



## **HIERARQUIA CONDICIONAL ENTRE ELEMENTOS DO PILAR “CAPACITADORES” NA ARQUITETURA FUNCIONAL DO PCP DA INDÚSTRIA 4.0**

**Paulo Eduardo Pissardini (UFSCar São Carlos)**  
[paulo.pissardini@estudante.ufscar.com.br](mailto:paulo.pissardini@estudante.ufscar.com.br)

**José Benedito Sacomano (Universidade Paulista)**  
[jbsacomano@gmail.com](mailto:jbsacomano@gmail.com)

**Mário Henrique Bueno Moreira Callefi (UFSCar São Carlos)**  
[mariocallefi@gmail.com](mailto:mariocallefi@gmail.com)

*A identificação da hierarquia condicional existente entre elementos do pilar “Capacitadores”, um dos quatro pilares de um Sistema de Planejamento e Controle da Produção (PCP) num Paradigma Estratégico de Gestão de Manufatura (PEGEM) é um passo importante em direção à um processo de implantação mais eficiente de um Sistema de (PCP). Este artigo classifica os elementos “capacitadores” da Indústria 4.0 segundo sua densidade (importância) e categoria (Ferramenta, Metodologia, Tecnologia). Propôs-se um Framework para o pilar “Capacitadores”, refinando e atualizando a Arquitetura Funcional atualmente existente. Adotou-se como metodologia uma ampla revisão bibliográfica da literatura, classificando os elementos em Fundamentais ou Base, Estruturantes e Complementares. Os resultados deste trabalho apresentam um Framework denominado Casa dos capacitadores. Apresentou-se, por fim, um modelo atualizado de Arquitetura Funcional do PCP no PEGEM I-4.0. Esta pesquisa contribui para uma melhor compreensão da Hierarquia Condicional entre elementos do pilar “Capacitadores”. A pesquisa aponta também implicações teóricas e práticas deste trabalho. Concluiu-se que a apresentação de uma formatação fina para o pilar “Capacitadores” na Arquitetura Funcional do PCP da I-4.0 permite tanto maior compreensão quanto um processo de implantação do modelo uma vez que permite a identificação visual dos elementos fundamentais (de maior importância) à Indústria 4.0.*

*Palavras-chave: Arquitetura Funcional; Hierarquia Condicional; Indústria 4.0; Planejamento e Controle da Produção.*

## 1. Introdução

Cada vez mais presente em nosso dia a dia, a quarta revolução industrial já é uma realidade em países de primeiro mundo. Iniciado em 2011, fruto de um projeto estratégico do governo alemão, a então denominada *Plattform Industrie 4.0* (Plataforma Indústria 4.0) objetivava o desenvolvimento de tecnologias de modo a permitir que sistemas automatizados individuais pudessem se comunicar, podendo esta comunicação ocorrer tanto entre máquinas quanto entre máquinas e seres humanos, fato este que trouxe consigo uma ruptura no modo de gerenciamento e produção de bens e serviços.

No âmbito do Planejamento e Controle da Produção (PCP), Pissardini e Sacomano (2018) utilizaram a metodologia proposta por Godinho Filho (2004) para verificar se a Indústria 4.0 (I-4.0) se configura como um novo Paradigma Estratégico de Gestão de Manufatura. Obtendo resultado positivo, os autores apresentaram uma Arquitetura Funcional para o PCP no âmbito da I-4.0 (PISSARDINI E SACOMANO, 2019).

Dentre os inúmeros questionamentos que surgiram após a apresentação da referida arquitetura, as questões mais sensíveis referiam-se à grande controvérsia existente entre o Planejamento da Produção (PP) e o Controle da Produção (CP), apontadas por diversos pesquisadores como Fernandes e Godinho Filho (2007) e à existência de uma hierarquia condicional entre os elementos do pilar “Princípios” e do pilar “Capacitadores”. Pissardini e Sacomano (2020) verificaram a manutenção ou ruptura dos princípios e fundamentos do PCP convencional com o advento da I-4.0 e apontaram a maior integração (Máquina a Máquina (M2M), Máquinas e Seres Humanos (M2H), entre processos e entre cadeias de suprimentos), como responsável pela consequente redução dos limites que separam o PP do CP (Pissardini e Sacomano, 2020).

Desta forma, acredita-se que o *Framework* gerado a partir deste estudo trará novos avanços na construção do conhecimento no sub tema PCP no âmbito da I-4.0, tanto na teoria quanto na prática. Na sequência, para propor o *Framework*, fruto deste estudo, dar-se a início à seção 2, apresentando de forma sucinta, o caráter evolucionário dos principais termos deste trabalho, tais como I-4.0, PCP, Paradigmas Estratégicos de Gestão de Manufatura (PEGEMs). A seção 3 articula a questão central deste trabalho, descrevendo o método utilizado na coleta e tratamento dos dados. A seção 4 apresenta as discussões e as implicações teóricas e práticas desta pesquisa, tecendo considerações acerca de trabalhos futuros. A seção 5 apresenta as conclusões da pesquisa.

## 1.1. Objetivos

Objetiva-se com este trabalho verificar a existência de uma hierarquia condicional entre elementos do pilar “Capacitadores” do PEGEM I-4.0, apresentando um *Framework* que descreva a configuração desta hierarquia.

## 2. Revisão Bibliográfica

Esta seção analisa a literatura no campo da I-4.0, subcampo do PCP, especificamente nos elementos do pilar “Capacitadores”. A I-4.0 é um campo de pesquisa recente e formatações finas do subcampo PCP permanece com limitações teóricas e conhecimentos empíricos.

### 2.1. Indústria 4.0

Rápidos avanços nos métodos de industrialização e informatização tem motivado um tremendo desenvolvimento da nova geração de tecnologia da manufatura (XU; XU; LI, 2018).

Com a chegada da I-4.0 e as profundas mudanças ocorridas no complexo ecossistema industrial, existe uma necessidade de abraçar novas tecnologias e novos processos de negócio que auxiliarão uma organização industrial na adaptação com arquiteturas empresariais existentes (RENNUNG; LUMINOSU; DRAGHICI, 2016), (XU; XU; LI, 2018).

De acordo com GTAI (2014), estamos no auge da quarta revolução industrial, onde os mundos da produção e da conectividade de rede estão integrados através da Internet das Coisas (IoT) e dos Sistemas Ciber Físicos (CPS).

TAO et al (2016) afirma que a I-4.0 oferece novas oportunidades para empresas analisarem e utilizarem dados de *design*, produção, fornecimentos e inventários para ajudá-las a realizar sua visão de modernização.

A integração, consolidação a aplicação coordenadas tem sido identificadas como problema crítico no ambiente I-4.0 (XU; XU; LI, 2018).

Para que este *gap* seja minimizado, torna-se necessário verificar a existência de uma hierarquia condicional entre elementos do pilar “Capacitadores” do PEGEM I-4.0.

A existência e posterior apresentação desta hierarquia pode representar um grande avanço, gerando um roteiro para implantação gradual da I-4.0.

### 2.2. Paradigmas Estratégicos de Gestão de Manufatura

Paradigmas Estratégicos de Gestão de Manufatura são modelos/padrões estratégicos e integrados de gestão, direcionadas a certas situações do mercado, que se propõe a auxiliar as

empresas a alcançarem determinado(s) objetivos (s) de desempenho; Paradigmas estes compostos de uma série de princípios e capacitadores que possibilitam que a empresa, a partir de sua função manufatura, atinja tais objetivos, aumentando desta forma seu poder competitivo (GODINHO FILHO, 2004).

De acordo com o mesmo autor, cada PEGEM possui uma configuração específica que possibilita que o paradigma atinja os objetivos de mercado. Dentre as configurações, cita-se aqui a existência de 4 pilares que formam a base de qualquer paradigma, sendo eles os Princípios, os Direcionadores, os Capacitadores e os Objetivos de desempenho.

Pissardini e Sacomano (2019) alterou o termo configuração para Arquitetura Funcional do Planejamento e Controle da Produção (AFPCP) uma vez que o novo termo confere maior aderência entre um PEGEM e sua respectiva configuração. Segundo os autores uma AFPCP I-4.0 pode ser definida como “Um ambiente que abriga diversas atividades, funções e elementos, que envolvam ou não humanos e que satisfaça os requisitos necessários para integrar de forma funcional os elementos formadores do PEGEM e suas necessidades adicionais”

### **2.3. Planejamento e Controle da Produção**

Os Sistemas de Planejamento e Controle da Produção são um conjunto de ferramentas cruciais para atingir expectativas e demandas cada vez mais altas dos clientes, no presente, num ambiente de produção altamente competitivo (STEVENSON, HENDRY and KINGSMAN, 2005). Dentre as questões que um sistema de PCP busca responder, as mais comuns são, segundo Zaccarelli (1987), o que produzir, quando, onde e com o que produzir (recursos).

No entanto, uma série de elementos distintos compõem a arquitetura Funcional de cada um dos Paradigmas, tornando estas questões uma tarefa complexa de ser realizada.

A evolução dos PEGEMs trouxe consigo maior integração de tarefas. A I-4.0 exige uma formatação peculiar para o PCP uma vez que, para que o Sistema de Coordenação de Ordens (SCO) funcione de forma eficiente o mesmo deve alimentar um Sistema de Execução de manufatura (MES) que, por consequência, alimenta um Sistema de Recursos da Empresa (ERP), no nível vertical de integração. No nível horizontal de integração as informações recebidas pelo MES são então utilizadas para alimentar processos que vão do cliente final ao suprimento num sistema de produção puxada. Tudo isso com velocidade, agilidade e precisão nunca visto em outro Paradigma.

### 3. Aspectos Metodológicos

Pesquisando a literatura que aborda os termos PCP, PEGEMs e Indústria 4.0 nas principais bases de dados como *Web of Science*, CAFE, Elsevier e Taylor & Francis não se encontrou modelos que descrevam a existência de alguma hierarquia condicional entre elementos de um pilar de um PEGEM. Este trabalho busca preencher esta lacuna, respondendo à seguinte questão: Como se configura a hierarquia condicional entre elementos do pilar “Capacitadores” da Indústria 4.0?

O artigo apresenta então, a proposta de um modelo conceitual que descreve a configuração do pilar “Capacitadores”, em termos de hierarquia condicional, ou seja, classifica os elementos em termos de hierarquia segundo definição apresentada por Sátyro e Sacomano (2018). Os elementos aqui considerados como de alta densidade são classificados como elementos base ou fundamentais, os elementos considerados de média densidade são classificados como elementos estruturantes e os elementos de baixa densidade são classificados como elementos complementares.

De acordo com Sátyro e Sacomano (2018), elementos base ou fundamentais representam a base tecnológica fundamental sobre a qual o próprio conceito de I-4.0 se apoia e sem os quais não poderia existir. Elementos estruturantes são tecnologias e/ou conceitos que permitem a construção de aplicações da I-4.0. Elementos complementares são elementos que ampliam as possibilidades da I-4.0 mas que não necessariamente tornam 4.0 as aplicações industriais que eventualmente as utilizem.

Optou-se pela análise teórica como método a ser utilizado devido à dificuldade de acesso às empresas que trabalham em ambientes 4.0 e a complexidade do estudo.

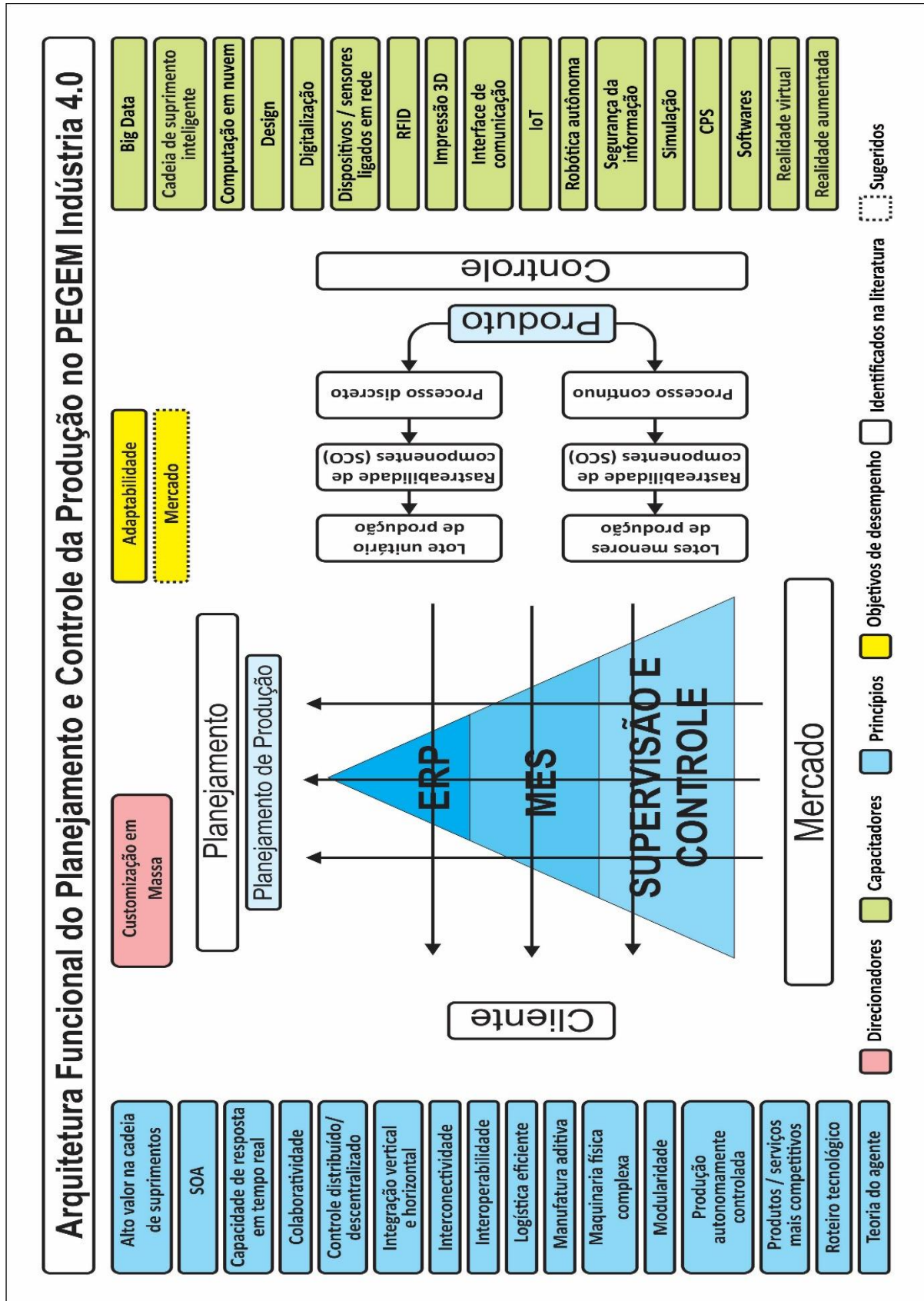
Realizou-se o levantamento dos elementos que compõem o pilar “Capacitadores”, encontrando 17 elementos, analisando-os à luz dos principais autores que tratam do tema I-4.0.

#### 3.1. Capacitadores: Definição e Elementos Constituintes

Na definição de Godinho Filho (2004), os Capacitadores de um PEGEM são as ferramentas, tecnologias e metodologias que devem ser implementadas. Segundo o mesmo autor, os Capacitadores são o “como” seguir os Princípios, alcançando-se desta forma, excelentes resultados com relação aos objetivos de desempenho.

Após uma ampla revisão bibliográfica, o *Framework* proposto por Pissardini e Sacomano (2018), denominado Arquitetura Funcional do PCP na I-4.0 apresentou 17 elementos constituintes do pilar “Capacitadores” (Figura 01).

Figura 01: Arquitetura Funcional do PCP no PEGEM I-4.0



Fonte: Pissardini (2018)

### 3.2. Densidade dos Elementos

Os 17 elementos são aqui tabulados e classificados segundo a densidade do elemento (frequência com que o elemento aparece nas buscas em bases de dados relacionadas à I-4.0 e importância dada por autores para o referido elemento). Após esta classificação refinou-se ainda mais o modelo, verificando se estes elementos referem-se à categoria ferramentas, tecnologias e metodologias, como proposto por Godinho Filho (2004).

Elemento	Densidade			Categoria		
	Alta	Média	Baixa	Ferramenta	Metodologia	Tecnologia
<i>Big Data</i>		X		X		
Cadeia de Suprimento Inteligente		X			X	
Computação em Nuvem		X				X
<i>Cyber Physical Systems</i>	X					X
<i>Design</i>		X			X	
Digitalização		X			X	
Dispositivos/Sensores ligados em rede		X				X
Impressão 3D			X			X
Interface de Comunicação		X			X	
<i>IoT</i>	X					X
Realidade Aumentada			X	X		
Realidade Virtual			X	X		
<i>RFID</i>			X			X
Robótica Autônoma		X				X
Segurança da Informação		X			X	
Simulação			X	X		
<i>Software</i>		X		X		

Após a classificação segundo a densidade e categoria do elemento, apresenta-se a configuração do pilar “Capacitadores”, a partir do modelo da “Casa da I-4.0”, adaptado de Sacomano e

Sátyro, que classifica os elementos da I-4.0 em elementos base ou fundamentais, estruturantes e complementares.

Duas importantes observações que deixam-se neste texto referem-se aos elementos Segurança da Informação e Impressão 3D.

Segurança da Informação (SI) difere-se da Ciber Segurança (CS) embora tenham a mesma densidade. A SI, segundo Beal (2005), é o processo de proteção da informação das ameaças a sua integridade, disponibilidade e confidencialidade. Nunes (2012) define a CS como sendo uma fração da SI a qual refere-se a metodologia utilizada para proteger as informações no ciberespaço, a fim de evitar o furto de dados ou informações.

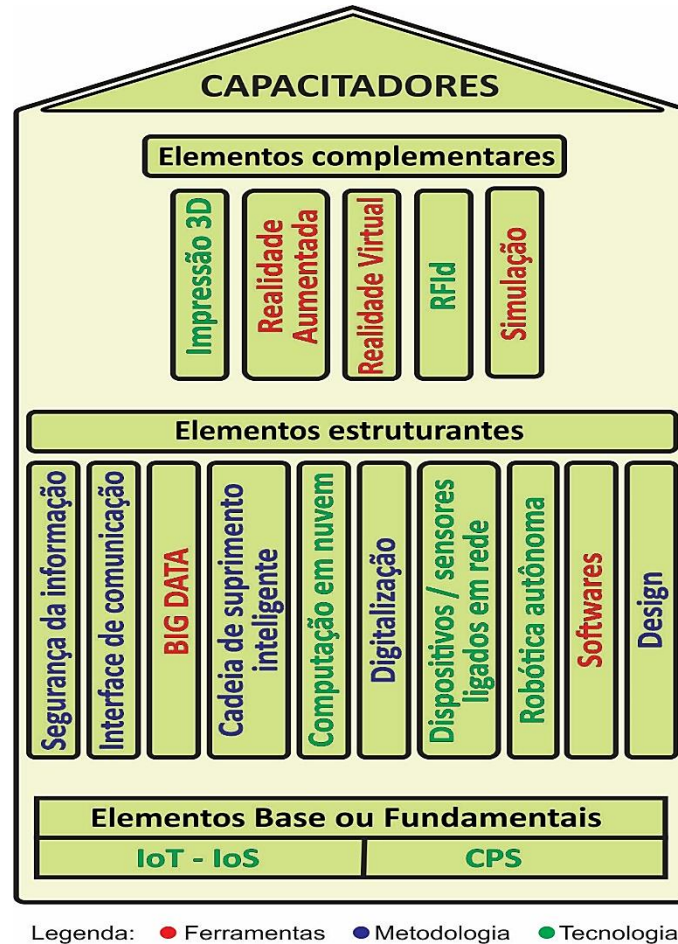
Desta forma pode-se dar como exemplo que, tendo-se informações armazenadas num quarto a CS refere-se à segurança do quarto nas suas camadas externas (paredes) e a SI refere-se à segurança das prateleiras, modos de transporte e entre outras vertentes da informação.

Com relação à Impressão 3D, a mesma é frequentemente confundida com a manufatura aditiva. Manufatura aditiva configura-se como uma técnica cujo resultado físico de sua utilização tem-se a impressão 3D. Portanto, os termos referem-se à técnica e ao resultado da utilização de uma técnica não podendo ser considerado um único elemento (PISSARDINI, 2019).

A classificação posterior foi realizada com base nas definições de “Ferramenta” que, segundo a Nomus é definida como auxiliares dos gestores na organização de suas empresas, permitindo assim a obtenção de melhores resultados utilizando os mesmos recursos, “Metodologia” que, segundo definição do Instituto de Ensino Superior em Negócios, Direito e Engenharia (acesso em 02 de maio 2020), confere estrutura ao raciocínio, ordenando etapas e garantindo, por exemplo, que uma análise imparcial preceda a solução. O método não é condição suficiente para garantir que o conteúdo da análise e da solução seja adequado, mas é certamente condição necessária e “Tecnologia” que, de acordo com Longo (1984) é definida como o conjunto de conhecimentos científicos ou empíricos empregados na produção e comercialização de bens e serviços. Kruglianskas (1996) utiliza uma definição mais ampla para o termo. Segundo o autor, “tecnologia é o conjunto de conhecimentos necessários para se conceber, produzir e distribuir bens e serviços de forma competitiva”. Desta forma apresenta-se a figura 02 contendo a configuração refinada do pilar “Capacitadores”, um dos quatro pilares do PEGEM I-4.0.



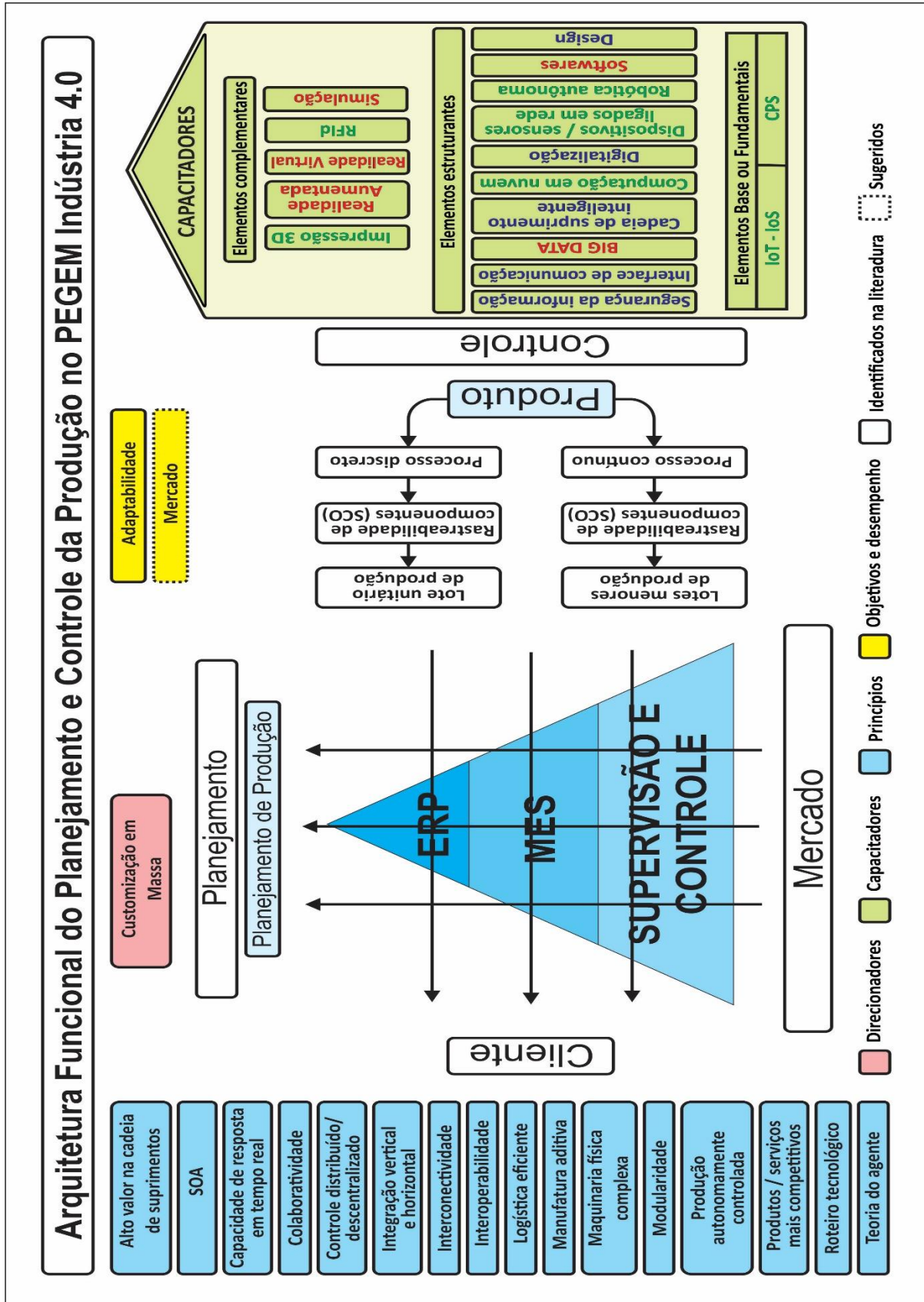
Figura 02: Classificação dos elementos do pilar “Capacitadores” segundo Densidade e Categoria



Fonte: Autoria Própria

Aprofundando-se o estudo dos capacitadores, pôde-se apresentar uma hierarquia condicional para os elementos do pilar “Capacitadores”, classificando os elementos tanto em termos de densidade quanto de categoria. A posterior integração do modelo apresentado à Arquitetura Funcional do PCP na I-4.0 atualiza a literatura e permite uma implantação de forma mais eficiente do Sistema de PCP 4.0.

Figura 03: Arquitetura Funcional do PEGEM I-4.0 com configuração fina do pilar ‘Capacitadores’



Fonte: Autoria Própria

#### **4. Discussão**

O atual trabalho, no crescente campo que estuda a formatação do Planejamento e Controle da Produção no âmbito da Indústria 4.0, encontra-se ainda dando seus primeiros passos como indicado pela falta de padronização de conceitos e práticas que envolvem a Indústria 4.0. Desta forma, este trabalho amplia os conhecimentos propondo um modelo de formatação fina para o pilar “Capacitadores” no sub campo do Planejamento e Controle da Produção da Indústria 4.0. O Trabalho analisa os elementos do pilar “Capacitadores”, apontando um caminho em direção à uma melhor compreensão da configuração do PCP na I-4.0.

##### **4.1 Implicações Teóricas**

A novidade deste trabalho está na apresentação de um modelo que apresenta uma formatação fina para o pilar “Capacitadores” para o PCP na Indústria 4.0. A análise teórica possui alguns fatores que contribuem para a validação do modelo proposto.

- 1) A classificação dos elementos foi feita a partir de definições de autores referência no tema 4.0.

A partir do *Framework* apresentado por Pissardini e Sacomano (2019) e da casa da Indústria 4.0 Sátyro e Sacomano (2018), verificou-se a existência de uma hierarquia condicional entre os elementos do pilar “Princípios” e de pilar “Capacitadores”. Este trabalho propôs um modelo para representar a configuração do segundo pilar, classificando os elementos segundo sua densidade (importância para a existência do ambiente 4.0) e categoria (Métodos, Ferramentas e Tecnologias).

- 2) A densidade de cada elemento foi dada de acordo com definições de Sátyro e Sacomano (2018), considerando como elementos de alta densidade os classificados na categoria “Fundamentais ou Base”, elementos de média densidade os classificados na categoria “Estruturantes” e elementos de baixa densidade, os classificados na categoria “Complementares”.

Elementos da categoria “Fundamentais ou Base” são elementos que, se não estiverem presentes na Indústria não permitem que ela seja classificada como 4.0. Elementos da categoria “Estruturantes” são elementos que, permitem a construção de aplicações da Indústria 4.0. Nem sempre estão presentes, porém, o estão na grande maioria das vezes. Elementos da categoria

“Complementares” ampliam as possibilidades da Indústria 4.0, porém, sem eles a empresa não deixa de ser considerada 4.0.

Este artigo, portanto, destaca o potencial do modelo aqui apresentado em permitir melhor compreensão da configuração da Arquitetura Funcional do Planejamento e Controle da Produção na Indústria 4.0, através da apresentação de uma configuração fina para o pilar “Capacitadores”.

Pesquisas futuras podem utilizar a metodologia deste trabalho para propor um modelo apresentando uma configuração fina, tanto para o pilar “Princípios” da I-4.0 quanto para apresentar também uma formatação fina para os pilares “Princípios” e “Capacitadores” de outros Paradigmas Estratégicos de Gestão de Manufatura como a Manufatura em Massa Atual, a Manufatura Enxuta e outros Paradigmas.

#### **4.2 Implicações Práticas**

O modelo apresentado pode ser utilizado na prática, tanto para permitir implantação de forma mais precisa de um sistema de PCP 4.0 quanto para melhorar sistemas de PCP atualmente em uso em indústrias que trabalham em ambiente 4.0 de produção.

O modelo pode ser utilizado para empresas terem melhor direcionamento, implantando um sistema de PCP 4.0 a partir de elementos de maior densidade, garantindo assim maior eficiência no processo de adoção do respectivo sistema.

Se utilizado como base para a implantação de sistema de PCP em vários elos de uma cadeia de suprimentos, o modelo pode tornar o processo de implantação mais eficiente.

#### **5. Conclusão**

Este trabalho abordou o tema PCP na I-4.0. Concluiu-se que uma formatação fina para o PCP na I-4.0 permite uma implantação mais eficiente de um Sistema de PCP 4.0 uma vez que apresenta uma hierarquia condicional entre os elementos do pilar “Capacitadores” dentro da Arquitetura Funcional do PCP da I-4.0.

O objetivo do trabalho foi atingido, apresentando um modelo que foi integrado ao modelo de Arquitetura Funcional já existente, culminando num modelo atualizado e mais preciso de Arquitetura Funcional para o PCP 4.0.

## REFERÊNCIAS

BEAL, A. Segurança da Informação: princípios e melhores práticas para a proteção dos ativos de informação nas organizações – São Paulo: Atlas, 2005.

FERNANDES, F. C. F.; GODINHO FILHO, Moacir. Sistemas de coordenação de ordens: revisão, classificação, funcionamento e aplicabilidade. **Gestão & Produção**, v. 14, n. 2, p. 337–352, 2007.

GODINHO FILHO, M. 01/2004. **Paradigmas estratégicos de gestão da manufatura: Configuração, relações com o Planejamento e Controle da Produção e estudo exploratório na indústria de calçados**. 2004. 286p. Tese Doutorado – Universidade Federal de São Carlos. São Paulo.

GTAI (Germany Trade & Invest). 2014. Industries 4.0-Smart Manufacturing for the Future. Berlin: GTAI.

KRUGLIANSKAS, I. Tornando a pequena e média empresa competitiva. São Paulo : Instituto de Estudos Gerenciais e Editora, 1996.

LONGO, W. P. Tecnologia e soberania nacional. São Paulo : Ed. Nobel, 1984.

NUNES, P. V. (2012). A definição de uma estratégia nacional de cibersegurança: cibersegurança. Caderno n. 133 IDN. Lisboa.

PISSARDINI, P. E. 12/2019. Arquitetura Funcional do Planejamento e Controle da Produção na Indústria 4.0: Uma Proposta. 2019. 119p. Dissertação Mestrado – Universidade Paulista. São Paulo.

PISSARDINI, P. E.; SACOMANO, J. B. O Planejamento e Controle da Produção na Indústria 4.0 e seu alinhamento com os Paradigmas Estratégicos de Gestão de Manufatura. *In: MACEIÓ/AL – BRASIL: [s.n.]*, 2018. p. 14.

PISSARDINI, P. E.; SACOMANO, J. B. Production Planning and Control in Industry 4.0: Maintenance or Breakdown of the Principles and Fundamentals. *In: RIO DE JANEIRO/RJ - BRASIL: [s.n.], 2020. p. 9.*

PISSARDINI, P. E.; SACOMANO, J. B. Sistema de Coordenação de Ordens para a Indústria 4.0: Proposta de uma Arquitetura para implantação. *In: SANTOS/SP - BRASIL: [s.n.], 2019. Disponível em: <<http://www.abepro.org.br/publicacoes/artigo.asp?e=enegep&a=2019&c=36983>>. Acesso em: 2 Maio 2020.*

RENNUNG, F.; LUMINOSU, C.; DRAGHISI A. “Service Provision in the Framework of Industry 4.0.” *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 221: 372–377. 2016.

SATYRO, W. C.; SACOMANO, J. B.; GONÇALVES, R. F. et al. **Indústria 4.0: Conceitos e Fundamentos**. São Paulo: Editora Blucher, 2018. 182 p.

SATYRO, W. C.; SACOMANO, J. B. Indústria 4.0: Conceitos e elementos formadores. *In: SATYRO, W. C.; SACOMANO, J. B.; GONÇALVES, R. F. et al. Indústria 4.0: Conceitos e Fundamentos*. São Paulo: Editora Blucher, 2018. 27-45 p.

**Seis Ferramentas de gestão essenciais para uma pequena indústria**. Blog Industrial Nomus. Disponível em: <<https://www.nomus.com.br/blog-industrial/ferramentas-de-gestao/>>. Acesso em: 2 Maio 2020.

STEVENSON, M.; HENDRY, L. C.; KINGSMAN, B. G. A review of production planning and control: the applicability of key concepts to the make-to-order industry. **International Journal of Production Research**, v. 43, n. 5, p. 869–898, 2005.

TAO, F.; WANG, Y.; ZUO, Y.; YANG, H.; ZHANG, M. “Internet of Things in Product Life-cycle Energy Management.” *Journal of Industrial Information Integration* 1: 26–39. doi:10.1016/j.jii.2016.03.001. 2016.

XU, L. D.; XU, E. L.; LI, L. Industry 4.0: state of the art and future trends. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2941–2962, 2018.

ZACCARELLI, S. B. **Programação e controle da produção**. [s.l.]: Livraria Pioneira Editora, 1987.