrica de montagem de satélites.

- *Cluster 7: IA, BDA, e CC* para manutenção

Direcionados para manter a integridade dos ativos do chão de fábrica, Wen, Gao e Li (2019) propõem um novo método de transferência de conhecimento através de *Deep Learning* (*DL*) para diagnóstico de falhas. O método proposto é testado em um conjunto de dados de rolamentos, e os resultados mostram maior precisão de previsão na maioria dos experimentos.

Ainda no sentido de garantir a disponibilidade dos ativos, Wan et al. (2017) implementam uma solução utilizando *BDA* para manutenção preventiva ativa com processamento de dados

através de CC, em uma plataforma que possibilita manutenção ativa em tempo real e previsão *off-line*. São realizados experimentos para comparar o método tradicionalmente usado com o proposto, concluindo que a ferramenta tem potencial de acelerar a implementação da indústria 4.0.

A partir do entendimento do panorama recente das diferentes formas de integração das ferramentas da indústria 4.0 para aplicação em processos distintos, julgou-se pertinente o aprofundamento do conhecimento relacionado a estas propostas direcionadas aos processos têxteis e de confecções.

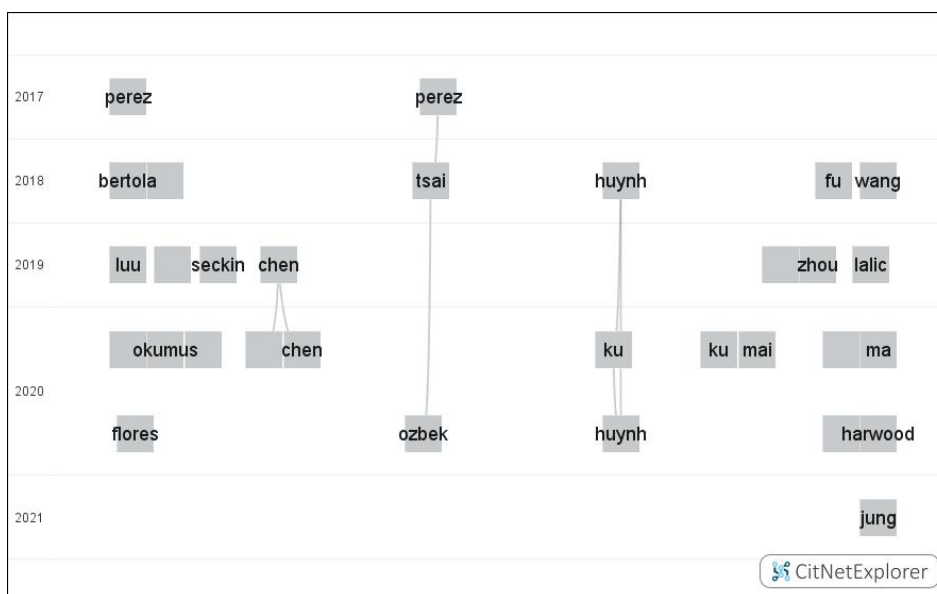
### ***2.2.3 Integrações tecnológicas e processos têxteis***

Com o intuito de melhor entender os aspectos específicos da indústria 4.0 relacionada a processos têxteis, foi desenvolvida uma segunda revisão da literatura. Neste sentido, foi configurado um novo grupo de palavras-chave mais específico, relacionado à indústria 4.0 e a processos têxteis e de confecções, com objetivo de realizar buscas de artigos em bases de periódicos publicados no idioma inglês nos últimos cinco anos. Nesta segunda revisão, o objetivo principal foi identificar trabalhos frequentemente citados e publicados em periódicos de alto impacto.

Por essa razão foi utilizado o *Web of Science (WoS)* como base referência, e análises foram realizadas com suporte do *CitNetExplorer*. A ferramenta consiste em um *software* que processa dados bibliométricos para suportar análises do desenvolvimento de um determinado campo de pesquisa ao longo do tempo, evidenciando as publicações mais importantes e a relações de citação entre elas, ou seja, de que forma umas se baseiam nas outras (VAN ECK; WALTMAN, 2014). Os principais produtos da ferramenta são mapas de redes de citações ao longo do tempo, como evidenciado na Figura 3.

No mapa apresentado, cada quadrado representa uma publicação associada ao nome do autor principal. O *software* apresenta as publicações mais citadas na visualização do mapa, respeitando um limiar máximo de 40 trabalhos. Neste caso, dada a especificidade do tema de interesse, foram encontrados 31 artigos na base do *WoS*. Além disso, no mapa, as relações de citação entre os trabalhos são representadas de duas formas: na horizontal, através da proximidade entre os nomes de autores; na vertical, através das linhas que conectam os trabalhos, seguindo uma lógica da base para o topo do mapa. Ou seja, as publicações citadas estão sempre acima das que as citam. Os trabalhos mais relevantes serão discutidos a seguir.

Figura 3 – Rede de citações do WoS



Fonte: O autor (2021)

No mapa apresentado, cada quadrado representa uma publicação associada ao nome do autor principal. O *software* apresenta as publicações mais citadas na visualização do mapa, respeitando um limiar máximo de 40 trabalhos. Neste caso, dada a especificidade do tema de interesse, foram encontrados 31 artigos na base do *WoS*. Além disso, no mapa, as relações de citação entre os trabalhos são representadas de duas formas: na horizontal, através da proximidade entre os nomes de autores; na vertical, através das linhas que conectam os trabalhos, seguindo uma lógica da base para o topo do mapa. Ou seja, as publicações citadas estão sempre acima das que as citam. Os trabalhos mais relevantes serão discutidos a seguir.

Bertola e Teunissen (2018) desenvolveram uma pesquisa no sentido de explorar o estado da arte e as tendências principais da indústria 4.0 no contexto específico de processos de confecções. Baseados em uma perspectiva de especialistas no setor e descrições de casos de aplicação, os autores apresentam *insights* de possíveis implementações destas tecnologias no campo têxtil, evidenciando seus impactos em unidades de negócio, processos e componentes.

Em uma linha de pesquisa voltada para utilização da tecnologia *blockchain* aplicada à sustentabilidade, Fu, Shu e Liu (2018) desenvolveram uma arquitetura de componentes para redução das emissões de carbono nas etapas dos processos de confecções. Os autores se basearam na confiabilidade e eficiência oferecidas pela tecnologia *blockchain* como forma de geração, compartilhamento e validação das informações no ambiente de comunicação entre equipamentos em processos da indústria 4.0.

Outro trabalho na mesma linha, desenvolvido por Tsai (2018), aborda a proposição de um modelo baseado em custeio ABC e na teoria das restrições para maximização dos lucros e atingimento de objetivos de redução das emissões de carbono em processos de confecções. Essencialmente, o modelo combina programação matemática e tecnologias de sensores de monitoramento em tempo real para controlar o processo produtivo, otimizando o lucro e reduzindo emissões, sujeito a restrições específicas.

Inseridos no contexto de pequenas e médias empresas na área de tinturaria e acabamento de vestuário, Park et al. (2020) desenvolveram um *CPS* com foco na melhoria da eficiência energética dos processos de tingimento, através da coleta e processamento de dados com *Big Data*, bem como técnicas de aprendizado de máquina (*AI*). O sistema proposto foi implementado em processos, tendo sido observados significativos benefícios como a eliminação de etapas desnecessárias ou ineficientes dos processos.

Ainda com relação a processos de tingimento, Huynh e Chien (2018) desenvolveram um algoritmo genético com heurísticas embutidas para melhoria dos tempos de processamento e, conseqüentemente, da programação do processo. Além disso, os autores utilizam uma abordagem que combina métodos de última geração de programação da produção em lotes. Finalmente, um estudo empírico foi conduzido em processos com diferentes cenários baseados em configurações reais, evidenciando a viabilidade prática do algoritmo.

Ahmad et al. (2020) realizaram uma avaliação com o objetivo de entender como ferramentas de *business intelligence (BI)* podem resolver questões de sustentabilidade econômica em empresas têxteis e de confecções através de entrevistas em 12 grandes empresas do mundo. Os autores obtiveram respostas relacionadas a aumento da geração de valor nos processos, questões de sustentabilidade e principais dificuldades na implementação deste tipo de ferramenta. Ademais, foram percebidas melhorias, principalmente em negócios de varejo de vestuário. Os autores associaram estes benefícios ao fato de que estas organizações são mais propensas a adotar as tecnologias da indústria 4.0 com soluções avançadas de inteligência de negócios (*BI*).

Chen (2019) buscou entender de que forma pequenas empresas do mercado têxtil de Taiwan empregam tecnologias da indústria 4.0 para integrar cadeias globais de suprimentos através de vários estudos de casos de empresas selecionadas para o trabalho. O autor estabeleceu que empresas desta natureza e proporção podem se conectar às cadeias de valor por meio de três funções globais, e que estas conexões normalmente possuem foco em aumento da

eficiência da produção, melhoria das habilidades de negociação, captação de necessidades de mercado e criação de novas experiências de atendimento *online*.

Com base em dados funcionais para detectar anomalias e estimar a produção de processos e serviços na área têxtil, Flores et al. (2020) propuseram um gráfico de controle aplicado para detectar anomalias de eficiência energética: aquecimento, ventilação e ar condicionado; instalação e controle, e *big data* para edifícios controlados por sensores. Resumidamente, a metodologia proposta combina análise de dados funcionais e técnicas multivariadas, adapta o conceito de gráfico de controle com base em um caso específico de dados funcionais e, assim, apresenta uma nova alternativa para instalações de controle em que os dados são obtidos por monitoramento contínuo. A ferramenta proposta foi aplicada para detectar anomalias de eficiência energética nas lojas de uma empresa têxtil no Panamá.

Lalic, Rakic e Marjanovic (2019) buscaram entender o grau de utilização dos conceitos da quarta revolução industrial na indústria têxtil e de vestuário na Sérvia, fundamentados na importância da indústria 4.0 para mudança de paradigma da produção e inovação organizacional, como novas práticas de gestão para as empresas que buscam aumentar sua produtividade, melhorar a qualidade do fornecimento e manter a competitividade. Neste sentido, os autores utilizaram como principal *input*, dados de uma pesquisa sobre a manufatura europeia. Os resultados indicaram que as empresas têxteis e de confecção na Sérvia utilizam a indústria 4.0 e os conceitos de inovação organizacional em um nível muito baixo.

Os trabalhos discutidos anteriormente, evidenciam resultados de estudos recentes que demonstram o potencial de aplicação e melhoria de fatores de processo e competitividade das empresas do mercado têxtil e de confecções, na quarta revolução industrial, de maneira globalizada. Adicionalmente, é pertinente detalhar quais são os direcionadores e perspectivas brasileiros em relação à evolução tecnológica necessária para aplicação plena das tecnologias da indústria 4.0.

#### ***2.2.4 Perspectivas brasileiras do setor têxtil relacionadas à indústria 4.0***

Como resultado de um estudo prospectivo, por iniciativa da ABIT, ABDI e o SENAI CETIQT, em 2016, foi lançado o livro “A Quarta Revolução Industrial do Setor Têxtil e de Confecção: a Visão de Futuro para 2030”, onde foi definida a visão de futuro do setor, baseada em uma estratégia de 6 dimensões: mercado, tecnologia, talentos, infraestrutura político-institucional, infraestrutura física e investimentos (BRUNO, 2016).

Além de discutir conceitos relacionados às principais tecnologias da indústria 4.0 em sua essência, Bruno (2016) também destaca algumas formas de aplicação e soluções que deverão orientar a transformação do setor por meio da adoção dos princípios da indústria 4.0. Ainda segundo o autor, a pesquisa específica sobre tecnologias e sistemas revelou aplicações e desenvolvimentos tecnológicos nas quatro ênfases estratégicas do setor (confeção, *design*, novas fibras e novos canais), capazes de promover efeitos à jusante e à montante da cadeia, e com potencial de implantação nos próximos anos pelas empresas brasileiras (BRUNO, 2016).

Uma das tecnologias discutidas por Bruno (2016) é a *Active Tunnel Infusion (ATI)*, que permite trocar cores em peças de roupa, tingimentos, desenhos e estampas, eliminando os estoques de produtos acabados. O princípio da ATI é que cada fibra possua energia armazenada em sua formação, suficiente para que sejam criados canais por onde o corante caminhe e penetre em seu interior. Normalmente, processos de tingimento requerem a produção em massa por meio de múltiplos processos físico-químicos. No processo de coloração física, apenas as partes projetadas para receber tingimento, estamparia e etiquetagem são atingidas, tudo em uma única máquina, evitando desmembramentos desse processo (BRUNO, 2016).

Além disso, Bruno (2016) também detalha a *Purchase Activated Manufacturing (PAM)*, baseada em tecnologias que permitem a automação e a integração de todas as atividades e processos produtivos. Com a manufatura sob demanda que só se inicia quando o cliente faz um pedido, os estoques podem ser quase todos virtuais, reduzindo-se, materialmente, a um rolo de tecido branco e à reposição de corantes e de materiais auxiliares (ATI).

As minifábricas consistem em instalações fabris verticalizadas, modulares, flexíveis e de pequenas dimensões que muitas vezes incorporam em sua estrutura a ATI e PAM. Uma única minifábrica automatizada e integrada, engloba desde o processamento de ordens, *design*, modelagem, tingimento, etiquetagem, corte, costura, acabamento e expedição. Assim, as minifábricas permitem uma produção personalizada com lucratividade maior, baixo impacto ambiental e dimensões reduzidas em relação a outros modos de produção. Para isso, o próprio consumidor usa o computador para criar seu modelo personalizado, e este é enviado à fábrica para produção e entrega imediata. Equipamentos como robôs autônomos, máquinas de tingimento, corte e costura automatizadas que cooperam entre si são aplicados nesta solução (BRUNO, 2016).

Adicionalmente, o autor detalha modos operacionais automatizados, destacando projetos bem-sucedidos de empresas americanas como a *Softwear Automation*, que desenvolveu tecnologias de visão de máquina, automatização e transporte de produtos para reduzir a

dependência de operadores em máquinas de costura. Também são citadas tecnologias para suporte na customização e dimensionamento de peças (*Social Manufacturing*) como *3D Mirror*, CAD-3D e *Body Scanning*, bem como tecnologias associadas a biofibras, tecnologias vestíveis e têxteis inteligentes (BRUNO, 2016). Para a modernização tecnológica, automação de fábricas e a generalização da manufatura ágil, será necessário vencer as barreiras culturais, quebrar paradigmas da produção de massa padronizada e buscar novas soluções (BRUNO, 2016).

Os trabalhos citados anteriormente destacam novas formas de aplicação de tecnologias no setor têxtil, ainda não difundidas no cenário mundial e, do mesmo modo, as tecnologias vislumbradas pelo setor têxtil brasileiro fazem parte de uma visão de futuro. Ainda assim, mesmo considerando empresas que atualmente possuem algum tipo de tecnologia disruptiva, pode-se perceber que a definição de uma estratégia de forma estruturada, baseada em um diagnóstico do estado atual, que se desdobre em ações para melhoria da competitividade é significativa para estas organizações. Sendo assim, os MMs podem suportar avaliações desta natureza nas empresas e serão discutidos no próximo tópico.

### **2.3 Modelos de maturidade**

Os MMs para avaliação de processos organizacionais tiveram início na década de 70, tendo como principais raízes o modelo de quatro estágios de Gibson e Nolan, em 1974, e a Grade de Maturidade em Gerenciamento de Qualidade (*Quality Management Maturity Grid - QMMG*) proposta por Philip Crosby em 1979 (RAMOS, 2020; WENDLER, 2012). Com base no pressuposto de estágios definidos e previsíveis, os modelos de maturidade representam basicamente teorias sobre como as capacidades organizacionais evoluem em estágios ao longo um caminho de maturação lógico (GOTTSCHALK, 2009; KAZANJIAN; DRAZIN, 1989; PÖPPELBUSS; RÖGLINGER, 2011). Em outra definição, Wendler (2012) afirma que os MMs oferecem às organizações uma possibilidade simples, mas eficaz de medir a qualidade de seus processos.

Desde o surgimento dos MMs quase vinte anos atrás, centenas de modelos de maturidade foram propostos por pesquisadores e profissionais em múltiplos domínios de aplicação (PÖPPELBUSS; RÖGLINGER, 2011). Ao realizar estudo relacionado aos MMs e suas áreas de aplicação, Wendler (2012) observou que a ferramenta é aplicável a mais de 20 domínios, com predominância da área de tecnologia da informação, principalmente em função das origens e posterior disseminação deste tipo de ferramenta.



Dentre os diversos domínios identificados por Wendler (2012), pode-se citar as áreas governamental (ANDERSEN; HENRIKSEN, 2006), gestão de projetos (GRANT; PENNYPACKER, 2006), engenharia e construções (DAVIS; WALKER, 2009), gestão do conhecimento (BELLINI; LO STORTO, 2006), saúde (MC CAFFERY; BURTON; RICHARDSON, 2010), cadeia de suprimentos (CANIATO et al., 2010) e educação (AYTES; C. BEACHBOARD, 2007). Na literatura recente, MMs voltados para maturidade das organizações em relação à indústria 4.0 também têm sido propostos. Estes MMs serão discutidos a seguir.

### 2.3.1 Modelos de maturidade da indústria 4.0

Dada a natureza da indústria 4.0 e seus benefícios para as organizações, esforços têm sido realizados para encontrar maneiras de superar os obstáculos relacionados ao direcionamento das organizações na direção deste conceito. Como resultado, muitos MMs têm sido propostos para avaliar o desempenho e prontidão de organizações frente à Indústria 4.0 e, desta forma, identificar a necessidade de investimentos específicos para plena aplicação das ferramentas e proveito dos seus benefícios (SIMETINGER; ZHANG, 2020). As iniciativas de proposição dos MMs são normalmente realizadas por acadêmicos, órgãos governamentais e empresas do mercado.

Baseados em um *software* direcionado a métodos de mensuração de capacidade de processos (SPICE), Gokalp, Sener e Eren (2017) propuseram um MM para avaliação de organizações. No trabalho, os autores argumentam que o SPICE serviu de referência devido a sua estrutura bem definida e comumente aceita para a avaliação e melhorias, além da flexibilidade de adequação para o desenvolvimento da avaliação do nível de maturidade das organizações no contexto da indústria 4.0. O modelo, denominado *Industry 4.0-MM*, possui o objetivo de criar uma base comum para avaliação das tecnologias, bem como orientar o atingimento de níveis mais elevados de maturidade para maximizar benefícios econômicos.

Paralelamente ao modelo proposto pelos autores citados anteriormente, o conselho de desenvolvimento econômico de Singapura criou um MM chamado *Singapore Smart Industry Readiness Index (SIRI)*. Tal ferramenta faz parte de iniciativas estratégicas do país para captação de novos investidores para implantação de novos empreendimentos. Informações publicadas pelo conselho de desenvolvimento trazem o argumento de que o MM é abrangente para todos os tamanhos de empresas e é sustentado nos seguintes pilares da indústria 4.0: tecnologia, processo e organização, buscando encontrar equilíbrio entre requisitos técnicos e

usabilidade das ferramentas. Adicionalmente, o modelo pode ser acessado em uma versão limitada através de um *website* (<https://siri.gov.sg/>) em que é possível realizar avaliações preliminares de maturidade de forma interativa, respondendo a questionários disponíveis na interface (SINGAPORE ECONOMIC DEVELOPMENT BOARD, 2018).

Em uma iniciativa de mercado, a Rockwell Automation (2014) desenvolveu um MM intitulado *Connected Enterprise Maturity Model*. A ferramenta propõe um *framework* baseado em cinco estágios, desde a avaliação do estado atual de maturidade associado a avaliações de pilares voltados para segurança, controles e redes de dados, definição e estruturação do uso de dados, gestão da mudança para incorporação da análise de dados, criação de um ambiente preditivo de atividades por meio da cadeia de suprimentos e demanda.

Observa-se então, com base nos exemplos de MMs citados, que há diversas vertentes, metodologias e abordagens particulares de cada ferramenta. Neste sentido, estudiosos do tema têm realizado revisões sistemáticas da literatura, com o objetivo de mapear e caracterizar o estado da arte relacionado aos MMs da indústria 4.0. Hizam-Hanafiah, Soomro e Abdullah (2020) realizaram um estudo buscando identificar as principais dimensões de avaliação da indústria 4.0 para as organizações. No trabalho, os autores identificaram 30 MMs que compreendem em sua estrutura 158 dimensões únicas. Após uma análise detalhada, um agrupamento das dimensões foi proposto pelos autores, identificando grupos relevantes que normalmente são avaliados pelos MMs: tecnologia, pessoas, estratégia, liderança, processos e inovação.

Ao propor um modelo multicritério para seleção de MMs, Looy et al. (2013) afirmam que a quantidade de dimensões e processos considerados em um MM é um atributo relevante no processo de avaliação das ferramentas para aplicação nas organizações. Neste estudo, a quantidade de dimensões foi estabelecida como diretamente proporcional à duração dos processos de identificação da maturidade propostos. Em outras palavras, quando mais dimensões, maior o tempo requerido para aplicação do MM.

Seguindo a linha de revisões da literatura, Dikhanbayeva et al. (2020) conduziram uma análise de MMs com o objetivo de identificar a presença dos princípios de *design* (PD) que traduzem os principais benefícios da indústria 4.0. Princípios como virtualização, descentralização, geração de informações em tempo real, orientação para serviços e modularidade serviram como parâmetros de avaliação. Como resultado de uma avaliação qualitativa dos parâmetros dos MM, os autores identificaram a medida de intensidade dos princípios nos MMs considerados. Ainda, segundo os autores, estes princípios devem estar

inseridos nos MMs, de forma que possam permitir avaliações de maturidade mais completas das organizações.

Simetinger e Zhang (2020) estabeleceram classificações dos MMs, levando em consideração as funcionalidades das ferramentas. MMs que orientam o processo de incorporação das ferramentas tecnológicas foram classificados como roteiros. Por outro lado, MMs que identificam o grau de maturidade de processos e negócios foram classificados como modelos de maturidade, apenas. Por fim, modelos que possuem as duas funcionalidades citadas anteriormente, foram denominados como ambos na pesquisa. Adicionalmente, os autores analisaram os MMs identificando diferentes direcionamentos de acordo com áreas predominantes de avaliação como identificador do viés de cada um dos MMs (SIMETINGER; ZHANG, 2020). Assim, foram propostos os seguintes vieses:

- Análise de dados: Foco em processamento de dados com tecnologias avançadas, como inteligência artificial ou análises e simulações em tempo real constituem o núcleo destes modelos;
- Orientado a serviços: Perspectivas técnicas e de negócios estão em equilíbrio, mas as atividades e dimensões são descritas do ponto de vista técnico;
- Organizacional: Alto foco em recursos humanos. A definição dos conjuntos de habilidades necessários e da estratégia de recursos humanos faz parte integrante do modelo específico;
- Processos: Baseados na estratégia organizacional e nas mudanças necessárias dentro da cadeia de abastecimento ou cadeia de valor.

No Quadro 1, é possível observar uma sumarização de MMs propostos, associados às análises e classificações realizadas por estudiosos do tema e expostas anteriormente. Para composição do mesmo, foram considerados MMs comuns aos estudos e incluídos alguns MMs de acordo com a disponibilidade de informações, replicando a metodologia das revisões referenciadas.

Assim, no Quadro 1 são apresentadas as informações relacionadas à quantidade de dimensões avaliadas, ao nível de cobertura dos princípios de *design* (alto, médio ou baixo), bem como o tipo de ferramenta (MM, roteiro de transformação ou ambos), além do viés (análise de dados, orientado a serviços, organizacional e processos).

Quadro 1 – MMs e suas características

MM	Fonte	Dimensões	Nível PDs	Tipo	Viés
<i>Acatech Industrie 4.0 Maturity Index</i>	(ACATECH, 2018)	4	Alta	Ambos	Análise de Dados
<i>IMPULS: Industrie 4.0 Readiness</i>	(LICHTBLAU et al., 2015)	6	Alta	Ambos	Processos
<i>Connected Enterprise Model</i>	(ROCKWELL AUTOMATION, 2014)	4	Moderada	Roteiro	Processos
<i>Industry 4.0 MM</i>	(GÖKALP; ŞENER; EREN, 2017)	5	Moderada	MM	Orientado a Serviços
<i>Industry 4.0 Maturity Model</i>	(SCHUMACHER; EROL; SIHN, 2016)	9	Alta	MM	Organizacional
<i>Maturity and Readiness Model for Industry 4.0</i>	(AKDIL; USTUNDAG; CEVIKCAN, 2018)	3	Alta	MM	Processos
<i>Ref. Architecture Model Industrie 4.0</i>	(BITKOM; VDMA; ZVEI, 2016)	6	Moderada	Ambos	Orientado a Serviços
<i>System Integration MM Industry 4.0</i>	(LEYH et al., 2016)	4	Moderada	MM	Orientado a Serviços
<i>Digital Operations Self-Assessment</i>	(PWC, 2015)	7	Alta	Ambos	Análise de Dados
<i>Singapore Smart Industry Readiness</i>	(SINGAPORE ECONOMIC DEVELOPMENT BOARD, 2018)	16	Alta	Ambos	Organizacional
<i>MM for Data Driven Manufacturing</i>	(WEBER et al., 2017)	6	Moderada	Ambos	Orientado a Serviços
<i>WMG</i>	(WMG, 2017)	6	Alta	MM	Organizacional

Fonte: O autor (2021)

Assim, os MMs apresentados no Quadro 1 possuem dois principais direcionadores: são amplamente citados na literatura e possuem possibilidade de obtenção de informações para estudo nesta pesquisa. O segundo direcionador foi considerado pelo fato de que alguns MMs e suas bases paramétricas (métodos e formas de cálculo, níveis e limiares, por exemplo) não são abertas, dado que alguns são fruto de iniciativas de mercado, e tais informações são mantidas em sigilo pelas empresas por questões de competitividade, conforme citado por Dikhanbayeva et al. (2020), Hizam-Hanafiah, Soomro e Abdullah (2020) e Elibal e Özceylan, (2020).

Com base na distinção entre os MMs disponíveis na literatura, pode-se inferir que negócios e processos podem ser avaliados em uma perspectiva de múltiplos critérios, considerando as diferentes dimensões como atributos de avaliação que podem gerar resultados a serem alocados em classes pré-definidas, de acordo com o nível de maturidade. O próximo subitem deste trabalho irá abordar este tema, no sentido de direcionar a pesquisa para seu tema principal.

## 2.4 Suporte à decisão multicritério

O termo critério, no contexto de uma decisão, normalmente está associado a uma forma de julgamento, implicando em algum tipo de padrão pelo qual um curso de ação, em particular, pode ser julgado mais desejável que outro. Assim, a consideração de diferentes cursos de ação torna-se um problema de decisão multicritério quando existe uma série de padrões de julgamento que conflitam de forma substancial entre si (BELTON; STEWART, 2002). Neste cenário, ao abordar os objetivos de decisões deste tipo, Roy (1996) estabelece 4 problemáticas de referência: (a) Escolha, onde se pretende selecionar a melhor alternativa em um conjunto de ações; (b) Classificação, em que o objetivo é designar ações de acordo com classes estabelecidas; (c) Ordenação, onde se visa ordenar as ações em ordem decrescente de preferência; (d) Descrição, que visa descrever ações e suas consequências de forma sistemática.

Além destas, pode ser considerada também a problemática de (e) Portfólio, onde há o objetivo de selecionar um subconjunto de alternativas pertencentes a um conjunto inicial, de forma que este atenda a determinados objetivos, sujeitos a certas restrições (DE ALMEIDA, 2013).

Conforme de Almeida et al. (2015), métodos multicritério também são comumente classificados em três tipos: (1) Critério único de síntese, que são baseados em um processo de combinação de todos os critérios com o objetivo de obter uma avaliação global de todas as alternativas, a exemplo dos métodos aditivos como AHP (SAATY, 1977), MACBETH (BANA E COSTA; VANSNICK, 1994) e SMARTS (EDWARDS; HUTTON BARRON, 1994); (2) Sobreclassificação, que utilizam uma estrutura de preferências considerando relações de incomparabilidade, produzindo uma pré-ordem parcial de alternativas como nos métodos ELECTRE (BENAYOUN; ROY; SUSSMAN, 1966; ROY, 1968) e PROMETHEE (BRANS, 1982); (3) Interativos, cuja associação pode ser feita com problemas discretos ou contínuos, embora a maioria dos problemas desta classe envolvam programação linear multiobjetivo.

Partindo-se do princípio de que o objetivo central deste trabalho está associado à problemática de classificação multicritério da maturidade de empresas do mercado têxtil, torna-se evidente a relevância de um melhor detalhamento deste tipo de método que será abordado na próxima seção.

### 2.4.1 Métodos multicritério de classificação

Conforme proposto por Doumpos e Zopounidis (2004), as problemáticas de escolha e ordenação são baseadas em julgamentos relativos, envolvendo comparações par a par entre as

alternativas de decisão, fazendo com que a avaliação geral tenha caráter relativo, dependendo das alternativas consideradas no problema. Por outro lado, os problemas de classificação são baseados em um julgamento absoluto. Ou seja, as alternativas de decisão são designadas a grupos específicos, com base em regras pré-definidas e, além disso, a definição destas regras não depende do conjunto de alternativas de solução do problema, sendo esta a maior diferença entre problemas de classificação e as demais problemáticas.

Ao se considerar problemas de classificação de maneira mais específica, pode-se perceber que há termos comuns utilizados por estudiosos do tema para se referir a situações específicas envolvendo classificação: *discrimination*, *classification* e *sorting*. Os dois primeiros termos são comumente utilizados na área de estatística e inteligência artificial, enquanto o terceiro foi estabelecido no campo de apoio à decisão multicritério. Apesar de os três se referirem ao mesmo tipo de problemática, sob o aspecto metodológico, há diferenças entre eles. Os dois primeiros se referem a problemas em que as classes são definidas de forma nominal, sendo, neste caso, impossível estabelecer relações de preferência entre elas. Por outro lado, em problemas relacionados ao terceiro termo (*sorting*), as classes são estabelecidas de forma ordinal, onde as alternativas são alocadas a classes que possuem diferentes níveis de preferência em termos de resultado, incorporando informações preferenciais adicionais, que podem ser do interesse do contexto de tomada de decisão (DOUMPOS; ZOPOUNIDIS, 2004).

Ainda no contexto mais específico, vale ressaltar que há diferenças entre classificação de forma geral (*discrimination*, *classification* e *sorting*) e clusterização. Na classificação, as classes são definidas prioritariamente para posterior avaliação das alternativas, enquanto na clusterização as classes são identificadas a partir da análise de alternativas que são agrupadas de acordo com similaridades identificadas. Ou seja, em um problema de classificação, o analista tem a visão antecipada de como será o resultado da análise, enquanto, no segundo caso, o analista tenta organizar o conhecimento incorporado em uma amostra de dados da maneira mais apropriada, de acordo com medidas de similaridade (DOUMPOS; ZOPOUNIDIS, 2004).

Ao conduzir um revisão sistemática da literatura relacionada a métodos de classificação, Zopounidis e Doumpos (2002), afirmam que este tipo de método tem sido aplicado em diversas áreas como: medicina, reconhecimento de padrões, gestão de recursos humanos, gestão de sistemas produtivos, gestão de energias e meio ambiente, como também na gestão financeira. Esta grande amplitude de áreas de aplicação constituiu parte significativa da motivação de pesquisadores para o desenvolvimento de metodologias para construção de métodos de classificação. Ainda, segundo os autores, este tipo de problemática envolve a especificação de

duas principais questões: a forma de agregação dos critérios que é desenvolvida para fins de classificação, além da metodologia empregada para definir os parâmetros do modelo.

Dentre os métodos existentes para a problemática de classificação, pode-se citar o ELECTRE TRI e suas variantes (ROY, 1968, 1991; YU, 1992), sendo um dos mais aplicados para a classificação ordinal (ZOPOUNIDIS; DOUMPOS, 2002), bem como o PROMSORT (ARAZ; OZKARAHAN, 2007) que é baseado no PROMETHEE. Também são significativamente conhecidos os métodos N-TOMIC (MASSAGLIA; OSTANELLO, 1989), além do TRICHOM (MOSCAROLA; ROY, 1977), também na área ordinal.

Já no campo nominal, conforme apontam Silva e Gusmão (2015), alguns métodos propostos podem ser citados: Chen, Kilgour e Hipel (2006), apresentaram um método de decisão baseado no SMART, Belacel, Raval e Punnen (2007) propuseram uma classificação nominal *fuzzy* denominada PROAFTN, e Perny (1998) desenvolveu um método baseado nos princípios de concordância e discordância. Para outros métodos, neste tópico específico, pode-se consultar Léger e Martel (2002), além de Tchangani (2009, 2013).

Para avaliação de maturidade de processos relacionados à indústria 4.0, de acordo com o observado nesta pesquisa, foi possível perceber que alguns MMs são baseados em métodos multicritério, porém, nem todos possuem clareza metodológica em relação à abordagem e parâmetros, conforme detalhado anteriormente. Este fato pode ser observado em variados estudos que propõem modelos aditivos que agregam os critérios avaliados associados a pesos estabelecidos em entrevistas com gestores, questionários e outras ferramentas de aquisição de informações para posterior alocação em categorias pré-definidas. Normalmente, estes aspectos metodológicos podem ser inferidos nos trabalhos em pontos em que são citados termos correlatos como critério, pesos ou média ponderada conforme estudos propostos por acadêmicos (SCHUMACHER; EROL; SIHN, 2016) ou instituições técnicas (LICHTBLAU et al., 2015).

Os aspectos citados anteriormente destacam a contribuição desta pesquisa em relação à clareza metodológica do modelo proposto neste trabalho, que possibilita o entendimento por parte dos envolvidos das formas de mensuração dos resultados e parametrização, agregando significativa flexibilidade ao MM de maneira que seja possível realizar aplicações em diferentes contextos. Estas características serão detalhadas nas seções seguintes.

Por outro lado, alguns estudos apresentam abordagens multicritério na avaliação de maturidade da indústria 4.0. Keskin, Kabasakal e Kaymaz (2019) desenvolveram um MM baseado numa abordagem, utilizando os métodos AHP e TOPSIS para analisar organizações

individualmente . Na aplicação do MM, os autores selecionaram critérios com base em trabalhos disponíveis na literatura e opiniões de um grupo de decisão da empresa avaliada. Em seguida, foi realizada a elicitação de pesos baseada em comparações par a par entre estes critérios utilizando o AHP. Logo após, o grupo de decisão avaliou em níveis de maturidade todos os critérios utilizando uma escala de 5 pontos, onde 5 representa o maior nível de maturidade. Por fim, com base nas avaliações ponderadas, foi possível estabelecer valores de maturidade para as dimensões consideradas no MM proposto, além de calcular os resultados de proximidade relativa da solução ideal, tanto para as dimensões, como para a empresa, de maneira consolidada.

Em outro estudo, Wagire et al. (2020) propuseram um MM baseado em um modelo aditivo, com elicitação de pesos dos critérios, baseada no método FAHP. Neste trabalho, os autores consideraram 38 subcritérios em uma hierarquia de 7 critérios para mensuração de maturidade. Para alocação das alternativas de solução às classes, os autores estabeleceram 4 perfis, delimitados por limiares superiores e inferiores de valores de desempenho das alternativas, considerando a escala de avaliação estabelecida. Como resultado da aplicação abordada na pesquisa foi possível avaliar, tanto o resultado geral da organização, como de cada um dos critérios, individualmente.

Sob o aspecto metodológico, apesar de obterem classificações como resultado final, os modelos propostos por Keskin, Kabasakal e Kaymaz (2019) e Wagire et al. (2020) são baseados em métodos que foram concebidos para abordar as problemáticas de ordenação e seleção, respectivamente. Nestes trabalhos, são utilizadas conjunções de métodos de maneira que inicialmente são realizadas as mensurações das constantes de escala dos critérios (AHP e FAHP), ponto em que se observa de maneira frequente a incidência de inconsistências e necessidade de alto esforço cognitivo por parte dos decisores. Posteriormente, as constantes de escala são incorporadas nas ferramentas de decisão (método aditivo, TOPSIS) e, com os resultados obtidos, comparações destes em relação às escalas de maturidade preestabelecidas são executadas.

Esta análise é relevante, pois também reforça a contribuição desta pesquisa ao propor uma abordagem distinta para classificar as diferentes organizações quanto ao seu nível de maturidade tecnológica baseada no método FITradeoff para problemática de classificação, que foi desenvolvido para esta finalidade e possui uma abordagem de racionalidade compensatória. Outro ponto de diferenciação em relação à maioria dos métodos de classificação que são não compensatórios. Vale ressaltar que a aplicação da racionalidade compensatória no contexto



deste trabalho está relacionada à cultura da organização ao entender o fenômeno da compensação entre atributos de avaliação como sendo aderente aos seus processos e princípios de direcionamento estratégico.

O processo de avaliação com o FITradeoff para problemática de classificação é conduzido com informações parciais que demandam baixo esforço cognitivo dos decisores, seguindo etapas interativas e flexíveis. O método será descrito em mais detalhes na próxima seção.

### 2.4.2 O método FITradeoff para classificação

O FITradeoff foi proposto inicialmente por de Almeida et al. (2016), com a finalidade de elicitação de constantes de escala de critérios, utilizando informações parciais sobre as preferências do decisor para selecionar a mais preferida em um conjunto de alternativas, de acordo com um modelo aditivo no escopo MAVT (*Multi-Attribute Value Theory*), implementado em um sistema de apoio à decisão (SAD) disponível em <http://fitradeoff.org/>. Posteriormente, Frej, de Almeida e Costa (2019), desenvolveram uma versão incorporando o conceito de relações de dominância entre pares de alternativas para obter uma ordenação parcial ou completa das alternativas em avaliação, com a possibilidade de visualização gráfica do ranking de alternativas a cada interação do decisor com o SAD, suportando o processo decisório com uma simples representação gráfica das relações de dominância entre as alternativas.

O método, em suas diferentes vertentes de problemáticas (escolha e ordenação), tem sido aplicado em diversas áreas do conhecimento e suportado decisões relevantes, envolvendo temas como segurança pública (MARTINS et al., 2020), energias renováveis (FOSSILE et al., 2020), gestão de projetos (BATISTA; COSTA, 2020), maturidade tecnológica (FERREIRA; GUSMÃO; SOUSA, 2021) e saúde (DELL'OVO et al., 2017).

Recentemente, Kang, Frej e de Almeida (2020) desenvolveram uma nova versão do método para problemas de classificação ordinal (*sorting*), baseada na ideia da elicitação flexível. Com o uso de informações parciais sobre as preferências do decisor através do método proposto, é possível alocar as alternativas em classes por meio de um processo estruturado de elicitação flexível baseado em *tradeoffs*. Conforme mencionado anteriormente, o método utiliza um modelo de agregação aditiva, utilizando uma função de valor com abordagem compensatória, em que o desempenho global das alternativas é mensurado de acordo com a equação (1):

$$v(a_j) = \sum_{i=1}^n k_i v_i(a_j) \quad (1)$$

Considerando um problema multicritério com  $n$  critérios onde  $k_i$  e  $v_i(a_j)$  são, respectivamente, a constante de escala do critério  $i$  e a função de valor marginal da alternativa  $a_j$  no critério  $i$  normalizada numa escala de 0 a 1. Sendo  $l_i$  o resultado menos desejável do critério  $i$ , de modo que  $v_i(l_i) = 0$  e  $m_i$  o resultado mais desejável do critério  $i$ , tal que  $v_i(m_i) = 1$  e  $x_i$  é um resultado intermediário do critério  $i$ , tal que  $v_i(l_i) < v_i(x_i) < v_i(m_i)$  (KANG; FREJ; DE ALMEIDA, 2020).

No processo de elicitação tradicional de *tradeoffs* (KEENEY; RAIFFA, 1976), para obter os valores das constantes de escala e o consequente desempenho global das alternativas representado em (1), o decisor é questionado sobre relações lineares que podem ser estabelecidas entre pares constantes de escalas adjacentes, de forma que seja obtida uma ordem de importância relativa entre os critérios (2) (KANG; FREJ; DE ALMEIDA, 2020):

$$k_1 > \dots > k_i > k_{i+1} > \dots > k_n \quad (2)$$

Uma questão relativa a um par de critérios  $i$  e  $i + 1$  é colocada para o decisor, considerando duas alternativas hipotéticas: uma delas com um resultado intermediário no critério  $i$ , e o pior resultado nos critérios restantes, e a outra, com o melhor resultado no critério  $i + 1$ , e o pior resultado nos critérios restantes. Essas alternativas podem ser representadas, respectivamente, por seus vetores de consequência como vetor 1 =  $(l_1, \dots, x_i, l_{i+1}, \dots, l_n)$  e vetor 2 =  $(l_1, \dots, l_i, m_{i+1}, \dots, l_n)$ , em que  $l_i$ ,  $x_i$  e  $m_i$  representam, respectivamente, os valores de desempenho menos preferido, intermediário e mais preferido para um critério  $i$ , conforme mencionado anteriormente. Para este par de critérios, se o decisor conseguir estabelecer um valor  $x = x_i^l$ , de forma que se sinta indiferente entre os vetores de consequência 1 e 2 ao aplicar o modelo aditivo a ambos, haverá a seguinte relação entre  $k_i$  e  $k_{i+1}$ , uma vez que se assume que  $v_i(l_i) = 0$  e  $v_i(m_i) = 1 \forall i$  (KANG; FREJ; DE ALMEIDA, 2020):

$$v_i(x_i^l) k_i = k_{i+1} \quad (3)$$

Assim, para obter os  $n$  valores de constantes de escala, espera-se que o decisor estabeleça o ponto de indiferença entre as alternativas hipotéticas para cada par de  $n - 1$  critérios no sentido de resolver o sistema linear (4):

$$\begin{aligned} v_i(x_i^l)k_i &= k + 1, i = 1, \dots, n - 1, \\ \sum_{i=1}^n k_i &= 1 \end{aligned} \quad (4)$$

Os pontos de indiferença podem ser elicitados a partir da mudança do valor de  $x_i$ , até que o decisor seja capaz de estabelecer um valor exato de indiferença. Pelo menos uma pergunta para cada par de critérios será necessária para chegar a todos os pontos de indiferença e calcular os valores das constantes de escala. Para o decisor, esta pode ser uma tarefa cansativa e complexa, levando-o a ser inconsistente em algum ponto do processo (KANG; FREJ; DE ALMEIDA, 2020).

Já o processo de elicitação flexível é baseado no procedimento tradicional de *tradeoffs*, mantendo a robustez da estrutura axiomática, porém apresenta a vantagem de não requerer pontos exatos de indiferença a serem estabelecidos para todos os pares de critérios. No procedimento flexível, o método utiliza informações parciais do decisor para buscar uma solução de um problema de programação linear (PL) a cada novo nível de informação obtida, no sentido de obter valores das constantes de escala dos critérios (KANG; FREJ; DE ALMEIDA, 2020).

Durante a elicitação flexível, cada nível de informação fornecido pelo decisor relacionado a um par de critérios  $i$  e  $i+1$  na forma de preferência estrita é usado para atualizar o intervalo de valores  $(X_i'', X_i')$ ,  $v_i(X_i'') < v_i(X_i')$  que contém o ponto de indiferença  $x_i^l$ . Os limiares destes intervalos estão relacionados às constantes de escalas da equação (5):

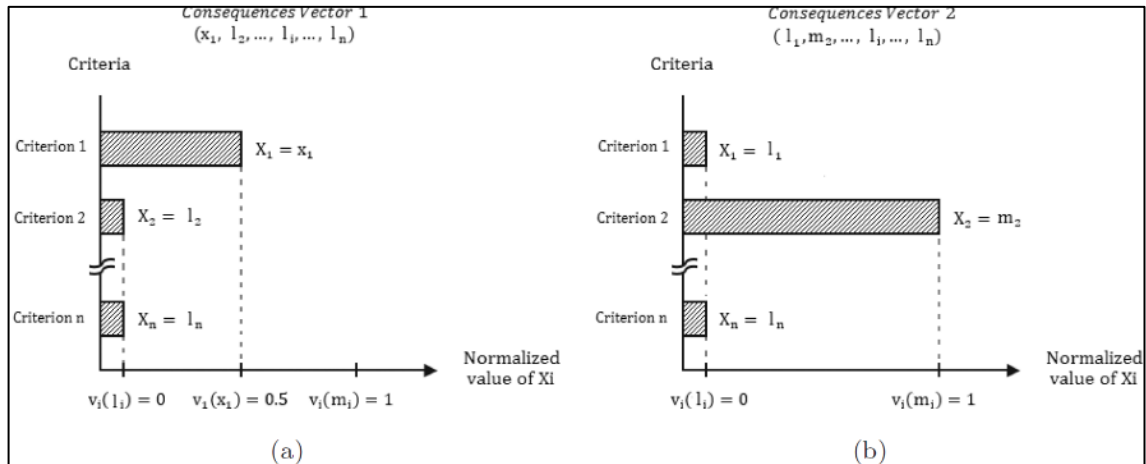
$$\begin{aligned} v_i(X_i'')k_i &< k_{i+1}, \\ v_i(X_i')k_i &> k_{i+1} \end{aligned} \quad (5)$$

Considerando um problema de decisão com  $n$  critérios e o ranking de constantes de escala apresentados em (2), propõe-se se um questionamento para o decisor no sentido de comparar duas alternativas hipotéticas, como mostrado na Figura 4.

Apesar de o objetivo neste ponto não ser encontrar o valor exato de indiferença  $x_i^l$ , pode ser inferido que o valor pertence ao intervalo  $(l_1, m_1)$ . Assim, o valor intermediário de  $X_1 = x_1$  na Figura 4 (a) é tal que  $x_1 \in (l_1, m_1)$  levando às inequações apresentadas em (6) em relação às constantes de escala  $k_1$  e  $k_2$ .

$$\begin{aligned} v_1(l_1)k_1 &< k_2 \\ v_1(m_1)k_1 &> k_2 \end{aligned} \quad (6)$$

Figura 4 – Comparativo entre alternativas hipotéticas durante elicitación flexível



Fonte: Adaptado de Kang, Frej e De Almeida (2020)

Com base na preferência do decisor em relação às duas alternativas apresentadas, se ele prefere a consequência (a) em vez de (b), o intervalo de valores possíveis de  $x_i^l$  será reduzido a  $(l_1, x_1)$ . Mas, se por outro lado o decisor prefere (b) em vez de (a), então infere-se que  $x_1 \in (l_1, m_1)$ . Nos dois casos, o espaço de constantes de escala é reduzido com base em novas informações obtidas. Se uma solução não for encontrada a partir das informações obtidas, o decisor pode continuar o processo no sentido de estreitar o espaço de constantes de escala (KANG; FREJ; DE ALMEIDA, 2020).

Conforme apresentado, os questionamentos compreendem valores de consequência  $X_i$  baseados em  $(X_i'', X_i')$ , seguindo assim um padrão para evitar inconsistências. Apesar de existir um padrão para cada par de critérios, o método é flexível no sentido de que o decisor não precisa seguir etapas de forma pré-determinada, com a possibilidade de não responder questionamentos que não puder ou não quiser, bem como visualizar resultados parciais sempre que o espaço de constantes de escala é atualizado ou até mesmo encerrar o processo, considerando que as informações atuais são suficientes para atender seus objetivos (KANG; FREJ; DE ALMEIDA, 2020).

Para a problemática de classificação, Kang, Frej e De Almeida (2020) introduziram novos elementos ao processo de elicitación flexível. O método proposto faz uso de limiares de referência  $b_r \in [0,1]$  para delimitar as classes consideradas no problema. No Quadro 2, são ilustradas as relações entre os valores  $b_r$  e as definições das  $k$  categorias em que  $b_0 < b_1 < \dots < b_k$ , sendo  $b_0 = 0$  e  $b_k = 1$ . Desta forma, a cada categoria  $C_k$  são atribuídas alternativas  $j \in A$ , cujo valor global pertence ao intervalo  $(b_{r-1}, b_r)$ .

Quadro 2 – Definição de categorias

Class	Definition
$C_k$	$b_{k-1} < v(a_j) \leq b_k$
$C_{k-1}$	$b_{k-2} < v(a_j) \leq b_{k-1}$
$\vdots$	$\vdots$
$C_r$	$b_{r-1} < v(a_j) \leq b_r$
$\vdots$	$\vdots$
$C_1$	$b_0 \leq v(a_j) \leq b_1$

Fonte: Adaptado de Kang, Frej e de Almeida (2020)

Os valores de  $b_r$  devem ser configurados de forma que cada alternativa seja designada a uma classe  $C_k$ . Para estabelecer estes valores, o decisor pode pensar em termos de percentuais no intervalo entre 0 e 1. Neste intervalo, 0 e 1 representam o pior e o melhor desempenho de uma alternativa mensurados através da equação (1) (KANG; FREJ; DE ALMEIDA, 2020).

O processo de elicitación baseado no FITradeoff trabalha com intervalos de valores viáveis para as constantes de escala dos critérios, em vez de requerer informações completas para obter seu valor exato. Assim, uma alternativa  $a_j$  não pode ser designada a uma determinada classe que considera seu valor de desempenho exato. Desta forma, foi adotada uma regra de decisão baseada nos valores maximizados e minimizados de desempenho, obtidos para determinada alternativa (KANG; FREJ; DE ALMEIDA, 2020).

Kang, Frej e de Almeida (2020) esclarecem que, neste sentido, são resolvidos os modelos de PL detalhados abaixo (7 e 8) para cada alternativa  $a_j$  que pertence ao conjunto discreto de alternativas A, considerando o espaço de constantes de escala  $\varphi^n$ , obtido através das informações do decisor nas interações com o SAD. Este espaço consiste em um conjunto de possíveis valores de constante de escala que cada critério poderia assumir, de acordo com informações preferenciais fornecidas pelo decisor até o momento. O espaço de constantes de escala é utilizado com o objetivo de substituir a necessidade de valores exatos, como em métodos tradicionais que trabalham com informações completas.

Assim,  $\varphi^n$  é representado na forma de inequações que atuam com restrições no modelo de PL. Ao passo em que o decisor fornece mais informações preferenciais através do processo, o espaço de constantes de escala é refinado e as restrições atualizadas (KANG; FREJ; DE ALMEIDA, 2020).

$$s_1 = \text{Min}_{k \in \varphi^n} v(a_j) = \sum_{i=1}^n k_i v_i(a_j) \tag{7}$$

Sujeito a:

$$v_1(X''_1)k_1 + \varepsilon \leq k_2$$

$$v_1(X'_1)k_1 - \varepsilon \geq k_2$$

...

$$v_{n-1}(X''_{n-1})k_{n-1} + \varepsilon \leq k_n$$

$$v_{n-1}(X'_{n-1})k_{n-1} - \varepsilon \geq k_n$$

$$\sum_{i=1}^n k_i = 1$$

$$k_i \geq 0, i = 1, \dots, n.$$

$$s_2 = \text{Max}_{k \in \varphi^n} v(a_j) = \sum_{i=1}^n k_i v_i(a_j) \quad (8)$$

*Sujeito a:*

$$v_1(X''_1)k_1 + \varepsilon \leq k_2$$

$$v_1(X'_1)k_1 - \varepsilon \geq k_2$$

...

$$v_{n-1}(X''_{n-1})k_{n-1} + \varepsilon \leq k_n$$

$$v_{n-1}(X'_{n-1})k_{n-1} - \varepsilon \geq k_n$$

$$\sum_{i=1}^n k_i = 1$$

$$k_i \geq 0, i = 1, \dots, n.$$

Onde  $S_1$  e  $S_2$  representam as soluções ótimas dos modelos de PL 7 e 8, respectivamente, e  $\varepsilon$  é uma pequena constante aplicada para fazer as inequações estritas computacionalmente tratáveis. Após obtenção das soluções mínimas e máximas para  $v(a_j)$  com a resolução dos modelos de PL, conforme mencionado anteriormente, é aplicada uma regra de decisão para verificar possibilidade de alocação da alternativa em alguma das classes  $C_k$ , que são delimitadas pelos perfis que as separam pelo intervalo  $(b_{r-1}, b_r)$  de valores (KANG; FREJ; DE ALMEIDA, 2020).

Pelo fato de o método trabalhar uma classificação ordinal, as categorias são estabelecidas de maneira que  $C_k > C_{k-1} > \dots > C_1$ . Ou seja, as alternativas são classificadas da categoria mais preferível ( $C_k$ ), para a categoria menos preferível ( $C_1$ ). Desta forma, a regra de decisão aplicada na classificação segue a seguinte lógica (KANG; FREJ; DE ALMEIDA, 2020):

IF  $S_1 > b_{k-1}$  AND  $S_2 \leq b_k$  THEN  $a_j \rightarrow C_k$

“ELSE

IF  $S_1 > b_{k-2}$  AND  $S_2 \leq b_{k-1}$  THEN  $a_j \rightarrow C_{k-1}$

ELSE

...

ELSE

IF  $S_1 \geq b_0$  AND  $S_2 \leq b_1$  THEN  $a_j \rightarrow C_1$ .

ELSE

Based on the current space of weights, it is not possible to sort  $a_j$  into only one class.

Em outras palavras, a regra de decisão visa alocar as alternativas a uma das classes, baseando-se nos valores minimizado ( $S_1$ ) e maximizado ( $S_2$ ) de desempenho da alternativa ( $a_j$ ) em relação aos perfis estabelecidos de cada classe. Se os valores  $S_1$  e  $S_2$  de  $a_j$  não estiverem limitados de acordo com os perfis de uma única categoria, não será possível classificar a alternativa com o nível de informação atual, e serão apresentadas as categorias viáveis para  $a_j$  (KANG; FREJ; DE ALMEIDA, 2020).

### 3 PROPOSIÇÃO DO MODELO

Neste capítulo, será descrito o modelo proposto para avaliação da maturidade da indústria 4.0 em empresas têxteis a partir de uma abordagem multicritério baseada no método FITradeoff para problemática de classificação.

Além da justificativa do método utilizado, serão abordadas as etapas de composição do modelo, incluindo processos relacionados à estruturação do problema, parametrização e validação de componentes, além da aplicação do MM.

#### 3.1 Justificativa do método

No contexto de uma decisão multicritério, a definição do método normalmente é direcionada por alguns fatores, destacando-se o tipo de problemática e a estrutura de preferências do decisor. Assim, na direção do objetivo do problema em classificar empresas da área têxtil e de confecções em termos de maturidade tecnológica para a indústria 4.0, pode-se entender que a situação está associada a uma problemática de classificação. Adicionalmente, dada a estrutura de preferências do decisor baseada em uma racionalidade compensatória em que o desempenho ruim de uma alternativa em determinado critério pode ser compensado pelo bom desempenho em outro critério. Ou seja, na racionalidade do decisor, podem existir *tradeoffs* entre desempenhos nos critérios de uma determinada alternativa (DE ALMEIDA, 2013).

Neste cenário, na perspectiva de métodos que trabalham a racionalidade compensatória, existem os métodos aditivos, baseados em funções de utilidade/valor e critérios únicos de síntese, conforme citado anteriormente. Assim, nesta pesquisa, foi utilizado o método FITradeoff para problemática de classificação.

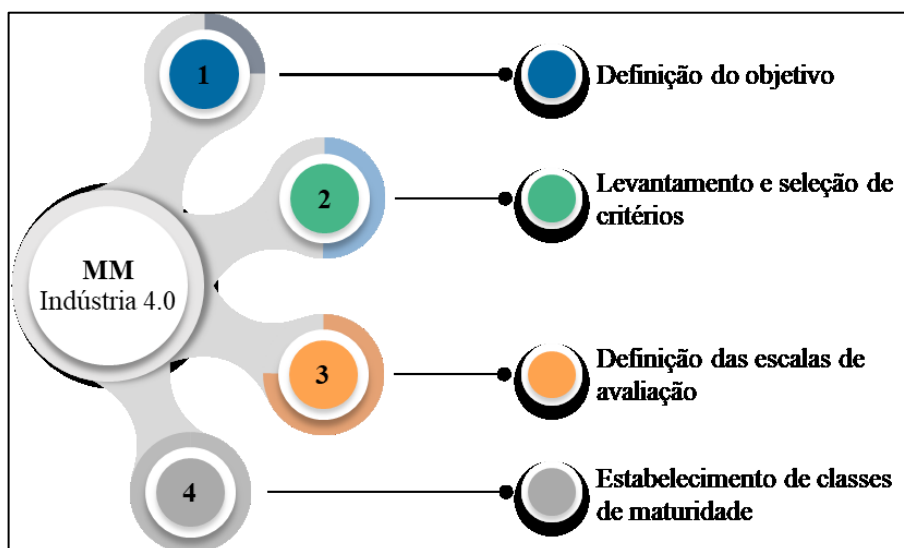
O FITradeoff para problemática de classificação foi definido com base na natureza do problema e estrutura de preferências do decisor, associados às seguintes características vantajosas: o método utiliza um procedimento flexível e interativo que permite que o modelo de decisão recomende alternativas ao decisor sem a necessidade de que ele forneça informações completas sobre sua estrutura de preferência através um grande esforço cognitivo. Adicionalmente, o método pode ser facilmente implementado em um modelo de decisão com o uso do SAD do FITradeoff, disponível em <http://fitradeoff.org/> (DE ALMEIDA et al., 2016; KANG; FREJ; DE ALMEIDA, 2020).



### 3.2 O modelo proposto

O MM proposto nessa pesquisa foi elaborado a partir de 4 etapas que podem ser observadas na Figura 5. Seguindo uma lógica de melhoria contínua, no processo de desenvolvimento pode haver retornos a etapas anteriores para gerar maior robustez e confiabilidade ao MM. As atividades compreendidas nesta metodologia serão detalhadas a seguir.

Figura 5 – Etapas de desenvolvimento do MM



Fonte: O autor (2021)

A avaliação de maturidade da indústria 4.0 de empresas têxteis e de confecções, suportando a identificação de níveis existentes de prontidão, bem como o fornecimento de direcionamento de estratégias para atingimento de patamares mais elevados de maturidade, foi definida como objetivo do modelo proposto logo no início desta pesquisa.

A descrição dos parâmetros (critérios e classes) compreendidos no MM será apresentada de maneira detalhada a seguir.

#### 3.2.1 Critérios de avaliação

Como etapa inicial da parametrização do MM, foram analisados alguns trabalhos relacionados à revisão da literatura sobre o tema para absorção do conhecimento acerca do que se tem praticado (*benchmark*) na configuração das ferramentas mais utilizadas nas organizações.

Hizam-Hanafiah, Soomro e Abdullah (2020) analisaram as dimensões (critérios) de avaliação de 30 MMs existentes com 158 critérios diferentes. Após a realização de uma classificação, os autores identificaram critérios mais frequentes nos modelos avaliados: inovação e estratégia (17%), tecnologia (44%), processo (11%), pessoas (17%) e liderança (11%). A maior concentração de critérios direcionados para tecnologias estabelece que as organizações precisam melhorar amplamente sua prontidão tecnológica relacionada à estes aspectos para que estejam inseridas no contexto da indústria 4.0 (HIZAM-HANAFIAH; SOOMRO; ABDULLAH, 2020).

A abordagem de utilização de modelos existentes como referência é normalmente utilizada em situações em que se pretende construir uma avaliação de maturidade em contextos específicos, conforme argumentam de Jesus e Lima (2020). Este fato se dá, devido à necessidade de contemplar requisitos particulares, que é frequentemente observada em trabalhos que propõem a construção de MMs envolvendo diferentes áreas funcionais (logística e suprimentos, e.g.), nichos de mercado (*software*, construção de máquinas, e.g.) ou países (DE JESUS; LIMA, 2020).

Neste sentido, com referência na revisão da literatura relacionada a MMs da indústria 4.0, abordada no Capítulo 2 deste trabalho, Ferreira, Gusmão e Sousa (2021) conduziram uma análise de alguns MMs, no sentido de captar informações relevantes em termos de critérios de avaliação e outros parâmetros frequentemente utilizados nestas ferramentas. Esta análise foi baseada em uma abordagem multicritério, com objetivo de ordenação de 12 MMs, considerando atributos como presença de princípios de design da indústria 4.0, tipo, dimensões de avaliação e viés. Ao avaliar os resultados dos MMs mais bem posicionados no ranking estabelecido, foi elaborada uma estrutura de critérios e subcritérios que normalmente são considerados nos MMs da indústria 4.0.

Essa estrutura pode ser visualizada no Quadro 3, e, como se pode perceber, a maioria dos critérios e subcritérios é aplicável em negócios da indústria têxtil e de confecções. Contudo, alguns não se encaixam no contexto, como atributos relacionados a produtos inteligentes e orientação para serviços.

Este ponto se explica pelo fato de produtos de vestuário ou têxteis não possuírem componentes de tecnologia da informação ou comunicação para troca de informações entre o cliente e o fabricante durante o uso do produto, viabilizando novos serviços, da forma como ocorre com os computadores ou *smartphones*. O ponto relacionado a produtos inteligentes em negócios têxteis pode ser considerado, porém, com viés na aplicação de tecidos e outros

componentes biotecnológicos. Outro ponto importante é que, os atributos mapeados nos MMs normalmente possuem escopo generalista para ampliar a capacidade de aplicação de diversos tipos de negócio e áreas do mercado, o que desfavorece contextos mais específicos, conforme citado anteriormente.

Quadro 3 – Estrutura geral de critérios e subcritérios de MMs da indústria 4.0

Critério	Subcritério	Descrição	Aplicabilidade Têxtil		
			Sim	Parcial	Não
Estratégia e Inovação	Estratégia	Status de implementação da estratégia para indústria 4.0.	X		
	Investimentos e indicadores	Planos e execução de investimentos, operacionalização e revisão da estratégia através de indicadores.	X		
	Gestão da inovação	Uso de tecnologia para gestão da inovação.	X		
Processos Inteligentes	Modelagem digital	Aplicação de CPSs, gêmeos digitais.	X		
	Equipamentos e infraestrutura	Geração e transmissão de dados na produção.	X		
	Uso de dados	Processos de geração de informação para decisões.	X		
	Sistemas de informação	Uso de sistemas como ERP, CRM, MES.	X		
	Compartilhamento de informações	Integração entre sistemas de informação e aplicações.	X		
	Computação em nuvem	Utilização de aplicações e armazenamento em nuvens.	X		
	Segurança da informação	Regras e procedimentos de segurança da informação.	X		
	Processos autônomos	Autonomia nos processos para adaptações à mudanças no cenário produtivo.	X		
Produtos Inteligentes	Sensores de comunicação	Interfaces de comunicação dos produtos durante a fabricação através de sensores e similares (RFID, sensores).		X	
Serviços orientados para dados	Disponibilidade de serviços orientados para dados	Capacidade do produto enviar informações ao fabricante e cliente durante o uso, gerando novas oportunidades de serviços.			X
Pessoas	Desenvolvimento e treinamento	Ações de desenvolvimento para novas habilidades e competências direcionadas à indústria 4.0.	X		
Liderança	Envolvimento gestão	Nível de envolvimento da alta liderança no processo de transformação	X		

Fonte: O autor (2021)

Conforme estabelecido por Bruno (2016), fatores relacionados à sustentabilidade e têtes inteligentes nos processos têtes são relevantes no amadurecimento tecnológico das organizações. A redução do consumo de água e de energia, minimização de rejeitos, desperdícios e do emprego de substâncias perigosas são as principais orientações de desenvolvimento das tecnologias sustentáveis no setor. Além disso, ainda segundo o autor, também há desenvolvimentos de novos materiais biotecnológicos que poderão gerar novas perspectivas na produção. Assim, pode-se perceber a relevância destes aspectos enquanto critérios de avaliação de maturidade, apesar de não ser um atributo frequente na literatura.

Vale ressaltar que outros MMs, a exemplo dos apresentados no Capítulo 2 deste trabalho, seriam aplicáveis ao contexto da indústria têxtil, porém, sua estrutura de critérios de avaliação não seria totalmente aderente ao cenário do negócio, podendo gerar inconsistências ou supressão de informações que poderiam ser compreendidas na avaliação. Outro ponto importante é que estes MMs também não possuem clareza metodológica em relação aos seus modelos matemáticos aplicados nas avaliações, omitindo formas de mensuração dos níveis de maturidade e suprimindo o conhecimento em relação ao processo. Assim, a proposta deste trabalho é direcionada para a construção de um MM que seja flexível sob os aspectos de definição dos critérios e demais parâmetros, e que possua clareza metodológica em relação à abordagem empregada.

Também com referência nas informações levantadas na atividade de análise dos MMs e outras fontes relevantes, foi proposta, com base na revisão da literatura, uma estrutura de critérios e subcritérios voltados para a indústria têxtil e de confecções.

Essa estrutura foi submetida à avaliação por parte de dois especialistas que contribuíram nesta pesquisa para que melhorias pudessem ser incorporadas ao modelo a partir da análise crítica de profissionais experientes da área. É válido mencionar que a avaliação e validação dos especialistas foi conduzida com viés de conhecimento e características empresariais associadas a padrões competitivos a nível nacional e mundial. Dado que o cenário das empresas do mercado brasileiro possui lacunas competitivas em relação a concorrentes estrangeiros, conforme mencionado anteriormente, o MM foi parametrizado de maneira que seja possível avaliar as organizações em relação a estes padrões. Ainda neste sentido, a parametrização realizada também permite que o MM seja replicável em outras avaliações inseridas em diferentes contextos, mas sempre orientada para os padrões de *benchmark* da área têxtil. Desta forma, após a avaliação, realização de modificações e validação, a estrutura definida, que compreende 5 critérios e 14 subcritérios, pode ser vista no Quadro 4.

De maneira geral, a estrutura proposta possui características correlatas com MMs relevantes da área, com algumas particularidades relacionadas ao setor têxtil. Ressalta-se ainda que a família de critérios estabelecida possui direcionadores para realização da avaliação de forma mais abrangente possível, dentro dos princípios de exaustividade e não redundância (DE ALMEIDA, 2013).

Quadro 4 – Estrutura de critérios e subcritérios validada

<b>Critérios/Subcritérios</b>	<b>Descrição Geral</b>
<b>Estratégia e Inovação (E&amp;I)</b>	
Estratégia	Status de Implementação da Estratégia para indústria 4.0 (operacionalização, indicadores)
Investimentos	Planos de investimentos relacionados à indústria 4.0
<b>Tecnologia e Processos (T&amp;C)</b>	
Infraestrutura de Equipamentos	Uso de sensores em pontos de controle específicos para gerar informações em tempo real, possibilitando integração e capacidades de planejamento.
Automação e Robótica	Aplicação de veículos autônomos ou robôs, visão de máquina (veículos autônomos, CPSs, gêmeos digitais).
Processos Autônomos	Autonomia dos processos, capacidade de decisão e planejamento para incremento de flexibilidade, qualidade e produtividade.
Sistemas de Informação	Aplicação e integração de sistemas empresariais (ERP, CRM, MEM, SCM).
Compartilhamento e Interfaces de Informações	Compartilhamento de informações: (Horizontal: Fornecedor/Fábrica/Cliente Vertical: Desenv. de Produtos/PCP/Vendas/Pós-vendas)
Uso de Computação em Nuvens	Aplicação de CC para suporte na integração entre bancos de dados, sistemas.
Segurança da Informação	Processos de controle do acesso a informações, sistemas, compartilhamento.
<b>Sustentabilidade (Sust)</b>	
Emissões e rejeitos	Processos projetados para redução, reaproveitamento ou reciclagem de desperdícios de recursos (matéria prima, água, poluição do ar).
Pesquisa e Desenvolvimento	Desenvolvimento de pesquisas voltadas para novas tecnologias de processos ou materiais (biofibras, biotêxteis e bioroupas).
Produtos Inteligentes ou Biotecnológicos	Têxteis que funcionem como sensores ou condutores térmicos, de tensão, pressão, químicos e biológicos que permitem a geração de informações provenientes da interação do tecido com o usuário e o ambiente, que sirvam de entrada para adequações de cor ou mudanças de forma.
<b>Pessoas (Pess)</b>	
Habilidades e Competências	Competências e habilidades da equipe atual para indústria 4.0
Treinamento e Desenvolvimento	Iniciativas para desenvolvimento da equipe em termos de novas habilidades.
<b>Liderança (Lid)</b>	
Comprometimento da Alta Gestão	Envolvimento de líderes na gestão da mudança e implementação das ações necessárias.

Fonte: O autor (2021)

Como forma de obtenção do desempenho das alternativas de decisão nos critérios compreendidos no problema, foi utilizada uma escala *Likert* de 5 pontos, sendo o ponto 1 o menos preferível em relação ao objetivo do problema, e o 5 o mais preferível. Conforme proposto por Likert (1932), as pessoas apresentam maior facilidade em expressar suas opiniões através de escalas simétricas com 5 ou 9 posições. Além disso, a escala foi definida com base na simplicidade de interpretação da mesma por parte dos fornecedores das informações relacionadas às empresas avaliadas, de maneira que o respondente atribua um ponto da escala que julgar mais adequado aos requisitos dos critérios de avaliação.

### 3.2.2 *Classes de maturidade*

Em seguida, além da família de critérios e escala a serem considerados no problema de classificação, também foram configuradas as classes para as quais as empresas poderiam ser designadas na avaliação de maturidade da indústria 4.0. Neste sentido, com referência nos MMs avaliados por Ferreira, Gusmão e Sousa (2021), foram propostas 6 classes para avaliação de maturidade das empresas têxteis: inexistente, básica, intermediária, experiente, especialista e convergente. Tais classes também foram discutidas e validadas pelos especialistas da área têxtil que contribuíram na pesquisa.

As características empresariais gerais relacionadas a cada atributo que podem traduzir estes estágios (categorias) de maturidade são detalhados a seguir:

- **Inexistente:** Não há cumprimento de requisitos ou conhecimento da empresa sobre a indústria 4.0 e seus benefícios/ferramentas;
- **Básica:** Há iniciativas pontuais em algum processo ou departamento, suportados por sistemas com comunicação limitada e a estrutura atual não atende totalmente a requisitos para integrações futuras (sensores, sistemas). Soluções de segurança de informação ainda são embrionárias (planos). Habilidades e competências presentes em áreas pontuais da empresa. Iniciativas pontuais ou planos para aquisição/implementação de processos sustentáveis e produtos inteligentes.
- **Intermediária:** O conceito da indústria 4.0 é incorporado por parte da empresa na orientação estratégica, ao mesmo passo em que estão sendo desenvolvidos indicadores de avaliação do status de implementação. Áreas pontuais realizando investimentos relevantes. Alguns dados de produção são coletados e processados para tomada de decisão. A estrutura de equipamentos ainda não atende requisitos

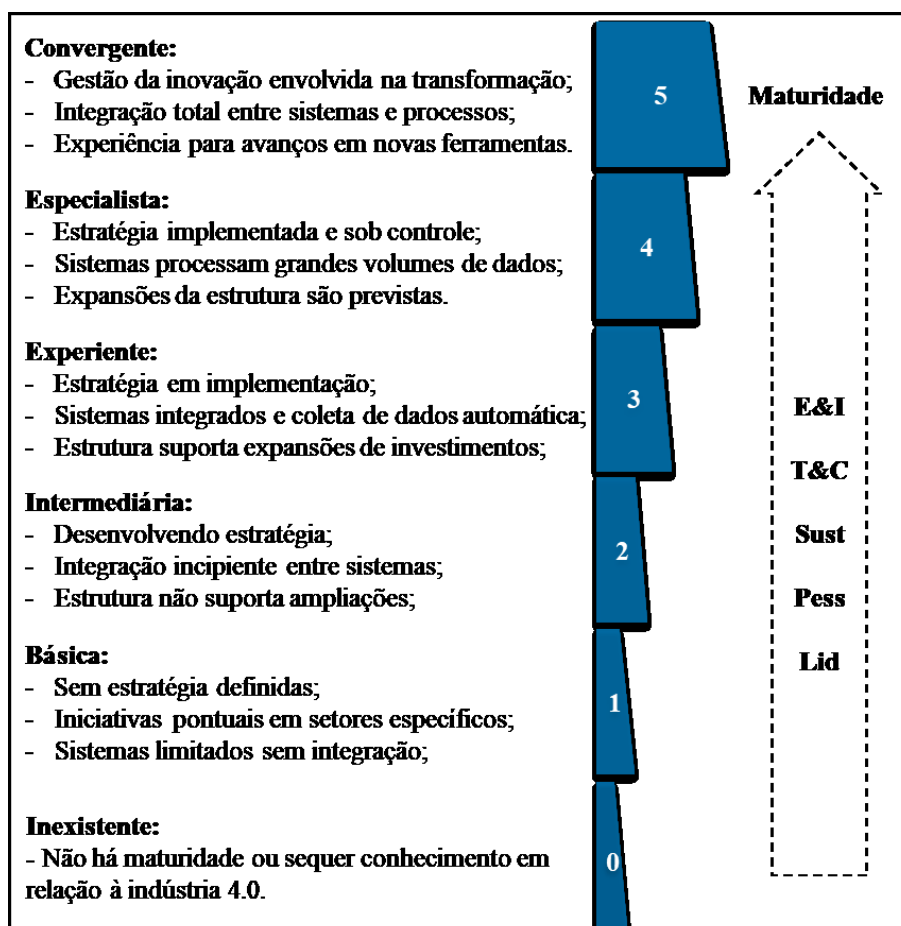
para integrações ou expansões. Soluções de segurança de TI já estão funcionando e sendo expandidas. Funcionários possuem as habilidades necessárias para expandir o conceito 4.0 em algumas áreas. Áreas piloto utilizam processos sustentáveis.

- **Experiente:** Estratégia de desenvolvimento estabelecida e sendo implementada. Vários investimentos sendo realizados em diferentes áreas através de uma abordagem de gestão da inovação. SIs integrados por meio de interfaces e suporte aos processos de produção, com dados em áreas-chave coletados automaticamente. A infraestrutura de equipamentos é adaptável para expansões. Compartilhamento horizontal e vertical de informações parcialmente implementado, com soluções de segurança bem definidas. Há planejamento de soluções via *CC* para expansão. Esforços já foram feitos para expandir o conjunto de habilidades dos funcionários. A organização possui processos sustentáveis com equipamentos modernos, produtos baseados em tecnologias têxteis fazem parte da linha de vendas, mas com pouca participação na receita.
- **Especialista:** Execução e controle da estratégia 4.0 sendo realizados de forma estruturada. Investimentos realizados em quase todas as áreas de processo da empresa, com suporte de áreas de gestão da inovação/transformação. Sistemas de informação suportam os processos de produção e coletam grandes volumes de dados usados para otimização das decisões. Expansões futuras são consideradas, dada a capacidade estrutural dos ativos para tal. O compartilhamento de informações, interno e com parceiros de negócio, é realizado, bem como soluções de segurança em TI não utilizadas. Além disso, soluções de TI são escaláveis através de *CC*. Na maioria das áreas relevantes, as pessoas possuem as competências necessárias para este status e elevar ainda mais a maturidade. A maioria dos processos é sustentável e fornece estrutura para redução de passivos ambientais. Produtos biotecnológicos possuem maior influência na geração de resultados financeiros.
- **Convergente:** Organização implementou sua estratégia e monitora regularmente o status de outros projetos, com investimentos em toda a empresa e envolvimento da gestão da inovação. Há suporte abrangente dos sistemas de informação em sua produção com coleta automática de dados relevantes. A infraestrutura atende aos requisitos de integração e comunicação de um sistema inteligente. Isso, por sua

vez, fornece integração para compartilhamento de informações, tanto internamente quanto com parceiros de negócios (vertical e horizontal). Soluções abrangentes de segurança de TI foram implementadas e soluções baseadas em nuvem oferecem uma arquitetura flexível. Algumas áreas de produção operam de forma autônoma, capazes de se adaptar ao contexto. A empresa possui a experiência e pode avançar ainda mais no contexto da indústria 4.0. Todos os processos funcionam com equipamentos sustentáveis, diminuindo passivos. Produtos biotecnológicos são parte dos negócios.

No esquema apresentado na Figura 6 é possível observar as classes definidas associadas a características relevantes de forma resumida, compreendidas em cada um dos níveis, bem como critérios considerados.

Figura 6 – Classes de maturidade e suas características



Fonte: O autor (2021)

No entanto, é importante ressaltar que, considerando o procedimento metodológico compensatório adotado neste trabalho, empresas podem ser alocadas a determinada classe, sem



---

necessariamente atender plenamente às características descritas em cada um dos estágios detalhados acima. Assim, uma empresa que apresenta bom desempenho em determinado critério e um desempenho ruim em outros atributos poderá ser alocada a uma classe intermediária, por exemplo. As descrições dos estágios servem como uma referência geral de maturidade das organizações, mas não restringem a alocação ao atendimento total dos requisitos de desempenho previstos para cada classe.

## 4 APLICAÇÃO DO MODELO E RESULTADOS

Após o desenvolvimento do MM proposto, foi realizada uma aplicação da ferramenta com objetivo de demonstrar sua eficiência no suporte à problemática de classificação das organizações e de processos da área têxtil e de confecções.

A aplicação foi conduzida no contexto de empresas de confecções que fazem parte do APL têxtil do Agreste pernambucano. Contudo, antes desta, foi identificado o decisor para a situação problema, bem como as empresas avaliadas.

### 4.1 Identificação do decisor

Conforme mencionado anteriormente, para proposição do MM com foco na classificação de maturidade da indústria 4.0 em empresas do APL têxtil do Agreste pernambucano, dois especialistas participaram do processo de parametrização do modelo. Um desses especialistas atuou também como decisor na implementação do modelo para avaliação de três empresas.

Assim, esta pesquisa teve a contribuição de um decisor especialista, professor e gerente de educação profissional do Centro de Tecnologia da Indústria Química e Têxtil do SENAI (CETIQ), sendo um dos responsáveis pela implantação da primeira planta têxtil nos padrões da indústria 4.0 das Américas no setor de confecções, além de ser um profissional atuante no mercado, com vasta experiência. Com base nestas características, observou-se o potencial de contribuição do profissional para atuar como decisor nesta pesquisa.

Vale destacar que o MM proposto não necessita estritamente de especialistas para avaliação da maturidade exercendo o papel de decisor. Em outras palavras, eventuais avaliações podem ser realizadas por gestores de empresas, analistas e engenheiros que possuam certo nível de conhecimento da área têxtil e de confecções. Em grandes organizações, pode-se considerar avaliações de diferentes unidades de negócio, por exemplo. Estes fatores irão depender do contexto de aplicação no qual o modelo poderá estar inserido, associado a objetivos e variáveis distintas.

### 4.2 Empresas avaliadas

Em relação ao estabelecimento do espaço de ações, foram identificadas algumas fábricas componentes do APL têxtil do Agreste pernambucano para contribuição com a pesquisa. Este mapeamento foi realizado através de contatos realizados com as empresas para verificar o

interesse das mesmas em fazer parte do estudo. Ao todo foram contatadas 15 empresas, com disponibilidade sinalizada por 3 delas.

É importante ressaltar que também foram tomadas iniciativas de contato com entidades de classe e associações que representam estas empresas para viabilização das informações, mas sem sucesso. Assim, após algumas conversas e reuniões, as 3 empresas do APL que se dispuseram a participar da pesquisa foram solicitadas a responder, de forma remota, ao questionário de avaliação de maturidade que pode ser visualizado no Apêndice A.

O questionário foi dimensionado com base nas informações necessárias para aplicação do modelo de forma simples para entendimento dos respondentes com validação dos especialistas. As perguntas foram elaboradas utilizando uma abordagem de múltipla escolha associada à escala *Likert* de 5 pontos estabelecida para a avaliação de cada um dos critérios de avaliação do modelo. Adicionalmente, foram captadas informações gerais e associadas a conceitos tecnológicos por parte das empresas para entendimento do nível de conhecimento dos gestores em relação à indústria 4.0.

A escala *Likert* aplicada a questionários para aquisição de informações tem sido utilizada em variados MMs propostos na literatura (LICHTBLAU et al., 2015; PIROLA; CIMINI; PINTO, 2020; RAFAEL et al., 2020; SCHUMACHER; EROL; SIHN, 2016; WAGIRE et al., 2020).

Contudo, é importante salientar que a aquisição das informações através de questionários respondidos por pessoas que fazem parte das organizações avaliadas reflete uma percepção das empresas sobre seu próprio desempenho em relação aos critérios estabelecidos e, conseqüentemente, o resultado em relação à maturidade percebida é diretamente influenciado por estas informações. Além disso, considerando um MM para análise de várias empresas com base na percepção interna de cada uma delas, pode haver incompatibilidades na comparação de resultados entre elas, mesmo com uso do julgamento de valor de um único decisor, dado que as informações de entrada do MM são geradas por fontes (pessoas) diferentes através de uma escala qualitativa associada a critérios construídos.

Para atenuar estes efeitos, é fundamental que as respostas obtidas nos questionários aplicados exemplifiquem o estado factual em relação à indústria 4.0, conforme afirmam Wagire et al. (2020). Em confirmação, Schumacher, Erol e Sihn (2016) afirmam que questionários só poderão ser respondidos adequadamente se todos os entrevistados possuírem conhecimentos básicos em relação ao tema da indústria 4.0. Consultorias externas ou sessões em grupo podem também aumentar a representatividade do questionário e a precisão do MM.

O plano inicial desta pesquisa envolvia visitas às organizações para reuniões com gestores e equipes, no sentido de compartilhamento do conhecimento relacionado à indústria 4.0, porém, esta etapa foi inviabilizada pelo cenário pandêmico atual. Assim, para disseminação e alinhamento dos conceitos relacionados ao tema desta pesquisa, no questionário aplicado foram inseridos, na parte introdutória, vídeos que abordam os principais conceitos relacionados à indústria 4.0, bem como formas de aplicação de suas ferramentas em processos têxteis e de confecções.

### 4.3 Aplicação do MM

Conforme citado anteriormente, a aplicação do MM foi realizada através do SAD do FITtradeoff para problemática de classificação. Assim, para início do processo, são necessárias algumas etapas relacionadas à especificação de parâmetros de composição do modelo no *software*. Inicialmente, é necessário especificar o tipo de critério a ser trabalhado: contínuo de minimização, contínuo de maximização, discreto de minimização ou discreto de maximização. No contexto da situação problema em avaliação, os critérios foram estabelecidos como discretos de maximização, dada a natureza do problema e escala *Likert* utilizada no questionário.

Em seguida, é necessário especificar também os valores extremos dos perfis ( $b_k$ ), de maneira que seja possível diferenciar as categorias para as quais as alternativas poderão ser classificadas. Na prática, estes perfis refletem os 6 níveis de maturidade (categorias) explicitados no item anterior, definidos em intervalos de uma escala de 0 a 1, em que, para obter  $k$  categorias, são necessários  $k-1$  perfis. Desta forma, neste trabalho foram especificados, com base na opinião dos especialistas, os perfis conforme apresentado no Quadro 5.

Quadro 5 – Perfis e categorias

Limiar ( $b_k$ )	Número Categoria	Estágio Maturidade
0,2	C1	Inexistente
0,4	C2	Básica
0,6	C3	Intermediária
0,8	C4	Experiente
0,9	C5	Especialista
1	C6	Convergente

Fonte: O autor (2021)

Após especificação do tipo de critério e dos perfis, foi carregada a matriz de consequências do problema, que possui informações sobre o desempenho das alternativas (empresas) nos critérios do problema. Esta matriz pode ser visualizada no Quadro 6.

Quadro 6 – Matriz de consequências

<b>Critério/ Empresa</b>	<b>E&amp;I</b>	<b>F&amp;P</b>	<b>Sust.</b>	<b>Pess.</b>	<b>Lid.</b>
Empresa A	1	3	2	2	3
Empresa B	3	3	1	2	4
Empresa C	1	1	1	1	1

Fonte: O autor (2021)

A matriz possui informações referenciadas pela escala utilizada no questionário para cada um dos critérios de desempenho do problema, todos eles com objetivos de maximização. Ou seja, quanto maior o valor de uma alternativa em um determinado critério, mais aquele critério contribuirá para a maturidade da organização. Para composição da matriz, foi considerada a avaliação global dos critérios, compreendendo os subcritérios estabelecidos na estrutura. Assim, os valores representam pontos médios de cada um dos critérios em termos de desempenho na escala *Likert*.

Com os parâmetros de entrada carregados no SAD, foi iniciada a primeira interação da ferramenta com o decisor. Esta é composta por uma avaliação holística para ordenação relativa dos critérios, em termos de importância, em que o SAD apresenta uma alternativa hipotética com o pior desempenho em cada critério e solicita ao decisor que escolha um dos critérios para melhorar a performance ao máximo, sendo possível selecionar critérios em que há indiferença na preferência do decisor. Esta etapa se repete até que o SAD consiga estabelecer uma ordenação dos critérios.

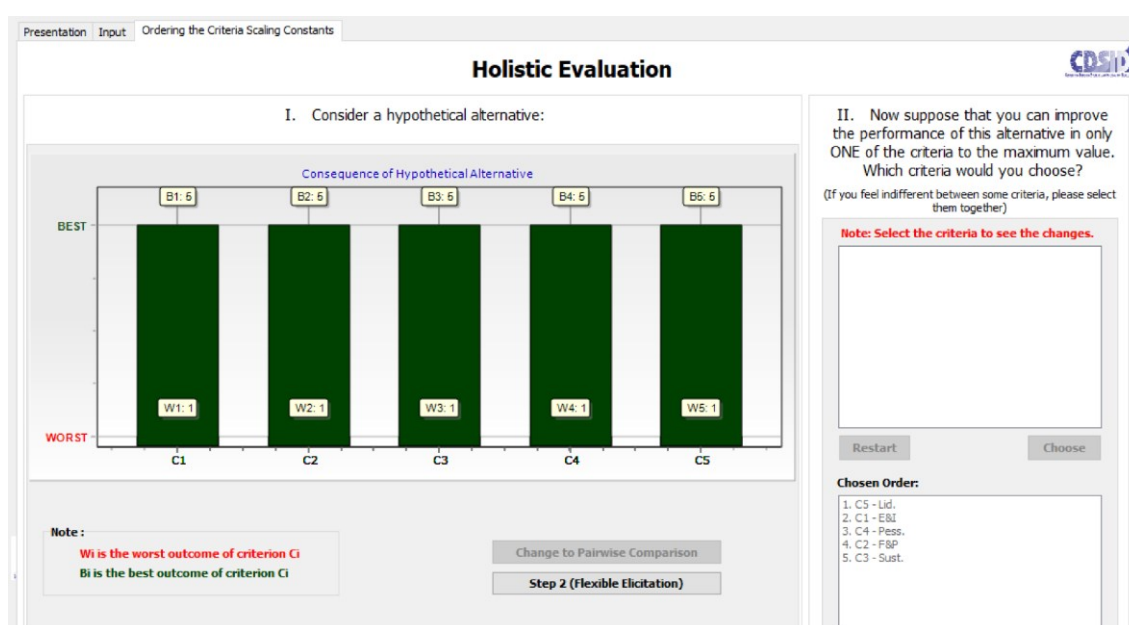
Conforme comentado pelo decisor na reunião para aplicação do MM, o envolvimento da alta liderança é fundamental para que mudanças ocorram nas organizações. Com base neste envolvimento, é que podem ser elaborados planos estratégicos de transformação para a indústria 4.0, que envolvam principalmente as pessoas que compõem a organização, fábrica e processos que sejam sustentáveis.

Desta forma, o decisor estabeleceu a seguinte ordenação de importância relativa dos critérios: Lid > E&I > Pess > F&P > Sust. Assim, pode-se entender que a constante de escala (peso) do critério liderança é maior que a relativa à estratégia e inovação, e esta é maior que a

do critério relacionado a pessoas, que, seguindo esta lógica é maior que o atributo de fábrica e processos e sustentabilidade, respectivamente.

A partir da informação de ordenação dos critérios, o SAD classificou a empresa C na categoria C1, naturalmente por conta dos desempenhos ruins (1) em todos os critérios. Contudo, a informação de importância relativa entre critérios não foi suficiente para classificação das empresas A e B. Na figura 6 pode-se observar a interface do SAD ao final da etapa de avaliação holística.

Figura 7 – Avaliação holística do FITradeoff



Fonte: O autor (2021)

Assim, o decisor iniciou o procedimento de elicitação flexível com objetivo de exploração do espaço de consequências do problema. Neste ponto, o decisor responde a questionamentos em relação a duas alternativas hipotéticas de decisão que possuem desempenhos distintos entre dois dos critérios avaliados.

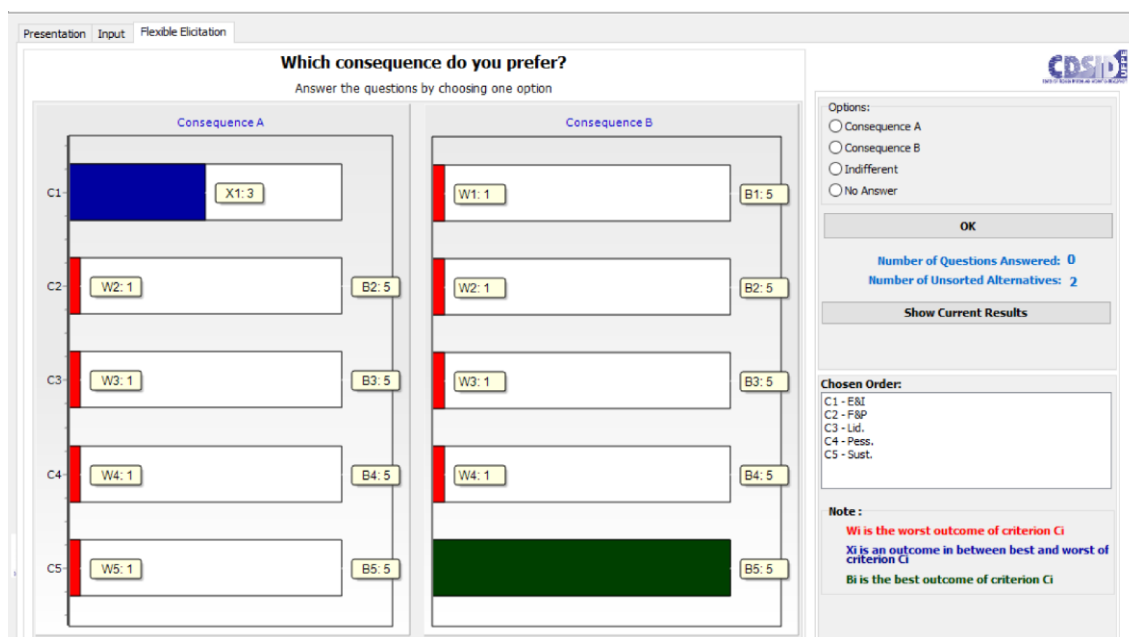
Na interação, o decisor deve responder entre alternativas disponíveis para escolha, considerando os desempenhos nos critérios apresentados na situação. Sendo assim, o decisor tem a flexibilidade de responder em relação a sua preferência pela alternativa A, alternativa B, se ele é indiferente ou se não é capaz de responder ao questionamento.

Além disso, também é possível visualizar os resultados parciais (classificação e espaço de pesos) a cada questionamento apresentado, conforme desejo do decisor. O processo se encerra no momento em que o SAD estabelece uma classificação das alternativas de acordo com o espaço de pesos mensurado a partir dos modelos de programação linear ou, caso o decisor

se sinta satisfeito com as informações geradas naquele ponto, também é possível encerrar o processo.

Como pode ser observado nas Figuras 7 e 8, o SAD considerou, tanto na avaliação holística como na elicitación flexível, os valores extremos da escala aplicada no problema. Este fato ocorre por conta dos parâmetros do SAD ao lidar com escalas discretizadas. Em outras palavras, o SAD considera a escala global informada pelo usuário constituída n níveis, ainda que não haja consequências pertencentes a todos os níveis na matriz. Ao considerar um critério constituído de 5 níveis discretos e de maximização, na avaliação intracritério o sistema irá considerar que a melhor e a pior consequência são respectivamente 5 e 1, mesmo que na matriz de consequências o maior e menor valor sejam diferentes destes.

Figura 8 – Elicitación flexível do FITradeoff



Fonte: O autor (2021)

Nesta etapa, apresentada na Figura 8, o decisor optou pela alternativa A. No desenvolvimento da elicitación flexível, o decisor respondeu a 4 questionamentos, até o ponto em que o SAD estabeleceu a classificação final das alternativas de acordo com o espaço de pesos obtidos a partir das informações fornecidas. O detalhamento dos questionamentos pode ser observado no Quadro 7.

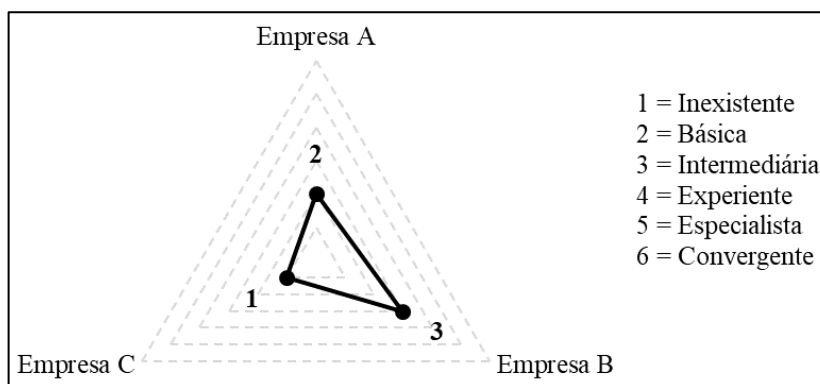
Quadro 7 – Questionamentos respondidos

Iteração	Consequência A	Consequência B	Consequência escolhida	Alternativas não classificadas
1	Lid 3	Sus 5	A	2
2	Lid 3	E&I 5	B	1
3	E&I 3	Pess 5	B	1
4	Pess 3	F&P 5	Indiferente	1

Fonte: O autor (2021)

Como se pode observar no quadro, a partir do segundo questionamento duas empresas haviam sido classificadas, restando apenas uma que foi classificada após o questionamento 4, em que o decisor apresentou indiferença entre as alternativas apresentadas pelo SAD. Sendo assim, no resultado geral da classificação, todas as empresas foram alocadas em categorias únicas. No Gráfico 1 é possível visualizar o panorama geral de classificação das empresas.

Gráfico 1 – Classificação das empresas



Fonte: O autor (2021)

Como pode ser observado no gráfico, no geral, o grau de maturidade das empresas avaliadas ainda é baixo. A empresa A foi classificada com maturidade básica (2), enquanto a empresa B foi classificada como intermediária (3). Já a empresa C não possui maturidade em relação a indústria 4.0, sendo classificada como inexistente (1). No Quadro 8 pode-se observar os valores globais minimizado ( $S_1$ ) e maximizado ( $S_2$ ) das empresas, as condicionantes da regra de decisão do SAD aplicada para classificar a maturidade das empresas.

Quadro 8 – Valores globais e condições para classificação

Alternativas	$S_1$	$S_2$	Cond. 1	Cond. 2	Classificação
Empresa A	0,271	0,333	$S_1 > 0,2$	$S_2 \leq 0,4$	2
Empresa B	0,438	0,600	$S_1 > 0,4$	$S_2 \leq 0,6$	3
Empresa C	0,000	0,000	$S_1 >$	$S_2 \leq 0$	1

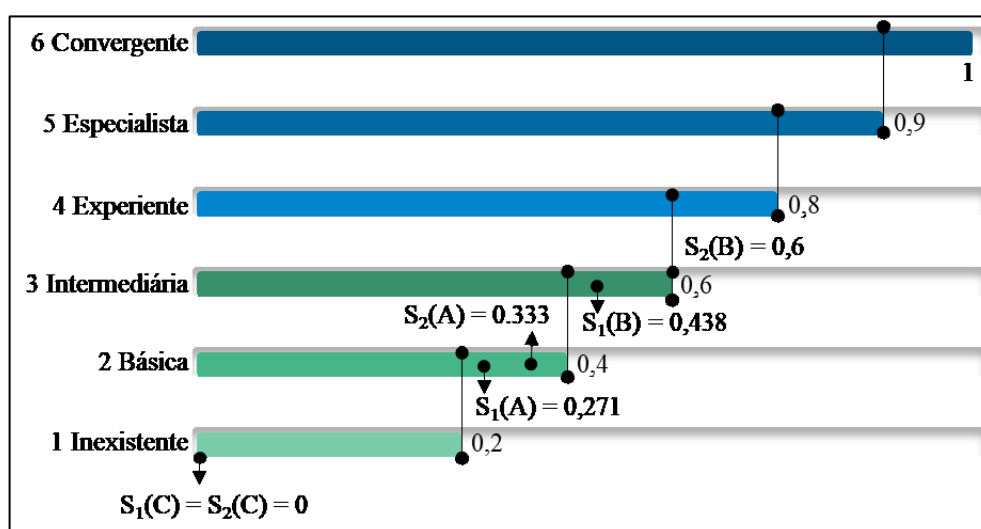
Fonte: O autor (2021)



A classificação das empresas nas categorias é realizada com referência nos valores globais mínimos e máximos das alternativas aplicados à regra de decisão do SAD, que possui duas condicionantes relacionadas aos valores extremos de cada perfil. Assim, tomando-se como exemplo a empresa A, pode-se perceber que os valores de  $S_1$  e  $S_2$  estão limitados de acordo com os perfis da categoria básica. Ou seja, o valor de  $S_1$  é maior que o máximo da categoria 1, enquanto  $S_2$  está abaixo do mínimo da categoria 3, alocando a empresa na categoria 2.

O Gráfico 2 apresenta mais claramente a classificação associada aos limiares dos perfis das classes.

Gráfico 2 – Valores globais e limiares dos perfis



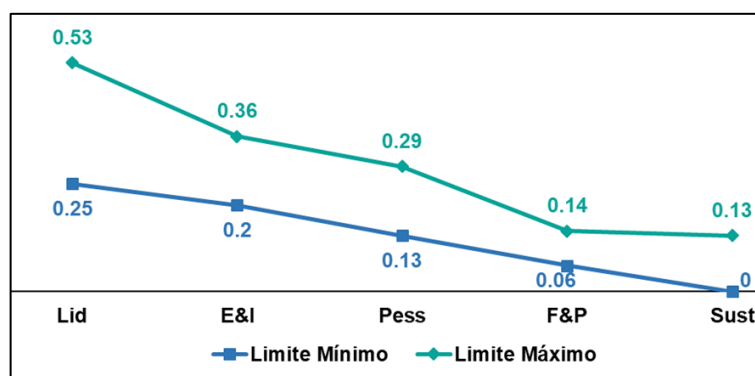
Fonte: O autor (2021)

Ainda em relação ao Gráfico 2, pode-se observar que a empresa B teve valores globais compreendidos nos extremos da categoria 3, o que gerou este resultado. Em outras palavras, o SAD valida a condição baseado na informação de que  $S_1$  da empresa B é maior que 0,4, sendo este o limiar inferior da categoria 3 e que  $S_2$  é menor ou igual a 0,6, limiar superior da mesma categoria e inferior da classe 4. Já a empresa C teve seus valores globais iguais a zero, resultando em uma classificação de maturidade inexistente.

É importante destacar que, se de acordo com as informações fornecidas pelo decisor na elicitação flexível para exploração do espaço de ações do problema, o SAD não conseguisse alocar alguma das empresas em uma só categoria, esta não seria classificada, mas apresentaria provavelmente viabilidade para classificação em categorias adjacentes. Em outros termos, esta viabilidade seria configurada pelo fato dos valores de  $S_1$  e  $S_2$  da empresa estarem posicionados em intervalos de limiares diferentes de duas categorias.

Vale destacar, ainda, que no FITradeoff para classificação dos exatos dos pesos (k), não são determinados e, conseqüentemente, também não há como calcular os valores globais das alternativas no modelo. Contudo, possíveis combinações de valores compreendidos entre os limiares superiores e inferiores do espaço de pesos estabelecido ao final do processo deverão refletir as classificações obtidas. Este espaço de pesos pode ser observado no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Espaço de pesos dos critérios



Fonte: O autor (2021)

Como pode ser visto no Gráfico 3, os pesos dos critérios Lid e E&I possuem maiores intervalos de valores que poderiam ser assumidos. Este fato está alinhado com a avaliação holística inicial dos critérios feita pelo decisor, ao julgar estes dois critérios como mais relevantes na problemática, fazendo com que a alternativa de decisão (B), com melhor desempenho nestes atributos, fosse classificada com maior maturidade.

Outro ponto que pode ser observado do Gráfico 3, está relacionado à robustez do modelo proposto. Conforme detalhado anteriormente, no FITradeoff para problemática de classificação são utilizados valores minimizados e maximizados de um modelo de programação linear para classificar as alternativas em intervalos de perfis de classes pré-determinadas. Para tal, existem um espaço de pesos e vetores que minimizam e maximizam os valores globais das alternativas. No Gráfico, são apresentados os intervalos de valores de constantes de escala (pesos) para cada um dos critérios. A extensão destes intervalos representa até que ponto as constantes de escala podem variar sem alterações na classificação das alternativas. Tomando-se, por exemplo, o atributo relacionado a pessoas, pode-se observar que há um intervalo entre 0,06 e 0,14 com a possibilidade de que sejam variadas as constantes sem alteração no resultado final.

Sendo assim, a partir do MM baseado no FITradeoff para problemática de classificação, que possui procedimentos eficientes para elicitación de preferências, foi possível avaliar

organizações têxteis com referência em critérios relevantes para composição da maturidade deste tipo de negócio.

As próximas subseções abordam os resultados de maturidade das empresas avaliadas de maneira mais detalhada, com informações específicas adquiridas através do questionário respondido pelas mesmas. Em seguida, uma síntese destes resultados associados ao contexto de mercado da região também é apresentada.

#### **4.4 Discussão dos resultados e feedbacks**

##### ***4.4.1 Resultados empresa A***

Atuante no mercado de vestidos para crianças há 10 anos, a empresa A possui atualmente 20 funcionários diretos em Surubim-PE. De acordo com informações fornecidas pelo diretor da empresa (respondente do questionário), não há conhecimentos relacionados a ferramentas da indústria 4.0 para negócios têxteis, tampouco planos estratégicos definidos em relação a investimentos em infraestrutura e tecnologias desta natureza.

Outro ponto a se destacar em relação a esta organização, é o fato de, em seus processos, não é aplicado nenhum tipo de ferramenta de gestão para redução de desperdícios, manufatura enxuta ou similar. Tais ferramentas de gestão normalmente orientam o uso das ferramentas tecnológicas em termos de processamento de informações e cultura de gestão, e sua ausência pode indicar maior necessidade de aprendizado da empresa antes de investir em tecnologias disruptivas.

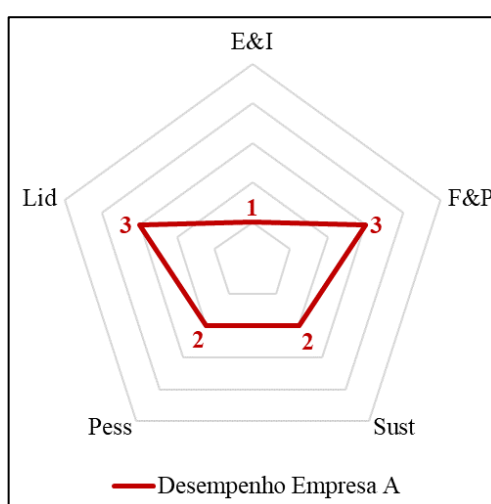
Em relação à estrutura de equipamentos utilizada, a empresa não possui geração de dados em tempo real, a partir de sensores instalados no processo produtivo, sendo algumas de suas máquinas parcialmente automatizadas e com capacidade de ajuste limitada. Em termos de sistemas de informação, a empresa utiliza duas aplicações em diferentes áreas de processo, mas sem integração entre as mesmas. Adicionalmente, a empresa possui processos e estrutura para compartilhamento vertical e horizontal de informações que favorecem o fluxo produtivo, com uso limitado de computação em nuvens. Ainda em relação aos equipamentos, não há funcionalidades relacionadas a redução, reuso ou reciclagem de matéria prima ou rejeitos, mas os vestidos possuem componentes sustentáveis em sua estrutura. Os têxteis inteligentes não fazem parte dos produtos da empresa, bem como iniciativas de treinamento e desenvolvimento dos funcionários ainda estão no plano das ideias.

As informações adquiridas também mostram que a liderança possui o entendimento da relevância da maturidade tecnológica da empresa para a competitividade no mercado

considerando o longo prazo, mas ainda não há planos e ações relacionados a novas tecnologias que possam viabilizar esta transformação. Fato este que pode evidenciar a necessidade de uma reestruturação em termos de direcionamento das ações da alta gestão para que este envolvimento seja aumentado.

Assim, a empresa A teve sua maturidade avaliada como básica, após a avaliação do decisor com o FITradeoff para problemas de classificação. O gráfico 4 reflete os pontos descritos anteriormente na escala aplicada no questionário desta pesquisa.

Gráfico 4 – Panorama geral empresa A



Fonte: O autor (2021)

Com base no gráfico, pode-se perceber que a empresa possui desempenhos baixos em relação a planejamento de ações que deveriam ser realizadas pela liderança. O aumento do envolvimento da liderança, associado ao estabelecimento de planos estratégicos de investimentos, pode ser uma alternativa para uma progressão no patamar de maturidade da companhia. Tais planos podem proporcionar a visão de priorização dos investimentos traduzidos em projetos de diferentes vertentes em um portfólio estabelecido.

#### 4.4.2 Resultados empresa B

Com 130 funcionários diretos, a empresa B tem negócios no mercado de vestuário para recém-nascidos há 26 anos em Caruaru-PE. No questionário, o gerente industrial relatou que a estratégia de transformação da indústria 4.0 está definida, e as primeiras ações sendo implementadas na organização, com indicadores estabelecidos para as áreas em que os investimentos vêm sendo realizados, somado ao fato de que os gestores possuem conhecimento sobre tecnologias da indústria 4.0 para negócios têxteis. De acordo com a estratégia definida

pela organização, serão realizados investimentos altos em novos produtos e nos processos produtivos da empresa nos próximos dois anos.

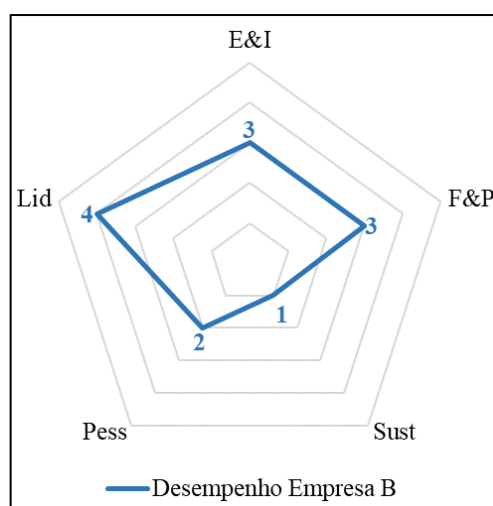
Adicionalmente, vale destacar que a empresa aplica ferramentas de gestão como mapeamento do fluxo de valor, produção puxada (*kanban*) e *just in time*, favorecendo a cultura da redução e desperdícios, e pensamento enxuto para direcionar a cultura de gestão da empresa e implementação de tecnologias da indústria 4.0.

Na estrutura de equipamentos atual, boa parte do maquinário utiliza sensores para geração de informações em tempo real, além de que, alguns equipamentos possuem características de automatização e autonomia para ajustes, de acordo com o cenário produtivo. São utilizados três sistemas de informação que ainda não possuem integração direta para compartilhamento de informações, fazendo com que as interfaces de integração vertical e horizontal sejam também limitadas, com uso de bancos de dados locais.

Em relação à sustentabilidade, a empresa não possui ações de redução das emissões ou consumo de recursos escassos, sequer há materiais sustentáveis ou inteligentes na estrutura de componentes dos produtos. As pessoas que compõem a empresa ainda não possuem muitas habilidades e competências relacionadas à indústria 4.0, mas há planos para estas ações.

As lideranças reconhecem a importância e entendem as oportunidades de desafios para a empresa, e estão definindo sua estratégia de transformação digital para algumas áreas, inicialmente. Sendo assim, a empresa B foi classificada com maturidade intermediária, após a avaliação do decisor com o MM baseado no FITradeoff. O Gráfico 5 evidencia os resultados da empresa em termos de desempenho nos critérios avaliados.

Gráfico 5 – Panorama geral empresa B



Fonte: O autor (2021)

Conforme panorama de resultados da empresa B, pode-se perceber que, apesar de um razoável envolvimento da liderança, planos e ações estratégicas ainda são medianos. Adicionalmente, estes planos devem incorporar ações de desenvolvimento de pessoas para que estas possam ainda mais promover as mudanças que a empresa almeja, além de elevar a maturidade da organização.

#### ***4.4.3 Resultados empresa C***

Na empresa C, os negócios são direcionados para o mercado de vestidos adultos, com 10 anos de experiência no mercado. A empresa não possui conhecimentos relacionados à indústria 4.0 ou quaisquer planos estabelecidos para implementação.

Os processos e equipamentos são operados totalmente de forma manual, sem quaisquer dispositivos ou aplicações tecnológicas de suporte (sensores, sistemas de informação). O compartilhamento de informações vertical e horizontal é realizado de maneira totalmente informal com clientes, funcionários e fornecedores. Também não há iniciativas relacionadas a pessoas, sustentabilidade ou envolvimento da liderança, sendo a maturidade da empresa avaliada como inexistente pelo decisor, conforme citado anteriormente.

Dado o cenário da empresa, os processos de transformação podem ser iniciados com estudos para incorporação dos conhecimentos relacionados à indústria 4.0. Estes podem ser viabilizados através de consultorias e serviços similares que possibilitem que a alta liderança absorva os conceitos e potenciais melhorias associadas à indústria 4.0.

#### ***4.4.4 Panorama geral dos resultados***

Os resultados obtidos com a avaliação de maturidade evidenciam uma baixa maturidade das empresas avaliadas para transformação dos processos, dado que estas tiveram seus níveis limitados pelo ponto médio dos 6 estágios estabelecidos.

Em relação aos atributos avaliados, alguns se destacaram durante o processo. Primeiramente, percebe-se que não há conhecimento amplamente disseminado e claro dos potenciais benefícios e tecnologias compreendidos pela indústria 4.0. Nos questionários, os gestores das empresas afirmaram não conhecer ferramentas tecnológicas específicas do mercado têxtil e de confecções, sendo este um ponto desfavorável para a definição de estratégias de transformação e envolvimento das lideranças, que, nesta pesquisa, também se mostraram em níveis baixos. Em outras palavras, as organizações parecem não possuir visão

clara dos objetivos estratégicos que podem ser estabelecidos e atingidos através da incorporação de novas tecnologias.

Levando-se em consideração a infraestrutura de equipamentos e processos, foi possível perceber que não são utilizadas ferramentas que normalmente são corriqueiras em outros tipos de negócio como os sistemas de informação (ERP, MES, CRM). Mesmo com um nível baixo de automação e autonomia dos processos que impactam na geração de dados em tempo real para alimentar os sistemas de informação, estas ferramentas ainda possuem grande potencial de contribuição nos processos de gestão das organizações, pois auxiliam a estruturar processos, conhecer e mensurar informações relevantes do negócio e orientar decisões operacionais e estratégicas.

Consequentemente, as pessoas que estão envolvidas nos processos produtivos das empresas operam máquinas que em sua maioria são totalmente manuais, exigindo certa especialização em tarefas repetitivas ou terceirizadas para pequenas fações que são totalmente informais no contexto do APL têxtil do Agreste. Também associada à ausência de planos estratégicos, a falta de ações para desenvolvimento de pessoas é nítida no contexto das organizações analisadas.

Adicionalmente, a sustentabilidade dos processos não é percebida como direcionador de resultados ou vantagens competitivas para as empresas analisadas, dado que não há planos ou iniciativas neste sentido.

Por fim, pode-se afirmar que, apesar de as empresas analisadas não possuírem representatividade em relação ao universo de empresas do APL Têxtil, os resultados encontrados corroboram com fatos mencionados anteriormente em estudos anteriores desenvolvidos por instituições voltadas para inteligência de mercado na área têxtil (CNI, 2017; IEMI, 2017; SEBRAE, 2013), que citam fatores como alta informalidade dos negócios, baixa especialização da mão de obra e ausência de estruturas de gestão que possam melhor conduzir o APL em suas operações.

## 5 CONCLUSÃO

Este capítulo apresenta as conclusões relacionadas à pesquisa, bem como limitações e dificuldades encontradas durante seu desenvolvimento, além de oportunidades para pesquisas futuras.

### 5.1 Considerações finais

A avaliação de maturidade de processos e empresas é fundamental no direcionamento de estratégias que possam desencadear ações de melhoria da maturidade identificada inicialmente. Estas ações poderão garantir a manutenção e elevação do potencial competitivo das organizações no contexto de mercado atual, que é altamente dinâmico e volátil, mais ainda quando se trata de tecnologias de processo, capazes de garantir características como: autonomia, flexibilidade, qualidade e produtividade aos processos em que se aplicam, todas estas inseridas no contexto da indústria 4.0.

O presente trabalho apresentou o uso de método de apoio à decisão multicritério para a classificação de empresas têxteis e de confecções em termos de maturidade da indústria 4.0. Para tal, foram apresentados e discutidos inicialmente as características destes processos, conceitos relacionados à indústria 4.0, bem como ferramentas tecnológicas aplicáveis aos negócios têxteis e de confecções.

Em seguida, com objetivo de aquisição do conhecimento relacionado a avaliação de maturidade, foram analisados modelos relevantes da literatura. Com isso, foi identificada uma oportunidade de proposição de um MM específico que incorporasse as peculiaridades da área têxtil e de confecções, baseado em um método de apoio à decisão multicritério capaz de agregar flexibilidade e clareza metodológica ao processo de avaliação. Assim, foi definida a aplicação do método FITradeoff para problemática de classificação.

Logo após, a partir da revisão da literatura, foram levantadas e validadas, com o apoio de especialistas, informações específicas e parâmetros de avaliação para composição de um MM baseado na abordagem multicritério. Com o objetivo de demonstrar a aplicabilidade e robustez do modelo, foi realizada uma aplicação do MM construído no contexto do APL têxtil do Agreste pernambucano.

Nesta aplicação, três empresas participaram do estudo, fornecendo informações sobre seus processos e estrutura para incorporação ao MM proposto e posterior avaliação da maturidade realizada com o apoio do SAD do FITradeoff e um decisor detentor de um vasto



conhecimento na área. Como resultado, foram obtidos e discutidos os níveis de maturidade das empresas analisadas e apresentados pontos de melhoria nos atributos considerados no MM.

Ao realizar uma análise geral sobre o processo de avaliação e interações com o SAD, o decisor destacou a agilidade do processo em si, como sendo uma vantagem sob o aspecto prático em relação à abordagem e SAD utilizados para aplicação em organizações do mercado, em que gestores possuem restrições de tempo para tomada de decisões que precisam ser estruturadas.

Além disso, as organizações avaliadas forneceram suas impressões em relação aos resultados da avaliação de maturidade em concordância com pontos de melhoria identificados com a aplicação do MM. Especificamente, as empresas demonstraram compreender seus pontos de melhoria em relação a fatores como planejamento estratégico, desenvolvimento de pessoas e sustentabilidade, por exemplo. Adicionalmente, conforme comentado anteriormente, os resultados encontrados com a aplicação do MM proposto estão alinhados com características relacionadas à realidade das empresas do APL, conforme mencionam estudos anteriores desenvolvidos por instituições voltadas para inteligência de mercado na área têxtil.

Sob o aspecto prático, vale destacar a eficiência e flexibilidade do MM, que permitem replicá-lo em outros contextos de negócios têxteis, bem como a realização de novas parametrizações associadas a cenários e decisores envolvidos. Em relação ao aspecto teórico, vale destacar o desenvolvimento do conhecimento na área têxtil voltada para MMs, com o alicerce de uma vasta revisão da literatura, contextualização do problema e aplicação para geração de resultados que demonstram a aplicabilidade do MM.

## **5.2 Limitações e propostas futuras**

Levando-se em consideração as limitações e dificuldades deste estudo, destacam-se as restrições causadas pela pandemia da COVID-19. Estas restrições impuseram barreiras na execução do estudo, desde o levantamento de informações iniciais, reuniões com especialistas e demais envolvidos, bem como no processo de avaliação das empresas, resultando em que todas estas atividades fossem conduzidas à distância.

Assim, não foi possível realizar visitas às organizações o que poderia gerar maior volume e qualidade das informações incorporadas no MM, bem como realizar reuniões presenciais com empresas e instituições de classe que pudessem apoiar de maneira mais efetiva esta pesquisa. Como resultado, a amostra de empresas adquirida para realizar a aplicação do modelo foi reduzida, porém suficiente para a demonstração da aplicabilidade e robustez do MM.

Conforme citado anteriormente, o MM proposto pode ser utilizado em outros contextos de negócios têxteis e de confecções, com a readequação de parâmetros e informações específicas dos cenários eventualmente avaliados. Assim, sugere-se para trabalhos futuros pós pandemia:

- Considerando o contexto do APL têxtil pernambucano e interesse das organizações que o compõe, pode-se realizar a estruturação de um MM baseado na avaliação de especialistas da região, de maneira que o modelo possa proporcionar um panorama de maturidade, considerando as especificidades da localidade em relação ao mercado no cenário local (porte das empresas, modelos de negócio).
- Em relação ao SAD do FITtradeoff para problemática de classificação, sugere-se também que sejam incorporadas funcionalidades que permitam a mensuração do nível de maturidade por critério avaliado, além da avaliação global. Esta visão poderá fornecer um cenário de decomposição da maturidade para facilitação do entendimento dos resultados e melhor suporte ao planejamento de ações de melhoria por parte dos envolvidos;
- Incorporação de informações quantitativas no questionário de avaliação baseadas em visitas realizadas pelos envolvidos (decisor, analistas) de maneira que estas possibilitem uma mensuração regular de aspectos tecnológicos (quantidade de terminais, conexões entre dispositivos) com objetivo de contribuir na composição dos resultados de maturidade;
- Realizar estudos estatísticos para dimensionar amostras representativas das empresas do APL têxtil do Agreste, afim de avaliar uma amostra que permita um diagnóstico de maturidade abrangente do APL;
- Desenvolvimento de novos estudos em outras regiões produtoras de artigos têxteis para avaliar áreas funcionais mais específicas de negócios (suprimentos, logística) com incorporação de novos parâmetros e informações factíveis;
- Estudos de viabilidade de desenvolvimento de outros modelos baseados em métodos multicritério com estrutura e propostas diferentes (racionalidade, preferências) que atendam a necessidade de processos específicos.

## REFERÊNCIAS

- ABIT. O Poder da moda: Cenários, Desafios e Perspectivas. Agenda de Competitividade da Indústria Têxtil e de Confecção Brasileira 2015 a 2018 *ABIT - Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção*. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <[http://abit-files.abit.org.br/site/publicacoes/Poder\\_moda-cartilhabx.pdf](http://abit-files.abit.org.br/site/publicacoes/Poder_moda-cartilhabx.pdf)>.
- ABIT. Abit - Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção. Disponível em: <<https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>>. Acesso em: 14 jul. 2021.
- ACATECH. Industry 4.0 maturity index: Managing the Digital Transformation of Companies. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <[www.acatech.de/publikationen](http://www.acatech.de/publikationen)>.
- AHMAD, S. et al. Towards sustainable textile and apparel industry: Exploring the role of business intelligence systems in the era of industry 4.0. *Sustainability (Switzerland)*, v. 12, n. 7, 2020.
- AKDIL, K. Y.; USTUNDAG, A.; CEVIKCAN, E. Maturity and Readiness Model for Industry 4.0 Strategy. In: *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*. 1. ed. [s.l.] Springer, Cham, 2018. p. 61–94.
- AMORIM, J. F. DE O.; PRAZERES, R. V. DOS; SANTOS, C. DOS. O DESENVOLVIMENTO DO APL DE CONFECÇÕES : UM ESTUDO SOCIOECONÔMICO SOBRE O AGRESTE PERNAMBUCANO. *Revista Economia Política do Desenvolvimento*, p. 39–56, 2017.
- ANDERSEN, K. V.; HENRIKSEN, H. Z. E-government maturity models: Extension of the Layne and Lee model. *Government Information Quarterly*, v. 23, n. 2, p. 236–248, 2006.
- ANGLISH, A. et al. A flexible data schema and system architecture for the virtualization of manufacturing machines (VMM). *Journal of Manufacturing Systems*, v. 45, p. 236–247, 1 out. 2017.
- ARAZ, C.; OZKARAHAN, I. Supplier evaluation and management system for strategic sourcing based on a new multicriteria sorting procedure. *International Journal of Production Economics*, v. 106, n. 2, p. 585–606, 2007.
- AYTES, K.; C. BEACHBOARD, J. Using the Information Orientation Maturity Model to Increase the Effectiveness of the Core MBA IS Course. *Journal of Information Technology Education: Research*, v. 6, n. January, p. 371–385, 2007.
- BANA E COSTA, C. A.; VANSNICK, J. C. MACBETH - An interactive path towards the construction of cardinal value functions. *International Transactions in Operational Research*, v. 1, n. 4, p. 489–500, 1994.

- BATISTA, J.; COSTA, A. P. C. S. A multi-criteria model for selecting a project management maturity model. INSID Meeting, 2020Disponível em: <<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-64399-7>>
- BELACEL, N.; RAVAL, H. B.; PUNNEN, A. P. Learning multicriteria fuzzy classification method PROAFTN from data. *Computers and Operations Research*, v. 34, n. 7, p. 1885–1898, 2007.
- BELLINI, E.; LO STORTO, C. The impact of software capability maturity model on knowledge management and organisational learning: empirical findings and useful insights. *International Journal of Information Systems and Change Management*, v. 1, n. 4, p. 339–373, 2006.
- BELTON, V.; STEWART, T. J. *MULTIPLE CRITERIA DECISION ANALYSIS: An Integrated Approach*. [s.l.] Springer-Science+Business Media, B.V., 2002.
- BENAYOUN, R.; ROY, B.; SUSSMAN, B. ELECTRE : Une méthode pour guider le choix en présence de points de vue multiples.*Note de travail 49SEMAMETRA* International, Direction Scientifique, , 1966.
- BERTOLA, P.; TEUNISSEN, J. Fashion 4.0. Innovating fashion industry through digital transformation. *Research Journal of Textile and Apparel*, v. 22, n. 4, p. 352–369, 2018.
- BITKOM; VDMA; ZVEI. Implementation Strategy Industrie 4.0 Report on the results of the Industrie 4.0 Platform. [s.l: s.n.].
- BRANS, J. P. L'ingénierie de la décision: élaboration d'instruments d'aide à la décision. La méthode PROMETHEE. *Presses de l'Université Laval*, 1982.
- BRUNO, F. DA S. *A quarta revolução industrial do setor têxtil e de confecção: a visão de futuro para 2030*. 1. ed. São Paulo: Estação das Letras e Cores, 2016.
- CANIATO, F. et al. Towards full integration: EProcurement implementation stages. *Benchmarking*, v. 17, n. 4, p. 491–515, 2010.
- CAUCHICK, P. *Metodologia de pesquisa em engenharia de produção*. Rio de Janeiro: Elsevier: Abepro, 2018.
- CHEN, B. et al. Smart Factory of Industry 4.0: Key Technologies, Application Case, and Challenges. *IEEE Access*, v. 6, p. 6505–6519, 2017.
- CHEN, C. L. Value Creation by SMEs Participating in Global Value Chains under Industry 4.0 Trend: Case Study of Textile Industry in Taiwan. *Journal of Global Information Technology Management*, v. 22, n. 2, p. 120–145, 2019.
- CHEN, Y.; MARC KILGOUR, D.; HIPEL, K. W. Multiple criteria classification with an

application in water resources planning. *Computers and Operations Research*, v. 33, n. 11, p. 3301–3323, 2006.

CNI. O setor têxtil e de confecção e os desafios da sustentabilidade *Confederação Nacional da Indústria, Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção*. Brasília: [s.n.]. Disponível em: <[https://bucket-gw-cni-static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/filer\\_public/bb/6f/bb6fdd8d-8201-41ca-981d-deef4f58461f/abit.pdf](https://bucket-gw-cni-static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/filer_public/bb/6f/bb6fdd8d-8201-41ca-981d-deef4f58461f/abit.pdf)>.

DAVIS, P. R.; WALKER, D. H. T. Building capability in construction projects: A relationship-based approach. *Engineering, Construction and Architectural Management*, v. 16, n. 5, p. 475–489, 2009.

DE ALMEIDA, A. T. *Processo de Decisão nas Organizações - Construindo Modelos de Decisão Multicritério*. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2013.

DE ALMEIDA, A. T. et al. *Multicriteria and Multiobjective Models for Risk, Reliability and Maintenance Decision Analysis*. [s.l: s.n.]. v. 231

DE ALMEIDA, A. T. et al. A new method for elicitation of criteria weights in additive models: Flexible and interactive tradeoff. *European Journal of Operational Research*, v. 250, n. 1, p. 179–191, 2016.

DE JESUS, C.; LIMA, R. M. Literature search of key factors for the development of generic and specific maturity models for industry 4.0. *Applied Sciences (Switzerland)*, v. 10, n. 17, 2020.

DELL’OVO, M. et al. Multicriteria decision making for healthcare facilities location with visualization based on FITradeoff method. *Lecture Notes in Business Information Processing*, v. 282, n. Dm, p. 32–44, 2017.

DIKHANBAYEVA, D. et al. Assessment of industry 4.0 maturity models by design principles. *Sustainability*, v. 12, n. 23, p. 1–22, 2020.

DING, K. et al. Defining a Digital Twin-based Cyber-Physical Production System for autonomous manufacturing in smart shop floors. *International Journal of Production Research*, v. 57, n. 20, p. 6315–6334, 18 out. 2019.

DOUMPOS, M.; ZOPOUNIDIS, C. *Multicriteria Decision Aid Classification Methods*. New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow: Kluwer Academic Publishers, 2004.

ECONOMIA, M. DA. APL — Português (Brasil). Disponível em: <<https://www.gov.br/produtividade-e-comercio-exterior/pt-br/assuntos/competitividade-industrial/arranjos-produtivos-locais-apl>>. Acesso em: 27 jul. 2021.

EDWARDS, W.; HUTTON BARRON, F. SMARTS and SMARTER: Improved Simple Methods for Multiattribute Utility Measurement *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 1994.

ELIBAL, K.; ÖZCEYLAN, E. A systematic literature review for industry 4.0 maturity modeling: state-of-the-art and future challenges. *Kybernetes*, 2020.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. A new textiles economy: Redesigning fashion's future. *Ellen MacArthur Foundation*, p. 1–150, 2017.

FERREIRA, D. V.; GUSMÃO, A. P. H. DE; SOUSA, E. E. M. Industry 4.0 maturity models assessment - a multicriteria approach. The 7th International Conference on Decision Support System Technology – ICDSST 2021. *Anais...Loughborough: 2021*

FIEMG. Gestão para resultados: Programa de competitividade industrial regional. Bleo Horizonte: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.gdimata.com.br/wp-content/uploads/2016/10/Estudo-setorial-Têxtil.pdf>>.

FLORES, M. et al. Constructing a control chart using functional data. *Mathematics*, v. 8, n. 1, p. 1–26, 2020.

FOSSILE, D. K. et al. Selecting the most viable renewable energy source for Brazilian ports using the FITradeoff method. *Journal of Cleaner Production*, v. 260, p. 121107, 2020.

FREJ, E. A.; DE ALMEIDA, A. T.; COSTA, A. P. C. S. Using data visualization for ranking alternatives with partial information and interactive tradeoff elicitation. *Operational Research*, v. 19, n. 4, p. 909–931, 2019.

FU, B.; SHU, Z.; LIU, X. Blockchain enhanced emission trading framework in fashion apparel manufacturing industry. *Sustainability (Switzerland)*, v. 10, n. 4, p. 1–19, 2018.

GEORGAKOPOULOS, D. et al. Internet of Things and Edge Cloud Computing Roadmap for Manufacturing. *IEEE Cloud Computing*, v. 3, n. 4, p. 66–73, jul. 2016.

GÖKALP, E.; ŞENER, U.; EREN, P. E. Development of an assessment model for industry 4.0: Industry 4.0-MM. *Communications in Computer and Information Science*, v. 770, n. November, p. 128–142, 2017.

GOTTSCHALK, P. Maturity levels for interoperability in digital government. *Government Information Quarterly*, v. 26, n. 1, p. 75–81, 2009.

GRANT, K. P.; PENNYPACKER, J. S. Project Management Maturity - An Assessment across a number of industries. v. 53, n. 1, p. 59–68, 2006.

GTAI (GERMANY TRADE & INVEST). Industrie 4.0-Smart Manufacturing for the future Berlin, 2014.

- HIZAM-HANAFIAH, M.; SOOMRO, M. A.; ABDULLAH, N. L. Industry 4.0 readiness models: A systematic literature review of model dimensions. *Information*, v. 11, n. 7, p. 1–13, 2020.
- HUYNH, N. T.; CHIEN, C. F. A hybrid multi-subpopulation genetic algorithm for textile batch dyeing scheduling and an empirical study. *Computers and Industrial Engineering*, v. 125, p. 615–627, 2018.
- IEMI. Estudo da Competitividade dos Setores Têxtil e Confeccionista no Estado de Pernambuco. São Paulo: [s.n.].
- JAN VAN ECK, N.; WALTMAN, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. 2010.
- JAZDI, N. Cyber physical systems in the context of Industry 4.0. Proceedings of 2014 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics, AQTR 2014. *Anais...IEEE Computer Society*, maio 2014Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6857843/>>. Acesso em: 6 abr. 2020
- KANG, T. H. A.; FREJ, E. A.; DE ALMEIDA, A. T. Flexible and interactive tradeoff elicitation for multicriteria sorting problems. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, v. 37, n. 5, p. 1–22, 2020.
- KAZANJIAN, R. K.; DRAZIN, R. An Empirical Test of a Stage of Growth Progression Model. *Management Science*, v. 35, n. 12, p. 1489–1503, 1989.
- KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-Offs*. New York: Wiley and Sons, 1976.
- KESKIN, F. D.; KABASAKAL, İ.; KAYMAZ, Y. Proceedings of the International Symposium for Production Research 2018. *Proceedings of the International Symposium for Production Research 2018*, p. 85–100, 2019.
- KLINGENBERG, C. O.; BORGES, M. A. V.; ANTUNES, J. A. V. Industry 4.0 as a data-driven paradigm: a systematic literature review on technologies. *Journal of Manufacturing Technology Management*, n. 88881, 2019.
- KON, A.; GOMIDE, R. P.; COAN, D. C. Transformações da indústria têxtil brasileira: a transição para a modernização. *Revista de Economia Mackenzie*, v. 3, n. 3, p. 11–34, 2005.
- LALIC, B.; RAKIC, S.; MARJANOVIC, U. Use of industry 4.0 and organisational innovation concepts in the Serbian textile and apparel industry. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, v. 27, n. 3, p. 10–18, 2019.
- LASI, H. et al. Pillars of Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, p. 1–4,

2014.

LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H. A. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, v. 3, p. 18–23, 1 jan. 2015.

LEE, Y. H. et al. Flexible Field-Effect Transistor-Type Sensors Based on Conjugated Molecules *Chem* Elsevier Inc, , 9 nov. 2017.

LÉGER, J.; MARTEL, J. M. A multicriteria assignment procedure for a nominal sorting problematic. *European Journal of Operational Research*, v. 138, n. 2, p. 349–364, 2002.

LEYH, C. et al. SIMMI 4.0-a maturity model for classifying the enterprise-wide it and software landscape focusing on Industry 4.0. *Proceedings of the 2016 Federated Conference on Computer Science and Information Systems, FedCSIS 2016*, v. 8, p. 1297–1302, 2016.

LI, X. et al. A review of industrial wireless networks in the context of Industry 4.0. *Wireless Networks*, v. 23, n. 1, p. 23–41, 1 jan. 2017.

LIAO, Y. et al. Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal. *International Journal of Production Research*, v. 55, n. 12, p. 3609–3629, 2017.

LICHTBLAU, K. et al. IMPULS: Industrie 4.0 Readiness. Aachen, Cologne: [s.n.].

LIKERT, R. A technique for the measurement of attitudes. *Archives of psychology*, 1932.

LIN, T. C.; WANG, K. J.; SHENG, M. L. To assess smart manufacturing readiness by maturity model: a case study on Taiwan enterprises. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, v. 33, n. 1, p. 102–115, 2020.

LOM, M.; PRIBYL, O.; SVITEK, M. Industry 4.0 as a part of smart cities. *2016 Smart Cities Symposium Prague, SCSP 2016*, p. 1–6, 2016.

LOOY, A. VAN et al. Choosing the right business process maturity model. *Information & Management*, v. 50, n. 7, p. 466–488, 2013.

LU, Y. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, v. 6, p. 1–10, 2017.

MARTINS, M. A. et al. Multicriteria Model Based on FITradeoff Method for Prioritizing Sections of Brazilian Roads by Criticality. *Mathematical Problems in Engineering*, v. 2020, 2020.

MASSAGLIA, M.; OSTANELLO. N-TOMIC: A support system for multicriteria segmentation problems. Korhonen, P. (Ed.), International Workshop on Multicriteria Criteria Decision Support. *Anais...* Berlin: Springer, 1989 Disponível em: <<http://www.iiasa.ac.at/Admin/PUB/Documents/XB-91-005.pdf#page=67>>



MAYUMI, R.; FUJITA, L.; JORENTE, M. J. A Indústria Têxtil no Brasil: uma perspectiva histórica e cultural. *Revista ModaPalavra e-Periódico*, v. 8, n. 15, p. 91–105, 2015.

MC CAFFERY, F.; BURTON, J.; RICHARDSON, I. Risk management capability model for the development of medical device software. *Software Quality Journal*, v. 18, n. 1, p. 81–107, 2010.

MOSCAROLA, J.; ROY, B. *Aide a la decision en presence de criteres multiples fondee sur une procedure trichotomique: Methodologie et application*. [s.l.] Universite de Paris Dauphine, 1977.

ÖBERG, C.; GRAHAM, G. How smart cities will change supply chain management: A technical viewpoint. *Production Planning and Control*, v. 27, n. 6, p. 529–538, 25 abr. 2016.

PARK, K. T. et al. Cyber Physical Energy System for Saving Energy of the Dyeing Process with Industrial Internet of Things and Manufacturing Big Data. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology*, v. 7, n. 1, p. 219–238, 2020.

PERNY, P. Multicriteria filtering methods based on concordance and non-discordance principles. *Annals of Operations Research*, v. 80, p. 137–165, 1998.

PIROLA, F.; CIMINI, C.; PINTO, R. Digital readiness assessment of Italian SMEs: a case-study research. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v. 31, n. 5, p. 1045–1083, 2020.

PÖPPELBUSS, J.; RÖGLINGER, M. What makes a useful maturity model? A framework of general design principles for maturity models and its demonstration in business process management. *19th European Conference on Information Systems, ECIS 2011*, 2011.

PRICEWATERHOUSECOOPERS. Industry 4.0: Building the digital enterprise *Industry 4.0: Building the digital enterprise*. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <[www.pwc.com/industry40](http://www.pwc.com/industry40)>.

QI, Q.; TAO, F. A Smart Manufacturing Service System Based on Edge Computing, Fog Computing, and Cloud Computing. *IEEE Access*, v. 7, p. 86769–86777, 2019.

QIN, S. J.; CHIANG, L. H. Advances and opportunities in machine learning for process data analytics. *Computers and Chemical Engineering*, v. 126, p. 465–473, 2019.

RAFAEL, L. D. et al. An Industry 4.0 maturity model for machine tool companies. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 159, n. July, p. 120203, 2020.

RAMOS, P. M. DA S. *Modelo para classificação de SGSST usando ELECTRE TRI-B e processo multicritério hierárquico*. [s.l.] Universidade Federal de Pernambuco, 2020.

ROCKWELL AUTOMATION. The Connected Enterprise Maturity Model. [s.l.: s.n.]. Disponível em:

<<http://www.rockwellautomation.com/rockwellautomation/innovation/connected-enterprise/maturity-model.page?>>.

ROY, B. Classement et choix en présence de points de vue multiples: La méthode ELECTRE. *R.I.R.O.*, v. 8, p. 57–75, 1968.

ROY, B. The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods. *Theory and Decision*, v. 31, p. 49–73, 1991.

ROY, B. *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. [s.l.] Springer Science+Business Media Dordrecht, 1996.

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, v. 15, n. 3, p. 234–281, 1977.

SCHUMACHER, A.; EROL, S.; SIHN, W. A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. *Procedia CIRP*, v. 52, p. 161–166, 2016.

SCHWAB, K. *The Fourth Industrial Revolution*. 1. ed. Switzerland: World Economic Forum, 2016. v. 1

SEBRAE. Estudo econômico do Arranjo Produtivo Local de confecções do Agreste Pernambucano, 2012. p. 151, 2013.

SENAI-CETIQT. Estudos sobre a Indústria Têxtil e de Confecção nas Américas : Análises de Mercado e Oportunidades de Negócios. Rio de Janeiro: [s.n.].

SILVA, M. M.; GUSMÃO, A. P. H. DE. PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO DE EMPRESAS EM RELAÇÃO A SI/TI USANDO O GRID ESTRATÉGICO E ABORDAGEM NOMINAL. XLVII - Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional - SBPO. **Anais...**Ipojuca: 2015

SIMETINGER, F.; ZHANG, Z. Deriving secondary traits of industry 4.0: A comparative analysis of significant maturity models. *Systems Research and Behavioral Science*, v. 37, n. 4, p. 663–678, 2020.

SINGAPORE ECONOMIC DEVELOPMENT BOARD. The Singapore Smart Industry Readiness Index: Catalyzing the transformation of manufacturing. p. 1–46, 2018.

SONY, M.; NAIK, S. Key ingredients for evaluating Industry 4.0 readiness for organizations: a literature review. *Benchmarking*, 2019.

TAO, F. et al. SDMSim: A manufacturing service supply–demand matching simulator under cloud environment. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, v. 45, p. 34–46, 1 jun. 2017.

TCHANGANI, A. P. Selectability / Rejectability Measures Approach for Nominal Classification. *Journal of Uncertain Systems*, v. 3, n. 4, p. 257–269, 2009.

- TCHANGANI, A. P. Bipolar aggregation method for fuzzy nominal classification using weighted cardinal fuzzy measure (WCFM). *Journal of Uncertain Systems*, v. 7, n. 2, p. 138–151, 2013.
- TSAI, W. H. Green production planning and control for the textile industry by using mathematical programming and industry 4.0 techniques. *Energies*, v. 11, n. 8, 2018.
- VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. CitNetExplorer: A new software tool for analyzing and visualizing citation networks. *Journal of Informetrics*, v. 8, n. 4, p. 802–823, 2014.
- WAGIRE, A. A. et al. Development of maturity model for assessing the implementation of Industry 4.0: learning from theory and practice. *Production Planning and Control*, v. 0, n. 0, p. 1–20, 2020.
- WAN, J. 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, 15 out. 2016.
- WAN, J. et al. A Manufacturing Big Data Solution for Active Preventive Maintenance. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, v. 13, n. 4, p. 2039–2047, 1 ago. 2017.
- WANG, J. et al. Deep learning for smart manufacturing: Methods and applications. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 48, p. 144–156, 1 jul. 2018.
- WANG, S. et al. Towards smart factory for industry 4.0: A self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination. *Computer Networks*, v. 101, p. 158–168, 4 jun. 2016.
- WEBER, C. et al. M2DDM - A Maturity Model for Data-Driven Manufacturing. *Procedia CIRP*, v. 63, p. 173–178, 2017.
- WEN, L.; GAO, L.; LI, X. A new deep transfer learning based on sparse auto-encoder for fault diagnosis. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, v. 49, n. 1, p. 136–144, 1 jan. 2019.
- WENDLER, R. The maturity of maturity model research: A systematic mapping study. *Information and Software Technology*, v. 54, n. 12, p. 1317–1339, 2012.
- WMG. An Industry 4 Readiness Assessment Tool. [s.l.: s.n.].
- WU, D. et al. A Comparative Study on Machine Learning Algorithms for Smart Manufacturing: Tool Wear Prediction Using Random Forests. *Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME*, v. 139, n. 7, 1 jul. 2017.
- YU, W. ELECTRE TRI: Aspects méthodologiques et manuel d'utilisation. *Document du Lamsade Université de Paris-Dauphine*, v. 74, 1992.
- ZHANG, X. et al. A reference framework and overall planning of industrial artificial

intelligence (I-AI) for new application scenarios. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 101:2367–2, 2018.

ZHONG, R. Y. et al. A big data approach for logistics trajectory discovery from RFID-enabled production data. 2015.

ZHUANG, C.; LIU, J.; XIONG, H. Digital twin-based smart production management and control framework for the complex product assembly shop-floor. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 96, n. 1–4, p. 1149–1163, 1 abr. 2018.

ZOPOUNIDIS, C.; DOUMPOS, M. Multicriteria classification and sorting methods: A literature review. *European Journal of Operational Research*, v. 138, n. 2, p. 229–246, 2002.

## APENDICE A – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DA MATURIDADE DA INDÚSTRIA 4.0

Este questionário pretende conhecer a empresa avaliada sob diversos aspectos relacionados à maturidade da indústria 4.0, sendo parte relevante de uma pesquisa no campo da Engenharia de Produção.

Suas respostas são muito importantes para conseguirmos realizar este estudo. Pedimos que, por favor, seja sincero. O anonimato e confidencialidade das respostas estão garantidos. Não existem respostas certas ou erradas.

Para responder as questões com múltipla escolha, assinale na escala que lhe é apresentada com um X na opção que melhor traduz sua resposta sobre cada uma das afirmações.

O questionário está dividido em 5 seções: 1. Informações Gerais; 2. Estratégia e Inovação; 3. Fábrica e Processos; 4. Produtos Inteligentes e Sustentáveis; 5. Pessoas e Liderança.

Para maiores esclarecimentos, favor entrar em contato: Duan Vilela (duan.vilela@ufpe.br)  
UFPE

---

### 1. Informações Gerais

#### 1.1 Informações respondente:

Cargo na empresa: \_\_\_\_\_

Escolaridade: \_\_\_\_\_

Tempo de atuação na empresa: \_\_\_\_\_

E-mail: \_\_\_\_\_

Tem interesse de receber os resultados da pesquisa?

SIM ( )      NÃO ( )

#### 1.2 Informações empresa:

Área de atuação: \_\_\_\_\_

Principal produto: \_\_\_\_\_

Tempo de existência: \_\_\_\_\_

Quantidade de funcionários: \_\_\_\_\_

Município: \_\_\_\_\_

Para auxílio no entendimento dos conceitos e ferramentas relacionados à indústria 4.0, seguem dois vídeos do SENAI-SP bastante didáticos e rápidos que recomendamos a visualização:

- A. <https://www.youtube.com/watch?v=3ixQQ4elwm0>
- B. <https://www.youtube.com/watch?v=7TTifdrZ8TU>

O vídeo A traz o histórico, definições e ferramentas relacionadas à indústria 4.0, enquanto o B apresenta uma aplicação prática em uma planta de confecções (minifábrica), ilustrando como estas tecnologias podem ser utilizadas neste tipo de negócio.

**2. Estratégia e Inovação**

**2.1 - Como você descreve o status da implementação do plano/estratégia de implementação da indústria 4.0 na sua empresa?**

- Não há estratégia definida
- Estratégia em desenvolvimento
- Estratégia parcialmente implementada em estágio inicial
- Estratégia implementada em estágio avançado
- Estratégia totalmente implementada e finalizada

**2.2 - Existem indicadores de implantação da estratégia da indústria 4.0 na sua empresa?**

- Não há indicadores
- Indicadores em desenvolvimento
- Existem, mas são específicos de áreas em que a estratégia está sendo implementada
- Existem em todas as áreas, mas cada uma analisa seus indicadores de maneira independente
- Os indicadores são analisados estrategicamente na empresa de forma integrada entre áreas

**2.3 – Quais áreas da empresa receberam ou irão receber investimentos em tecnologias nos últimos 2 anos ou os próximos 2 anos? Assinale no quadro estas áreas (pode ser mais de uma).**

	Invest. Inexistente	Invest. Iniciante	Invest. Básico	Invest. Médio	Invest. Alto
Novos produtos e processos					
Produção/ Manufatura					
Compras					
Estoques/Logística					
Comercial					
Marketing					
RH					

**2.4 – Quais as técnicas e ferramentas Lean são aplicadas na empresa? (Permite várias respostas)**

- 5S
- Trabalho padronizado
- Troca rápida de ferramentas
- Manutenção produtiva total
- Produção puxada (kanban)
- PDCA
- Just in time

**3. Fábrica e Processos****3.1 – Na estrutura de equipamentos e processos são utilizados sensores/atuadores em pontos de controle específicos para gerar informações em tempo real em sistemas de informação?**

- Não são utilizados
- Poucas máquinas/processos utilizam
- Boa parte das máquinas/processos utilizam
- Todas as máquinas utilizam, mas para visualização local nas mesmas
- Todas utilizam e os dados são coletados para uma estrutura de sistemas integrada;

**3.2 – Qual o nível de automação das máquinas e equipamentos (Robôs, veículos autônomos, gêmeos digitais, etc)?**

- São totalmente manuais
- Algumas máquinas/células de produção são parcialmente automatizadas (possuem funções)
- Algumas máquinas/células de produção são totalmente automatizadas
- Todas as máquinas/células de produção são automatizadas
- Todos os sistemas são automatizados e integrados sistemicamente

**3.3 – Qual o nível de autonomia dos processos (flexibilidade, capacidade de adaptação à mudanças no ambiente, autocorreção, autodiagnóstico)?**

- Não possuem essa característica;
- Poucas máquinas/células de produção são capazes de se ajustar ;
- Algumas máquinas/células de produção possuem autonomia;
- Todas as máquinas/células de produção são autônomas, mas em seus processos;
- Todo o sistema produtivo é autônomo com máquinas e processos cooperando entre si

**3.4 – Na gestão das operações, são utilizados sistemas de informação (ERP, MES, CRM) e este são integrados contribuindo para melhores decisões sobre o negócio?**

- Não são utilizados sistemas de informação;
- Existe apenas um sistema, sem qualquer integração;
- Existem dois ou mais sistemas, de diferentes áreas, mas sem integração entre eles;

- ( ) Existem dois ou mais sistemas em diferentes áreas, mas a integração é limitada para alguns;
- ( ) Todo os sistemas existentes são integrados e compartilham dados e informações;

**3.5 – Existem interfaces de troca de informações (internet, sistemas) de maneira horizontal e/ou vertical na empresa? (Horizontal: Fornecedor/Fábrica/Cliente e Vertical: Desenvolvimento de Produtos/PCP/Vendas/Pós-vendas)**

- ( ) A comunicação não é realizada através da internet ou sistemas;
- ( ) Existem um ponto específico para entrada ou saída de informações (ex: site para clientes);
- ( ) Existem duas ou mais interfaces de diferentes áreas, mas sem integração total (vertical ou horizontal);
- ( ) O compartilhamento vertical é realizado internamente com sistemas, mas horizontalmente não existem interfaces diretas (ou vice versa);
- ( ) Existem interfaces entre sistemas e dispositivos que permitem compartilhar informações de forma vertical e horizontal integralmente;

**3.6 – Na coleta e processamento de dados de processo são utilizadas aplicações de computação em nuvem?**

- ( ) Não, todos os bancos de dados são locais;
- ( ) Existe apenas um sistema ou dispositivo que utiliza computação em nuvem;
- ( ) Existem dois ou mais sistemas que utilizam este tipo de tecnologia;
- ( ) Existem dois ou mais sistemas que utilizam, em áreas pontuais da empresa;
- ( ) A aplicação de computação em nuvem é amplamente difundida nos processos da empresa;

**3.7 – Existem processos de controle e regras de governança para acesso às informações da empresa?**

- ( ) Não, todas as informações transitam livremente entre áreas e pessoas da empresa;
- ( ) Informações relacionadas a uma área específica possuem controle de acesso;
- ( ) Existem duas áreas ou mais que possuem este tipo de processo;
- ( ) Várias áreas possuem, as regras e processos são definidos individualmente por elas;
- ( ) Existem diretrizes e normas de governança corporativa que orientam o acesso à informação na empresa;



**3.8 – Das soluções tecnológicas têxteis citadas no quadro abaixo, quais delas são conhecidas ou aplicadas na empresa que você trabalha? Assinale no quadro.**

	Não há conhecimento	É conhecida mas não é aplicada	Há planos de investimento para aplicar	Estão sendo realizados investimentos	São aplicadas em processos da empresa
Minifábricas					
Purchase Activated Manufacturing					
Active Tunnel Infusion					
Social Manufacturing					
Smart Textiles					
Impressão 3D					
3D Mirror					
CAD-3D					
AutoBody Scanning					

#### **4. Sustentabilidade**

**4.1 - Os equipamentos e processos da empresa possuem características de redução, reaproveitamento ou reciclagem de recursos (matéria prima, água, poluição do ar)?**

- ( ) Não possuem
- ( ) Estão sendo realizados estudos para investimentos deste tipo
- ( ) Um equipamento/processo específico tem esta característica
- ( ) Dois ou mais equipamentos são projetados para reduzir emissões e consumos;
- ( ) Todo o processo é sustentável, com consumos e emissões controlados/reduzidos.

**4.2 - A empresa tem desenvolvido ou aplica novas tecnologias de processos ou materiais associados a biofibras, biotecidos ou biorroupas?**

- ( ) Não desenvolve ou aplica;
- ( ) Estão sendo realizados estudos incorporar novos materiais aos produtos
- ( ) Há um produto que possui em sua estrutura material sustentável;
- ( ) Dois ou mais produtos possuem materiais sustentáveis em sua composição;
- ( ) Todo os produtos são produzidos com materiais biotecnológicos.

**4.3 - A empresa utiliza têxteis inteligentes? São componentes (matéria prima, fibras ou similares) que funcionam como sensores ou condutores térmicos, de tensão, pressão, químicos e biológicos que permitem a geração de informações provenientes da interação do tecido com o usuário e o ambiente, que sirvam de entrada para adequações de cor ou mudanças de forma, por exemplo.**

- ( ) Não fazem parte dos nossos produtos
- ( ) Estão sendo realizados estudos para investimentos deste tipo
- ( ) Um produto específico tem esta característica
- ( ) Dois ou mais produtos possuem têxteis inteligentes;
- ( ) Todo os produtos são confeccionados com este tipo de material.

## **5. Pessoas**

**5.1 - A empresa realiza ações de desenvolvimento dos funcionários em relação a suas competências, em especial da indústria 4.0 (treinamentos, desenvolvimento de novas habilidades)?**

- ( ) Não há ações neste sentido;
- ( ) Estão sendo realizados planejamentos para realização destas ações;
- ( ) São realizadas ações em áreas específicas da empresa, quando adquirimos novos equipamentos;
- ( ) A estratégia de desenvolvimento de pessoas vem sendo implementada em diversas áreas;
- ( ) Todas as áreas da empresa estão sendo compreendidas em ações de desenvolvimento constante para novas habilidades e competências relacionadas à indústria 4.0.

## **6. Liderança**

**6.1 - Qual é o nível de envolvimento, apoio e conhecimento das lideranças da empresa (direção executiva e gerência sênior) com relação ao tema Indústria 4.0?**

- ( ) Sem envolvimento
- ( ) Baixo envolvimento. As lideranças conhecem as oportunidades e desafios da Indústria 4.0, mas não possuem conhecimento específico sobre questões digitais;

- ( ) Médio envolvimento. As lideranças reconhecem a importância e entendem as oportunidades de desafios para a empresa e estão definindo sua estratégia de transformação digital;
- ( ) Médio/Alto envolvimento. As lideranças reconhecem a importância e entendem as oportunidades de desafios para a empresa e estão definindo sua estratégia de transformação digital para algumas áreas, inicialmente;
- ( ) Alto envolvimento. Todos conhecem plenamente sobre o tema Indústria 4.0 e reconhecem sua importância, oportunidades e desafios, bem como já possuem uma visão e planejamento estratégico para transformação digital da empresa.