

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

GABRIELA CAVALCANTE DA SILVA

INTEGRAÇÃO VERTICAL E HORIZONTAL DAS FERRAMENTAS DE TI COM
FOCO NO PLANEJAMENTO E CONTROLE DAS OPERAÇÕES NO CHÃO DE
FÁBRICA

São Carlos

2022

GABRIELA CAVALCANTE DA SILVA

INTEGRAÇÃO VERTICAL E HORIZONTAL DAS FERRAMENTAS DE TI COM
FOCO NO PLANEJAMENTO E CONTROLE DAS OPERAÇÕES NO CHÃO DE
FÁBRICA

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção, da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheira de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Walther Azzolini Júnior

São Carlos

2022

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues
Fontes da EESC/USP

S506i Silva, Gabriela Cavalcante da
Integração vertical e horizontal das ferramentas de TI
com foco no planejamento e controle das operações no chão
de fábrica / Gabriela Cavalcante da Silva; orientador
Walther Azzolini Júnior. -- São Carlos, 2022.

Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) --
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São
Paulo, 2022.

1. Fabrica inteligente. 2. Planejamento e controle da
produção. 3. Integração vertical e horizontal. 4. Programa
de remessas. I. Título.

Elaborado por Elena Luzia Palloni Gonçalves – CRB 8/4464

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Gabriela Cavalcante da Silva
Título do TCC: Integração Vertical e Horizontal das Ferramentas de TI com foco no Planejamento e Controle das Operações no Chão de Fábrica
Data de defesa: 16/12/2022

Comissão Julgadora	Resultado
Professor Doutor Walther Azzolini Júnior (orientador)	Aprovado
Instituição: EESC - SEP	
Professor Assistente Diego Rorato Fogaca	Aprovado
Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, UFMS	
Professor Associado Fernando César Almada Santos	Aprovado
Instituição: EESC - SEP	

Walther Azzolini Junior

Presidente da Banca: **Professor Doutor Walther Azzolini Júnior**

Agradecimentos

Gostaria de agradecer aos meus pais e irmã, que sempre me apoiaram durante toda a minha graduação, sempre me incentivaram nos estudos e no decorrer da realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Walther Azzolini Júnior pela orientação, dedicação, ensinamentos, conselhos e por todo apoio durante o desenvolvimento deste trabalho.

Gostaria de agradecer aos professores da Universidade de São Paulo - USP por todos os ensinamentos e que contribuiram na minha formação profissional.

Também gostaria de agradecer a todos os colegas que fiz ao longo da minha graduação e que fizeram parte da minha trajetória.

À Universidade de São Paulo, que foi essencial na minha formação profissional e desenvolvimento. Agradeço por todo aprendizado adquirido no curso de Engenharia de Produção.

Resumo

SILVA, G.C. Integração vertical e horizontal das ferramentas de TI com foco no planejamento e controle das operações no chão de fábrica. 2022. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2022.

O conceito de fábrica inteligente está relacionado a projetos de automatização dos processos de apontamento e controle das fábricas, além de iniciativas que visam adequar o tempo de resposta à demanda devido à dinâmica dos mercados, o que exige uma maior integração vertical e horizontal dos processos de negócio, de modo a apoiar o planejamento e controle da produção na busca de maior assertividade dos planos de produção, diminuindo os desvios entre o que foi planejado e o que está sendo executado com ênfase na configuração de recursos distribuídos.

Este projeto de pesquisa buscou, a partir da revisão bibliográfica do avanço da tecnologia da informação e da pesquisa de campo analisar as principais mudanças no âmbito do ambiente de uma indústria de autopeças no tocante a atuação e a performance do planejamento e controle da produção na operação. Trata-se, portanto, do uso do método de pesquisa estudo de caso. Como resultado a autora pôde concluir que além do uso da tecnologia há a necessidade de se estabelecer critérios de decisão compatíveis, definidos através de protocolo logístico específico aderente ao modus operandi do sistema produtivo da cadeia de suprimentos da empresa, antes de se avançar na direção da aquisição de novas tecnologias.

Palavras-chave: Fábrica inteligente. Planejamento e controle da produção. Integração vertical e horizontal. Programa de remessas.

Abstract

SILVA, G.C. Vertical and horizontal integration of IT tools focused on planning and controlling operations on the factory floor. 2022. Monograph (Course Completion Work) – School of Engineering of São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2022.

The concept of a smart factory is related to projects to automate the appointment and control processes at factories, in addition to initiatives aimed at adapting the response time to demand due to market dynamics, which requires greater vertical and horizontal integration of business processes, in order to support production planning and control in the search for greater assertiveness of production plans, reducing deviations between what was planned and what is being executed, with emphasis on the configuration of distributed resources.

This research project sought, based on a bibliographical review of the advancement of information technology and field research, to analyze the main changes in the environment of an auto parts industry regarding the performance and performance of production planning and control in the operation. It is, therefore, the use of the case study research method. As a result, the author was able to conclude that in addition to the use of technology, there is a need to establish compatible decision criteria, defined through a specific logistic protocol adhering to the modus operandi of the company's supply chain production system, before moving towards the acquisition of new technologies.

Keywords: Smart factory. Planning and production control. Vertical and horizontal integration. Shipping program.

Lista de Siglas

API – Application Program Interfaces.

ATP – Available to Promise

ASP – Application Service Provider.

BDA/AI – Big Data and Analytics with Artificial Intelligence.

BIM – Building Information Modeling.

BM – Business Management.

BOP – Bill of Process.

BPM – Business Process Management.

BPMN – Business Process Modeling Notation.

CAD – Computer Aided Design.

CAE – Computer Aided Engineering.

CAM – Computer Aided Manufacturing.

CAPP – Computer Aided Process Planning.

CBD – Cloud-Based Design.

CBDMS – Cloud-based design and manufacturing System.

CBMS – Cloud-Based Manufacturing Systems.

CBSP – Cloud Based Sourcing Platforms.

CFD – Computacional Fluid Dynamics.

CHOOP – Class Hierarchies in Object-Oriented Programming.

CMg – Cloud Manufacturing.

COA – Control Oriented Architecture.

CPS – Cyber-physical systems.

CORBA – Common Object Request Broker Architecture.

cPDm – Collaborative Product Definition Management.

CRP – Capacity Requirements Planning.

CSG – Constructive Solid Geometry.

CSS – Centralized Standalone System – Sistemas independentes centralizados – não necessitam de um interpretador ou compilador.

DM – Digital Manufacturing.

DMS – Document Management System.

DRP – Distribuition Requirements Planning.

EAI – Enterprise Application Integration.

FBE – *Find Bind Execute* – Serviços podem encapsular a lógica de outros serviços.

FEA – *Finite Element Analysis*.

HDMI – *High-Definition Multimedia Interface*.

HMI – *Human Machine Interface*.

IoT – *Internet of Things*.

IT - *Information Technology*

KIP – *Key Performance Indicators*.

KQML - *Knowledge Query and Manipulation Language* (padrão de linguagem de mensagens entre os agentes).

LPC – *Logical Programmable Controllers*.

MES – *Manufacturing Execution Systems*.

MOM – *Manufacturing Operations Management*.

MOS – *Manufacturing Operation System*.

MPC – *Manufacturing Planning and Control*.

MPCS – *Manufacturing, Planning and Control System*.

MPL – *Manufacturing Plant Layouts*.

MRP – *Material Requirements Planning*.

MRPII – *Manufacturing Resource Planning*.

NaaS – *Native as a Service*.

NAS – *Network Attached Storage*.

OPaaS – *Open Platform as a Service*. Oferece a mesma abordagem da *Platform as a Service*, exceto que não há nenhuma restrição na escolha do *software* de desenvolvimento.

Evita a possibilidade de se tornar dependente da empresa provedora do serviço.

OWL – *Web Ontology Language*.

PAS – *Physical Application Server*.

PDM – *Product Data Management*.

PIMS – *Plant Information Management System*.

PLM Software – *Product Lifecycle Management*.

POM – *Production Operations Management*.

RFID – *Frequency Identification*.

RFQ – *Requests for Quote*.

RMI – *Remote Method Invocation*.

RMS – *Reconfigurable Manufacturing Systems*.

SCADA – *Supervisory Control and Data Acquisition*.

SNA – *Social Network Analysis*.

UC – *Utility Computing* (informática).

VPN – *Virtual Private Networking*.

WAN – *Wide Area Network*.

WBMS – *Web Based Manufacturing Systems*.

WSDL – *Web Services Description Language*.

XML – *Extensible Markup Language*.

Sumário

1. Introdução.....	21
1.1. Objetivos	25
1.2. Métodos e Procedimentos	25
2. Revisão Bibliográfica	27
2.1. Evolução da tecnologia da informação quanto a sua Aplicação na Indústria do Setor Metal Mecânico	27
2.2. Avanço das ferramentas computacionais a partir do <i>Sales and Operations Planning</i>	33
2.2.1. Estratégias adotadas no Planejamento de Vendas e Operações	34
3. Principais categorias de Sistemas de Informação	39
3.1. Business Intelligence	44
3.1.1. Diferentes perspectivas do BI – <i>Business Intelligence</i>	44
3.1.2 Automação do procedimento de medição e controle do chão de fábrica e Integração com os Sistemas de Informação	48
3.1.3 Sistemas de apoio à decisão à gestão da manufatura – <i>Manufacturing Execution System</i> (MES)	48
3.1.4 <i>Plant Information Management System</i> – PIMS e o uso da Tecnologia <i>Cloud Computing</i>	58
3.1.5 Sistemas de Medição de Desempenho Organizacional e Sistemas de Gestão de Desempenho (<i>Performance Management System</i> – PMS).....	61
3.1.6 Sistemas de medição do chão de fábrica – automação do apontamento das atividades executadas no chão de fábrica.	66
4. Avanço da Tecnologia Digital.....	71
4.1. Contexto	75
4.2. Infraestrutura para a viabilidade da Tecnologia <i>Cloud Computing</i>	77
5. Paradigma da Manufatura Digital	79
5.1. Introdução	79
5.2. Reconfigurable Manufacturing Systems – RMS	84
5.3. <i>Cloud Computing</i>	86
5.4. Estratégias de utilização	88
5.5. Modalidades de serviço da <i>Cloud Computing</i>	89
5.5.1. Arquitetura Orientada para Serviços – <i>Service-Oriented Architecture</i> (SOA)	91

5.5.1.1.	Especificações técnicas da Arquitetura orientada para serviços (SOA) ..	93
5.5.1.2.	API Application Program Interfaces.....	95
5.5.1.2.1.	Acoplamento	95
5.1.3.	SOAP (<i>Simple Object Access Protocol)</i>	96
5.5.1.3.	RMI – <i>Remote Method Invocation</i>	98
5.5.1.4.	Representational State Transfer (REST)	99
5.5.1.5.	Softwares Middleware	100
5.4.1.6.	Tipo de <i>Cloud Computing</i>	102
5.5.2.	Cloud based design and manufacturing (CBDMS)	103
5.5.3.	Uso da <i>Cloud Computing</i> em Projetos de Engenharia (<i>Engineering Design Process</i>) com ênfase no novo paradigma da manufatura digital.....	103
5.6.	Sistemas de Manufatura	104
6.	Características e requisitos para sistemas de manufatura baseados em nuvem (<i>Cloud-Based Manufacturing Systems – CBMS</i>).....	107
7.	Arquitetura de computação.....	111
7.1.	Infraestrutura da Tecnologia da Informação necessária para a viabilização da <i>Cloud Computing</i>	111
7.1.1.	Complementando as premissas da Infraestrutura da Tecnologia da Informação necessária para a viabilização da <i>Cloud Computing</i>	112
7.1.2.	Função do Broker – <i>Integration Bus Advanced (Enterprise Service Bus)</i>	113
7.1.3.	Programming Model (<i>MapReduce e Hadoop</i>)	114
8.	Empresa objeto do estudo.....	117
8.1.	Soluções de TI da empresa objeto de estudo a partir da implementação do Programa de Remessas do Planejamento e Controle da Produção	118
8.1.1.	Vantagens da não utilização do <i>Kanban</i>	119
8.1.2.	Programa de remessas com todos os fornecedores (Protocolo Logístico) ..	119
8.1.2.1.	Quadro de Entrega Parcelada (QEP) – Programação	120
8.1.2.2.	Funcionalidade do SAP para a avaliação da performance de entrega...	121
8.1.2.3.	Troca de dados eletrônicos (EDI).....	122
8.1.3.	Softwares utilizados pelo PCP	123
8.1.3.1.	SAP R/3	123
8.1.3.2.	Power BI	123
8.1.4.	Apontamentos de refugos	123
8.1.5.	Inventários rotativos	124
8.1.6.	Projetos relacionados a indústria 4.0.....	124
8.1.6.1	Etiquetas Inteligentes RFID	124

8.1.6.2 Sistema AGV.....	125
8.2. Perspectivas de soluções de TI da empresa objeto de estudo.....	125
8.2.1. <i>Cloud based design and manufacturing System (CBDMS)</i>	126
9. Mensuração dos Resultados Obtidos pela Empresa.....	127
10. Considerações Finais.....	129
Referências.....	131

1. Introdução

Nas últimas décadas um número razoável de trabalhos tem sido publicado com ênfase na performance das principais atividades do planejamento e controle da produção e, consequentemente da assertividade dos planos de produção quanto ao atendimento à demanda.

O desenvolvimento da proposta deste projeto de pesquisa se deu a partir da definição dos níveis de planejamento de Fleury e Fleury (2000), relacionando as principais atividades e funções do planejamento e controle da produção com as perspectivas de Bueno, Godinho e Frank (2020) no contexto da indústria 4.0 no que abrange o ambiente industrial de uma empresa do setor de autopeças.

Com este propósito foi realizada a pesquisa de campo com foco à aplicação da Tecnologia da Informação (TI) na indústria, além do resultado da revisão bibliográfica com dois destaques principais:

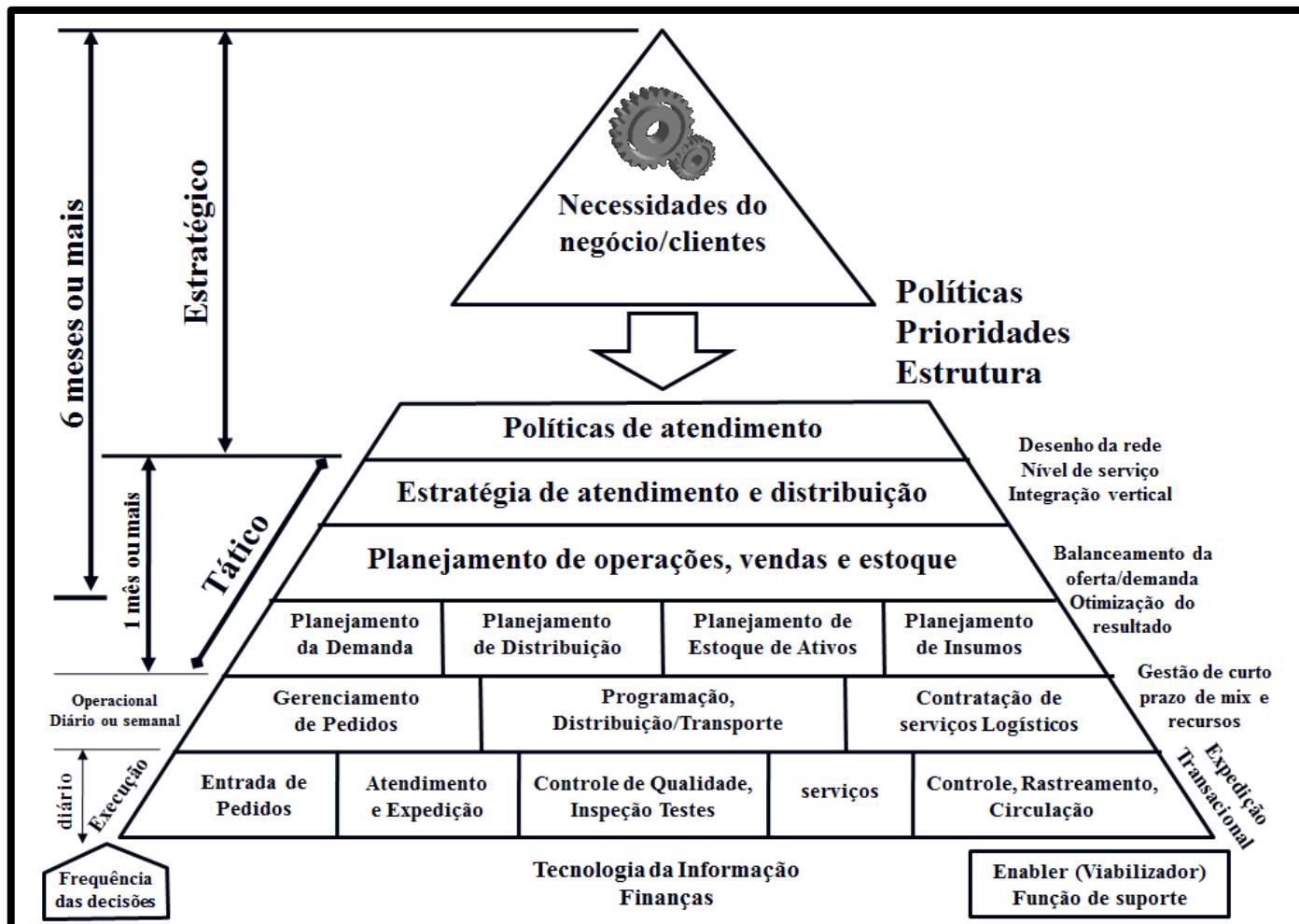
- 1) Revisão bibliográfica do período entre 1978 a 2015. Auxiliada pelo Grupo de Pesquisa GEPMSSI – Grupo de Estudos e Pesquisas de Modelagem e Simulação de Sistemas Industriais;
- 2) Revisão bibliográfica a partir de artigos selecionados sobre o tema gestão de operações da *Systematic literature review* (SLR) dos autores Bueno, Godinho e Frank (2020).

Como exposto por Bueno, Godinho e Frank (2020) e, com destaque na revisão bibliográfica realizada pela autora deste projeto, há lacunas a serem preenchidas com relação ao uso efetivo da tecnologia no contexto da indústria 4.0.

Contudo, foi possível avaliar que a seleção de aplicativos ou *softwares* específicos e aderentes ao modelo de operação das empresas industriais não é uma tarefa simples de se realizar, não somente do ponto de vista da operação, mas também do ponto de vista técnico da viabilidade do projeto e da sua convergência ao modus operandi da cadeia de suprimentos da indústria, de acordo com as premissas do sistema de planejamento e controle da manufatura (*Manufacturing, Planning and Control System* (MPCS)).

Contudo, devem ser destacados os trabalhos de Fleury e Fleury (2000) e de Olhager e Rudberg (2002) que tipificam a infraestrutura organizacional a partir dos níveis organizacionais para atingir tal objetivo. Figura 1.

Figura 1 – Níveis Hierárquicos.



Fonte: Fleury e Fleury (2000).

Embora o trabalho dos autores tenha sido publicado no início da década de 2000, o desenho do fluxo de informações no qual as atividades do PCP desempenham as suas funções ainda pode ser considerado.

Para Laudon e Laudon (2007) e Siqueira (2005) a descrição é relevante quanto ao propósito de colocar em evidência que a concepção de um sistema de informação nada mais é do que um conjunto de componentes inter-relacionados que coletam (ou recuperam) e processam dados em informações, armazenando e distribuindo informações destinadas a apoiar à tomada de decisões, a coordenação e o controle de uma organização.

Desta forma, com maior ou menor intensidade, esses sistemas passaram a apoiar todas as atividades diárias de uma organização, visto a importância do processo de digitalização e seus desdobramentos nas organizações contemporâneas (O'BRIEN; MARAKAS, 2010).

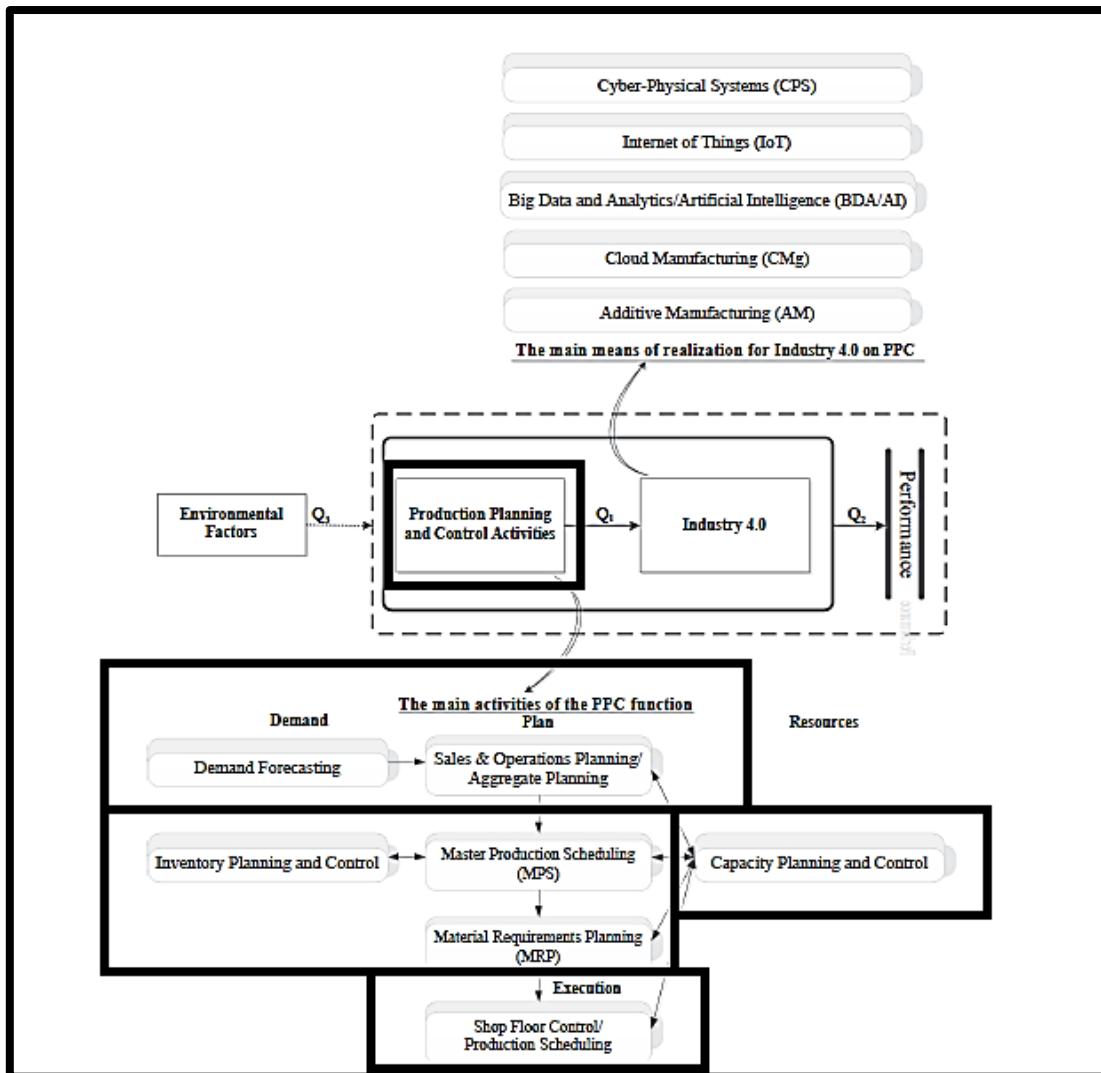
É importante observar também, de acordo com a Figura 1, que na interface entre o nível Tático e o nível Operacional encontram-se o maior número de subdivisão dos tipos de funções e atribuições, devido a todas as atividades operacionais relacionadas à execução do que foi planejado e programado para o chão de fábrica, serem executadas ao mesmo tempo e com a expectativa de atualização dos dados e informações em tempo real, de preferência na extensão da cadeia de abastecimento, reforçando a ideia de gestão corporativa distribuída.

O'Brien e Marakas (2010) afirmam que sistemas de informação se constituem não somente de sistemas computacionais, mas de uma série de outros elementos tais como pessoas, *hardwares*, redes de comunicação, procedimentos (instruções de trabalho) e políticas dentre outros elementos que contribuem para seu funcionamento, envolvendo obviamente, muita tecnologia.

Contudo, mais recentemente, Bueno, Godinho e Frank (2020) definiram um *framework* analítico que destaca diferentes interfaces entre os diferentes níveis das principais atividades e funções do planejamento e controle da produção.

Os autores complementam o trabalho de Fleury com a separação das atividades de execução dos planos de produção (controle do chão de fábrica e programação da produção) das funcionalidades inerentes aos sistemas, como o planejamento de materiais, planejamento e controle da capacidade e planejamento e controle de inventário a partir do plano mestre de produção. Figura 2.

Figura 2 – Framework Analítico.



Fonte: Bueno, Godinho e Frank (2020).

Os autores destacam as interfaces das atividades de planejamento e controle da produção e as demais interfaces entre as atividades do planejamento e controle da produção e as perspectivas da indústria 4.0.

Neste trabalho foi enfatizada a operação, onde recursos e execução podem ser beneficiados com o controle digital que permite obter com maior precisão o desempenho real da fábrica, além da determinação do protocolo logístico programa de remessas.

O presente relatório de pesquisa encontra-se dividido em 10 seções: 1. Introdução, 2. Revisão Bibliográfica, 3. Principais categorias de Sistemas de Informação, 4. Avanço da Tecnologia Digital, 5. Paradigma da Manufatura Digital, 6. Características e requisitos para sistemas de manufatura baseados em nuvem (*Cloud-Based Manufacturing Systems*

– CBMS), 7. Arquitetura de computação, 8. Empresa Objeto do Estudo, 9. Resultados e 10. Considerações Finais.

1.1. Objetivos

Bueno, Godinho e Frank (2020) definem a função do PCP, no contexto exposto, como um processo de tomada de decisões inerentes do momento sem atrasos para o início das atividades de produção a partir do planejamento feito, com base nas informações de demanda em tempo real, que atualmente pode contar com aplicativos de captura e de análise de dados.

Como objetivo geral o propósito deste trabalho foi avaliar como uma empresa do setor de autopeças tem se apoiado no uso de recursos relacionados a tecnologia da informação, com ênfase no controle e no apontamento da operação e protocolo logístico.

O presente trabalho trata do planejamento e controle da produção sob a ótica da literatura e da pesquisa de campo do objeto de pesquisa: uma indústria do setor de autopeças, e tem como objetivos específicos:

- 1) Compreender o funcionamento do controle e do apontamento da produção; e
- 2) Identificar as principais ferramentas utilizadas pela empresa para este fim.

1.2. Métodos e Procedimentos

O presente trabalho aborda o planejamento e o controle da operação de uma empresa do setor de autopeças localizada no interior do estado de São Paulo, trata-se de um estudo de caso.

Com este propósito reuniões foram realizadas com a equipe gestora da produção da empresa durante o desenvolvimento deste trabalho entre 2020 e 2021.

Com a pesquisa de campo foi possível compreender o programa de remessas da empresa como uma das funcionalidades do planejamento e controle da produção.

Além da pesquisa de campo foi realizada a revisão bibliográfica do tema de pesquisa.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Evolução da tecnologia da informação quanto a sua Aplicação na Indústria do Setor Metal Mecânico

Nas últimas décadas um dos marcos da evolução da TI aplicada às indústrias de manufatura foi o sistema corporativo *Enterprise Resource Planning* (ERP).

De acordo com Oliveira e Hatakeyama (2012), o ERP tornou-se oportunamente uma das mais importantes ferramentas utilizadas na gestão corporativa dos negócios.

De fato, o avanço da tecnologia de TI a partir do desenvolvimento dos sistemas ERP acabou por corroborar com o direcionamento dos esforços das organizações em alcançar importantes objetivos corporativos com os Sistemas de Informação:

- 1) Excelência operacional,
- 2) Novos produtos;
- 3) Serviços e modelos de negócios,
- 4) Vantagem competitiva,
- 5) Melhor tomada de decisão,
- 6) Relacionamento estreito com clientes e fornecedores, e sobrevivência.

Olhager (2013) destaca que o avanço do processo de planejamento das quantidades a serem produzidas no médio prazo, através do ajuste da velocidade de produção, mão de obra disponível, estoque e outros parâmetros de operação com o objetivo de atender às demandas irregulares empregando os recursos disponíveis na empresa, definido como Planejamento Agregado (MONKS, 1987), evoluiu para o processo de Planejamento de Vendas e Operações (*Sales Operations Planning* – S&OP) na década de 1990 em função dos sistemas ERP (*Enterprise Resource Planning*) introduzidos pelo *Gartner Group* (WYLIE, 1990). O propósito foi apoiar uma visão mais ampla e integrada das diferentes áreas funcionais da empresa quanto ao processo de atendimento à demanda com maior visibilidade.

A década de 1990 pode ser considerada um marco, considerando que as contribuições relacionadas aos projetos ERPs nas empresas, com os erros e acertos, acabou por consolidar o interesse das organizações em tornar o processo de aquisição de novas tecnologias de TI mais atrativo e necessário.

Para um melhor entendimento do processo de evolução do desenvolvimento da tecnologia dos ERPs, Azzolini Jr. e Ferraz Jr. (2012), propõem uma abordagem dividida em três fases:

- 1) **Primeira fase: evolução da tecnologia da informação aplicada à gestão industrial** – ênfase dada às “Técnicas Aplicadas” no planejamento e controle da Gestão Industrial.

Olhager (2013) reforça o entendimento dos autores, uma vez que define como as principais “Técnicas Aplicadas” à gestão da produção que ajudaram a definir as bases para a concepção desses sistemas, as contribuições:

- 1911 – Divisão do trabalho (Frederick Winslow Taylor);
- 1913 – Dimensionamento do lote Econômico de Compra (*Ford Whitman Harris*);
- 1919 – Gráfico de *Gantt* (Henry Gantt);
- 1934 – Sistema do ponto de re-encomenda (R. H. Wilson);
- 1948 – Estudo de Tempos e Métodos – *Methods Time Measurement* – MTM (Harold Bright Maynard).
- Década de 1960 – Técnicas de controle do chão de fábrica;
- Década de 1970 – Planejamento das necessidades de materiais.

- 2) **Segunda fase da evolução da tecnologia da informação aplicada à gestão industrial** – ênfase dada às “Funcionalidades” necessárias à execução das atividades inerentes do planejamento e controle da Gestão Industrial.

Olhager (2013) define como as principais “Funcionalidades”:

- Década de 1980 – Plano Mestre da Produção – foco no planejamento do *mix* de produtos;
- Década de 1980 – *Manufacturing Planning and Control* (MPC);
- Década de 1980 – *Distribuition Requirements Planning* (DRP);
- Década de 1980 – *Available to Promise* (ATP).

3) Terceira fase da evolução da tecnologia da informação aplicada à gestão industrial – ênfase dada aos “Processos” executados no planejamento e controle da Gestão Industrial.

Olhager (2013) define como os principais “Processos”:

- __ Década de 1990 – Planejamento de Vendas e Operações – foco no planejamento do volume de produção;
- __ Década de 1990 – *Distribuition Resource Planning II (DRPII)*
- __ Década de 2000 – Planejamento da Cadeia de Suprimentos.
- __ Década de 2010 – *Cloud Computing (Cloud-based design and manufacturing System)*.

De acordo com Azzolini Jr. e Ferraz Jr. (2012) a primeira fase da evolução da TI aplicada à gestão industrial representa as várias iniciativas de estudos aplicados relacionados à Gestão da Produção do início do século XX até a década de 1980, que sustentou a ênfase na “Técnica”.

Nesta fase surgiu uma classe de sistemas chamados de *Material Requirements Planning* (MRP), com o objetivo do planejamento das matérias primas necessárias para a produção (ABDINNOUR-HELM *et. al.*, 2003).

Houve então uma evolução natural destes sistemas para os sistemas *Closed-Loop Material Requirements Planning* (CL-MRP). Nos sistemas CL-MRP, além das funcionalidades presentes nos sistemas MRP (Plano mestre de Produção, Lista de materiais e Estoques), foram adicionados também os roteiros de fabricação e centros de produção.

Desta forma, era possível iteragir entre as possibilidades de alocação de recursos de máquinas a fim de se chegar a um plano viável para execução da produção (LAURINDO; MESQUITA, 2000).

Olhager (2013) afirma que em meados da década de 1970, estima-se que havia cerca de 700 usuários de sistemas computadorizados com a funcionalidade da lógica de cálculo do MRP, e de acordo com Orlicky (1975), muitos desses sistemas permitiam ao usuário cadastrar produtos com estrutura de materiais de até 99 níveis. Posteriormente com o uso do conceito computacional de sistema de ciclo fechado o sistema MRP passou a operar com a funcionalidade de planejamento de capacidade de curto prazo da fábrica (*Capacity Requirements Planning – CRP*).

O objetivo da funcionalidade CRP é avaliar o impacto do plano de materiais no plano de capacidade dos recursos de manufatura e validar o plano de materiais com a capacidade de processamento da fábrica, o que anteriormente não era possível com o uso do MRP, desenvolvido originalmente entre as décadas de 1960 e 1970.

Azzolini Jr. e Ferraz Jr. (2012) afirmam que após o desenvolvimento dos sistemas CL-MRP houve uma evolução natural do uso da TI na operação industrial, como por exemplo, o desenvolvimento de sistemas voltados ao planejamento da distribuição dos produtos acabados (*Distribuition Requirements Planning* – DRP), caracterizando, desta forma, um avanço importante da TI no uso de funcionalidades específicas à gestão de materiais quanto ao planejamento do abastecimento e distribuição dos materiais a serem manipulados na operação em ambiente fabríl.

Com o aumento do número de usuários dos sistemas MRP os desenvolvedores de *softwares* investiram em novas funcionalidades dos sistemas MRP, que se transformaram na década de 1980 nos sistemas MRPII (*Manufacturing Resource Planning*), o que representou na época uma melhoria do sistema em atender a necessidade de matéria prima em *softwares* que já ofereciam controles da produção como a função do planejamento da produção dentro de um *loop* fechado com relatórios mais detalhados do custo de produção, dentre outros elementos que acabaram por apoiar maior integração das áreas funcionais no chão de fábrica (JACOBS; WESTON JR., 2007). Posteriormente a concepção do MRPII, a Tecnologia da Informação sofreu mudanças significativas quanto à inovação tecnológica, resultado do desenvolvimento e descoberta de novos materiais aplicados ao projeto e concepção de componentes funcionais da TI e consequente sofisticação dos componentes de *hardware* e linguagens de programação mais avançadas.

A evolução tecnológica também avançou para o desenvolvimento do projeto de um banco de dados relacional representando um exemplo de inovação de fundamental importância da área (AZZOLINI JR.; FERRAZ JR., 2012).

Embora, somente a partir da década de 1990 os sistemas ERP começaram a ser escritos (JACOBS; WESTON JR., 2007; OLHAGER; SELLDIN, 2003) com o propósito de garantir uma maior integração dos departamentos de uma empresa, centralizando os dados em uma base de dados única de tal forma que toda empresa pudesse compartilhar da mesma informação (OLHAGER; SELLDIN, 2003), muitos profissionais já militavam na tentativa de dar maior precisão e agilidade ao fluxo de dados e informações das empresas.

Complementando Azzolini Jr. e Ferraz Jr. (2012) destacam que partindo do MRP II e com a integração dos processos de negócio fazendo uso do potencial do Banco de Dados Relacional e do mecanismo de acesso Cliente/Servidor, os sistemas MRPII se transformam nos sistemas integrados de gestão ERP (*Enterprise Resource Planning*) na década de 1990, definindo o marco da segunda fase de evolução da TI aplicada à gestão industrial com ênfase às “Funcionalidades” dos sistemas computacionais de Gestão da Produção.

A concepção do banco de dados relacional surgiu na IBM entre as décadas de 1960 e 1970. Historicamente o primeiro artigo publicado que define os fundamentos da teoria do banco de dados relacional foi do pesquisador Edgar Frank Codd da IBM (*A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks*, ACM – Association for Computing Machinery, Volume 13, Number 6, june 1970, pp. 377 – 387) (AZZOLINI JR.; FERRAZ JR., 2012).

O banco de dados relacional passou a ser utilizado pelas empresas desenvolvedoras de sistemas de gestão no lugar de arquivos planos apenas alguns anos mais tarde, sendo uma das principais aplicações à integração dos processos de negócio das corporações através dos sistemas corporativos ERP – *Enterprise Resource Planning*, além do uso do mecanismo de acesso Cliente/Servidor com ênfase na implementação e execução exclusivamente no servidor.

No final da década de 1990 os sistemas integrados de gestão passam a integrar as corporações pela *Internet* e o advento do *c-commerce* (comércio colaborativo) torna-se realidade, além do DRPII (*Distribuition Resource Planning*) (AZZOLINI JR.; FERRAZ JR., 2012). Talvez o precursor do conceito relacionado à Tecnologia *Cloud Computing*.

Com a evolução da TI a integração de dados tornou-se realidade do ponto de vista de uso local, contribuindo para que novos paradigmas surgissem no contexto da gestão empresarial no escopo deste novo cenário, de modo que é possível identificar o formato do processo do Planejamento de Vendas e Operações (*Sales and Operation Planning – S&OP*) com ênfase, entre outros fatores, na maior rapidez com que os dados e informações operacionais gerados são distribuídos aos interessados.

Thomé *et al.* (2012) definem o S&OP como uma ferramenta que une diferentes planos de negócio, onde seus principais objetivos são: equilibrar a oferta e a demanda e integrar o plano estratégico com os planos organizacionais da empresa, partindo da perspectiva do alinhamento vertical e horizontal da corporação.

Caracteriza-se então, pontualmente, a terceira fase de evolução da TI aplicada à gestão industrial, a fase com ênfase em “Processos”. Complementando a informação do parágrafo anterior, Azzolini Jr. e Ferraz Jr. (2012) informam que o processo S&OP (*Sales Operations Planning*) busca integrar todos os níveis hierárquicos de planejamento da organização a partir da Gestão de Demanda à programação da produção, o que justifica a ênfase em “Processos”, resultando no desenvolvimento de outros aplicativos computacionais de aplicações específicas na gestão da produção.

Essa fase trata de uma visão holística dos processos de fabricação e processos de negócio com a identificação das restrições inerentes à manufatura. Contudo, caracteriza também a tendência de as empresas passarem a buscar a integração de todos os níveis hierárquicos de planejamento a fim de apoiar o processo S&OP, tendo como um dos recursos computacionais de sustentação para a integração o uso dos sistemas corporativos (AZZOLINI JR.; FERRAZ JR., 2012; THOMÉ *et al.* 2012).

Podemos afirmar que todo o processo de evolução da TI no contexto do desenvolvimento dos sistemas corporativos ERPs como abordado neste texto, contribuiu significativamente para o desenho das funções do PCP como indicado na Figura 2 dos autores Bueno, Godinho e Frank (2020).

Segundo esses autores a função do PCP é tomar decisões inerentes do momento sem atrasos para o início das atividades de produção a partir do planejamento feito com base nas informações de demanda em tempo real, que nos dias atuais pode contar com aplicativos de captura e de análise de dados.

Os autores avançam nas funções de controle, monitoramento, programação e reprogramação de um planejamento de produção com o objetivo de garantir a entrega dos produtos de uma empresa de manufatura com elevado nível de assertividade como o resultado dos investimentos na área de processos de fabricação e processos relacionados ao uso da TI, Bonney¹ (2000, p. 2, *apud* BUENO; GODINHO; FRANK, 2020, p. 4).

Como considerado pelos autores há um grande número de ferramentas, sistemas e *softwares*, disponíveis no mercado, assim como dispositivos de controle, mas ainda há muito a se estudar com relação à efetiva contribuição para a execução das atividades do

¹ BONNEY – Bonney, M. (2000). Reflections on production planning and control (PPC). *Gestão & Produção*, 7(3), 181–207. <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2000000300002>.

PCP no cumprimento dos planos elaborados. Trata-se da mensuração da efetividade dos recursos inteligentes no resultado final da operação, uma vez que há investimentos financeiros envolvidos. Contudo, podemos considerar até aqui, que embora a tecnologia tenha evoluído significativamente, a grande maioria das empresas ainda buscam soluções relacionadas às funcionalidades e Processos dos seus sistemas de gestão.

2.2. Avanço das ferramentas computacionais a partir do *Sales and Operations Planning*

O processo S&OP acabou por apoiar a confirmação do fato de que a adequação dos processos de fabricação a partir dos dados e informações gerados pela TI é perfeitamente capaz de permitir ao gestor identificar particularidades da fábrica, principalmente pelo fato de que dá maior visibilidade das restrições que podem inibir alcançar as metas.

O objetivo, no caso, foi o de proporcionar a busca pela resposta das questões técnicas dos processos de modo rápido e confiável, ou seja, mostrar o desempenho real do sistema e não de partes isoladas do mesmo, em tempo real.

Nesse caso, tal avanço apoiou a inserção de novas funcionalidades dos *softwares* oferecidos pelos desenvolvedores até então, surgindo entre outros o desenvolvimento de *softwares* especialistas na aplicação da lógica matemática de *Scheduling* ou programação da produção, de acordo com a configuração de cada um dos sistemas de manufatura.

Com o S&OP, o planejamento e controle das operações passaram a operar com uma estrutura de quatro níveis que consiste: S&OP, MPS, planejamento de materiais (por exemplo, MRP) e controle de chão de fábrica de curto e longo prazo no horizonte de tempo. Neste caso cabe, contudo, ponderar a ligação do planejamento e controle das operações com a estratégia de planejamento ao que se refere o Planejamento de Vendas e Operações, especificamente em *Chase Plans*.

Como alternativa, cabe às pesquisas na área realizarem uma análise em relação ao tempo e complexidade ao manusear as interfaces de ferramentas de TI, com o intuito de contribuir com informações específicas em tempo real o propósito de estabelecer critérios de medida de desempenho, flexibilidade e integrações.

Contudo, há que se considerar que o avanço da TI tem contribuído para o desenvolvimento de tecnologias ou mecanismos inteligentes, o que para Moeuf et al. (2018) tem relação direta com a importância do PCP na Indústria 4.0.

Uma função PCP inteligente deve contar não somente com o apoio específico da tecnologia no processo de automatização do ambiente de planejamento, mas no sistema de apontamento e monitoramento do chão de fábrica que suportam o controle. Principalmente quando consideramos o problema de dados imprecisos no *input* dos sistemas de planejamento e controle da produção (DOMBROWSKI; DIX, 2018).

2.2.1. Estratégias adotadas no Planejamento de Vendas e Operações

De acordo com a terminologia do modelo *Supply Chain Operations Reference – SCOR* proposto pelo *Supply Chain Council* (2004), no nível do *S&OP (Sales and Operations Planning)*, há duas estratégias principais de planejamento possíveis de aplicação:

- 1) A primeira estratégia *Chase Plans*, direciona os esforços de planejamento no nível *S&OP* com o propósito de buscar minimizar os estoques dos produtos acabados mantendo o equilíbrio do nível de estoque com o ritmo de flutuação de demanda, é uma estratégia que deve ser aplicada para situações de produção de produtos de baixo volume e produtos altamente customizados (**produtos classificados por Fisher (1997) como inovadores**);
- 2) Enquanto que a segunda estratégia, definida como *time-phased* (por nível) é mais adequada para produtos de alto volume padronizados (**produtos classificados por Fisher (1997) como funcionais**) (OLHAGER; RUDBERG,2002).

A definição de produto funcional e produto inovador, segundo a classificação de Fisher (1997), é a de que produto funcional possui alto nível de padronização sendo produzido em alto volume, enquanto que produto inovador possui alto nível de customização sendo produzido em baixo volume.

A classificação do tipo de produto definida por Fisher (1997) permite relacionar, a partir da definição das duas estratégias, a possibilidade de configuração da cadeia de suprimentos entre duas categorias principais, de modo a avaliar a que melhor se adequa no abastecimento à fabricação, sendo:

- 1) A categoria com foco na eficiência dos processos definida como Cadeia de Suprimentos *Lean Manufacturing* (**produtos funcionais**), e
- 2) A categoria com foco na responsividade perante o mercado consumidor definido como Cadeia de Suprimentos Ágil (**produtos inovadores**).

Com base nesta classificação do tipo de produto, o nível S&OP dentro deste contexto, segundo Berry e Hill (1992), pode ser considerado como um elo importante entre as abordagens do planejamento e controle do ponto de vista estratégico considerando o fato de que, como afirmado por Viana, Pulini e Martins (2013), o padrão de competitividade mundial vem sofrendo significativas alterações, pendendo a atender o mercado com produtos de ciclo de vida reduzido e, portanto, com acentuada tendência a manter o ritmo das inovações muito maior.

Tal tendência impacta no modo no qual um produto é fabricado, assim como o tipo de produção, o que permite concluir, de acordo com o autor que a indústria atualmente está direcionando esforços à produção de produtos customizados, mais do que produzir produtos em larga escala, prevalecendo, em princípio, a adoção da estratégia *Chase Plans*.

Tecnicamente a implicação prática gerencial do uso de uma das duas estratégias de planejamento possíveis é que os mercados com alto volume e produtos padronizados com pequenas variações e *lead times* curtos devem ser planejados e controlados por nível (*time phased*²) atendendo aos pré-requisitos da estratégia de atendimento à demanda *Make to Stock – MTS*, de acordo com as premissas da 2^a estratégia, caso contrário, a 1^a, a qual vem sendo preterida pelas empresas contemporâneas.

Tal mudança tem contribuído para aumentar significativamente a complexidade do processo de Gestão da Produção.

Partindo desta abordagem, é fato que o planejamento no nível S&OP deve ser baseado na frequência de consumo dos produtos, de modo que:

- 1) A abordagem *Just in Time* deve ser considerada para o caso de produtos funcionais;
- 2) Enquanto que produtos consumidos pelo mercado com baixo volume e altamente personalizados com ampla gama de tipos de produtos e *lead time* longos devem ser planejados e controlados usando a estratégia de planejamento *Chase Plans*, ou seja, com base na 1^a estratégia.

² *Time phasing* – considera o prazo final de entrega e os tempos de produção para determinar o máximo de tempo para início. A síntese desta fase é o *Master Production Scheduling (MPS)*

Reorder point procedure (ROP) – enquanto que no sistema ROP, o nível “de” para a manufatura período a período necessita de uma maior integração com os Centros de Distribuição (*Distribution Center – DC*).

Olhager e Selldin (2007) testaram este modelo empiricamente e descobriram que a escolha das abordagens (estratégias de planejamento) *time phased* ou *Chase Plans* podem ser direcionadas inicialmente, e de acordo com a respectiva ordem, nos níveis de MPS (*time phased*) e S&OP (*Chase Plans*) tendo um papel mediador importante para o desempenho operacional, o que permite considerar a possibilidade de uma 3^a alternativa na escolha de uma das estratégias, principalmente ao se considerar o caso de produtos consumidos pelo mercado com baixo volume e altamente personalizados com ampla gama de tipos de produtos e *lead time* curtos, não abordados entre as duas alternativas expostas anteriormente quanto à frequência de consumo dos produtos.

- 3) A 3^a estratégia surge para os casos de produtos fabricados em série em que há um determinado nível de customização do produto acabado com um número de componentes e matérias primas padrão nos diferentes níveis da sua estrutura de materiais, com *lead time* curto.

Neste caso, de certo modo a configuração mais comum nos dias atuais, implica no uso de uma estratégia híbrida, sendo no nível S&OP o planejamento do produto acabado com certo nível de customização e, portanto, com certo nível de inovação, sendo adotada a estratégia *Chase Plans* e no nível do MPS para matérias primas, componentes, subconjuntos e conjuntos padrão para uma determinada família de produtos a estratégia *Time Phased*.

Considerando que a partir da possibilidade de agregação dos produtos acabados por família no nível S&OP, o S&OP pode direcionar os esforços de planejamento no MPS.

O Planejamento de vendas e operações pode ser beneficiado com o uso de tecnologias como CMg e BDA/AI, uma vez que a análise de dados no planejamento agregado contribui significativamente para balizar o planejamento e controle da produção. Nesse sentido os autores Fang et al. (2016) e Shamsuzzoha et al. (2016) reforçam que a integração de sistemas corporativos e de controle requer o uso dessas tecnologias.

Para Yu et al. (2018) cabe ressaltar a importância do MES como uma das tecnologias que tem um papel preponderante na integração dos sistemas, uma vez que pode compartilhar informações da produção de modo a contribuir com o planejamento de vendas e operações.

É importante ressaltar que as atividades do planejamento de vendas e operações são responsáveis entre outras funções por garantir o compartilhamento e colaboração de informações, o que pode ser dinamizado com o uso de recursos inteligentes IoT com o propósito de coletar dados em tempo real Bueno, Godinho e Frank (2020).

3. Principais categorias de Sistemas de Informação

Nesse contexto, de acordo com Laudon e Laudon (2007), são consideradas no presente texto três categorias principais de sistemas de informação que devem apoiar ambas as estratégias respeitando as particularidades dos sistemas industriais.

1) Sistemas de Processamento de transação (SPT) – Sistemas Transacionais

Também definido como Sistemas de Planejamento dos Recursos Empresariais (SPRE). Categoria de sistemas de informação que apoia a integração coletando dados de vários processos de negócios importantes nas áreas de manufatura e produção, finanças e contabilidade, vendas e *marketing* e recursos humanos.

Os dados são armazenados em um único banco de dados eliminando o problema de fragmentação dos dados em sistemas distintos, compartilhados por toda a empresa, e as diferentes partes da organização podem cooperar de maneira mais estreita.

2) Sistemas de Informação Gerenciais (SIG)

Categoria específica de sistemas de informação que atendem aos gerentes de nível médio. Trata-se de ferramentas computacionais capazes de proporcionar relatórios sobre o desempenho corrente da organização disponibilizando informações que permitem monitorar e controlar a empresa, além de permitir prever seu desempenho futuro.

Dentre as aplicações possíveis os sistemas de informação gerenciais resumem e relatam as operações básicas da empresa de modo que os dados básicos utilizados são de transações obtidas dos sistemas de processamento de transação (SPT) comprimidos e comumente apresentados em relatórios produzidos segundo uma programação periódica e formato de consolidação de dados previamente definido. *Manufacturing Execution System* (MES).

3) Sistemas de Informação Empresariais (SIE)

_ Sistemas de apoio à decisão (SAD)

Categoria específica de sistemas de informação que atendem aos gerentes de nível médio no contexto do processo de tomada de decisões não usuais dando ênfase a partir das suas

funcionalidades a problemas únicos e que se alteram com rapidez, para os quais não existe um procedimento de resolução totalmente pré-definido.

É importante destacar, porém, que os sistemas de apoio à decisão também dão suporte ao nível mais alto: Nível Estratégico, devendo estar envolvido na busca por resposta às questões como, por exemplo:

Qual o impacto no resultado operacional da fábrica, caso fosse implantado um determinado projeto de melhoria do fluxo de produção com ênfase a minimizar restrições no processo de fabricação.

Aplicativos desenvolvidos a partir do conceito do *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) com funcionalidades específicas de simulação do fluxo de produção de modo sistêmico e não pontualmente por processo podem ser considerados como aplicativos desta categoria.

_ Advanced Planning System

Softwares APS são ferramentas computacionais especializadas em soluções avançadas de planejamento e programação de operações, capazes de levar em consideração, praticamente todas as variáveis e restrições inerentes ao ambiente produtivo, gerando planos de produção viáveis e factíveis.

Trata-se, por exemplo, da avaliação de qual deve ser o impacto na programação da produção se o volume de ordens a serem programadas em um determinado período específico dobrar.

_ Sistemas de apoio ao executivo (SAE)

Categoria específica de sistemas de informação que atendem a gerência sênior a tomar decisões.

Trata-se de ferramentas computacionais que abordam a partir das suas funcionalidades decisões não rotineiras que exigem bom senso e capacidade de avaliação e percepção, uma vez que não existe um procedimento previamente estabelecido para se chegar a uma solução.

Essa categoria permite realizar filtros, consolidação e rastreabilidade de dados críticos, mostrando apenas os mais importantes para a gerência sênior.

É importante destacar que na terceira fase de evolução da tecnologia da informação aplicada à gestão industrial, a fase com ênfase em “Processos”, torna-se um marco o surgimento de ferramentas computacionais especialistas em determinadas

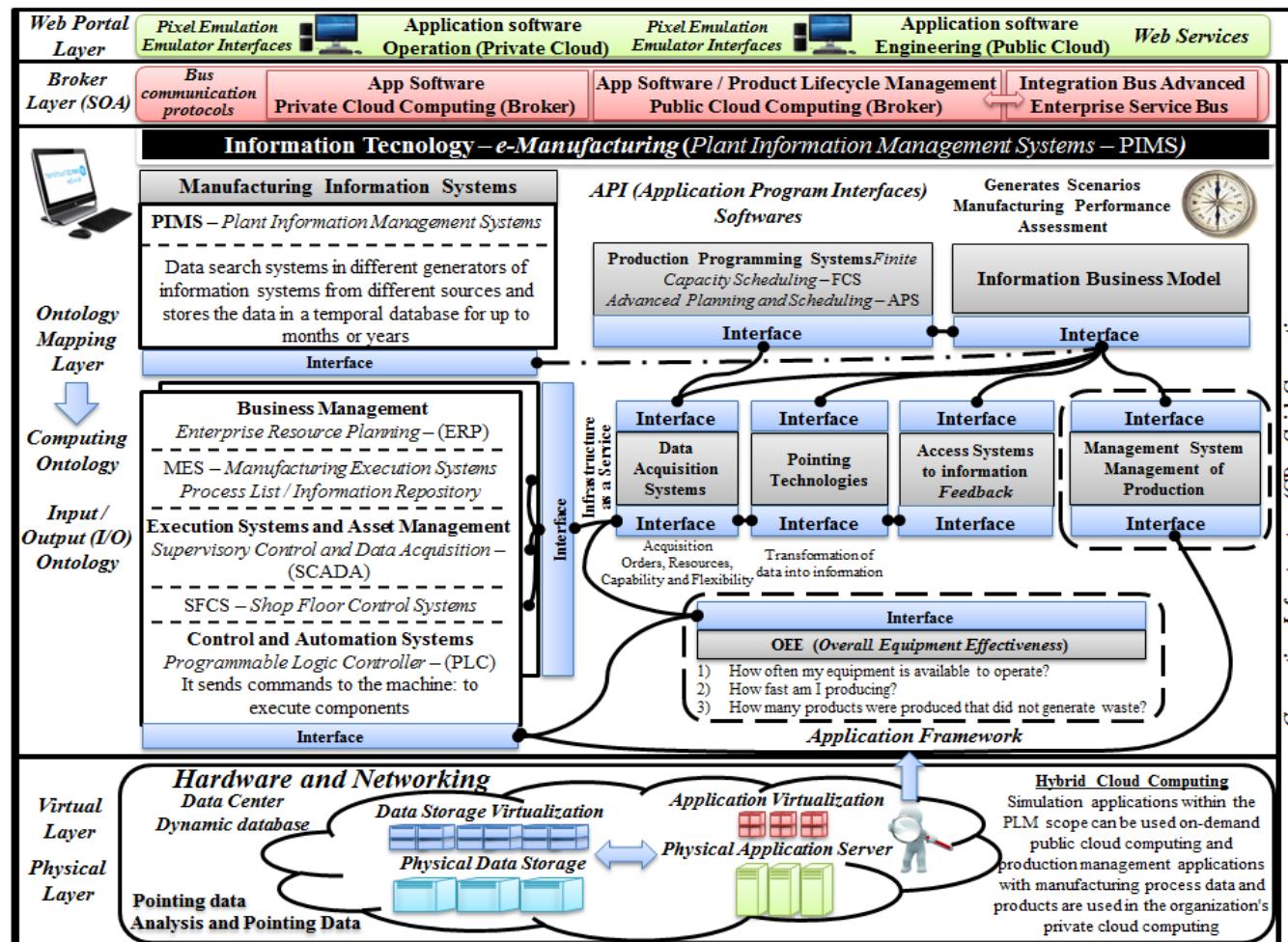
funções específicas e, portanto, especializadas da gestão da operação, destinadas a apoiar a execução de determinadas funcionalidades classificadas no escopo de uma das categorias definidas por Laudon e Laudon (2007), até então não contempladas pela TI.

Um exemplo, ainda que restrito a um número reduzido de companhias, quanto à sua aplicação é o fato de que nesta fase, como consequência também da amplificação do *mix* de produtos e do aumento da concorrência no mundo globalizado, ocorre a “popularização” dos *softwares APS* (*Advanced Planning Scheduling*) e a consequente ênfase à programação da produção no ambiente de manufatura, a fim de permitir o uso mais efetivo dos recursos com ênfase em maior flexibilidade e capacidade de resposta dos sistemas de produção.

Contudo, no momento atual a programação e controle da produção, para os autores Alves et al. (2019); Dolgui et al. (2019); Ivanov et al., (2016); Jiang et al.(2018); Kang et al. (2018); Lin et al. (2019); Rossit, Tohmé e Frutos (2019 a, b e c); Wang e Li (2019) requer o uso de recursos inteligentes que estão diretamente relacionados à automação inteligente como definido no *framework* da Figura 5 deste trabalho.

É a busca por recursos capazes de atualizar os dados e as informações em tempo real e inteligência capaz de tomar decisões também em tempo real e no formato distribuído. Neste caso a inteligência artificial é um aliado, assim como a tecnologia IoT.

Figura 5 - Aplicação da tecnologia da informação a partir das funcionalidades de cada categoria das ferramentas computacionais.



Fonte: Adaptado de Azzolini et al. (2015) e Wu et al. (2015).

A programação inteligente para esses autores encontra-se no contexto do *Cyber-physical systems* (CPS) e busca contribuir no campo das capacidades inteligentes de escalabilidade, modularidade, coleta de dados autônoma e como esperado, na descentralização permitindo operações orientadas a dados, adaptabilidade, flexibilidade e colaboração, para programação e sistemas de controle de chão de fábrica (BUENO; GODINHO; FRANK, 2020).

Os autores Lee et al. (2018) consideram ainda que as capacidades avançam no encontro dos sistemas de produção ciberfísicos cooperativos integrados com IoT-MES/APS.

No campo do controle de chão de fábrica a automação vem se beneficiando com os recursos inteligentes no controle de produção autônomo e integração de tarefas com base em CPS/AI (BOGATAJ; BOGATAJ; HUDOKLIN, 2017; GRUNDSTEIN; FREITAG; SCHOLZ-REITER, 2017).

Outras áreas como manutenção, tarefas envolvendo recursos como robôs e humanos também avançam na automação e uso de recursos inteligente como bem desenhado no trabalho de Bueno, Godinho e Frank (2020).

- 1) Manutenção preditiva integrada à programação da produção com base em CPS/AI (ANSARI; GLAWAR; NEMETH, 2019);
- 2) Planejamento inteligente com o uso de algoritmos de controle para alocação de tarefas humano-robô otimizada e automática (Bänziger, Kunz, Wegener, 2020);
- 3) Células de manufatura com autonomia (percepção inteligente, otimização/simulação, previsão e controle);
- 4) Auto-otimização (autopensamento, autodecisão, autoexecução e autoaperfeiçoamento) (ZHOU et al., 2019).

Há evidentemente um longo caminho a ser percorrido, embora o surgimento de novas tecnologias da informação que passaram a apoiar essa tendência tem contribuído significativamente para o avanço de uma nova configuração de sistemas de informação com interfaces mais amigáveis.

Desta nova configuração, o foco da concepção do projeto de TI na área industrial passou a ser a integração do fluxo de informação da manufatura com o fluxo de informação gerencial da organização, resultando na redefinição da categoria Sistemas de apoio ao executivo (SAE) como um grupo de ferramentas computacionais capaz de gerenciar a inteligência e o conhecimento do negócio, o *Business Intelligence*.

3.1. Business Intelligence

Aplicações de BI – *Business intelligence* incluem as atividades relacionadas a sistemas de suporte à decisão (*Decision Support Systems*), desenvolvimento de *query* (palavras-chave de busca) e relatórios, processamento analítico de dados (*Online Analytical Processing – OLAP*), *Data Warehouse* (DW), análise estatística, previsão de vendas e *Data Mining*.

3.1.1. Diferentes perspectivas do BI – *Business Intelligence*

De acordo com Nazier, Khedr e Haggag (2013) *Business Intelligence* (BI) pode ser definido como uma categoria de aplicativos da Tecnologia da Informação desenvolvidos para apoiar a coleta, o armazenamento e a análise dos dados disponíveis a partir de um banco de dados relacional o que envolve a integração de sistemas computacionais complexos dependendo da concepção do projeto e sua respectiva aplicação. Neste caso o conhecimento técnico por parte dos especialistas e o real entendimento das necessidades de rastreabilidade e controle do sistema produtivo assumem um papel de destaque.

O objetivo, contudo, do conceito *Business Intelligence* (BI) é, a partir da tecnologia da informação disponível e dos aplicativos relacionados, facilitar o acesso a dados operacionais precisos consolidados para ajudar os usuários corporativos a tomar decisões de negócios de modo ágil.

Entre os principais aplicativos de BI – *Business Intelligence*, encontram-se:

- 1) **Executive Information System (EIS)** – sistema de informação com foco na função de fornecer informações atualizadas e adequadas capazes de apoiar o processo de tomada de decisão gerencial.

A ênfase desse tipo de sistema computacional, a partir de uma interface com o banco de dados relacional do sistema corporativo da organização, é disponibilizar através de *displays* gráficos as informações necessárias para fundamentar o processo de tomada de decisão, quanto aos prováveis cenários e tendências possíveis de serem identificados.

- 2) **Executive Support System (ESS)** – sistema de informação com foco no auxílio ao processo de tomada de decisão de uma área específica a partir da

disponibilidade dos dados e informações no aplicativo de funcionalidades de análise dos dados importados do banco de dados relacional.

- 3) ***Expert System (ES)*** – sistema homem-máquina especialista na resolução de problemas. A proposta desse tipo de aplicativo é o registro da experiência adquirida pela empresa na solução de problemas inerentes aos seus processos de negócio ao longo da sua existência, de modo que o escopo do projeto de desenvolvimento de um sistema *Expert System (ES)* parte da funcionalidade relacionada à solução de problemas a partir da "*expertise*" ou *know-how* adquirido pela corporação. Esse tipo de sistema é composto de conhecimento sobre um determinado processo, produto ou tecnologia com o objetivo de ampliar ou auxiliar a compreensão de problemas específicos, e de uma lógica de estruturação do problema para o delineamento da sua solução.
- 4) ***Data Warehouse e Data Marts*** – sistema de armazenamento de dados que atua como um repositório integrado para o registro estático de informações de consulta e análise. A informação é extraída de diferentes fontes de dados quando da atualização da base, mantida armazenada por período de tempo definido pelo gestor do sistema. *Data Warehouse* armazena dados provenientes de diferentes bases de dados de uma empresa quando houver, enquanto que *data marts* geralmente consolida base de dados menores concentrando-se em um assunto ou departamento específico.
- 5) ***On-line Analytical Processing (OLAP)*** – sistema computacional de apoio à decisão que tem como objetivo extrair conhecimento a partir de um sistema de armazenamento de dados (*Data Warehouse*), ou mais especificamente, a partir de *data marts*. O aplicativo deve fornecer funcionalidades que a partir de dados importados de um *Data Warehouse* são capazes de gerar interativamente consultas *ad-hoc*, sem a intervenção de profissionais de TI.
- 6) ***Data mining (Knowledge Discovery and Data Mining process – KDD)*** – mineração de dados ou etapa de análise e busca de conhecimento através da mineração de dados de um determinado processo. *Data mining* é considerado como um subcampo interdisciplinar da ciência da computação envolvendo o processo computacional de descobrir padrões em grandes volumes de dados conjuntos envolvendo métodos na intersecção da inteligência artificial, aprendizado de máquina, estatísticas e sistemas de banco de dados. O objetivo geral do processo de mineração de dados é extrair informações a partir de um

conjunto de dados e transformá-lo em uma estrutura comprehensível para uso posterior.

É importante ressaltar que a partir do banco de dados relacional de sistemas ERP (sistemas transacionais), a equipe de TI responsável pela manutenção e atualização dos registros de dados e informações do *Data Warehouse* realiza o processo de manutenção dos registros acessados quando há solicitação pelos aplicativos computacionais de consulta e análise como: *Executive Information System* (EIS), *Executive Support System* (ESS), *Expert System* (ES), *On-line Analytical Processing* (OLAP) e *Data mining* os quais representam a categoria de aplicativos da Tecnologia da Informação “BI – Business Intelligence” desenvolvidos para apoiar a coleta, o armazenamento e a análise dos dados disponíveis a partir de um banco de dados relacional, o que envolve a integração de sistemas computacionais complexos. De acordo com Nazier, Khedr e Haggag (2013) o processo de extração dos dados, consolidação e carregamento a partir da importação de dados de um *Data Warehouse* – DW é muitas vezes uma ação complexa por causa de fontes heterogêneas. Inconsistências na forma e tipo de dados podem ser esperadas. Contudo, trata-se de um processo de armazenamento de dados responsável pela coleta de dados de diferentes sistemas de origem, antes de transferir os dados como registro de um *data warehouse*.

Nazier, Khedr e Haggag (2013) ressalta que o processo de importação de dados, consolidação e carregamento envolve a execução de tarefas a partir de determinadas funcionalidades necessárias ao processo de transferência de dados e informações, sendo:

- a) **Extração dos dados dos sistemas de origem** – *Enterprise Resources Planning* – ERP e outros sistemas operacionais ou transacionais. Dados de diferentes sistemas de origem são convertidos em um formato *data warehouse* consolidado, pronto para o processamento de transformação ou consolidação dos dados.
- b) **Transformação dos dados** – pode envolver as seguintes tarefas:
 - 1) Aplicação de regras de negócio, as chamadas derivações, por exemplo, calcular as novas medidas de desempenho e dimensões das áreas de interesse para análise e avaliação;
 - 2) Filtro dos dados e eliminação de possíveis inconsistências ou redundâncias;
 - 3) Seleção de dimensões dos dados: região, tipo de produto, perfil de consumidor, etc.;
 - 4) Divisão de uma coluna em várias colunas e vice-versa;

- 5) Consolidação dos dados de várias fontes de dados diferentes (Transposição de linhas e colunas de dados. Aplicação de qualquer tipo de validação de dados simples ou complexos).
- c) **Carregamento dos dados** – transferência dos dados para um *data warehouse* ou repositório de dados e na sequência para outros aplicativos BI – *Business Intelligence* ou Sistemas de Informação Gerencial.

O processo que antecede o carregamento de dados quanto à origem dos dados na indústria é a coleta dos dados no chão de fábrica a partir do apontamento dos dados e processamento para gerar as informações durante a execução dos processos de fabricação, neste caso, trata-se da automação do procedimento de medição e controle dos recursos de manufatura ou da definição de procedimento de apontamento manual, o qual não é adequado em ambientes dinâmicos de alta complexidade.

Atualmente, há grandes dificuldades a serem transpostas por parte das empresas quanto ao desenho ideal do projeto de automação do procedimento de medição e controle, a partir da concepção do projeto de Tecnologia da Informação dos níveis hierárquicos superiores ao chão de fábrica.

Cabe nesse ponto destacar, como já mencionado quando do nível de planejamento de vendas e operações, que os recursos inteligentes, BDA/AI, incluem o processamento de *big data* em tempo real, onde o monitoramento de nível de estoque integrado para processos S&OP apoiam as atividades relacionadas no planejamento e no controle de modo geral, como enfatizado pelos autores Simchi-Levi e Wu (2018) e Andersson e Jonsson (2018).

Contudo, outros autores como Rauch, Dallasega e Matt (2018) destacam que recursos inteligentes IoT são capazes de dar suporte a recursos orientados por demanda em tempo real. O que, quando se trata da função PCP, permite a sincronização da IoT com ferramentas de apoio à decisão com funcionalidades inerentes a capacidade e programação, assim como há a integração com o módulo de planejamento e controle da produção dos sistemas corporativos, plano mestre de produção e planejamento das necessidades dos materiais (RAUCH; DALLASEGA; MATT, 2018).

Na mesma argumentação dos autores, Rossit, Thomé e Frutos (2019b, 2019c), consideram também que os recursos de suporte IoT e CPS, relativos à programação da produção, podem contribuir com o conceito de tomada de decisão distribuída e colaborativa em tempo real através da integração envolvendo o MES e o ERP.

O tópico seguinte tem como objetivo abordar os aplicativos que suportam a automação do procedimento de medição e controle do chão de fábrica.

3.1.2 Automação do procedimento de medição e controle do chão de fábrica e Integração com os Sistemas de Informação

A automação do procedimento de medição e controle do chão de fábrica pode ser dividida basicamente em quatro categorias:

- 1) Sistemas de apoio à decisão à gestão da manufatura – *Manufacturing Execution System* (MES) – atende à média gerência industrial;
- 2) Sistemas de Gerenciamento das Informações de Processo (*Plant Information Management System* (PIMS));
- 3) Sistemas de Medição de Desempenho Organizacional e Sistemas de Gestão de Desempenho (*Performance Management System* – PMS);
- 4) Sistemas de medição do chão de fábrica – automação do apontamento das atividades executadas no chão de fábrica.

3.1.3 Sistemas de apoio à decisão à gestão da manufatura – *Manufacturing Execution System* (MES)

Segundo McClellan (1997) os sistemas *Manufacturing Execution Systems* surgiram na década de 1990 com o propósito de preencher uma lacuna de comunicação entre os sistemas de planejamento da manufatura pertinentes a evolução dos sistemas MRP, MRPII e ERP e os sistemas de controle utilizados para executar os equipamentos no chão de fábrica.

McClellan (1997) destaca que um sistema *Manufacturing Execution System* (MES) é uma categoria de *software* com a funcionalidade de integração a outros aplicativos de apontamento *online* aos dados da operação de produção na fábrica e que tem como propósito a acumulação dos métodos e ferramentas utilizados para o acompanhamento da produção.

Desse modo, o *Manufacturing Execution System* (MES) é inicialmente uma consolidação e formalização dos métodos de produção e procedimentos que permite uma maior integração dos dados de todos os processos de fabricação envolvidos em uma forma mais útil e sistemática.

Segundo McClellan (1997) o *Manufacturing Execution System* (MES) deve ser considerado como um componente computacional de integração de todas as atividades que não estão no nível de planejamento da fábrica ou que não fazem parte do escopo de atividades da função de controle dos elementos de um projeto de TI que deve antes de tudo ser capaz de garantir o perfil proativo dos usuários, a partir do acesso à informação e dados que os mesmos devem ter com a integração *online* a todos os demais sistemas pertinentes ao processo de gestão da produção e que de algum modo atuam na execução ou gestão do fluxo de produção.

O resultado deve ser uma maior visibilidade em tempo real do que impacta no desempenho da manufatura, sendo um diferencial que possa vir a garantir uma maior competitividade e alinhamento da estratégia da manufatura com a estratégia do negócio. Nesse caso um *Manufacturing Execution System* (MES) pode ser considerado uma ferramenta computacional imbuída de abarcar todo esse universo de dados e informações sendo capaz de promover um processo de elevada sinergia de integração entre os pares, o que é muito maior do que a soma das partes do sistema de produção sem a visão sistêmica da relação de interdependência entre estas mesmas partes que o compõe.

A Associação Americana MESA International (*Manufacturing Execution Systems Association*) conduziu no início da década de 1990 um estudo a respeito destas tendências a partir do contato com usuários do MES de companhias de diferentes segmentos e disponibilizou na época uma relação de benefícios do uso do MES:

- 1) Redução do tempo de ciclo da manufatura;
- 2) Redução ou eliminação do tempo de recebimento dos dados;
- 3) Redução do estoque em processo;
- 4) Redução ou eliminação dos relatórios de resultados ou registros da operação entre turnos;
- 5) Redução do *lead time*;
- 6) Melhora da qualidade do produto;
- 7) Eliminação dos relatórios de perdas;
- 8) Maior capacitação das pessoas envolvidas nas operações da planta;
- 9) Melhora do planejamento dos processos;
- 10) Melhora do serviço ao cliente.

É fato, com base na literatura especializada em gestão da produção, que o *Manufacturing Execution System* (MES) não é capaz de proporcionar mudanças

significativas nos métodos de produção aplicados no chão de fábrica e que os sistemas de controle da produção (*Systems Production Control – SPC*) também não devem mudar os processos de fabricação existentes em um sistema de produção, o que com certeza não impede que o *software MES* seja utilizado como uma parte ou componente de TI como suporte da manufatura de forma que suas informações apoiem o processo de tomada de decisão.

Uma vez que o gestor tem ferramentas gerenciais capazes de permitir ao mesmo tempo identificar precisamente quais recursos de produção estão disponíveis, ele pode a princípio não conseguir aumentar a produção, mas a informação pode ajudá-lo a melhorar o estabelecimento de prioridades.

Do mesmo modo a variável tempo e a capacidade de atendimento das ordens de produção em execução na fábrica, mesmo que monitoradas, podem não contribuir quanto a alguma mudança no volume de produção liberado para execução ou processamento na fábrica, neste caso o conhecimento de habilidades específicas identificadas como a disponibilidade da mão de obra empregada pode permitir realizar um planejamento muito mais realístico ou exequível do ponto de vista da eficiência e da eficácia.

É nessa direção que McClellan (1997) destaca a importância do conhecimento que o *Manufacturing Execution System (MES)* pode deter e disponibilizar ao tomador de decisão, além de permitir o carregamento exequível de ordens de produção em um centro de trabalho, o que por sua vez não muda as taxas de produção dos recursos de manufatura envolvidos, mas contribui essencialmente para o conhecimento real da condição da carga de trabalho em um determinado momento o que permite fazer intervenções e promover mudanças de planos de trabalho, assim como auxiliar na localização ou identificação do *status* de uma determinada ordem de produção, ou estimar seu término com base no *feedback* gerado para um *software APS*, por exemplo, o que permite confrontar o programado com o realizado.

Todo esse conjunto de possibilidades relacionadas somente pode ser mensurado a partir da integração dos sistemas e consequentemente da consolidação dos dados e informações do processo de produção, o que deve também contribuir para a consolidação da informação do inventário ou estoque em processo e as suas prováveis causas em função da ineficiência do sistema, o que deve ir além do ambiente do chão de fábrica, devendo obviamente se estender ao grupo de fornecedores de componentes, restrição que compromete na maioria dos casos das indústrias sua capacidade de minimizar os níveis do volume de itens ao longo do fluxo de produção.

Dados relacionados à quantidade por item ou componente do inventário disponibilizado, através do acesso *online* da informação com a respectiva localização deve contribuir não somente para uma análise pontual para se avaliar a capacidade da fábrica de escoamento da produção, como também facilita a busca por informações a respeito do conhecimento sobre um item específico quando ordens de produção estão sendo reprogramadas.

A programação das tarefas ou ordens de produção em um centro de trabalho que eventualmente pode ter o seu uso interrompido para a realização de manutenção deve ter um impacto menor no cumprimento dos prazos de finalização quando há um sistema integrado capaz de informar o gestor do processo ou os colaboradores diretamente afetados pela informação de que um determinado recurso na fábrica não estará disponível em um determinado momento, do mesmo modo que o próprio *software* pode alocar automaticamente a ordem de produção para um recurso alternativo, que em função do nível de carga de trabalho estar abaixo da sua capacidade nominal pode contribuir para com a execução da ordem minimizando atrasos e transtornos no ambiente fabril.

Com base no exposto é fato que podemos considerar que a vantagem inicial do *Manufacturing Execution System* (MES) é a habilidade de integrar mais precisamente a informação dos processos de fabricação de modo sistêmico envolvendo todas as áreas a fins e seus respectivos recursos produtivos, com o propósito de apoiar o processo de tomada de decisão, tornando-o mais assertivo. A MESA *International* define como atividades que o *Manufacturing Execution System* (MES) apoia, relacionadas às diferentes áreas envolvidas no gerenciamento da produção, as seguintes:

- 1) **Status e alocação de recursos** – recursos a serem controlados ou gerenciados pelo *Manufacturing Execution System* (MES), como: máquinas, ferramentas, habilidades da mão de obra, materiais e documentação envolvendo roteiros de fabricação e especificações técnicas do processo de fabricação, que devem estar disponíveis para a produção iniciar uma operação;
- 2) **Detalhamento da operação para apoio à programação da produção** – deve auxiliar na definição do sequenciamento baseado em prioridades, atributos, características e ou roteiros de fabricação ou composição de produtos.

Em determinados casos específicos associados com itens de produção em uma operação, é fundamental que as instruções de trabalho contemplem toda a sistemática de execução com base nas boas práticas de produção, as quais

- representam o *know-how* adquirido e aprimorado pela empresa ao longo do tempo;
- 3) **Lista de tarefas da produção** – deve auxiliar na gestão do fluxo de produção com base no acompanhamento de tarefas, ordens de produção, lotes e pedidos;
 - 4) **Controle de documentos** – deve apoiar os controles de relatórios/formulários que devem ser mantidos em uma determinada área de produção, incluindo instruções de trabalho, roteiros de fabricação, desenhos, procedimentos padrão da operação, programas de produção dos componentes, registros de lotes, notificações de mudanças ou alterações de engenharia e comunicações entre turnos de trabalho, além das informações a serem liberadas para os colaboradores como dados de planejamento ou do tipo construtivo de determinados itens;
 - 5) **Dados de aquisição e recebimento de materiais ou insumos** – providencia um *link* para a obtenção de dados paramétricos e operações da produção na *intranet* da empresa. Neste caso pode manter interface na *Private Cloud Computing*;
 - 6) **Gestão da mão de obra** – providencia o *status* do quadro de colaboradores em um determinado período de tempo;
 - 7) **Gestão da qualidade** – providencia em tempo real análises de medições apontadas na fábrica a fim de assegurar o controle adequado da qualidade dos produtos e a identificação de problemas eventuais que requerem a atenção do gestor da produção dentro do escopo do Sistema de Qualidade da empresa;
 - 8) **Gestão do processo** – permite monitorar a produção e correções adicionais automaticamente ou promove o apoio à decisão para operadores providenciarem a correção e a melhoria das atividades que estão sendo executadas no processo de fabricação;
 - 9) **Gestão da manutenção** – permite definir cronogramas das atividades de manutenção dos equipamentos e ferramentas a fim de assegurar sua disponibilidade, assim como a rastreabilidade e liberação da execução da operação;
 - 10) **Rastreabilidade dos produtos** – permite maior visibilidade quanto à localização das ordens de produção durante todo o tempo de processo e o seu *status*. Informações de *status* podem incluir a alocação da mão de obra; materiais internamente ou no fornecedor, lotes e número de série apoiando a rastreabilidade, condições da produção atual e avisos relacionados à criticidade do que deve ser realizado, retrabalho ou demais exceções relacionadas a um determinado produto;

- 11) **Análise de desempenho** – permite a qualquer momento a emissão de relatórios precisos e atualizados das operações de manufatura como resultados obtidos ao longo da produção e a comparação de históricos passados e resultados esperados do negócio.

A MESA *International* divide as funcionalidades a serem atendidas pelo *Manufacturing Execution System* (MES) a partir de dois grupos principais de funcionalidades:

- 1) **Funcionalidades consideradas essenciais** – são as funcionalidades diretamente associadas com a gestão da produção;
- 2) **Funcionalidades de suporte** – são as funcionalidades que podem ser definidas como atividades de apoio ou periféricas.

Dentre as funcionalidades essenciais a MESA *International* descreve:

- 1) **Interface com sistemas de planejamento** – descreve a conexão com o nível de planejamento;
- 2) **Gestão das ordens de produção** – esta funcionalidade permite gerenciar as ordens de produção, incluindo a programação da produção, para todas as ordens no sistema;
- 3) **Gerenciamento da estação de trabalho** – esta funcionalidade é responsável pela execução e acompanhamento do plano da ordem de produção, programação da estação de trabalho e da configuração lógica de cada estação de trabalho;
- 4) **Gerenciamento e rastreabilidade do inventário** – a funcionalidade de rastreabilidade do inventário acompanha todos os desenvolvimentos relacionados a novos materiais e processos, assim como os níveis dos estoques e mantém todos os detalhes de cada lote de produção ou compra atualizado a fim, entre outros fatores, de manter os registros para análise de performance e elaboração de planos de contingência;
- 5) **Gerenciamento da movimentação dos materiais** – controle da movimentação de materiais, manual ou automatizada, é gerenciada e programada através desta funcionalidade;
- 6) **Apontamento de dados** – esta funcionalidade age como um tradutor dos dados e informações assim como atua no acompanhamento de toda a movimentação de recursos na operação com base no acompanhamento de níveis de uso dos recursos

e atendimento aos prazos acordados, com base em todas as informações que são necessárias e ou geradas no chão de fábrica;

- 7) **Gerenciamento das exceções** – esta funcionalidade disponibiliza a habilidade de responder a todos os eventos não previstos que afetam o plano de produção, com intervenções sistemáticas durante o processo de fabricação.

Já as funcionalidades identificadas como de suporte devem proporcionar a habilidade do gestor de se manter conectado *on-line* à operação durante todo o processo de execução, de modo que o sistema dê suporte constantemente às intervenções necessárias à fabricação dos produtos ou algum novo produto que pode ser inserido no *mix* de produtos do negócio no futuro.

Tais funcionalidades são:

- 1) Gerenciamento da manutenção;
- 2) Tempo e apontamento;
- 3) Controle estatístico do processo;
- 4) Qualidade assegurada;
- 5) Análise do desempenho e dados do processo;
- 6) Gerenciamento dos dados referentes a documentos e produtos;
- 7) Rastreabilidade de produtos e processos;
- 8) Gerenciamento de fornecedores.

Embora o autor citado no texto desse tópico até esse parágrafo teve seu respectivo projeto de pesquisa proposto à época, publicado no início da década de 1990, assim como a publicação da *Manufacturing Execution Systems Association* (MESA International), publicações científicas com ênfase nas aplicações industriais envolvendo sistemas computacionais integrados no processo de gestão da produção, nos dias atuais, não exploram questões muito diferentes quanto à importância e dificuldades relacionadas ao uso dessas ferramentas, como pode ser observado nos trabalhos publicados pela Associação de Engenheiros Alemães (*Verein Deutscher Ingenieure – VDI*) (BIKFALVI et al., 2014; KLETTI, 2007).

A Associação de Engenheiros Alemães (*Verein Deutscher Ingenieure – VDI*) deu início a um trabalho de definição de sistemas MES em sua linha de procedimentos (*guideline*) não muito recentemente.

Contudo, a associação VDI define as tarefas que um sistema MES deve apresentar, não muito distintas das definidas pela MESA *International*.

- 1) Planejamento detalhado e controle da programação detalhada;
- 2) Gerenciamento de recursos de operação;
- 3) Gerenciamento de materiais;
- 4) Gerenciamento de mão de obra (corpo de funcionários);
- 5) Aquisição e processamento de dados;
- 6) Gerenciamento de interface;
- 7) Gerenciamento de qualidade;
- 8) Gerenciamento da informação.

Dentro do contexto de planejamento para implementação de um sistema MES, Kletti (2007) ressalta pontos importantes, como:

- 1) **O primeiro ponto** – como medida inicial – é identificar qual a estrutura e tipo de produção;
- 2) **O segundo ponto** – como parte do processo de implementação – é descobrir como o planejamento e controle da produção está atualmente sendo realizado e, como podem ser melhorados com as funcionalidades do sistema MES.

A MESA define a hierarquia de camadas, de acordo com o esquema apresentado nas Figuras 2 e 4 como sendo: ERP, MES, Sistemas supervisórios e Coletores de dados. Outro ponto importante destacado, quanto a condições técnicas, é a necessidade de uma rede LAN (*Local Area Network*) com interfaces padronizadas, com a qual o nível de gerência, a gerência de produção e o fluxo de produção (chão de fábrica) possam se comunicar.

O MES pode ser usado como um *link* (elo) de integração vertical entre a gerência corporativa e a produção.

No ambiente de TI, o MES consagra-se como uma importante ferramenta de coleta e informação de dados para a organização da empresa como um todo e, principalmente, como já mencionado, para as áreas de produção, recursos humanos e qualidade.

Kletti (2007) também destaca o MES como um integrador horizontal, através do qual, incorpora as funcionalidades do gerenciamento da produção com eficiência.

Kletti (2007) ressalta que, enquanto o principal motivo para o uso de um sistema MES, no caso de produção “*job shop e flow shop*” de múltiplos estágios (torneamento, fresagem, galvanização etc.), é o de melhorar a interação entre as etapas dos processos individuais.

Dessa forma, o curso de uma ordem de produção na produção em massa, requer a ênfase em aumentar a taxa de utilização dos recursos de manufatura das linhas de produção, de modo que o monitoramento e o controle dos desvios do padrão de ocupação definido como meta possam ser atingidos, e que a adequação da fábrica a padrões de desempenho cada vez mais ousados requer uma medida efetiva de que o desempenho atual reflita melhorias, a fim de manter a proposta de uma filosofia de trabalho na operação de melhoramento contínuo.

Com base na busca do melhoramento contínuo, sistemas MES, devido a sua estrutura modular, podem ser facilmente adaptados para ambientes de produção específicos e apoiar tal filosofia de trabalho.

Contudo, basicamente, Sistemas de TI, podem contribuir do seguinte modo:

- 1) Produtos podem ser desenvolvidos em sistemas CAD, manufaturados e montados com base em programas de controle numérico (NC);
- 2) Ordens e planos de produção são planejados com o ERP e controlados operacionalmente com o MES;
- 3) Processos de produção ou fábricas são simulados com o uso de ferramentas de manufatura digital – ou fábrica digital na nomenclatura de Kletti (2007) e então transferida para ambientes operacionais reais;
- 4) Dados de máquinas e instalações são coletados e reportados às redes industriais de computadores (por exemplo, *Ethernet*).

O autor destaca que o uso de *softwares* capazes de apoiar o processo de tomada de decisão das empresas contemporâneas tornou-se fundamental no controle e no planejamento de processos dos sistemas de produção.

O autor explora o fato de que modelos gerenciais no ambiente de chão de fábrica atualmente são baseados em funcionalidades de suporte à decisão dos negócios e processos de manufatura com o objetivo de garantir uma maior integração entre os processos, a fim de facilitar o propósito de uma gestão sistêmica e não pontual por processo, de modo que a literatura aponta para o desenvolvimento, a partir da década de 1990, de um número significativo de aplicativos computacionais que podem ser

classificados de acordo com os níveis hierárquicos da organização quanto ao modelo de gestão adotado a partir de suas funcionalidades, objetivos e horizonte de tempo de acompanhamento. Contudo, Bikfalvi et al. (2014) afirma que ainda, após os mais de dez anos do desenvolvimento e uso do *Manufacturing Execution System* (MES) em aplicações na produção, a grande maioria das pesquisas desenvolvidas atualmente enfrenta como maior desafio a busca pela solução de problemas relacionados à integração dos dados e informações das atividades de planejamento e controle de modo a apoiar efetivamente o gerenciamento das operações de manufatura (*Manufacturing Operations Management* – MOM). Tal desafio envolve solucionar problemas eventuais de integração e de precisão dos dados no suporte às suas atividades de gerenciamento das operações de produção (*Production Operations Management* – POM).

O padrão estabelecido pelas normas ANSI/ISA – 95.00.01–2000 e ANSI/ISA–95.00.03 de 2005 deliberou alguns modelos e metodologias úteis com as principais funcionalidades a serem incluídas no nível dos *loops* de controle do chão de fábrica.

De acordo com as normas é possível identificar dois métodos principais para a melhoria da qualidade do gerenciamento das operações da produção (*Production Operations Management* – POM):

- 1) **Método capaz de apoiar a habilidade de tornar o sistema de produção proativo** – a norma define a necessidade do uso do conceito de programação da produção fina baseada em regras de *Scheduling* condizentes com as estratégias de manufatura tornando a programação da produção um dos cernes principais da capacidade de resposta do chão de fábrica, uma vez que alinhado com a real capacidade de resposta dos recursos de manufatura em um contexto sistêmico e não pontual, o *Manufacturing Execution System* (MES) em conjunto com o *Advanced Planning System* – APS é fundamental;
- 2) **Método capaz de apoiar a habilidade de tornar o sistema de produção reativo** – a norma define a necessidade, como já exposto no primeiro método, do conhecimento do gestor da real capacidade da fábrica, definida sistematicamente e não pontualmente por recurso, o que somente é possível se o sistema de informações da manufatura foi estruturado a partir de indicadores de desempenho definidos com base em critérios de gestão.

Desse modo esse método é baseado na evolução de alguns indicadores chave de desempenho (*Key Performance Indicators* – KPI), determinado a partir das análises dos dados de eficiência do chão de fábrica.

Ambos os métodos exploram vantagens das aplicações dos *softwares* usados em diferentes componentes ou funcionalidades do *Manufacturing Execution System* (MES).

Contudo, conclui-se com base no exposto por Bikfalvi et al. (2014), que nos dias atuais está muito mais evidente, do que praticamente era necessário em torno de uma década passada, que o desafio da indústria contemporânea em se manter competitiva globalmente, não será possível de se conquistar caso a organização industrial não seja capaz de estimular o desenvolvimento sustentável do seu sistema de produção, uma vez que o projeto e operação desse sistema devem estar apoiados na integração do perfil das expectativas e exigências de qualidade do mercado com a adaptação flexível da sua estratégia de manufatura.

A estratégia de manufatura, contudo, deve ser definida com base na realidade dos requisitos que a fábrica deve contemplar para se tornar capaz a atender tais expectativas, o que requer que todo o esforço nessa direção tenha o suporte do planejamento e controle da produção, cuidadosamente construído, a fim de conduzir a execução das estratégias da manufatura com foco no alinhamento às estratégias de negócio, as quais devem obrigatoriamente ter sido compreendidas na integração por todos os colaboradores, independente da função desempenhada na estrutura organizacional.

Esta afirmação é especialmente verdadeira quando consideramos companhias de produção discreta, onde atividades padrão do gerenciamento do negócio (*Business Management* – BM) podem ser modeladas a partir de uma estrutura multi-nível, como uma matriz de inter-relacionamento de mais de um indicador de desempenho.

Isto é característico de uma grande maioria de empresas de pequeno e médio porte, assim como de grandes companhias multinacionais.

3.1.4 Plant Information Management System – PIMS e o uso da Tecnologia Cloud Computing

Segundo Feijó (2007) na década de 1990 as indústrias enfrentavam o problema da estrutura dos sistemas computacionais de controle ser constituída por uma concepção que dava origem a formação de ilhas de automação sem a integração das informações entre os diferentes processos de fabricação existentes em seu parque industrial, inibindo desse modo a disponibilidade dos dados da produção do chão de fábrica do recebimento de

matérias primas e componentes até o último processo de fabricação ou expedição dos produtos acabados.

Desse modo, o maior problema enfrentado nesse período pelas indústrias de um modo geral era a consolidação dos dados dos diferentes processos de fabricação no chão de fábrica.

Com o propósito de auxiliar no enfrentamento do problema de apontamento e registro desses dados foi desenvolvido, inicialmente nas indústrias de processo contínuo, mais precisamente no setor petroquímico, um novo conceito de banco de dados específico para o controle do fluxo de informações industrial, o *Plant Information Management System* – PIMS, que Feijó (2007) destaca como um avanço da disponibilização dos dados da produção.

Dante (2009) destaca que o software *Plant Information Management System* – PIMS também é definido na literatura como *Process Information Management System* – PIMS e *Production Information Management System* – PIMS e que representa uma solução concebida para o enfrentamento do problema de falta de acessibilidade às informações e ao conhecimento efetivo do processo industrial o que permitiu subir mais um nível na pirâmide da automação de acordo com o escopo dos sistemas *Enterprise Production Systems* – EPS, onde estão incluídos, ainda segundo o autor os *Plant Information Management Systems* – PIMS e os *Manufacturing Execution Systems* – MES.

Segundo Dante (2009) trata-se de um sistema computacional dotado da capacidade do software de assumir a funcionalidade de registro dos dados da operação industrial de modo consolidado, envolvendo todas as diferentes unidades de processamento da planta com seus respectivos dados a serem mantidos em uma base de dados única e armazenados por um período de tempo não limitado, ou seja, por vários anos esses dados podem ser mantidos disponíveis para os diferentes níveis de planejamento já no formato de aplicações específicas, que possam agregar alto valor para o monitoramento e a análise do processo de produção. Com esse propósito, Dante (2009) e Feijó (2007), destacam a importância de que o *Plant Information Management System* – PIMS somente deve atender tal objetivo se contemplar as funcionalidades descritas:

- 1) Coleta de dados de sistemas específicos de controle do chão-de-fábrica e sistemas corporativos;
- 2) Alta e eficiente compressão dos dados;
- 3) Capacidade de armazenamento histórico superior a 10 anos;
- 4) Alta velocidade de resposta a consultas;

- 5) Ferramentas cliente servidor de utilização fácil e intuitiva, como por exemplo, uso de telas sinóticas, concepção de relatórios, Key *Performance Indicators* – KPI, disponibilidade de dados via portal *web*, dentre outros. Destacando que a manufatura digital com o uso da *Cloud Computing* permite melhores resultados do que a estrutura de acessibilidade ao *software* cliente servidor.

A partir das funcionalidades atribuídas pelos autores ao *software Plant Information Management System*, os mesmos destacam que o projeto deve permitir ao aplicativo prover o usuário de melhorias no processo de apontamento e análise dos dados de produção.

- a) **Consolidação dos dados em uma única base de dados:** a partir da exclusão de pontos isolados de informações concentradas, o que deve permitir a consolidação dos dados de diferentes áreas e sistemas da empresa mantidos integrados em uma mesma análise;
- b) **Descentralização do acesso à informação:** o acesso aos dados por diferentes níveis de usuários passa a ser realizado em tempo real;
- c) **Coleta e apontamento de dados e de informações:** disponibilidade de diferentes tipos de dados e informações do processo de fabricação como produtividade, perdas, consumos, *status* de processo, alertas de eventos não esperados, análise de desempenho, comportamento do processo, variabilidade, tempos de parada. Com o uso da *Cloud Computing*, através da infraestrutura móvel como celular e *smart phone* o usuário pode ter acesso aos indicadores em qualquer lugar do mundo, havendo acesso a *Internet* como rede pública;
- d) Dados consolidados permitem agregar valor às informações disponibilizadas para análises: o sistema possui funcionalidades capazes de realizar análises avançadas do processo de fabricação que podem ser desdobradas em controles estatísticos de processo, inter-relacionamento de dados a partir dos indicadores de desempenho utilizados, análise de *batches* e consequente prospecção de conhecimento a respeito do processo, a fim de dar um *upgrade* do *know-how* da indústria a respeito do seu processo industrial.

3.1.5 Sistemas de Medição de Desempenho Organizacional e Sistemas de Gestão de Desempenho (*Performance Management System – PMS*)

Atualmente a concepção de Sistemas de Medição de Desempenho Organizacional (SMD) e Sistemas de Gestão de Desempenho – *Performance Management System* (PMS) transformaram-se em um dos temas centrais relacionados ao alinhamento das estratégias de negócio e de manufatura, lembrando que um sistema é consequência do outro e que na maioria dos métodos disponíveis na literatura foram desenvolvidos para atender as funcionalidades de medição e gestão e que ambos os sistemas pertencem a um único sistema, capaz de medir e gerenciar o desempenho da organização.

Fernandes (2004) afirma que os sistemas de medição de desempenho organizacional (SMD) surgiram na década de 1950 a partir do uso do *Tableau de Board* na França.

Em função do aumento do dinamismo do mercado mundial e da consequente complexidade dos sistemas produtivos, vários trabalhos encontrados na literatura que tratam do projeto de sistemas computacionais de medição de desempenho organizacional, abordam a necessidade do uso de um *software* com essa funcionalidade de medição e controle, capaz de relacionar todas as variáveis e restrições da manufatura sistematicamente a partir dos dados do processo de fabricação relacionados aos roteiros de fabricação. Recursos de manufatura utilizados e parâmetros de processo como tempos produtivos e improdutivos, perdas eventuais entre outros, auxiliam nesse contexto.

Com esse propósito o desafio central desses trabalhos é o desenvolvimento de métodos de construção de sistemas capazes de consolidar indicadores de desempenho previamente definidos em índices gerais, a fim de facilitar a análise do tomador de decisão a partir da agregação desses indicadores. Com base no critério de consolidação ou agregação dos indicadores centrais a literatura dá ênfase a três principais métodos de medição e controle, através de indicadores de desempenho, sendo:

- 1) ***Balance Scorecard*** – ênfase no planejamento de recursos e orçamento vinculado à estratégia, ou seja, o método prevê que estratégias de negócio devem ter sido definidas, devendo ser avaliado o alinhamento da estratégia da manufatura com as estratégias de negócio a partir das medições e gestão do desempenho organizacional, com base no sistema de medição que está sendo construído;
- 2) ***The Performance Prism*** – ênfase na estratégia vinculada no planejamento de recursos e orçamento. O método prevê que estratégias não estão definidas, mas

devem ser construídas a partir da identificação das necessidades, expectativas e contribuições dos *stakeholders* na construção do sistema de medição;

Observação – o método *The Performance Prism* prevê como etapa inicial da concepção do sistema de medição de desempenho a definição dos *stakeholders* com a identificação das necessidades, expectativas e contribuições dos mesmos a fim de desenhar o projeto do sistema de medição de modo a identificar o quanto a organização é capaz de sustentar as estratégias de negócio que se pretende definir, ou melhor, o método deve ser capaz de responder ao alinhamento entre as estratégias, além de apresentar os desvios que a empresa será capaz ou está apta a minimizar ou eliminar, tornando as estratégias de negócio almejadas exequíveis no período de tempo definido para implementá-las.

3) ***Supply Chain Operations Reference*** – o método é aplicado através de uma ferramenta de diagnóstico desenvolvida a partir de perspectivas, estratégias, melhores práticas e tecnologias de gestão aplicadas na gestão de cadeias de suprimentos consideradas padrão de gestão pela literatura especializada. Com esse propósito a ferramenta SCOR 11.0 descreve atividades desenvolvidas no âmbito do *Supply Chain Management* com base em macroprocessos inerentes ao planejamento, fornecimento, produção, entrega e retorno.

Cada macroprocesso se divide em sub-processos para os quais são definidos atributos de desempenho e instruções de melhores práticas, permitindo a comparação e a transferência de conhecimento entre as cadeias de suprimentos (ASSOCIATION FOR SUPPLY CHAIN MANAGEMENT, 2014).

Contudo, o direcionador da definição de quais indicadores de medição deve ser considerado durante o processo de concepção do sistema de medição organizacional deve considerar como premissa central os indicadores de desempenho chave de cada processo interno e externo (*KPI – key performance indicators*), com base em padrões de controle claramente conhecidos e necessários à gestão dos processos.

Ainda com relação à definição dos principais indicadores de desempenho (*Key Performance Indicators – KPI*) que devem compor o sistema de medição, os autores Michel e Michel (2007) propõem critérios de aceitação dos principais indicadores de desempenho, uma vez que a escolha desses indicadores tenha sido baseada na resposta dada pela gerência com relação a determinadas questões relacionadas à operação da fábrica. Entre as principais questões, a literatura relaciona às seguintes:

- a) É clara para a gerência a relação de causa e efeito entre os indicadores e os planos de ação?

- b) Os planos de ação são considerados como um processo de melhoria ou um sistema de controle na visão dos tomadores de decisão dentro da estrutura hierárquica?
- c) Os KPI – *key performance indicators* internos estão alinhados com os KPI – *key performance indicators* dos *stakeholders* internos e externos?
- d) Os KPI – *key performance indicators* são utilizados de uma maneira justa na avaliação de desempenho dos colaboradores?
- e) O alinhamento das estratégias de negócio e da manufatura garante que as mudanças geradas a partir das estratégicas adotadas no curto, médio e longo prazo são coerentes quanto ao acompanhamento e perspectivas de correção dos KPI – *key performance indicators*?

Os autores destacam que somente após as respostas para estas perguntas, é possível obter os critérios-chave que devem conduzir os KPI – *key performance indicators* a apoiar o uso do sistema de medição como uma ferramenta de gestão, de modo a conduzir a empresa a partir de decisões muito mais precisas a serem assumidas pelo gestor.

De acordo com os autores os critérios-chave que devem ser considerados são:

- a) A concepção de um sistema gerencial dotado de visibilidade;
- b) A identificação de um sistema de comunicação transparente das estratégias adotadas;
- c) A implementação de sistemas gerenciais de acompanhamento e controle, tais como BSC – *Balanced Scorecard*;
- d) A definição dos KPI – *key performance indicators* com base nas particularidades da estrutura organizacional da empresa com ênfase na manufatura;
- e) A descentralização da gerência dos projetos de melhoria;
- f) A definição dos critérios de promoção das pessoas coerentes com os KPI – *key performance indicators*;
- g) O controle gerencial a partir do uso do sistema de informações da operação e de gerenciamento de desempenho integrados;
- h) A definição de critérios justos e coerentes no gerenciamento dos recursos de mão de obra e de materiais e manufatura (equipamentos).

Michel e Michel (2007) dão ênfase de que todos os sistemas e princípios devem ser simples e assim mantidos para que a melhoria da medida de desempenho seja alcançada.

Kumar et al. (2013) destacam que o uso de indicadores de desempenho nos últimos anos no escopo dos sistemas de medição e gestão de desempenho transformou-se, a partir dos referidos sistemas, em ferramenta de apoio à tomada de decisão do processo de gestão de ativos ou recursos de manufatura.

Especialmente na área de manutenção, pelo fato do que foi exposto de que desvios significativos das estratégias de negócio podem ocorrer com relação ao desempenho real da operação, além da capacidade de investimento da organização no período de tempo determinado para a implementação dessas mesmas estratégias, considerando ainda a possibilidade de estarem sendo definidas sem ser possível torná-las exequíveis, o que pode acarretar sérios problemas para a viabilidade econômica financeira do empreendimento.

É nesse cenário que a necessidade do acompanhamento com enfoque sistêmico dos sistemas de produção em função do aumento da complexidade do ambiente do chão de fábrica requer uma consolidação ou agregação dos indicadores de desempenho dos processos de fabricação contemplados na manufatura, de modo a demonstrar o inter-relacionamento entre eles, o que passou a ser abordado, ainda que de modo incipiente na literatura.

Segundo Galar et al. (2014) a manutenção dos recursos de manufatura requer atenção na concepção de um sistema de medição e gestão e atualmente somente o método de mensuração do uso efetivo de equipamentos pode auxiliar.

O OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) utiliza como método de medição e gestão, principalmente no nível de controle dos processos, essa premissa em sua concepção da consolidação dos indicadores a partir do uso de medidas de ocupação de máquina com base nos dados de manutenção.

O autor ressalta ainda que muitos autores sugerem novas pesquisas sobre a consolidação ou agregação dos indicadores com foco no desenvolvimento de métodos de medição baseados nesse princípio de inter-relacionamento de indicadores individuais.

Desse modo a definição dos indicadores assume um nível de importância significativo, a fim de manter o sistema de produção dentro do padrão de desempenho desejado, caso contrário, por exemplo, da definição equivocada de indicadores os

prováveis cenários a serem demonstrados corre um sério risco de não traduzirem as reais condições de operação da manufatura.

Nesse contexto é importante ressaltar que consolidar ou agregar indicadores de desempenho no formato de índices de desempenho não é uma tarefa simples de se realizar, no sentido de se evitar o risco de gerar resultados contundentes e confusos com relação a possível perda de visibilidade do real desempenho da fábrica, devido a cálculos do inter-relacionamento dos indicadores equivocados, ou seja, definidos a partir de uma lógica de cálculo concebida de um modelo matemático não consistente, o que é pior do que não contar com o uso de um modelo matemático.

Boisevert e Holec (1998) e Kumar et al. (2013) reforçam a preocupação com a necessidade de se estudar com critérios bem definidos e claros o modelo matemático a ser adotado para o cálculo do inter-relacionamento dos indicadores de desempenho que deve gerar os índices de desempenho, a partir do argumento baseado no processo de tomada de decisões sobre a manutenção, onde há exigências específicas de indicadores resumidas pelos autores em três principais.

As exigências específicas de indicadores resumidas pelos autores são:

- 1) Apenas um número limitado de indicadores deve ser utilizado para transmitir o desempenho dos ativos ou recursos de manufatura. Um número excessivo de indicadores pode comprometer a legibilidade da informação;
- 2) As informações devem ser apresentadas em um formato adaptado para a tomada de decisões. O que exige a construção de indicadores capazes de reduzir o número de parâmetros necessários para o cálculo envolvendo apenas os indicadores essenciais para definir o cenário atual da operação precisamente;
- 3) A concorrência global de negócios no mundo contemporâneo, principalmente na última década, impõe que os tomadores de decisões avaliem precisamente a relação entre a gestão de ativos e a rentabilidade da empresa.

Os indicadores devem, portanto, concentrar-se no inter-relacionamento dos indicadores individuais sistematicamente quanto ao ambiente do chão de fábrica, em vez de apenas a própria gestão de ativos.

Desse modo, o uso do OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) pode ser útil tanto para o uso do BSC – *Balance Scorecard* quanto para o TPP – *The Performance Prism* quanto à perspectiva dos processos internos do negócio relacionados à manufatura.

Como ênfase na manufatura, foco do presente trabalho e, de acordo com as considerações de Galar et al. (2014) o maior problema a ser enfrentado na concepção de

um sistema de medição de desempenho, é a consolidação dos indicadores de modo a atender as três principais exigências levantadas pelos autores.

Galar et al. (2012) ressalta que no contexto apresentado o maior desafio a ser enfrentado é a transformação dos dados existentes em um sistema de produção em indicadores consolidados ou agregados, de modo que as informações para os tomadores de decisão deem maior visibilidade do desempenho da operação de modo preciso e atualizado. O autor sugere o uso de uma matriz de indicadores que devem ser consolidados ou agregados em um ou mais índices que represente(m) o desempenho real da manufatura.

A diferença, de acordo com Galar et al. (2014), é que o uso do OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) refere-se ao cálculo a partir de um produto escalar caracterizado por uma função binária enquanto que o BSC (*Balance Scorecard*) faz uso de um cálculo matricial cujo tamanho da matriz depende das dimensões relacionadas o que pode dificultar o cálculo do inter-relacionamento entre as dimensões quanto ao grau de influência entre as dimensões.

3.1.6 Sistemas de medição do chão de fábrica – automação do apontamento das atividades executadas no chão de fábrica.

A Figura 6 ilustra a partir dos níveis hierárquicos a aplicação da tecnologia da informação a partir das funcionalidades de cada categoria das ferramentas computacionais.

A base do projeto da tecnologia da informação quanto ao processo de apontamento e registros dos dados de origem da execução dos processos de fabricação configura a automação do sistema de medição e consequentemente o controle do chão de fábrica quanto ao uso adequado dos recursos da manufatura.

É importante destacar que a hierarquia da Figura 6 quanto à interface ERP, MES, SCADA (Sistemas supervisórios), SFCS e *Control and Automation Systems* é definida pela MESA.

Entre as ferramentas computacionais se destacam:

- 1) **SFDC (Shop Floor Data Collection)** – sistemas de coleta de dados e informações do chão de fábrica. Normalmente usado para apontamento de informações como início, fim, paradas de produção, quantidades produzidas, refugos etc.;
- 2) **IHM – Interface homem máquina** – Permite a supervisão do processo. Normalmente possui banco de dados com informações relativas ao processo;

- 3) **CLP – Controladores lógicos programáveis** – Nível onde se encontram os equipamentos que executam o controle automático das atividades da planta;
- 4) **SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition** – softwares de apoio à operação a partir das funcionalidades de apontamento e controle dos dados e informações do sistema de produção encontram-se nesse grupo, como por exemplo, o MES (*Manufacturing Execution System*) e o SFCS (*Shop Floor Control Systems*) também conhecidos como SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*).

Em um ambiente CPS, a IoT oferece suporte a recursos relacionados à extensão do MRP com cálculos em tempo real, relatórios iniciais, rastreabilidade e visibilidade na cadeia de suprimentos (BOGATAJ; BOGATAJ; HUDOKLIN, 2017), além de otimização automática MRP, previsão, e reprogramação com base no modelo digital gêmeo (LIN; WONG; GE, 2018).

A tecnologia AM fornece recursos inteligentes, incluindo manufatura digital direta com minimização do manuseio e processamento de materiais, e minimização da complexidade do MRP com redução das inconsistências do fluxo logístico (ACHILLAS et al., 2015, 2017; KUNOVJANEK REINER, 2019).

No CMg, a pesquisa explorou a capacidade inteligente da servitização, que enquadra os sistemas ERP / MRP atendidos por plataformas em nuvem.

Outros autores como Goodall, Sharpe e West (2019), Huang et al. (2019) e Lin et al. (2018), dão ênfase na importância da coleta automática de dados com o propósito dos controles de materiais integrados com os sistemas de consolidação dos pedidos dos clientes, de modo a permitir simulações baseadas em dados para prever fluxos de materiais e comportamento de operações de chão de fábrica.

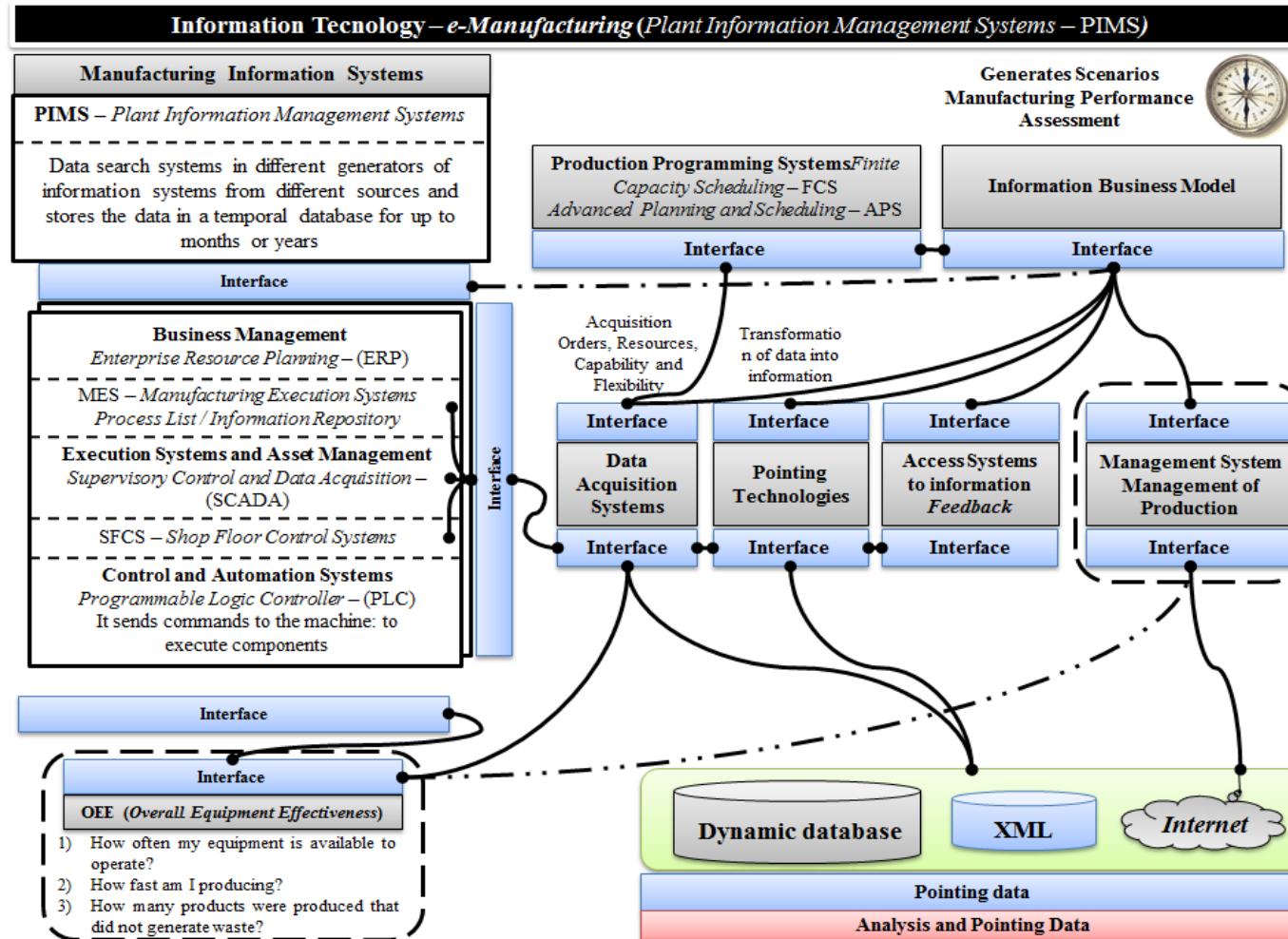
Todo esse processo requer como indicado na Figura 6 uma *Dynamic Database* que deve ser configurada a fim de manter a consolidação dos dados.

Lembrando, que a tecnologia que suporta predominantemente a maioria das atividades de PCP, de acordo com os autores Bueno, Godinho e Frank (2020) é a IoT, deve ser capaz de potencializar o sistema com os recursos inteligentes que comprehende.

Segundo os autores o que converge para a integração de sistemas e tarefas operacionais com o objetivo de agrupar recursos inteligentes que venham a contribuir com o alcance de vantagens potenciais com maior previsibilidade, interoperabilidade e escalabilidade dos sistemas produtivos, ou melhor, a concepção de sistemas de produção ciberfísicos.

O trabalho dos autores converge para o exposto neste trabalho de revisão da necessidade da automação industrial e dos processos de gestão para suportar a adaptatividade, dinâmica, capacidade de resposta e robustez do sistema como um todo, o que coloca o PCP em outro patamar de atuação, de modo a garantir a escalabilidade e simulação orientada por bigdata do PCP, ferramentas inteligentes de análise de dados.

Figura 6 - Aplicação da tecnologia da informação a partir das funcionalidades de cada categoria das ferramentas computacionais.



Fonte: Adaptado de Azzolini et al. (2015).

4. Avanço da Tecnologia Digital

Abordar o avanço do uso da tecnologia *Cloud Computing* na indústria nos dias atuais requer, primeiramente, abordar o avanço da velocidade de conexão da *Internet* como tecnologia necessária para a transmissão dos dados em tempo real sem restrições e com a segurança dos dados quanto ao acesso indesejado por usuários não autorizados ou ainda perdas de dados por problemas técnicos no processamento e transmissão.

Quanto à confidencialidade das informações para determinadas aplicações, de modo a garantir a confiabilidade por parte dos usuários e a garantia de não ocorrer interrupções de transmissão no momento do acesso é a maior preocupação das organizações industriais na decisão do uso da tecnologia na modalidade *Public Cloud Computing*.

Segundo Chris Anderson, curador da TED (*Technology, Entertainment e Design*), a *Internet* foi a maior revolução das últimas décadas, tão importante quanto o surgimento da prensa de Gutemberg no século XV, de modo que a rede tem espalhado o conhecimento pelo mundo em velocidade e abrangência nunca antes vistas, o que abriu oportunidades inéditas de criação e empreendedorismo sendo, até o momento incalculável o impacto que a *web* teve, e terá, no futuro relativamente próximo da humanidade, o que reflete grandes possibilidades de aplicação, inclusive na indústria, embora alguns problemas de ordem técnica da tecnologia ainda necessitam ser resolvidas quando se trata de processamento robusto de dados com o uso de diferentes ferramentas computacionais, como por exemplo, na manufatura e gerenciamento de projetos. Tecnicamente é fato que o avanço da tecnologia inerente ao processamento, armazenamento e consequentemente velocidade de conexão, a partir do surgimento da *Internet* na década de 1990, foi quase que exponencial, devendo continuar ascendente e de certo modo sem perspectivas claras de previsibilidade do que deve surgir em termos de inovação nos próximos anos com ganhos significativos da velocidade de conexão e transmissão, basta ver o que há disponível até o presente momento.

Nesse contexto, o real aumento da velocidade de processamento de dados associada ao aumento da capacidade de armazenar dados sob demanda (*on demand*), e do aumento da velocidade de conexão, apoiam sem dúvida alguma um número significativo de aplicações em diferentes frentes das necessidades dos usuários comum na forma de serviços do mundo contemporâneo.

A Tabela 1 mostra o *Ranking* da Velocidade de Conexão Mundial segundo o relatório do *status da Internet* publicado em Akamai (2014 – 2017).

Tabela 1 – Ranking da Velocidade de Conexão Mundial. **Velocidade de conexão (Mbits/segundo).**

Ranking	Países	2014	2017	% ↑
1	Coréia do Sul	25,3	28,6	13,04%
2	Noruega	11,4	23,5	106,14%
3	Suécia	14,1	22,5	59,57%
4	Hong kong	16,3	21,9	34,36%
5	Suíça	14,5	21,7	49,66%
6	Finlândia	11,7	20,5	75,21%
7	Cingapura	12,2	20,3	66,39%
8	Japão	15	20,2	34,67%
9	Dinamarca	11,2	20,1	79,46%
10	Estados Unidos	15,1	18,7	23,84%
11	Holanda (Países baixos)	14	17,4	24,29%
12	Romênia	11,3	17	50,44%
13	República Tcheca	12,3	16,9	37,40%
14	Reino Unido	10,7	16,9	57,94%
15	Taiwan	9,5	16,9	77,89%
16	Bélgica	11,4	16,3	42,98%
17	Canadá	10,3	16,2	57,28%
18	Tailândia	6,6	16	142,42%
19	Irlanda	13,9	15,6	12,23%
20	Espanha	7,8	15,5	98,72%
21	Alemanha	8,7	15,3	75,86%
22	Hungria	8,8	14,8	68,18%
23	Nova Zelândia	7	14,7	110,00%
24	Áustria	10,4	14,1	35,58%
25	Israel	11,4	13,7	20,18%
26	Eslováquia	8,6	13	51,16%
27	Portugal	8	12,9	61,25%
28	Polônia	8,6	12,6	46,51%
29	Rússia	9,1	11,8	29,67%
30	Venezuela	1,3	11,2	761,54%
31	Austrália	6,9	11,1	60,87%
32	França	6,9	10,8	56,52%
33	Uruguai	5,5	9,5	72,73%
34	Vietnã	2,5	9,5	280,00%
35	Chile	4,1	9,3	126,83%
36	Itália	5,5	9,2	67,27%
37	Malásia	4,1	8,9	117,07%
38	Emirados Árabes Unidos	4,7	8,6	82,98%
39	Turquia	5,5	7,6	38,18%
40	China	3,8	7,6	100,00%
41	México	4,1	7,5	82,93%
42	Indonésia	3,7	7,2	94,59%
43	Brasil	2,9	6,8	134,48%
44	África do Sul	3,6	6,7	86,11%
45	Índia	2	6,5	225,00%
46	Argentina	4,2	6,3	50,00%
47	Equador	3,6	6,2	72,22%
48	Peru	3,6	6,2	72,22%
49	Panamá	2,9	5,9	103,45%
50	Colômbia	3,4	5,5	61,76%
51	Filipinas	2,5	5,5	120,00%
52	Costa Rica	2,7	4,1	51,85%
53	Bolívia	1,1	2,7	145,45%
54	Paraguai	1,3	1,4	7,69%

Fonte: *The Akamai State of the Internet Report* (2014, 2017).

Abordar as aplicações no setor industrial, contudo, considerando o cenário atual permitiu identificar com certa visibilidade um número significativo de oportunidades do uso da tecnologia, devendo ser considerado as restrições técnicas da área de TI para o seu maior aproveitamento, pelo menos até o momento atual, como, por exemplo, a tendência da homogeneização da velocidade de conexão no nível mundial e a sua estabilidade, variáveis tidas como heterogêneas geograficamente, de acordo com a Tabela 1. Embora com potencial de aumento com a tecnologia 5G.

O *ranking* da velocidade de conexão da *internet* de acordo com a Tabela 1 demonstra um significativo desbalanceamento de velocidade traduzido por um valor médio mundial da ordem de 3,9 *Mbits* de velocidade no ano de 2014 e de 12,73 *Mbits* de velocidade no ano de 2017, com um aumento que pode ser considerado razoável, mais longe do padrão ideal quando comparado com o padrão da Coréia do Sul.

É evidente que tal realidade não deve perdurar talvez não mais do que para os próximos 5 anos e que para determinados serviços, como por exemplo, *streaming* (o usuário pode assistir vídeos sem fazer *download* em fluxo contínuo de dados) tal restrição não impede de ser oferecido um serviço de qualidade, além do fato de usuários localizados em qualquer parte do mundo poder fazer uso da tecnologia com maior ou menor velocidade de conexão. Neste caso as plataformas de informação, como *Smartphone* e *Tablet*, entre outros dispositivos são aparelhos que atuam na rede apenas como veículos de distribuição da informação, dependentes de uma infraestrutura de *hardwares* e *softwares* sofisticadas de acordo com o uso da tecnologia *Public Cloud Computing*.

De acordo com o relatório do *The Akamai State of the Internet Report* com base na tecnologia da *Internet* de ponta, no caso da Coréia do Sul o aumento da velocidade de conexão no mundo, a partir da década de 1990, aumentou 19.000%, o que representa um aumento expressivo capaz de romper restrições até pouco tempo atrás consideradas intransponíveis por especialistas em um período relativamente curto de tempo.

A Tabela 2 mostra a evolução da velocidade de conexão entre os períodos da década de 1990 até a década atual com a indicação de algumas das mais importantes tecnologias de acesso à informação que surgiram ao longo desse tempo.

Tabela 2 – Evolução da velocidade de conexão da *Internet* nos últimos vinte anos.

Velocidade de conexão da <i>Internet</i> (Mbits/seg.)	1.995 – 1997 0,145	2.000 – 2.003 0,512	2.004 – 2.005 2	2.007 – 2.010 7	2.012 – 2.015 25,3 ⇒ 28
Tempo do <i>download</i> de uma música	11 minutos e 30 segundos	3 minutos e 20 segundos	50 segundos	14 segundos	3,6 segundos
Tempo de <i>download</i> de um filme de uma hora e meia de duração	37 horas	10 horas e 30 minutos	2 horas e 36 minutos	46 minutos	12 minutos
Avanços da tecnologia	1) Surgimento de <i>sites</i> de <i>download e-books</i> e das primeiras <i>e-readers</i> , 2) Registro do <i>Google.com</i> .	1) Compartilhamento rápido de arquivos entre computadores <i>on-line</i> , 2) Popularização de lojas virtuais de música, 3) <i>Intel Centrino. WiFi Hot spots</i> – Banda larga.	1) <i>Streaming</i> de vídeos mais rápido, 2) Redes sociais – <i>Facebook, youTube</i> , 3) Programas <i>on-line</i> de vídeo conferência, 4) <i>Skype</i> .	1) Bibliotecas <i>on-line</i> de musica, 2) Mensagens instantâneas do <i>WhatsApp</i> , 3) <i>Streaming</i> de vídeos, 4) Lançamento do <i>iPhone</i> , 5) Lançamento do <i>iPad, Tablets Android</i> .	1) <i>Smartphone</i> , 2) <i>Wireless Technology Centre (WTC)</i>

Fonte: *The Akamai State of the Internet Report* (2014).

O presente tópico aborda em linhas gerais como a tecnologia avançou de modo a viabilizar o uso pleno da *Internet* nas aplicações industriais e a sua capacidade de romper barreiras no atendimento aos requisitos dos sistemas *Cloud-based design and manufacturing System* quanto à viabilidade econômica financeira e mais do que tudo, técnica quanto à confiabilidade e segurança no processamento e manutenção dos dados oriundos das aplicações industriais.

Em contrapartida, como exposto no tópico 2.1, abordar a complexidade das interfaces entre os diferentes *softwares*, requer avaliar a importância do banco de dados relacional, considerado uma das tecnologias de TI que permitiram o desenvolvimento dos sistemas corporativos de gestão, concebidos na mesma década do surgimento da *Internet*, a década de 1990.

É nesse período que a intensificação da execução das aplicações de *software* na indústria assume um papel de maior relevância, voltado mais fortemente no uso dos servidores como detentores e executores de todo o processo relacionado à liberação do serviço solicitado, ou seja:

- 1) A intensificação do mecanismo ***Strong server + thin client***, e
- 2) Tecnicamente definido como o uso mais ponderado do processamento no *desktop* do usuário (***Light-weighted client mechanism***) (FUH; LI, 2005; LI et al., 2005; MAHDJOUB et al., 2010; WANG et al., 2002).

É importante destacar que esse tipo de configuração de acesso proporcionou também o amadurecimento do uso da tecnologia *Private Cloud Computing*.

4.1. Contexto

O mecanismo baseado na plataforma Cliente/Servidor executa todo o processamento e execução dos *softwares* e sistemas empresariais no servidor, de modo que apenas uma imagem (*Pixel Emulation*) é entregue no *desktop* do cliente.

Tecnicamente a implementação ocorre no nível do sistema com o propósito de manter a estabilidade da conexão com o processamento realizado em um *hardware* de maior capacidade.

Contudo, a particularidade do mecanismo é que tanto a aplicação quanto à interface ocorre no servidor.

Todas as solicitações de execução do cliente não são direcionadas para o aplicativo sendo apenas uma representação da interface, de modo que as aplicações são executadas 100% no lado do servidor da rede.

Com esse mecanismo a rotina na rede de acesso ao servidor é sempre a adoção da aplicação no provedor do serviço (*Application Service Provider* – ASP), o que tornou o modelo cliente/servidor um facilitador para as aplicações via *Internet*.

Com o avanço da tecnologia de *hardware* a solução para o problema de escalabilidade passou a ser solucionado com o agrupamento de servidores no formato de *clusters* capazes de sustentar o aumento pontual das solicitações de acesso por multi usuários, mantendo a elasticidade necessária para uma determinada aplicação, considerando sempre a condição dos *desktops* de desempenhar a função apenas de emuladores de interface, função que vem crescendo recentemente para determinadas aplicações dos usuários comum a partir de componentes de distribuição como *Tablets*, por exemplo.

Surge, então, a partir da década de 2010 o conceito de *Cloud manufacturing*, uma vez que a proposta passou a ser a transferência de todo o processamento para os servidores operando em paralelo no formato de *clusters*.

Trata-se de um modelo que permite acesso em qualquer lugar, ou seja, disponibilidade ambígua e conveniente à necessidade dos usuários, em função da demanda solicitada à rede (*network*), que no caso das atividades industriais passou para um campo comum de recursos de manufatura configuráveis (*Configurable Manufacturing Resources*), por exemplo, ferramentas computacionais aplicadas à manufatura, recursos de manufatura e capacidades da manufatura no qual as solicitações de serviço podem ser rapidamente provisionadas e liberadas com esforço mínimo gerencial ou nível de interação com o provedor de serviço muito mais intenso.

É com esse avanço tecnológico dos recursos computacionais que a tecnologia *Cloud Computing* se apoia e, desse modo, aproveita a tecnologia existente tal como recursos de informática (*utility computing*), computação em paralelo e virtualização para prover os usuários com serviços, entre outros, do uso de aplicativos computacionais específicos quanto à aplicação na indústria.

O aprovisionamento dos recursos tem como propósito atender aos usuários no sistema *self-service*, sem a necessidade do usuário ou da empresa contratante adquirir a licença do *software* e investir na infraestrutura de TI necessária para o uso.

Na indústria a abordagem do tema *Cloud Computing* assume a vertente de duas contrapartidas, segundo Wu et al. (2015):

- 1) *Cloud-based design* (CBD) – modelo de projeto em rede (*networked*) que aproveita a tecnologia *cloud computing*, *service-oriented architecture* (SOA), *Web 2.0* (por exemplo, redes sociais (*social network sites*)) e tecnologias de semântica *web* para suportar os serviços de projetos de engenharia baseados em nuvem (*Cloud-Based Engineering Design Services*) em ambientes colaborativos e distribuídos Fuh e Li (2005) e Wu et al. (2014).

Os autores consideram como requisitos de um sistema CBD:

- a) Deve ser baseado em computação em nuvem (*Cloud Computing-Based*);
- b) Deve ser acessível ambiguamente a partir de dispositivos móveis;
- c) Deve ser capaz de gerenciar complexos fluxos de informação.
- 2) *Cloud-based manufacturing* (CBM) – modelo de manufatura em rede (*Networked Manufacturing Model*) que explora o acesso sob demanda a um conjunto distribuído e diversificado de recursos de manufatura (*Diversified and Distributed Manufacturing Resources*) de modo temporário, como por exemplo, linhas de produção reconfiguráveis de modo a permitir o aumento da eficiência e redução dos custos do ciclo de vida do produto e que venha a permitir à alocação ótima dos recursos em resposta às variações de demanda das tarefas geradas Wu et al. (2012, 2013).

4.2. Infraestrutura para a viabilidade da Tecnologia *Cloud Computing*

A *Cloud computing* necessita de uma infraestrutura dividida em três conjuntos principais de componentes:

- a) Componentes de Computação – é uma coleção de todas as capacidades da CPU.

Essencialmente todos os servidores de um *data center*, para apoiar ou, na verdade, executar uma carga de trabalho mais ampla, são todos parte deste grupo definido como computação. O agrupamento dos recursos de computação (*Compute pool*) representa a capacidade total para a execução de códigos e de instâncias. O processo para construir um agrupamento de recursos computacionais (*compute pool*) é para primeiro inventariar todos os servidores e identificar os candidatos a virtualização permitida pela implementação de servidores virtuais.

E nunca é cedo demais introduzir uma solução para o gerenciamento do Sistema para facilitar o processo.

Trata-se de um investimento estratégico e um componente crítico para toda a iniciativa de computação em nuvem.

Questões técnicas dessa natureza requer, principalmente no caso das aplicações industriais, um cuidado na concepção do projeto *Private Cloud Computing*, de modo que as solicitações dos usuários possam ser atendidas prontamente.

- b) Componentes de rede (*Networks*) – os artefatos físicos e lógicos devem ser colocados no lugar correto para conectar recursos, segmento e recursos isolados a partir da 3^a camada ou abaixo desta camada que são acumulados no agrupamento na rede (*network*) é imprescindível.

Redes (*Networking*) devem ser capazes de tornar os recursos visíveis e consequentemente possivelmente gerenciáveis.

- c) Componentes de *Storage* – trata-se de recursos extremamente especializados da área de TI.

A solução de *storage* de uma empresa frequentemente pode ser caracterizada como um item de alto custo com obrigações contratuais envolvendo significativos investimentos financeiros.

Trata-se da aquisição de *hardware* especializado, *software* e API proprietário, uma dependência direta do suporte do vendedor do equipamento, etc.

Seis modelos chave de serviço da computação em nuvem (*cloud computing service models*) podem ser adotados:

- 1) *Infrastructure-as-a-Service* (IaaS),
- 2) *Platform-as-a-Service* (PaaS),
- 3) *Open Platform as a Service* (OPaaS). Oferece a mesma abordagem de *Platform as a Service*, exceto que não há nenhuma restrição na escolha do *software* quanto a plataforma de um determinado desenvolvedor.
- 4) *Hardware-as-a-Service* (HaaS), e
- 5) *Software-as-a-Service* (SaaS) WU et al (2013).
- 6) *Testing as a Service* (TaaS)

Os seis modelos chave do uso da Tecnologia *Cloud Computing* serão abordados nos tópicos seguintes.

5. Paradigma da Manufatura Digital

5.1. Introdução

Azzolini (2004) apresenta uma configuração de integração do ambiente de projetos de novos produtos e componentes, processos de fabricação e programação da produção descrita a partir do esquema da Figura 7.

De acordo com o esquema do autor o PCP deve ter acesso a informações e dados do processo de fabricação fundamentais ao entendimento do fluxo de produção, além da definição dos recursos de manufatura a serem utilizados e a disponibilidade, de modo que, o sistema de planejamento e controle da produção possa identificar:

- 1) *Mix* de produtos a serem fabricados com perfil de demanda e frequência de solicitação;
- 2) Tempo padrão de montagem para a montagem final do produto acabado com os dispositivos e gabaritos necessários a sua realização, todos pré-definidos e projetados a partir das especificações técnicas quanto ao tipo construtivo dos componentes dentro do escopo do projeto;
- 3) Lista de materiais (*Bill of Materials – BOM*);
- 4) Roteiros de fabricação dos componentes da estrutura do produto;
- 5) Determinação da operação padrão e tempo padrão de execução de acordo com as instruções de trabalho.

Contudo, o autor destaca que a engenharia de produto pode gerar documentos técnicos a partir do uso do *software CAD* e da tecnologia *CAM* através da conversão dos dados e informações da modelagem geométrica do projeto do produto e de seus respectivos componentes na linguagem de processo de fabricação. A integração da engenharia do produto com a engenharia de processo fundamentada na tecnologia *CAD & CAM* a princípio, com determinadas dificuldades de interface na época entre os aplicativos, tinha como objetivo a transferência dos dados de processo para *softwares* especialistas em diferentes tarefas relacionadas à gestão da produção, como por exemplo, a programação da produção com o uso de *softwares APS (Advanced Planning Schedule)*.

A proposta do esquema de Azzolini (2004) é de, a partir do modelo de programação da produção desenvolvido através do *software APS*, o sistema deve liberar as listas de tarefas (Ordens de produção) para a execução, monitoradas quanto aos indicadores de produção por sistemas de apontamento, os quais através do controle do

chão de fábrica (*Shop Floor Control*) realizam a atualização dos indicadores para o planejamento das necessidades de capacidade (*Capacity Requirements Planning – CRP*), a partir dos roteiros de fabricação e controle de tempo.

A época da publicação do trabalho de Azzolini (2004) o autor destaca a importância do tempo de resposta dos sistemas produtivos às necessidades de demanda dos produtos acabados pelo mercado consumidor, e a necessidade para abordar efetivamente o problema do uso de *softwares APS* em detrimento do uso de sistemas de apontamento da produção e controle dos processos com o propósito de manter um banco de dados preciso do fluxo produtivo, tornando o planejamento e controle da produção em conjunto com a programação da produção uma atividade a mais assertiva possível.

Com o avanço da tecnologia da informação, recentemente, Wu et al. (2015), destaca que o uso de sistemas ou aplicativos computacionais de cunho mais técnico e menos operacional aplicados à manufatura, se deu inicialmente na área de engenharia de processos de fabricação e de projeto de novos produtos sempre relacionado ao avanço da tecnologia de *hardware* e de *software*.

Tal afirmação pode ser validada através da descrição da fase do desenvolvimento da tecnologia da informação com o uso de ferramentas computacionais CAx, sendo um dos principais *softwares* o CAD e posteriormente o uso da tecnologia CAM, corroborando com a validação do esquema de Azzolini (2004).

Há de se considerar que as restrições técnicas da tecnologia quanto ao armazenamento dos dados, interface com os sistemas corporativos, arquitetura do projeto de TI com alta complexidade de interface e processadores com capacidade de processar tal fluxo de informações, foram as principais restrições para a concepção de um projeto de TI com todas as funcionalidades desejadas.

Contudo, de acordo com a tendência do avanço da tecnologia da informação baseada no conceito de projeto auxiliado por computador e manufatura integrada aos poucos tal realidade foi sendo alterada.

Wu et al. (2015) destacam que tal marco ocorreu na década de 1960 com o uso dos sistemas CSS (*Centralized Standalone System*) capazes de serem executados individualmente via instalação local quanto a possibilidade de se ter uma ferramenta computacional apta a apoiar as fases de concepção do projeto do produto, mesmo com as limitações indicadas por Azzolini (2004) já no século XXI. Figura 7.

Figura 7 – Esquema de integração ambiente de projetos de novos produtos e componentes, processos de fabricação e programação da produção.



Fonte: Azzolini (2004).

O avanço da tecnologia, o que resultou entre outros avanços técnicos, da disponibilidade de computadores de maior capacidade de processamento, embora, de alto valor financeiro de aquisição, mas capazes de trabalhar, a princípio, desenhos 2D, acabou por apoiar o uso do conceito CAD e CAM disseminado nas indústrias de modo a garantir um ganho significativo no processo de criação de engenharia de novos produtos. Quanto ao controle da documentação técnica gerada e maior precisão na definição das especificações técnicas do projeto dos produtos e dos processos de fabricação, o resultado foi uma maior precisão das informações e dados técnicos do projeto do produto, de modo a auxiliar a engenharia de processo no desenho dos roteiros de fabricação e utilização dos recursos existentes na planta.

Contudo, Wu et al. (2015) destacam também o fato de que a partir da década de 1970 novos avanços da tecnologia de *hardware* acabam por surgir e as aplicações dos sistemas CSS (*Centralized Standalone System*) acabam por obterem ganhos operacionais com a disponibilidade dos computadores *desktop* de uso pessoal a preços muito mais acessíveis, e que em detrimento do avanço da modelagem geométrica sólida para desenhos 3D através dos softwares CAD mudou significativamente.

Embora, ainda com a configuração de acesso dos softwares centralizada e disponibilidade do serviço em máquinas locais, é fato que as estratégias de manufatura

enfatizando a integração foram estabelecidas e passaram a contar com o uso dos *softwares* CAD e da tecnologia CAM e máquinas CNC disponíveis no mercado. Tais recursos computacionais foram inicialmente concebidos como ferramentas capazes de viabilizar a integração, abordada com maior ênfase na academia e na indústria.

Todo esse esforço, segundo Wu et al. (2015), corroborou para com o surgimento dos sistemas na configuração de acesso distribuído, realidade a partir da década de 1980, mudando novamente o cenário das estratégias da manufatura e tornando a integração viável tecnicamente e financeiramente, de acordo com a evolução cronológica apontada pelos autores.

- 1) 1980 – Mais instalação local e menos cliente servidor.
- 2) 1990 – Menos instalações locais e mais cliente servidor – uso de redes locais e o avanço das implantações dos sistemas corporativos ERP com banco de dados relacional.
- 3) 2010 – Disseminação do uso do *Cloud Computing* a partir da década de 2010 com o uso de redes virtuais com concepção pública (mais fortemente a *Internet*), privado ou híbrido.

A Tabela 3, de acordo com Wu et al. (2015), estabelece cronologicamente um processo de evolução dos paradigmas da manufatura a partir do surgimento do paradigma da manufatura em massa. Como resultado, é fato, contudo, que a Tecnologia da Informação assume um papel estratégico no momento atual a partir do processo de evolução descrito e atua como um facilitador do processo de integração e consequentemente de redução do tempo de resposta ao tomador de decisão quanto aos indicadores de desempenho da manufatura.

Tabela 3 – Evolução dos sistemas de manufatura.

Período (Década)	Paradigmas da Manufatura	Sistemas	Configuração	Características
Anterior a 1900	Manufatura Artesanal	Unitário	Centralizado	Alto custo de M.O.B. com Baixa taxa de produção
1900	Manufatura em Massa	Linhas de montagem	Centralizado	Reduz custo de M.O.B. Aumenta a taxa de produção
1960	Manufatura Enxuta	Sistema Toyota de Produção	Centralizado	Reduz perdas na produção Reduz tempo de espera Reduz produtos com defeito Melhoria contínua
1980	Manufatura Enxuta e Ágil	Sistemas Flexíveis de Manufatura	Centralizado	Reduz inventários Melhora a produtividade Aumenta a variedade de componentes Melhora a utilização das máquinas Melhora a resposta às mudanças de engenharia
1990	Manufatura Responsiva	Sistemas de Manufatura Reconfiguráveis	Centralizado	Aumenta a responsividade às mudanças de mercado Reduz o tempo necessário para modificações do produto Reduz o <i>Lead Time</i> para a introdução de novos sistemas de manufatura Rápida integração ou incorporação de novas tecnologias
2000	Manufatura Digital	Sistemas de Manufatura baseados em agentes e na Web	Distribuído	Melhora o compartilhamento da informação Melhora o reuso de recursos Melhora o desempenho computacional Monitoramento e controle remotos
A partir de 2010	Manufatura Digital	Sistemas de Manufatura baseados em nuvem	Distribuído	Rápida capacidade de escalabilidade Reduz tempo de resposta ao mercado Reduz custos Ambiente computacional global Recursos de manufatura agrupados Melhora o compartilhamento da informação Melhora o reuso dos recursos Melhora a utilização das máquinas

Fonte: Adaptado de Wu et al. (2015).

É durante as últimas décadas que o conceito do uso de recursos distribuídos e reconfiguráveis começa a tomar forma no meio acadêmico e industrial, tanto quanto ao uso de recursos computacionais quanto ao uso de recursos de manufatura, de acordo com os tópicos 4.2 e 4.3.

5.2. Reconfigurable Manufacturing Systems – RMS

Segundo Wu et al. (2015) a proposta dos sistemas de manufatura reconfiguráveis vai de encontro com a proposta do uso de recursos distribuídos de modo a obter ganhos de escalabilidade e redução de custos. O conceito cabe tanto para recursos de manufatura como da infraestrutura da Tecnologia da Informação necessário para alcançar tal objetivo, escalabilidade em contra partida de uma maior flexibilidade dos processos.

ElMaraghy (2005) destaca que os aspectos chave dos sistemas de manufatura reconfiguráveis (*Reconfigurable Manufacturing Systems – RMS*) atende a essa particularidade uma vez que a proposta busca incorporar a modularidade dos sistemas. A modularidade, contudo, deve garantir a integralidade, o que permite a customização dos sistemas com base nas demandas e a disponibilidade e consequentemente o uso dos recursos apenas no momento em que as demandas ocorrem.

Conforme descrito por Azzolini (2004) e Wu et al. (2015) é fato que inicialmente a principal evolução dos sistemas de manufatura se deu a partir da categoria de sistemas de manufatura centralizados com ênfase nas mudanças que ocorreram a partir do desenvolvimento da tecnologia, tanto de TI quanto de processos de manufatura.

Desse modo, mudanças significativas ocorreram envolvendo o avanço do aprimoramento da tecnologia inerente às máquinas ferramentas e consequentemente quanto à disposição das máquinas no chão de fábrica a partir da concepção de novos *layouts* e novos conceitos inerentes ao fluxo de produção devido as máquinas CNC e ao Sistema Toyota de Produção, o que por sua vez fundamentou a base para a concepção do conceito de recursos distribuídos enfatizado nos dias atuais. Inicialmente esses estudos priorizaram o projeto de *layout* mais flexível quanto a serem capazes de produzir um *mix* de produtos mais amplo, de acordo com as diretrizes definidas para o MPL (*Manufacturing Plant Layouts*) e novos modelos de negócio adaptados aos impactados pela crise do petróleo de 1973, que afetou o desempenho de alguns países por mais de uma década em detrimento da matriz energética baseada em combustíveis não renováveis.

Wu et al. (2015) enfatiza ainda que somente a partir do desenvolvimento e disseminação do uso da tecnologia da *Internet* e de rede de computadores é que sistemas de manufatura distribuídos (*Distributed Manufacturing Systems* – DMS) passaram a ser cada vez mais adotados pela indústria de manufatura e por empresas da área de Tecnologia da Informação.

Tais sistemas, de acordo com a literatura, podem ser definidos como:

- 1) *Web Based Manufacturing Systems* (WBMS) – Fuh e Li (2005) e Wang, Shen e Lang (2004) definem esses sistemas de manufatura como baseados na *Web* com o uso da arquitetura de TI cliente/servidor.

O objetivo do uso da *internet* é o de prover uma plataforma mais leve para trabalhos com equipes dispersas geograficamente e capazes de viabilizar o acesso entre os membros das equipes que compartilham das informações relacionadas à manufatura via *web browser* em diferentes localidades no mundo, a única restrição no início foi a acessibilidade, escalabilidade e velocidade de transferência dos dados e informações, o que vem sendo superado gradativamente devido ao avanço da tecnologia.

- 2) *Agent Based Manufacturing Systems* (ABMS) – Shen et al. (2006) e Wang e Shen (2003) destacam que do mesmo modo que no item 1 é fato que com o aumento da complexidade estrutural e funcional dos sistemas de manufatura baseados na *web* (*Web Based Manufacturing Systems* – WBMS), o desenvolvimento da tecnologia passou a priorizar a adoção de sistemas de manufatura baseados em agentes (*Agent Based Manufacturing Systems* – ABMS) com o objetivo de melhorar o desempenho ou a performance de comunicação (*Computational Performance* – CP).

Sistemas de manufatura baseados em agentes (*Agent Based Manufacturing Systems* – ABMS) consistem em considerar como agentes recursos como células de manufatura, máquinas ferramentas e robôs com funcionamento autônomo e dotados de certo nível de inteligência com base na lógica computacional e automatização, sendo capaz de realizar pesquisa, construir raciocínio lógico e construir um processo de aprendizagem. Monostori, Váncza e Kumara (2006) afirmam que a partir desta abordagem um agente é considerado um solucionador de problemas independente, capaz de tomar decisões interagindo com outros agentes e seu ambiente. Nesse caso trata-se de sistemas mais complexos e

concebidos a partir de tecnologia mais avançada dentro do cerne da inteligência artificial.

- 3) *Business Process Management* (BPM) – prática de competências para a obtenção de resultados mutuamente vantajosos entre os sistemas MES (*Manufacturing Execution Systems*) e os sistemas de manufatura digital (também chamados fábrica virtual), a partir da concepção do conceito PLM (*Product Lifecycle Management*) fundamentado no gerenciamento do ciclo de vida do produto. A Siemens é uma empresa desenvolvedora de ferramentas computacionais de aplicação com ênfase nesta prática.

Trata-se, contudo, de um cenário onde os processos de manufatura impõem alta flexibilidade, confiabilidade e menores tempos de entrega, ampla combinação de variantes e a realidade atual na qual convive com menores ciclos de vida de produtos, a fim de atender as demandas do mercado com maior exatidão frente às constantes inovações tecnológicas de processo de fabricação e de produto.

As duas maiores abordagens com ênfase na manufatura distribuída que podem ser consideradas neste período são os sistemas de manufatura baseados no uso da *web* e no uso de agentes (Recursos em geral) que de algum modo contribuíram com o processo de manufatura no atendimento de determinada demanda (*Web and Agente Based Manufacturing Systems - WABMS*). Tal avanço, a partir do acesso através do protocolo cliente/servidor e posteriormente do *Cloud Computing*, o que caracterizou o desenvolvimento da tecnologia e permitiu o fortalecimento do conceito de recursos distribuídos quanto a sua viabilidade técnica e econômica. Nesse caso, tendo como um dos pilares de sustentação o uso da *internet* como uma rede pública distribuída, mais precisamente da tecnologia mais atual da *Web 2.0*, e do uso do conceito de rede, o que permitiu avançar para o conceito da manufatura digital através da *Cloud Computing*.

5.3. *Cloud Computing*

Segundo Wu et al. (2015) os serviços de computação em nuvem (*Cloud Computing*) como concebidos atualmente, permite a disponibilidade de serviços relacionados desde o uso de aplicativos completos a plataformas de desenvolvimento e servidores, armazenamento e *desktops* virtuais. No caso dos serviços de computação em nuvem o acesso à rede permite que os recursos possam ser acessados por meio de um

navegador da *Web 2.0* ou *Thin Client*, o que por sua vez, acabou por fundamentar o conceito de colaboração nas empresas através do conceito de recursos distribuídos.

Neste caso o uso de uma variedade de dispositivos em rede como computadores, *tablets*, *smartphones*, entre outros permite manter conectados a todo instante todos os colaboradores com participação em projetos específicos ou atuantes no processo de gestão da manufatura, podendo não somente ter acesso às informações como também compartilhá-las e atualizá-las *on-line*, de acordo com regras e procedimentos pré-estabelecidos de acesso e interfaces.

No caso do *Public Cloud Computing*, de acordo com Wu et al. (2015) o acesso do usuário ocorre sob demanda e os recursos são auto provisionados a partir de um catálogo *on-line* de configurações pré-definidas, o que requer da infraestrutura de TI maior elasticidade com ênfase em uma maior escalabilidade no uso dos recursos computacionais, ou seja, o sistema deve ser elástico de modo que o acesso aos recursos possa permitir *scale-up* ou *scale-down* automaticamente. O avanço da tecnologia de TI atual permite esse tipo de configuração, sendo que o surgimento de novas tecnologias nesta ceara não para de crescer. A rápida elasticidade de acordo com a demanda implica que na capacidade poder ser rapidamente aumentada (*scale up*) ou diminuída (*scale down*) de forma que o usuário tenha a sensação de ter recursos infinitos a qualquer hora, por vezes sem custo adicional com o acesso e tempo de uso, medido (*chargeback*) através do monitoramento e cobrado de acordo com o contrato de serviço. Tal possibilidade permite reconfigurar recursos rapidamente sem o custo de implantação, customização e investimentos em *hardware* e *software*.

Segundo o *National Institute of Standards and Technology* – NIST (2019) computação em nuvem é um modelo que tem como propósito permitir o acesso adequado a uma rede, a partir de uma determinada demanda referente ao uso do conjunto de recursos computacionais que essa mesma rede permite compartilhar de modo configurável, no formato de serviço. Como exemplo, podemos considerar uma determinada rede de servidores com recursos de armazenamento (*Storage*) e aplicações no formato de liberação de serviços inerentes a funcionalidades específicas que o usuário ou usuários requerem através da execução de *softwares* ou sistemas de *softwares*.

Contudo, Wu et al. (2015) destacam que tal modelo deve permitir o provisionamento e a liberação do serviço com um esforço mínimo de gerenciamento ou interação com o provedor de serviço, ou seja, computação em nuvem é essencialmente, a noção de utilizarmos, em qualquer lugar e independente de plataforma, as mais variadas

aplicações por meio da *internet* com a mesma facilidade de tê-las instaladas em computadores locais.

O objetivo principal é a implementação mais rápida de sistemas de *softwares* mais complexos, maior flexibilidade, menor custo total de propriedade e menor dependência da equipe de TI e ou *hardware* instalado no local de uso, como na Tecnologia de TI tradicional. No caso da manufatura, a viabilidade do projeto depende do tamanho da receita da empresa, distribuição geográfica das suas operações e do setor da indústria a fim de estabelecer a melhor estratégia de projeto de TI. Segundo uma pesquisa da *International Data Corporation* (IDC, 2015) em torno de duas a cada três empresas de manufatura fazem uso de no mínimo duas aplicações *Cloud Computing* atualmente no mundo, executadas através de computação em nuvem, podendo ser pública ou privada.

5.4. Estratégias de utilização

Wu et al (2015) definem que há duas principais estratégias de uso da Computação em Nuvem: *Cloud First Policy* ou *Cloud Also Policy*.

- 1) *Cloud First Policy* – a primeira opção é o modelo em nuvem e apenas se o modelo não for adequado, a implementação de um novo sistema poderá ser no modelo computacional tradicional.
- 2) *Cloud Also Policy* – a computação em nuvem é considerada uma opção junto com a computação tradicional da TI.

Segundo a IDC, no futuro, 61,6% das empresas de manufatura devem assumir a segunda estratégia quando considerarem a necessidade de novos serviços de TI e 56,8% devem fazer o mesmo quando da necessidade de substituírem serviços existentes de TI. Segundo Kimberly Knickle (2015), diretor de pesquisa do IDC, o estudo do *Worldwide Cloud Adoption*, que considera a indústria de manufatura neste cenário, é baseado em dados de *surveys* como, por exemplo, o *survey* sobre *Cloud* da IDC publicado em 2014, o qual abordou 593 fabricantes em 17 países. No estudo, a IDC constatou que enquanto os fabricantes gastaram em média menos em TI do que anteriormente, tanto os tomadores de decisão quanto os seus responsáveis por projetos de TI passaram a enxergar benefícios no custo do projeto e na velocidade da implantação dos recursos de TI através da computação em nuvem. Em adição, encontraram que as organizações estão vendo fortemente a possibilidade do uso da computação em nuvem como uma solução para áreas

específicas na manufatura, tal como processos de negócio, introdução e desenvolvimento de novos produtos e cadeias de suprimento.

5.5. Modalidades de serviço da *Cloud Computing*

Wu et al. (2015) abordam seis modalidades de serviço no uso da tecnologia *Cloud Computing*, de acordo com a literatura atual.

1) *Software as a Service* (SaaS)

Uso de *Software* como Serviço. A empresa não adquire a licença do *software* com a necessidade de renovação da manutenção da licença no período de um ano, por exemplo. O *software* é oferecido sem a instalação na máquina local dos colaboradores ou no servidor local da empresa através do acesso cliente/servidor, e sim como um serviço oferecido e utilizado em um período pré-fixado para atender a uma determinada necessidade. Neste caso, o usuário ou a empresa para a qual o mesmo trabalha não precisa adquirir licenças de uso para instalação ou mesmo comprar computadores ou servidores de alta performance para aplicações computacionalmente em termos de processamento mais pesadas para executá-lo, realizando no caso, o pagamento de um valor periódico como se fosse uma assinatura, somente pelos recursos utilizados e/ou pelo tempo de uso em um terminal de computador de configuração inferior, atuando basicamente como um emulador de interfaces.

2) *Platform as a Service* (PaaS)

Plataforma como Serviço. É uma solução específica e abrangente para determinadas aplicações, sendo liberado o acesso aos recursos necessários à operação, um ou mais recursos envolvendo o armazenamento, banco de dados, escalabilidade (aumento automático da capacidade de armazenamento ou processamento de dados), suporte técnico a linguagens de programação, mecanismos de segurança de acesso à rede, entre outros.

3) *Open Platform as a Service* (OPaaS)

Open Platform as a Service (OPaaS). Oferece a mesma abordagem de *Platform as a Service*, exceto que não há nenhuma restrição na escolha do *software* quanto à plataforma de um determinado desenvolvedor. Embora não inclua hospedagem (*hosting*), fornece *software* de código aberto que permite um provedor de PaaS executar aplicativos em um ambiente de código aberto. Por exemplo, *AppScale* permite que um usuário implante alguns aplicativos escritos para o *Google App Engine* para seus próprios servidores,

fornecendo o acesso a partir de um armazenamento de dados SQL padrão ou banco de dados NoSQL. Algumas plataformas abertas permitem que o desenvolvedor utilize qualquer linguagem de programação, banco de dados, sistema operacional ou servidor para implementar suas aplicações.

4) Database as a Service (DaaS)

Banco de Dados como Serviço. O fornecimento de serviços neste caso é direcionado para o armazenamento e acesso de volumes de dados. O maior ganho encontra-se no fato da empresa adquirir maior flexibilidade para expandir o banco de dados, compartilhar as informações com outros sistemas, facilitar o acesso remoto por usuários autorizados, eliminação do custo de manutenção, entre outros.

5) Infrastructure as a Service (IaaS)

Infraestrutura como Serviço. Uso na modalidade prestação de serviço da estrutura de *hardware* ou de máquinas virtuais, podendo o usuário ter acesso a recursos do sistema operacional. Neste caso os *Data Acquisition System* atendem a perspectiva da *Infrastructure-as-a-Service* através de componentes de apontamento de uso específico da empresa que direcionam os dados e informações coletados para a rede virtual, como por exemplo:

- 1) *Barcode Reader*;
- 2) *Smart Sensor*;
- 3) *HMI (Human Machine Interface)*;
- 4) *Camera*;
- 5) *Smart Phone*;
- 6) *RFID Reader*.

A essência da *Internet of Things* e do uso de sensores integrados é capturar eventos (nível de estoques, nível de ocupação dos recursos, condições dos equipamentos, indicadores de diferentes tipos de perda, entre outros), para representar os objetos físicos (por exemplo, máquinas-ferramentas) em formato digital, e, finalmente, para ligar as máquinas com as pessoas.

O gerente de produção pode participar de uma reunião em qualquer parte do mundo e acessar *on-line* o mapa de indicadores de uma máquina, célula de manufatura, setor de um processo específico ou da fábrica em tempo real, uma vez que a infraestrutura de apontamento e aquisição de dados mantém o sistema atualizado, podendo o servidor de registro estar localizado em outra localidade diferente do *site* da fábrica.

6) Testing as a Service (TaaS)

Ensaio como Serviço. O usuário pode testar aplicações e sistemas na modalidade de acesso remoto, simulando o comportamento das aplicações envolvendo *softwares* e sistemas de *softwares* em nível de execução.

A partir das modalidades definidas por Wu et al. (2015) os autores definem a Arquitetura Orientada para Serviços (SOA).

5.5.1. Arquitetura Orientada para Serviços – *Service-Oriented Architecture* (SOA)

Wu et al. (2015) define *Service-Oriented Architecture* (SOA) como um estilo de arquitetura de *software* cujo princípio fundamental prega que as funcionalidades implementadas pelas aplicações devem ser disponibilizadas na forma de serviços.

Frequentemente estes serviços são conectados através de um barramento de serviços (*enterprise service bus*) que disponibiliza interfaces, ou contratos, acessíveis através de *web services* ou outra forma de comunicação entre aplicações, de acordo com a Figura 5.

As aplicações, de acordo com a Figura 5 encontram-se abarcadas pelo PIMS (*Plant Information Management Systems*) no caso da manufatura podendo ser executadas em um servidor *Application Virtualization Server* ou em um servidor *Physical Applications Server* com comunicação direta com o *Data Storage Virtualization* ou com um servidor *Physical Data Storage* que deve armazenar os dados apontados (*Pointing Data*) e permitir quando solicitado, o acesso aos dados para análise (*Analysis Data*), de acordo com as regras e políticas de liberação contratadas com o fornecedor do serviço no caso da *Cloud Computing Public* ou apenas regras e políticas de liberação da *Cloud Computing Private*.

Nas aplicações, dependendo da complexidade e do uso de sistemas computacionais robustos com relação de interdependência das suas funcionalidades é necessário o uso de um *software API* (*Application Program Interfaces*) com o propósito de eliminar prováveis inconsistências no fluxo de informações.

Neste caso, deve ser considerado, segundo Wu et al. (2015) que a arquitetura SOA é baseada nos princípios da computação distribuída e utiliza o paradigma da relação *request/reply* para estabelecer a comunicação entre os sistemas clientes e os sistemas que implementam os serviços com base nas demandas e frequência de uso dos serviços.

Além de se tratar de uma perspectiva estritamente técnica quanto ao atendimento às demandas por serviços do uso de *softwares*, por exemplo, a arquitetura orientada a serviços também se relaciona, segundo Wu et al. (2015) com determinadas políticas e conjuntos de boas práticas do uso da tecnologia que tem como principal propósito facilitar a criação de um processo para facilitar a tarefa de encontrar, definir e gerenciar os serviços disponibilizados de forma rápida e livre de inconsistências operacionais quanto à disponibilidade dos serviços, incluindo o acesso aos dados no caso de clientes que utilizam o *Data Storage Virtualization* de acordo com a Figura 5.

Por outro lado, mesmo com a tecnologia *Web 2.0*, o uso da *Internet* como rede pública é inevitável neste contexto, tornando-se o único meio de acesso remoto dos clientes.

Em qualquer localidade no mundo, através dos *Tablets*, *Smart Phones* e outros equipamentos de acessibilidade a uma determinada aplicação contratada a provedores de serviço de *hardware* e *software*, por exemplo, a fim de obter informações específicas do seu negócio, no caso de sistemas CBDMS.

Neste caso, há localidades, como no caso do Brasil que embora com avanços significativos nos últimos anos ainda é uma restrição quanto à velocidade de transferência de dados e informações e em alguns casos instável.

Tal restrição impede o avanço de configurações da arquitetura orientada para serviços nestas localidades o que dificulta o uso do *Cloud Computing* que deve garantir o acesso de multi usuários instantaneamente de modo a permitir que em uma única instância do uso de um determinado *software* aplicativo o serviço possa atender a mais de um usuário ao mesmo tempo.

Tal restrição técnica impede o uso da tecnologia, podendo ser considerado que a tendência, após a solução das restrições de acessibilidade deve aumentar significativamente nos próximos anos em função da redução dos investimentos e custos de manutenção dos projetos de TI por parte das organizações industriais.

Dentro deste contexto, a SOA tem forte dependência do uso de uma rede de serviços de *software* cuja manutenção para se tornar mais eficiente requer um cuidado dos tomadores de decisão quanto a sua concepção de buscar manter o mais baixo nível de acoplamento de unidades componentes do sistema, assim como da funcionalidade.

O objetivo deste tópico é demonstrar, além das definições conceituais, a necessidade da abordagem de questões técnicas da operacionalidade da *Cloud Computing* que cabem dentro do conteúdo da Arquitetura Orientada para Serviços.

Wu et al. (2015) ressalta que um serviço é responsável por implementar uma ou mais de uma ação, que pode incluir desde o preenchimento de um formulário *on-line* de uma aplicação, como por exemplo, visualizar algum controle de indicadores da manufatura, até realizar simulações de cenários alterando dados e informações quando necessário a fim de testar possibilidades.

5.5.1.1.Especificações técnicas da Arquitetura orientada para serviços (SOA)

Um dos grandes diferenciais da tecnologia com relação a projetos de TI convencionais, de acordo com Wu et al. (2015), é operacional de modo que ao invés do acesso ser realizado através de chamadas diretas para o código fonte dos aplicativos, por exemplo, os serviços que devem liberar o acesso definem protocolos que descrevem como enviar e receber as mensagens, utilizando descrições em metadados o que facilita a conexão de modo rápido e preciso.

Quanto a programação computacional normalmente os programadores fazem amplo uso da linguagem XML para descrição dos tipos e estruturas de dados em SOA sendo também uma prática, segundo Wu et al. (2015), o uso da *Web Services Description Language* (WSDL), também baseada em XML, que normalmente descreve os serviços, enquanto o protocolo SOAP descreve os protocolos de comunicação, além de outros padrões alternativos, como WADL e REST.

A arquitetura SOA somente é possível a partir da disponibilidade dos dados e serviços descritos por metadados, os quais de acordo com a literatura devem satisfazer os critérios:

- 1) Os metadados devem vir de uma forma que os sistemas de *software* possam usar os dados para configurar dinamicamente a descoberta e a incorporação de serviços definidos, além de manter a coerência e integridade.
- 2) Os metadados devem ser disponibilizados a partir de formatos específicos de uma forma que o *designer* de sistema seja capaz de compreender e gerenciar o processo com um indicador de custo e dedicação razoável para garantir a operacionalidade dentro de uma relação de custo benefício aceitável.

O resultado esperado é que todo e qualquer usuário da SOA seja capaz de agrupar as funcionalidades requisitadas a partir de aplicações dedicadas construídas quase que totalmente dentro do escopo de serviços de *software* já desenhados.

Podemos considerar, segundo Wu et al. (2015) que quanto maior o agrupamento das funcionalidades, menor deve ser o número de interfaces consideradas necessárias para ter disponível qualquer conjunto de funcionalidades acordadas em contrato.

No entanto, a literatura salienta que para agrupamentos muito grandes há uma maior dificuldade de reutilizar o serviço oferecido.

Tecnicamente há de se considerar que toda interface requer um número muitas vezes significativo de processamento, o que implica em mudança de nível de desempenho e, portanto, é importante levar em consideração o impacto no desempenho ou performance do sistema e consequentemente a granularidade dos serviços oferecidos ao usuário de acordo com as suas solicitações.

No caso da manufatura a performance da Arquitetura para Serviços depende da limitação do uso de *softwares*, por exemplo, com um número restrito de funções como apenas Gestão de Estoque e não Gestão de Estoque e Planejamento da Produção e com um número maior de funcionalidades específicas da função base.

No caso funcionalidades específicas como planejamento das necessidades de materiais, disponibilidade de componentes entre outras podem ser contempladas pelo serviço requisitado.

Essa prática, segundo a literatura, permite que o *designer* da aplicação não se sobrecarregue ao tratar a complexidade de milhares de objetos com granularidade menor.

De acordo com a Figura 5 o *Broker*, age como um intermediador do serviço a ser prestado, sendo que no caso de *Brokers* públicos os mesmos permanecem disponíveis na *Internet*, enquanto intermediários privados somente são acessíveis a um público limitado, por exemplo, os usuários de uma *intranet* da empresa.

Além disso, a quantidade de informações oferecidas tem de ser decidida a partir de regras e políticas de acesso.

A Tabela 3, de acordo com Wu et al (2015) resume a definição dos termos considerados na Arquitetura para serviços (SOA).

Tabela 3 – Definição dos termos técnicos.

Termo	Definição / Comentário
Serviço	É uma função independente, sem estado (<i>stateless</i>) que aceita uma ou mais requisições e devolve uma ou mais respostas através de uma interface padronizada e bem definida. Serviços podem também realizar partes discretas de um processo tal como editar ou processar uma transação. Serviços não devem depender do estado de outras funções ou processos. A tecnologia utilizada para prover o serviço, tal como uma linguagem de programação, não pode fazer parte da definição do serviço.

Orquestração	Processo de sequenciar serviços e prover uma lógica adicional para processar dados. Não inclui uma representação de dados.
Stateless	Não depende de nenhuma condição pré-existente. Os serviços não devem depender de condições de outros serviços. Eles recebem todas as informações necessárias para prover uma resposta consistente. O objetivo de buscar a característica de <i>stateless</i> dos serviços é possibilitar que o consumidor do serviço possa sequenciar-lo, ou seja, orquestrar os serviços em vários fluxos (algumas vezes chamados de pipelines) para executar a lógica de uma aplicação.
Provedor	O recurso que executa o serviço em resposta a uma requisição de um consumidor.
Consumidor	É quem consome ou pede o resultado de um serviço fornecido por um provedor.
Descoberta	SOA se baseia na capacidade de identificar serviços e suas características. Consequentemente, esta arquitetura depende de um diretório que descreva quais os serviços disponíveis dentro de um domínio.
Binding	A relação entre os serviços do provedor e do consumidor deve ser idealmente dinâmica; ela é estabelecida em tempo de execução através de um mecanismo de <i>binding</i> .

Fonte: Wu et al. (2015).

5.5.1.2. API Application Program Interfaces

O uso da API (*Application Programming Interface*) representa fazer uso de um conjunto de rotinas e padrões estabelecidos por um *software* para a utilização das suas funcionalidades por aplicativos que não pretendem envolver-se em detalhes da implementação do *software*, mas apenas fazer o uso das suas funcionalidades.

Para a Arquitetura Orientada para Serviços no contexto de desenvolvimento *Web* para esse fim, uma API é um conjunto definido de mensagens de requisição e resposta através de uma interface padrão HTTP, geralmente nos formatos XML ou JSON.

O pedido de serviço de *software* pode ser transmitido por qualquer número de conectores como o próprio usuário, servidores, entre outros.

É desse modo que uma aplicação pode interagir com um recurso conhecendo o identificador do recurso e a ação requerida.

Adotando boas práticas durante a definição da arquitetura os aplicativos tornam-se mais flexíveis, exceto se há um nível de acoplamento muito alto.

5.5.1.2.1. Acoplamento

De acordo com a literatura o conceito de acoplamento é definido como um parâmetro de medição do grau de dependência entre dois sistemas ou módulos.

Este conceito pode ser aplicado de forma semelhante para medir a interdependência no caso da Arquitetura Orientada para Serviços.

Quanto maior é o acoplamento, maior é a dependência entre o serviço e o cliente que o acessa, e alterações nos serviços irão demandar manutenções em outras partes do sistema o que implica em um maior tempo de manutenção e em uma maior complexidade do sistema quanto as suas ramificações de rotinas dependentes em função da necessidade de rastreabilidade das linhas de código a fim de evitar qualquer tipo de inconsistência.

Contudo, é desejável que os códigos estejam o mais desacoplado possível, de forma que alterações nas rotinas de um determinado serviço causem o menor impacto no restante dos códigos em um sistema.

Segundo Wu et al. (2015), um exemplo, é a existência de duas rotinas executadas dentro do escopo de uma determinada operação, com pequenas diferenças na operacionalização.

Se houver algum tipo de deficiência na implementação dos códigos, os dois, no caso de terem sido desenvolvidos separadamente por programadores diferentes e sem o cuidado de minimização do acoplamento, quando houver a necessidade de alteração de uma das rotinas, a outra acaba por ter que ser alterada na sequência para que não ocorram inconsistências na execução das rotinas e consequentemente imprecisão dos resultados gerados por elas.

Contudo, a fim de manter os processamentos idênticos, o que caracteriza um tipo de acoplamento ou dependência entre os códigos, o ideal é escrever o código de modo que o nível de acoplamento possa ser reduzido uma vez que se altere o código das rotinas a fim de que se mantenha um único ponto de manutenção localizado em um dos códigos, ou rotina sem ter que realizar alterações no outro quando houver alguma alteração. Como propósito de minimizar o nível de acoplamento entre as interfaces foi desenvolvido o protocolo SOAP e a metodologia de Gestão de Processos BPM que passaram a apoiar a criação de códigos pouco acoplados e um rol de orientações na seleção da arquitetura de implementação dos sistemas e softwares relacionados em um projeto de TI.

5.1.3. SOAP (*Simple Object Access Protocol*)

O protocolo SOAP tem como objetivo proporcionar a comunicação entre diversas arquiteturas com tecnologia orientada para objeto, como por exemplo, CORBA, RMI, DCOM, etc.

É importante definir neste tópico nível de acoplamento. Nível de acoplamento é a necessidade de uma tecnologia em um ambiente acessar outra tecnologia em outro ambiente durante o processo de execução de uma rotina partilhada.

Neste caso quanto maior o nível de acoplamento entre dois algoritmos de duas rotinas diferentes significa que o grau de dependência entre elas é maior e que na prática, qualquer alteração em uma linha do código do algoritmo de uma delas deve ser alterada na outra, caso contrário a execução das rotinas deve gerar inconsistências durante a execução das mesmas. As arquiteturas CORBA, RMI e DCOM apresentam tipos de acoplamento entre ferramentas ou aplicativos computacionais, devido à necessidade do acoplamento que a *internet* acaba por induzir devido à possibilidade do convívio em uma determinada rede de múltiplos sistemas operacionais.

Tal condição levou o termo acoplamento a ser abordado como um ponto fundamental para o processo de integração de ferramentas computacionais e que deve ser tratado com rigor, principalmente quanto à flexibilidade esperada para a concepção da *Cloud Computing* quanto à disponibilidade do uso dos *softwares* para vários usuários ao mesmo tempo e do tempo gasto com a manutenção dos recursos, que pode aumentar consideravelmente quanto maior o nível de acoplamento entre as rotinas executadas na operação do sistema.

A arquitetura CORBA (*Common Object Request Broker Architecture*) agregou um protocolo aberto para comunicação (IIOP – *Internet InterOrb Protocol*) e tem um grau de acoplamento mais baixo em relação as demais arquiteturas, com provedores CORBA para diversos sistemas operacionais e as mesmas linguagens de programação existentes.

Nesta escala de acoplamento, a DCOM ficaria em um extremo, ao passo que o CORBA em outro. Há que se destacar que em termos de acoplamento, as tecnologias mencionadas são dependentes de um código de programação computacional gerado a partir do *start* do serviço, definido por “*stub*”.

O “*stub*” é o código de implementação de um *pattern Proxy*. É esse código gerado que identifica qual servidor (tanto de *Storage* quanto de *Application*) encontra disponível na estrutura de *clusters* da rede virtual fazendo com que o usuário da computação em

nuvem não tenha a real noção de onde o serviço está sendo executado, se na mesma máquina ou em qualquer outro equipamento localizado em outro lugar da rede.

É esse processo operacional que representa a chave para os serviços distribuídos, que se por um lado permite que o código esteja em qualquer lugar da rede, por outro, força o usuário a agregar o *stub*, a fim de manter tal visibilidade das possibilidades de acesso via rede virtual de um maior número de usuários.

É exatamente este código (*stub*) que traz um maior nível de acoplamento entre o consumidor do serviço e o fornecedor, visto que parte da atividade de compilação dos *stubs* e *skeletons* é gerar os tipos de dados e parâmetros para comunicação. Mudança nos dados de entrada e parâmetros de acesso e busca afetam os dois lados, o que aumenta o acoplamento.

Utilizando um mecanismo padronizado de comunicação todos os objetos seriam transcritos para XML, e através de uma requisição HTTP (que passaria pela *internet* com tranquilidade) as informações seriam transferidas para o servidor.

5.5.1.3. RMI – *Remote Method Invocation*

RMI usa um mecanismo padrão empregado em sistemas RPC, para se comunicar com objetos remotos, que são códigos "*stubs*" e "*skeletons*". Como descrito no tópico anterior o "*stub*" funciona semelhante a um "*proxy*" para o objeto remoto.

Quando um objeto local invoca um método num objeto remoto, o "*stub*" fica responsável por enviar a chamada ao método para o objeto remoto. Passos do "*stub*" quando é invocado:

- 1) Iniciar conexão com a "*Virtual Machine*" que contém o objeto remoto.
- 2) Escrever e transmitir os parâmetros para a "*Virtual Machine*" remota.
- 3) Esperar pelos resultados da invocação do método.
- 4) Ler os resultados retornados.
- 5) Retornar os valores ao objeto que executou a chamada.

O código "*stub*" esconde a serialização dos parâmetros e toda a comunicação no nível de rede, com o objetivo de simplificar o mecanismo de realização da chamada tornando-a rápida em termos de acesso e disponibilidade do serviço.

Na "*Virtual Machine*" remota, cada objeto deve ter um "*skeleton*" correspondente ao "*stub*". O "*skeleton*" é responsável por enviar a chamada ao objeto remoto. Passos do "*skeleton*" quando recebe uma chamada.

- 1) Ler os parâmetros enviados pelo "*stub*"
- 2) Invocar o método no objeto remoto.
- 3) Escrever e transmitir o resultado ao objeto que executou a chamada.

Desse modo o *desktop* local passa a operar como um emulador de interfaces a partir da requisição de serviços específicos.

5.5.1.4. *Representational State Transfer (REST)*

A *Web* 2.0 vem abandonando o modelo de serviços SOAP em favor da técnica REST. A técnica *Representational State Transfer (REST)*, é uma abstração da arquitetura da *World Wide Web (Web)*, sendo basicamente um estilo de arquitetura que consiste de um conjunto coordenado de restrições perante a concepção da arquitetura aplicadas a componentes, conectores e elementos de dados dentro de um sistema de hipermídia distribuído.

O REST ignora os detalhes da implementação de componente e a *sintaxe* de protocolo com o objetivo de focar nos papéis dos componentes, nas restrições sobre sua interação com outros componentes e na sua interpretação de elementos de dados que necessitam maior atenção.

O termo transferência de estado representacional foi introduzido e definido no ano de 2000 por Roy Fielding, um dos principais autores da especificação do protocolo HTTP que é utilizado por *sites* da *Internet*, em uma tese de doutorado (PHD) na UC Irvine. A REST tem sido aplicada para descrever a arquitetura *web* desejada, identificar problemas existentes, comparar soluções alternativas e garantir que extensões de protocolo não violem as principais restrições da *Web*. Fielding desenvolveu a REST em colaboração com seus colegas enquanto trabalhava no HTTP e nos Identificadores de Recursos Uniformes (URI).

O estilo de arquitetura da REST também é aplicado no desenvolvimento de serviços *Web*. O termo REST, originalmente, trata de um conjunto de princípios de arquitetura, que na atualidade representa um conceito mais amplo para descrever qualquer *interface Web* simples que utiliza XML e HTTP (ou YAML, JSON, ou texto puro), sem

as abstrações adicionais dos protocolos baseados em padrões de trocas de mensagem como o protocolo de serviços *Web SOAP*.

É possível desenhar sistemas de serviços *Web* de acordo com o estilo de arquitetura REST descrito por Fielding, e também é possível desenhar interfaces XML, HTTP de acordo com o estilo de RPC, mas sem utilizar SOAP.

Cabe destacar que um programa de aplicação de interfaces (*Application Program Interfaces* – API) é composto por uma série de funções acessíveis somente por programação, e que tais funções permitem utilizar características do *software* menos evidentes ao usuário no modelo de projetos tradicionais de TI.

É necessário, obviamente, que uma Arquitetura Orientada para Serviços de *Software* seja capaz de disponibilizar ao usuário o maior número possível de aplicativos para o usuário no momento em que o mesmo necessitar, de modo rápido.

Contudo, requer a flexibilidade de reutilização imediata e de multi usuários fazerem uso ao mesmo tempo, sem a interferência entre os acessos e perda de desempenho, o que requer que as funcionalidades requeridas transcorram dentro da normalidade sem interrupções e perda de performance, o que requer o uso de ferramentas computacionais específicas como descrito resumidamente neste texto. Desse modo, a redução do tempo de manutenção dependente do nível de acoplamento entre as rotinas que viabilizam a disponibilidade do serviço, o que torna como um dos maiores objetivos do projeto de uma arquitetura orientada para serviços (*web services*) a redução de acoplamento e, não menos importante, como a gestão das interfaces através do API (*Application Program Interfaces*) garante a liberação do serviço.

5.5.1.5. Softwares Middleware

Middleware é um *software* de computador que fornece serviços para aplicações de *software*, além daqueles disponíveis a partir do sistema operacional. Pode ser descrito como "*software glues*" Middleware.org (2008).

Middleware torna mais fácil para desenvolvedores de *software* para executar comunicação de entrada / saída, para que eles possam se concentrar no propósito específico da sua aplicação. **Middleware** é o *software* que conecta componentes de *software* ou aplicativos corporativos.

Middleware é a camada de *software* que se encontra entre o sistema operacional e as aplicações em cada lado de uma rede de computadores distribuída.

Normalmente, suporta aplicativos de *software* empresariais distribuídos e complexos, devendo ser destacado:

- 1) **Middleware** é a infraestrutura a qual facilita a criação de aplicações de negócio, e fornece serviços essenciais como simultaneidade, transações, submissão (*threading*) mensagens e aplicações considerando o SCA *framework for service-oriented architecture* (SOA).

Ele também fornece **security** e habilita a funcionalidade de alta disponibilidade para a empresa.

- 2) **Middleware** inclui servidores Web, servidores de aplicação, sistemas de gerenciamento de conteúdo e ferramentas similares que suportam o desenvolvimento, a aplicação e a liberação.

É especialmente integrada à tecnologia da informação baseada no *Extensible Markup Language* (XML), *Simple Object Access Protocol* (SOAP), *Web services*, SOA, Web 2.0 infraestrutura e *Light weight directory Access protocol* (LDAP).

Além disso, como o setor industrial gera uma grande quantidade de texto e dados numéricos nos processos de desenvolvimento de produtos, futuros algoritmos de alto desempenho e plataformas de código aberto para a pesquisa de dados de grande volume (*big data*), mineração de dados (*data mining*) e processamento vai impactar significativamente como inovação no *design*, inteligência de fabricação, redução de custos, escalabilidade e eficiência dos sistemas CBDM.

Por exemplo, quando há a necessidade de grandes análises de dados de base semântica, a eficiência e a eficácia da análise podem ajudar a previsibilidade dos volumes de vendas, principalmente quando se trata de realizar o processo de previsão com base em diversas variáveis econômicas e de mercado.

Com exposto por Wu et al. (2015) determinar quais parâmetros chave e mensuráveis da fabricação requer o uso de tecnologia com funcionalidades que podem gerar ou garantir a satisfação do cliente a partir da identificação do parâmetro de maior influência que deve direcionar o processo de tomada de decisão nos diferentes níveis.

Os avanços futuros no reconhecimento de padrões, análise de sentimento, e sistemas de recomendação para *big data* pode ajudar os *designers* a extrair as necessidades dos clientes consideradas cruciais do crescente volume de dados

relacionados ao perfil de consumo dos clientes, gerados pelo usuário para refinar projetos existentes e desenvolver novos projetos de produtos.

5.4.1.6. Tipo de *Cloud Computing*

É evidente que a acessibilidade e velocidade de acesso com a *Cloud Computing* dependem da infraestrutura da Tecnologia da Informação disponível e a consistência do projeto da rede a partir da seleção dos componentes descritos, de modo a garantir a manutenção dos parâmetros de operação esperados de um processo de computação em nuvem. Neste caso cabe avaliar os *trade-off* relacionados com os investimentos necessários e os objetivos da organização quanto à definição do tipo de *Cloud Computing* a ser adotado.

Contudo, de acordo com Wu et al. (2015) há três possibilidades do uso da computação em nuvem, quanto aos investimentos em sua infraestrutura e direito ao uso.

- 1) Nuvem pública (*Public Cloud*) – pacotes de *softwares* de engenharia tal como *softwares* CAD, CATIA e SolidWorks e pacotes de *softwares* PLM como de simulação – *Plant Simulation* e Serviços terceirizados como impressão 3D – prototipagem – fornecedores de componentes – auxilio a SCM podem ser utilizados a partir da computação em nuvem pública.

A empresa assume apenas o custo do uso dos recursos que necessita e pelo tempo de uso, tendo a possibilidade de maiores ganhos que podem ser significativos, quanto à redução do investimento necessário no pagamento de licenças de uso dos *softwares* e, infraestrutura de TI necessária.

- 2) Nuvem privada (*Private Cloud*) – *softwares* especialistas (APS) e sistemas corporativos podem ser utilizados a partir da computação em nuvem privada quando há problemas de confidencialidade dos dados e a necessidade de se manter o domínio da infraestrutura necessária.

Neste caso o investimento por parte da empresa, devido às proporções, deve aumentar significativamente.

- 3) Nuvem híbrida (*Hybrid Cloud*) – modelo no qual a empresa pode fazer uso de uma nuvem pública para determinados fins e da nuvem privada para uso interno. A questão basicamente que define a necessidade de manter no domínio da organização dados sigilosos é que deve influenciar a decisão de qual configuração

a empresa deve adotar. **Modelos de concepção da Computing Cloud a partir do paradigma da manufatura digital.**

O novo paradigma da manufatura digital pode ser dividido em duas vertentes principais de modelo.

5.5.2. *Cloud based design and manufacturing (CBDMS)*

Sistema CBDMS, segundo Wu et al. (2015) é um modelo de Gestão de Projetos de novos produtos e Projeto e Operação de Sistemas de Produção descentralizado, fundamentado no conceito de *networked* e com base no uso de novas tecnologias que permitam, como a computação em nuvem, obter a integração do sistema de gestão da empresa com as mídias sociais e *Internet* de acordo com as necessidades ou demandas da organização.

A adesão por parte das organizações de arquiteturas da Tecnologia da Informação a tecnologias inovadoras como, por exemplo, *service-oriented architecture* (SOA), entre outras, todas as quais formando a espinha dorsal deste novo paradigma de concepção de projetos da manufatura. A partir do paradigma da manufatura digital há um grande impulso ao surgimento de novas tecnologias e aplicações específicas para uso no chão de fábrica e na gestão corporativa.

Bueno, Godinho e Frank (2020) destacam o avanço dos recursos inteligentes, onde a tendência do uso da Inteligência Artificial com a tecnologia IoT nos próximos anos deve impulsionar mudanças significativas na dinâmica no processo de execução das atividades de planejamento e controle da produção.

Contudo, para a concepção do sistema CBDMS deve ser considerado:

- 1) Características chave que o sistema deve contemplar;
- 2) A inserção de novas arquiteturas computacionais;
- 3) A construção de novos Modelos de programação computacional;
- 4) A adoção de novos Sistemas de arquivo;
- 5) Desenho atual, preciso e de diagnóstico dos Processos operacionais;
- 6) A construção de novos modelos de informação e comunicação;
- 7) Avaliação de novos modelos de negócio.

5.5.3. Uso da *Cloud Computing* em Projetos de Engenharia (*Engineering Design Process*) com ênfase no novo paradigma da manufatura digital

Há neste caso, segundo Pahl et al. (1984) e Ulrich e Eppinger (1985), quatro etapas principais a serem seguidas para a concepção da *Cloud Computing* em Projetos de Engenharia com ênfase na integração e com base no conceito de recursos distribuídos. O Modelo proposto por Pahl e Beitz (1988) apresenta uma abordagem sistemática para projetos de engenharia, incluindo quatro núcleos principais das fases de desenvolvimento.

- 1) Planejamento do produto com a visibilidade das tarefas relacionadas ao desenvolvimento do projeto;
- 2) Projeto conceitual ou projeto conceito;
- 3) Personificação do projeto;
- 4) Detalhamento do projeto.

Similarmente Ulrich e Eppinger (1985) introduziram um processo de projeto de Engenharia mais refinado incorporando teste do protótipo e fabricação do produto a partir da proposta original de Pahl e Beitz (1988).

5.6. Sistemas de Manufatura

Segundo Hu et al. (2011) e Tolio et al. (2010) similar ao modelo de sistema *Cloud Computing* com ênfase em desenvolvimento de novos projetos, o modelo de sistema *Cloud Computing* com ênfase na manufatura dentro do escopo do novo paradigma de manufatura digital pode ser considerado como o sistema que tem sofrido um maior número de mudanças significativas, devido às alterações do comportamento da demanda e do surgimento de tecnologias emergentes, acirrando a competitividade das indústrias.

Paradigmas da manufatura a partir das linhas de montagem de Henry Ford ao Sistema Toyota de Produção (*Toyota production systems* – TPS) para sistemas de manufatura flexível (*Flexible Manufacturing Systems* – FMS), para sistemas de manufatura reconfiguráveis (*Reconfigurable Manufacturing Systems* – RMS), para sistemas de manufatura baseados na *web* e em agentes (*Agent Based Manufacturing Systems*) acabaram por tornarem-se vitais no contexto da globalização como responsáveis por novas abordagens das estratégias de manufatura.

Segundo Wu et al. (2015) como a globalização refere-se a um mundo inherentemente distribuído tanto do ponto de vista geográfico quanto do ponto de vista do processamento e disponibilidade das informações, o resultado não poderia ser diferente do descrito através de novos modelos de gestão da manufatura como finalmente se constata através do modelo proposto com o CBMS.

Contudo, Wu et al. (2012, 2013) definem o modelo *Cloud-Based Manufacturing System* (CBMS) como um modelo de rede de fabricação que explora o acesso, a partir de uma determinada demanda, a um conjunto compartilhado de recursos de produção diversificados e distribuídos para formar linhas de produção reconfiguráveis e temporárias com ênfase em aumentar a eficiência do sistema a partir dos *inputs* dos parâmetros ou variáveis da demanda a ser atendida, de modo a apoiar a redução dos custos do ciclo de vida do produto permitindo uma melhor utilização dos recursos em resposta à demanda variável do cliente gerando as ordens de produção a serem providenciadas de modo mais racional.

Com base nas afirmações de Wu et al. (2015), *Cloud-based design and manufacturing System* (CBDMS) pode ser considerado um modelo de gestão adaptado a partir do paradigma da computação em nuvem e introduzido no âmbito do desenvolvimento do produto assistido por computador, e que está ganhando impulso significativo e atenção da academia e da indústria a partir do novo paradigma da manufatura digital.

Trata-se de um modelo de desenvolvimento de produtos fundamentado no uso de rede virtual orientado a serviços em que os consumidores estão habilitados a configurar, selecionar e utilizar os recursos de concepção do produto personalizado envolvendo o uso de serviços que vão desde *softwares CAE* para sistemas de produção reconfiguráveis até o uso de outros aplicativos e infraestrutura de TI necessários a manufatura do produto.

Wu et al. (2015) define o sistema CBDMS como um modelo de manufatura e de desenvolvimento de novos projetos baseado em rede virtual e descentralizado, capaz de disponibilizar muitas tecnologias facilitadoras de acordo com a tecnologia *Cloud Computing*, mídia social, *Internet of Things* (IoT) e arquitetura orientada a serviço (*service-oriented architecture* – SOA), todas as quais formam a espinha dorsal deste novo paradigma de manufatura.

A Tabela 4 apresenta as características chave e de comparação de acordo com as ponderações de Wu et al. (2015).

Tabela 4 – Características chave e comparação.

Características	Baseado na web	Baseado em agentes	Baseado em nuvem
<i>Scalability</i>	X	X	X
<i>Agility</i>	X	X	X
<i>High performance computing</i>		X	X
<i>Networked environment</i>		X	X

<i>Affordable computing</i>		X
<i>Ubiquitous access</i>		X
<i>Self-service</i>		X
<i>Big data</i>		X
<i>Search engine</i>		X
<i>Social media</i>		X
<i>Real-time quoting</i>		X
<i>Pay-per-use</i>		X
<i>Resource pooling</i>		X
<i>Virtualization</i>		X
<i>Multi-tenancy</i>		X
<i>Crowdsourcing</i>		X
<i>Infrastructure-as-a-service</i>		X
<i>Platform-as-a-service</i>		X
<i>Hardware-as-a-service</i>		X
<i>Software-as-a-service</i>		X

Fonte: Wu et al. (2015).

6. Características e requisitos para sistemas de manufatura baseados em nuvem (*Cloud-Based Manufacturing Systems – CBMS*)

Wu et al. (2015) pondera que a infraestrutura de TI para viabilizar o modelo CBMS a partir da tecnologia da *Cloud Computing* deve atender, a princípio, 8 condições consideradas fundamentais pelo autor:

Condição 1 (C1). Serviço de conexão individual para consumidores e fornecedores em um ambiente de projeto em rede, um sistema CBDMS deve suportar serviços baseados em mídia social em rede virtual. Aplicações de mídia social tal como aplicações peculiares que permitem aos usuários influenciarem e utilizarem processos terceirizados no projeto e na manufatura.

Em adição, mídias sociais não somente conectam indivíduos, mas também conectam dados e informações relacionados ao projeto e a manufatura, permitindo que os usuários interajam com uma comunidade global de especialistas através da *Internet*.

Condição 2 (C2). Permitir que os usuários ao fazer uso da tecnologia possam colaborar e compartilhar os dados de modelos geométricos em 3D instantaneamente.

Um sistema CBDMS deve fornecer armazenamento elástico e baseado em nuvem, o que possibilita que arquivos sejam armazenados, mantidos e sincronizados automaticamente.

Condição 3 (C3). Com base no exposto por Marozzo et al. (2013), Ren et al. (2012) e Wu et al. (2015) considera que para processar e gerenciar grandes conjuntos de dados, os chamados grandes dados, com algoritmos de mineração de dados (*Data Mining*) paralelos e distribuídos em um *cluster* (*cluster Hadoop*) de computadores, um sistema CBDMS deve utilizar um *framework* / programação de *software open-source* que suporta aplicações distribuídas de uso intensivo de dados. Por exemplo, *MapReduce* é um dos modelos de programação mais utilizados em ambientes de computação em nuvem, como é apoiado pelos principais provedores de nuvem, como o *Google* e *Amazon*.

Condição 4 (C4). Com base no Numecent (2014) Wu et al. (2015) considera que para fornecer aplicações SaaS para os clientes, um sistema CBDMS deve suportar uma arquitetura multi usuário (*multi-tenancy*).

Através da arquitetura *multi-tenancy*, uma única instância de *software* pode servir vários inquilinos através de um navegador *web*.

Ainda de acordo com Numecent (2014) (Numecent é a *startup* responsável pelo desenvolvimento de uma nova tecnologia, *cloudpaging*, para entrega e disponibilidade de uso de aplicativos de *software*), o que resultou em uma plataforma de nuvem, chamada

Native as a Service (NAAS), desenvolvida para fornecer aplicativos nativos do *Windows* para dispositivos clientes.

Cabe destacar que a tecnologia NaaS (*Native as a Service*) pode apoiar o uso de *softwares* pesados com maior complexidade como, por exemplo, o CAD e o CAM, assim como o *SolidWorks* sem o desenvolvimento de aplicativos baseados em nuvem separadamente.

Com essa plataforma multi usuário (*multi-tenant*), esses programas podem ser executados como se fossem aplicativos nativos instalados no dispositivo do usuário.

A proposta da Numecent com o *Native as a Service* é redefinir as camadas de nuvens no modelo de implementação de nuvem atual, que no caso a Infraestrutura (IaaS) é a camada de fundação sobre a qual Plataforma (PaaS) e *Software* (SaaS) são adicionados para implantar serviços úteis.

Segundo Numecent (2014) o *Native as a Service* ocupa a mesma camada com o SaaS, com a diferença de SaaS ser um *software* originalmente escrito para a *web* enquanto Naas oferece *software* originalmente escrito para o *desktop*. Segundo a Numecent (2014) a tecnologia patenteada permite realizar um *download* entre 20 a 100 vezes mais rápido em comparação com um *download* digital linear, e em seguida, permite executar na plataforma cliente sem instalação e sem suporte de TI o aplicativo, de modo que, quando o aplicativo for fechado, não fica nenhum indício do aplicativo no sistema do usuário.

Condição 5 (C5). Capacidade da computação em nuvem permitir a alocação de recursos de produção e de controle (por exemplo, máquinas, robôs, células de manufatura, sistemas físicos de apontamento e linhas de montagem) em sistemas CBDMS de modo eficaz e eficiente, de monitoramento em tempo real do fluxo de materiais, disponibilidade e capacidade de recursos de produção. Tal capacidade torna-se cada vez mais importante no uso da tecnologia de computação em nuvem baseado no processo de planejamento, programação e liberação da lista de tarefas.

Por isso, o sistema CBDMS deve ser capaz de coletar dados em tempo real utilizando tecnologias da *Internet* das coisas (*Internet of Things* – IoT), como a identificação por radiofrequência (*Radio Frequency Identification* – RFID) e armazenamento destes dados em sistemas de arquivos distribuídos baseados em nuvem (*Data Storage Virtualization & Physical Data Storage*).

Condição 6 (C6). Implementar um modelo de arquitetura orientada a serviço (*Service Oriented Architecture Model*) em projetos e manufatura, um sistema CBDMS deve prover para os usuários qualquer coisa como um serviço (*X-as-a-service – everything as a service*), por exemplo, aplicações tais como IaaS, PaaS, HaaS, e SaaS.

Condição 7 (C7). Com base no exposto por Chang, Rai e Terpenny (2010) e Wu et al. (2015) considera que para ajudar os usuários a encontrar recursos de produção adequados no uso da tecnologia Computação em nuvem, um sistema CBDMS deve fornecer um mecanismo de busca inteligente para o projeto e fabricação para ajudar a encontrar as respostas às consultas (*queries*). Tal mecanismo deve garantir a agilidade necessária quanto à disponibilidade do resultado da busca em tempo real.

Condição 8 (C8). Para agilizar o fluxo de trabalho (*workflow*) e melhorar os processos de negócios (*business processes*), um sistema CBDMS deve fornecer uma ferramenta computacional *on-line* capaz e apta a gerar cotações de orçamentos instantâneas baseadas em especificações de projeto de novos produtos e de projeto de manufatura.

As diferenças e similaridades entre CBDMS e sistemas baseados na *web* e em agentes devem ser articuladas, de acordo com Wu et al. (2015) a partir de um número de perspectivas:

- 1) Arquitetura computacional,
- 2) Armazenamento e manipulação dos dados,
- 3) Processo de terceirização quando houver,
- 4) Infraestrutura de informação e de comunicação,
- 5) Modelo do negócio e
- 6) Modelo de programação computacional.

7. Arquitetura de computação

Do ponto de vista computacional, a diferença entre sistema apoiado no uso de recursos disponíveis na *web*, em aplicativos baseados em agentes distribuídos e aplicativos baseados em nuvem, segundo Wu et al. (2015) é duplo, ou seja, envolve o multi arrendamento (*Multi Tenancy*) ou acesso de multi usuários instantaneamente e a virtualização de acordo com a infraestrutura de TI necessária, o que difere a Computação em Nuvem dos demais modelos.

7.1. Infraestrutura da Tecnologia da Informação necessária para a viabilização da *Cloud Computing*

A Infraestrutura necessária para a operacionalização da *Cloud Computing* requer, contudo, o uso de componentes computacionais por camada.

- 1) **Servidores** – servidores físicos fornecem máquinas “*host*” (responsável por implementar a estrutura da camada de rede de endereçamento) para diversas máquinas virtuais (*Virtual Machines*) ou “*guests*”. Um *hypervisor* (cria conjuntos lógicos de recursos do sistema de modo que muitas máquinas virtuais possam compartilhar os mesmos recursos físicos) em execução no servidor físico que aloca recursos do *host* (CPU, memória) dinamicamente a cada máquina virtual (*Virtual Machine – VM*).
- 2) **Virtualização** – as tecnologias de virtualização permitem ao sistema no momento do acesso não se preocupar com local e elementos físicos necessários a disponibilidade do serviço. Recursos de TI – servidores, aplicativos, *desktops*, sistemas de armazenamento (*Storage*) e rede são desvinculados dos dispositivos físicos e apresentados como recursos lógicos.
- 3) **Armazenamento** – componentes como *Network Attached Storage* (NAS) e sistemas unificados fornecem armazenamento para dados em bloco e *file data* primários, arquivamento de dados, *backup* e continuidade de negócios. Componentes avançados do *software* de armazenamento são usados para *big data*, replicação de dados, transferência de dados entre nuvens e alta disponibilidade.
- 4) **Rede** – *switches* fazem a interconexão de servidores físicos e armazenamento. Roteadores proporcionam conectividade LAN (rede de área local) e WAN (rede

remota). Componentes adicionais de rede proporcionam proteção de *firewall* e balanceamento de carga de tráfego.

- 5) **Gerenciamento** – o gerenciamento da infraestrutura em nuvem inclui organização das atividades de servidor, rede e armazenamento, gerenciamento de configuração, monitoramento de desempenho, gerenciamento de recursos de armazenamento e medição de uso.
- 6) **Segurança** – os componentes devem garantir a segurança das informações e a integridade dos dados, de modo a atender as necessidades de conformidade e confidencialidade. Devem gerenciar o risco e fornecer governança para que o sistema opere dentro do regime de normalidade.
- 7) **Backup e recuperação** – o *backup* de servidores virtuais, NAS e *desktops* virtuais é feito automaticamente em disco ou fita. Elementos avançados oferecem proteção contínua, múltiplos pontos de restauração, não duplicação de dados e recuperação de desastres. Há caso em que se utiliza mais de um servidor físico com posterior gravação em fita, além do uso de servidores virtuais localizados em regiões distintas da operação, muitas vezes o usuário não tem noção de sua localização.
- 8) **Sistemas de infraestrutura** – *hardware* e *software* pré-integrados, como sistemas completos de *backup* com a não duplicação e plataformas pré-montadas em *racks* que contêm servidores, *hypervisor*, rede e armazenamento devem tornar mais rápida a implementação da infraestrutura em nuvem e reduzem ainda mais a complexidade.

7.1.1. Complementando as premissas da Infraestrutura da Tecnologia da Informação necessária para a viabilização da *Cloud Computing*

Segundo Wu et al. (2015) a arquitetura de computação multi arrendamento (*multi-tenancy*) deve ser considerada como uma das premissas que sustentam a proposta da *Cloud Computing*, e que deve permitir que uma única instância do *software* aplicativo pudesse servir a múltiplos inquilinos ou usuários, o que requer o uso da tecnologia. Neste caso, de acordo com a literatura, para compartilhar os recursos de computação e de TI em nuvem (*cloud computing*) com a contrapartida do multi arrendamento (*multi-tenancy*) é mais fundamentalmente utilizado uma tecnologia capaz de garantir a sua segurança e eficiência de custos cabendo como diferencial do tomador de decisão responsável pela

concepção do projeto um profundo conhecimento da tecnologia existente ou busca por parte da empresa de especialistas no mercado quando da opção de uso da *Private Cloud Computing*.

Ainda com base na tecnologia necessária, para fornecer uma *interface* como mídias sociais e plataformas que apoiem a terceirização entre prestadores de serviços e consumidores ou usuários, o portal *web* de sistemas CBDMS deve ser desenvolvido utilizando a tecnologia *Web 2.0* e aplicativos de *software* associados, lembrando que a disponibilidade da *Internet* como rede pública envolve a tecnologia adquirida do país de origem da empresa a fim de verificar o seu potencial e capacidade de fluxo e estabilidade de rede, caso contrário deve ser considerado como uma séria restrição ao uso do *Cloud Computing*, independente a opção ser *Private* ou *Public*.

Para melhorar o processo de negociação entre prestadores de serviços e consumidores, bem como melhorar a segurança e privacidade em sistemas CBDMS, quando do acesso ao serviço a ser utilizado, como abordado no parágrafo anterior, independe da *Cloud Computing* ser *Private* ou *Public*, um *Broker* de nuvem pode ajudar os usuários a identificar, personalizar e integrar os serviços de projeto e de fabricação existentes, uma vez que a tecnologia da *Internet* local seja capaz de garantir o fluxo externo à organização.

7.1.2. Função do *Broker* – *Integration Bus Advanced (Enterprise Service Bus)*

De acordo com Wu et al. (2015) a função do *Broker* de nuvem é fornecer serviços que permitem aos usuários analisar o fluxo de informações e materiais em sistemas CBDMS. Contudo, a função do *Broker* (*Service Broker*) pode ser definida dentro das seguintes perspectivas de respostas as perguntas relacionadas.

- 1) Como as tarefas são estruturadas;
- 2) Como elas são executadas;
- 3) Qual é a sua sequência de execução e interdependência;
- 4) Como sincronizar;
- 5) Como os fluxos de informação suportam as tarefas;
- 6) Como é feita a rastreabilidade da execução das tarefas.

Ao responder as perguntas o *Broker* deve atuar como executor do processo.

- 1) Conecta serviços entre si, permitindo o fluxo de processos de negócios;
- 2) Opera todas as conexões entre os componentes;

- 3) Atua com interconector entre componentes em um processo de negócio;
- 4) Utiliza as informações dos componentes residentes no registro SOA e reuni os componentes para acionar o *workflow*.

Como consequência as seguintes ações do *Broker* devem ser desencadeadas.

- 1) Um usuário ao fazer o *login* solicita a execução de uma aplicação. Como esta aplicação está em execução, o *Broker* é notificado e entra em ação;
- 2) O *Broker* consulta o registro para saber o que deve fazer para poder executar o serviço. O registro consulta primeiro o mecanismo de regras para verificar se a aplicação está em condições de ser executada;
- 3) O *Broker* coloca em execução os subserviços no caso de não estarem ativos;
- 4) O *Broker* verifica quais interfaces entre os componentes necessita para poder interconectá-los. As informações sobre as conexões se encontram em adaptadores, e é criada a primeira vez que se conectam os componentes;
- 5) O *Broker* somente tem a função de especificar qual subconjunto de informação da interface deve utilizar;
- 6) Os componentes podem então conectar-se (*bind*) entre si de maneira direta.

Além da configuração dos componentes e definição das regras, como por exemplo, das ações que devem ser executadas pelo *Broker*, o desenvolvimento de sistemas CBDMS usando a *web* semântica e o mapeamento das regras de negócio deve ser capaz de fornecer uma camada comum a partir da qual vários parâmetros do modelo de negócio, a partir das ontologias que podem ser acessadas e, portanto, da possibilidade dos usuários poderem trocar informações relacionadas à fabricação e projeto de forma Semanticamente orquestrada ou alinhada, deve garantir a efetividade do processo a ser executado com o uso da *Cloud Computing*.

Em adição, como mostrado nas camadas física e virtual da Figura 5 que ilustra as modificações da Figura 6 com ênfase na *Cloud Computing*, é possível verificar que há diferentes configurações de *Cloud Computing* quanto à estrutura e infraestrutura de TI, neste caso cabe à empresa avaliar a sua necessidade e as estratégicas do negócio e da manufatura que norteiam as estratégias de TI.

Cabe, portanto, avaliar o modelo de programação computacional a ser adotado dentro do escopo do projeto.

7.1.3. Programming Model (*MapReduce* e *Hadoop*)

Uma das implementações de código aberto mais conhecida do modelo *MapReduce* é o modelo de programação paralela *Hadoop*.

Segundo Dean e Ghemawat (2008) *Hadoop* é um modelo de programação semelhante a outros modelos de programação paralela que divide tarefas extensas computacionalmente em pequenos fragmentos de trabalho, e cada unidade de trabalho é processado em um nó de computador ou máquina *cluster Hadoop*.

Dentro do conceito, o *framework* tem a função de unir códigos comuns entre vários projetos de *software* provendo uma funcionalidade genérica, neste caso um *framework* pode atingir uma funcionalidade específica que por configuração durante a programação de uma aplicação executa rotinas específicas.

Ao contrário das bibliotecas usuais dos sistemas tradicionais, é o *framework* quem dita o fluxo de controle da aplicação, chamado de Inversão de Controle.

Neste caso o *MapReduce* é implementado através de dois processos fundamentais chamados *Map* e *Reduce*. Especificamente, em um processo *Map*, um nó mestre recebe uma tarefa de entrada, a divide em sub-tarefas menores e as distribui para os nós de execução ou executores.

Os nós de execução ou executores processam as sub-tarefas menores e enviam a resposta para o nó mestre, que permite uma performance superior, ou seja, no processo é capaz de reduzir o tempo de processamento, pois um nó mestre recebe as respostas de todas as sub-tarefas e as combina para gerar o resultado da tarefa original.

Tal modelo de programação paralela permite ao CBDMS lidar com grandes dados gerados tanto na gestão de projetos quanto na gestão da manufatura.

Contudo, o *Hadoop* é uma plataforma de *software* em Java de computação distribuída voltada para *clusters* e processamento de grandes massas de dados enquanto que o *MapReduce* é um modelo de programação desenhado para processar grandes volumes de dados em paralelo, dividindo o trabalho em um conjunto de tarefas independentes. Programas *MapReduce* são escritos em um determinado estilo influenciado por construções de programação funcionais, especificamente expressões idiomáticas para listas de processamento de dados o que, através deste módulo é possível identificar a natureza intrínseca do presente modelo de programação e como ela pode ser usada para escrever programas que são executados no ambiente *Hadoop*.

Na prática o *MapReduce* é um modelo de programação e *framework* introduzido pelo *Google* para suportar computações paralelas em grandes coleções de dados em *clusters* de computadores.

O *MapReduce* pode ser considerado um novo modelo computacional distribuído, inspirado pelas funções *Map* e *Reduce* usadas comumente em programação funcional, sendo um “*Data-Oriented*” que processa dados em duas fases primárias: *Map* e *Reduce*.

8. Empresa objeto do estudo

A empresa objeto deste estudo é uma fornecedora de autopeças e atua no mercado de fornecimento de componentes para montadoras e o mercado de reposição.

Trata-se de uma multinacional com seis unidades de produção no Brasil com portfólio de tecnologias envolvendo sensores, unidades de controle, atuadores mecatrônicos, sistemas de transmissão e componentes de suspensão.

A unidade objeto de estudo deste projeto de pesquisa encontra-se localizada no interior do estado de São Paulo e produz componentes para sistemas de transmissão, no caso produtos funcionais.

Deste modo através das reuniões com a equipe gestora da empresa foi possível identificar que a empresa vem investindo no uso do seu Sistema de Processamento de transação (SPT) – Sistema Transacional (Sistemas de Planejamento dos Recursos Empresariais (SPRE)).

O objetivo da empresa é tornar a função PCP inteligente contando não somente com o apoio específico da tecnologia relacionada no processo de automatização do ambiente de planejamento, mas também no sistema de apontamento e monitoramento do chão de fábrica que suporta o controle. Principalmente quando consideramos o problema de dados imprecisos no *input* dos sistemas de planejamento e controle da produção.

Neste caso, a opção da empresa foi investir no controle do chão de fábrica com o uso de um sistema *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) desenvolvido internamente. A empresa não contempla o uso de sistemas como *Plant Information Management Systems* – PIMS e os *Manufacturing Execution Systems* – MES.

É importante destacar que a empresa opera segundo a estratégia definida como *time-phased* (por nível) com produção de produtos de médio volume padronizados, produtos funcionais.

Neste caso trata-se da categoria com foco na eficiência dos processos definida como Cadeia de Suprimentos *Lean Manufacturing* (produtos funcionais), mercado com médio volume e produtos padronizados com pequenas variações e *lead times* curtos, planejados e controlados por nível (*time phased*) com base no plano mestre de produção (MPS).

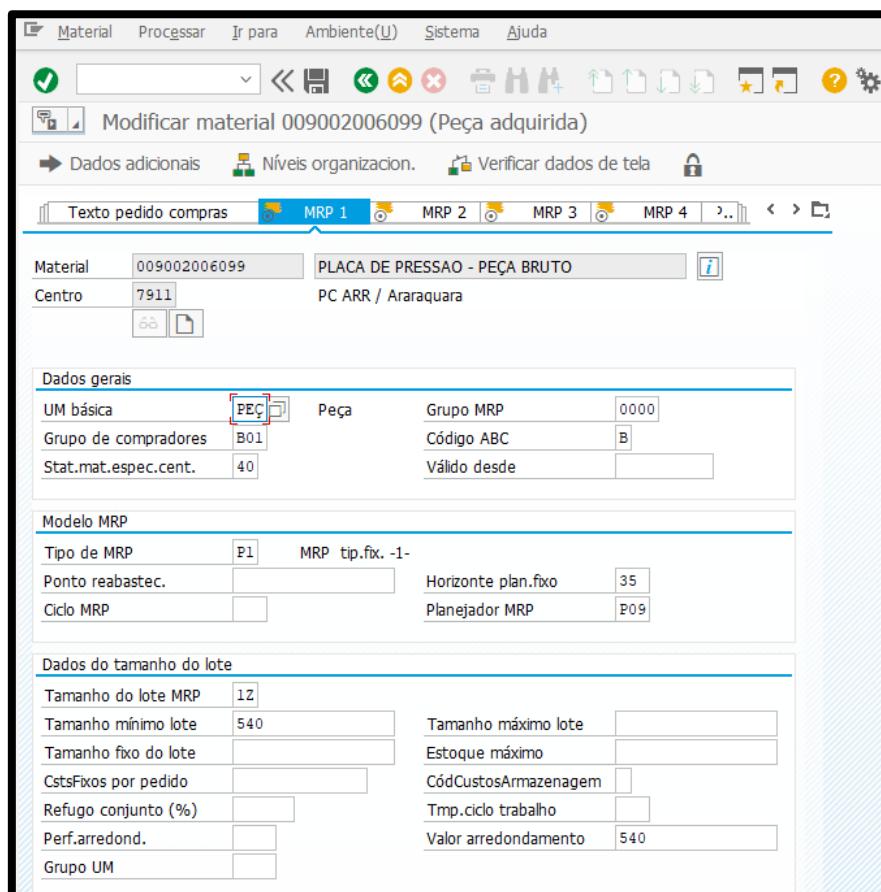
No controle das ordens de produção a empresa substituiu o uso dos cartões *kanban* por ordens de produção e o programa de remessas intensificando a integração com os fornecedores da cadeia de suprimentos através do seu sistema ERP SAP R/3.

8.1.Soluções de TI da empresa objeto de estudo a partir da implementação do Programa de Remessas do Planejamento e Controle da Produção

Com relação ao controle das ordens de produção, por produzir produtos funcionais, antes da implantação do programa de remessas a unidade utilizava cartões *Kanban* para fazer a programação visual da produção da fábrica. No entanto, este sistema não era eficiente pois quando havia algum problema na cadeia, o sistema menosprezava o resto dos componentes e acabava por prejudicar o fluxo de materiais entre fornecedores e a planta. Além disso, este sistema dificultava na realização de mudanças nos pedidos feitos ao fornecedor, ocasionando problemas de integração do fluxo de dados e de materiais entre os elos da cadeia.

Assim, atualmente a empresa não utiliza o sistema *Kanban* e implementou um programa de remessas com todos os fornecedores e um sistema de *follow up* que é responsável por realizar o monitoramento dos pedidos feitos, assim como a manutenção do relacionamento com fornecedores e parceiros. A Figura 8 mostra um exemplo de parametrização do sistema e a Figura 9 a programação das necessidades dos materiais.

Figura 8 – Parametrização do sistema.



Fonte: empresa objeto do estudo (2021).

Figura 9 – Programação das Necessidades de Materiais. Fonte: empresa objeto do estudo.

Lista de necessidades/estoque à(s) 16:51 hora(s)								
Árvore de material ON		Arv. de material	Arv. de material	Arv. de material	Arv. de material	Arv. de material	Arv. de material	Arv. de material
Material	009002006059		PLACA DE PRESSAO - PEÇA BRUTO					
Centro	7911	Tipo de MRP	P1	Tipo material	KMF	Unidade	PEÇ	
F...	Data	Elem...	Dados p/elemento MRP	Dta.repro...	E...	Entrada/Nec.	Qtd.disponível	De...
	12.07.2021	Estq.					540	
	12.07.2021	ResOrd	009002006000			270-	270	4433
	09.08.2021	DvPr	0055021644/00010 *			540	810	4551 79104641 SADA SIDERURGIA LTDA
	10.08.2021	NecDep	009002006000			660-	150	4433
	11.08.2021	NecDep	009002006000			7-	143	4433
	23.08.2021	DvPr	0055021644/00010 *			540	683	4551 79104641 SADA SIDERURGIA LTDA
	25.08.2021	NecDep	009002006000			36-	647	4433
	25.08.2021	NecDep	009002006000			300-	347	4433
	26.08.2021	NecDep	009002006000			20-	327	4433
	28.08.2021	NecDep	009002006000			120-	207	4433
	30.08.2021	----> Fim horiz.planejam...						
	30.08.2021	DvPr	0055021644/00010			540	747	4551 79104641 SADA SIDERURGIA LTDA
	01.09.2021	NecDep	009002006000			308-	439	4433
	15.09.2021	NecDep	009002006000			242-	197	4433
	20.09.2021	DvPr	0055021644/00010			540	737	4551 79104641 SADA SIDERURGIA LTDA
	22.09.2021	NecDep	009002006000			257-	480	4433

Fonte: empresa objeto do estudo (2021).

8.1.1. Vantagens da não utilização do *Kanban*

A maior vantagem é que atualmente a empresa consegue planejar exatamente o que a fábrica precisa, nas datas que a fábrica precisa e dentro do programa de remessas do fornecedor.

Outra vantagem foi o aumento da expertise das pessoas que trabalham na área de Planejamento e Controle da Produção da empresa, pois quando se utilizava o sistema *Kanban*, o planejador não precisava efetuar a programação macro da fábrica. Atualmente, o planejador necessita realizar o programa macro, o que aumentou o conhecimento dentro da área.

8.1.2. Programa de remessas com todos os fornecedores (Protocolo Logístico)

O Protocolo Logístico Programa de Remessas da empresa objeto do estudo, determina os termos e condições gerais logísticas de entrega entre o fornecedor e a empresa, de peças, componentes ou matéria-prima.

Com o programa de remessas com os fornecedores a empresa tem uma assertividade maior do fornecedor, dado que ele tem uma visão de 45 dias de antecedência da programação da produção, com as datas que a empresa necessita receber as peças.

Deste modo, esse programa possibilita que o fornecedor tenha a garantia que a empresa vai puxar todo o material solicitado, uma vez que a empresa respeita o período firme de planejamento.

Por outro lado, a empresa possui pessoas monitorando as entregas do fornecedor para que ele atenda aos pedidos na data correta, utilizando um sistema de gestão do fornecedor que controla a qualidade da entrega do fornecedor de acordo com a data de entrega.

O objetivo do Protocolo Logístico do Programa de Remessas da empresa é determinar os modos gerais de funcionamento dos abastecimentos, bem como estabelecer a forma de acompanhamento dos fluxos estabelecidos como descrito na seção 8.1.2.1.

8.1.2.1.Quadro de Entrega Parcelada (QEP) – Programação

A empresa informa ao fornecedor, por meio de documentação eletrônica (EDI, WebEDI ou E-mail), a estimativa de compra de componentes ou matéria prima por QEP (Quadro de Entrega Parcelada), onde estabelece uma estimativa de compra dos meses futuros, com o propósito de ampliar a visão do fornecedor das suas necessidades para o mesmo programar sua produção.

As alterações de programa do *mix* e a quantidade dos componentes previstas no QEP enviado ao fornecedor para mais ou para menos, e exceções possíveis durante a janela de tempo são negociadas entre as Partes.

O fornecedor deverá observar rigorosamente as datas de entrega e as quantidades estabelecidas no Cronograma de entrega ou QEP, inclusive eventuais alterações feitas que observem o acima exposto.

As informações contidas no QEP estão relacionadas as estimativas de demanda e sofrem alterações de acordo com a dinâmica do mercado consumidor, neste caso, os ajustes são frequentes, mas de acordo com as negociações entre a empresa e o fornecedor.

A frequência de atualização do QEP é função do componente e matéria prima, consequentemente do fornecedor.

O programa de remessas prevê variações de entrega até 10% para mais ou menos, consideradas as variações do mercado e as exceções serão tratadas entre as partes.

As restrições de entrega são avaliadas de acordo com o protocolo logístico, de modo que para evitar falhas no abastecimento, com consequente impacto na performance de entrega do fornecedor, após o envio do QEP o fornecedor pode pedir revisão do QEP nos 2 dias úteis após o recebimento do mesmo, descrevendo eventuais restrições e ações que serão necessárias para atender tais variações.

8.1.2.2.Funcionalidade do SAP para a avaliação da performance de entrega

A empresa avalia periodicamente o desempenho do fornecedor. A nota de performance de entrega obtida pelo fornecedor poderá ser um fator para eventuais expansões ou até mesmo encerramento do fornecimento.

O método de avaliação é aplicado através de uma ferramenta do sistema SAP, denominada *Bensberg*, a partir dos seguintes critérios:

- 1) Cada entrada de material é classificada como 0% ou 100%. Se a entrega estiver dentro das tolerâncias permitidas para tempo e quantidades como definido no Quadro 1, tal entrega será avaliada como 100%.
- 2) Se a entrega estiver fora dos limites de tolerância, será avaliada como 0%.

A ferramenta de avaliação é adaptada de acordo com condições de entrega acordadas com cada fornecedor.

Quadro 1 – Condições de Entrega. Fonte: Empresa objeto do estudo.

	Tolerância para quantidade	Tolerância para data (em relação à data definida no QEP)
Entrega direta (fornecedor é responsável pelo transporte)	+/- 10%	+/- 1 dia
Entrega via centro de consolidação de cargas	+/- 10%	Não há tolerância (0 dias)
<i>Milk run</i>	Não há tolerância (= 0%)	Não há tolerância (0 dias)
VMI (estoque consignado)	Avaliação dentro dos limites mínimos / máximos	

Fonte: Empresa objeto do estudo (2021).

A eficiência de entregas é medida em %:

$$\text{Eficiência} =$$

$$\frac{\text{Soma das avaliações individuais de cada entrada dentro do período escolhido}}{\text{Número de entradas de material no período}}$$

Com base no resultado obtido, é atribuído ao fornecedor uma nota, de acordo com o Quadro 2.

Quadro 2 – Nota atribuída. Fonte: Empresa objeto do estudo.

Classificação do Fornecedor	Atendimento
A	90% – 100%
B	75% – 89,99%
C	0% – 74,99%

Fonte: Empresa objeto do estudo (2021).

A ferramenta desenvolvida enxerga os últimos dois QEP's enviados para checar se o material recebido confere com a data e quantidades solicitadas através dos QEP's. O QEP de remessas que for mais favorável ao fornecedor será automaticamente selecionado para avaliar as entradas individuais. Se os dados conferirem com um dos QEP's, a avaliação individual correspondente receberá a nota de 100%.

A performance de entrega é parte dos 5 indicadores que medem o desempenho do fornecedor, sendo os demais indicadores: PPM (Partes por milhão) acumulado; Avaliação do Sistema de Qualidade, Número de ANC's (Análise de não-conformidade) e Número de ANC's no cliente.

A meta do fornecedor é atingir pelo menos 90% de performance de entrega. Se o desempenho estiver abaixo de 75%, um plano de ação deve ser elaborado pelo fornecedor a fim de corrigir os problemas encontrados e elevar o índice de performance para a média esperada.

8.1.2.3.Troca de dados eletrônicos (EDI)

O processamento ocorre a partir da troca de dados com o fornecedor eletronicamente via EDI tradicional, E-mail confidencial ou WebEdi/SupplyOn.

A Nota Fiscal eletrônica e o arquivo.xml deverão ser enviados eletronicamente. Toda NF-e enviada, deve conter no mínimo, as seguintes informações:

- 1) Código do item;
- 2) Programa de Remessa;
- 3) Unidade de medida igual ao mencionado.

Além das informações requisitadas o fornecedor deve informar periodicamente a sua capacidade produtiva e as suas limitações no processo fabril, o fornecedor deverá informar detalhadamente a sua capacidade produtiva por mês / dia / hora considerando *Setups* e *Mix* de componentes, gargalos, turnos e restrições legais em sua planta e

subfornecedores. A partir dos dados e informações o PCP da empresa realiza os ajustes necessários da programação da fábrica.

O fornecedor deve autorizar o planejamento e controle da produção da empresa a realizar estudo denominado Run@Rate quando requisitado, para efeito de comprovação da capacidade produtiva do fornecedor utilizada para fabricação dos componentes da empresa.

8.1.3. Softwares utilizados pelo PCP

A empresa utiliza alguns *softwares* que auxiliam as diversas áreas da empresa. A seguir, têm-se os principais *softwares* e as suas principais funcionalidades.

8.1.3.1.SAP R/3

Dentre as funcionalidades do ERP há a sugestão de lote que pode ser realizada pelo fornecedor. O MRP roda automaticamente e gera um lote pré-definido com o fornecedor. Os parâmetros podem ser reajustados de acordo com a demanda, mas respeitando a capacidade da fábrica.

Se a demanda diminui, a empresa tenta reduzir o lote mínimo do fornecedor através de negociações e da revisão dos parâmetros de planejamento, no sistema a revisão é trimestral.

8.1.3.2.Power BI

O Power BI realiza o controle paralelo com apontamentos diários da produção (*dashboard*), utiliza os dados fornecidos pelo SAP e realiza a aferição das perdas durante o processo.

8.1.4. Apontamentos de refugos

Para a realização dos apontamentos de refugos, a empresa possui uma área de retrabalho centralizada e fechada, com apenas 2 pessoas. No passado o apontamento era descentralizado, ou seja, cada célula fazia o seu próprio retrabalho e apontamentos de refugo, no entanto esse sistema era falho pois ocorria desvios durante o processo, como

por exemplo, a peça ser refugada sem o devido apontamento no sistema para fazer a baixa no estoque. Assim, com a centralização desse processo o controle do refugo se tornou mais efetivo, em conjunto com o procedimento de inventários rotativos.

8.1.5. Inventários rotativos

É controlado pela logística e controladoria, e nele é realizado a classificação dos itens em A, B e C. Assim, os itens são classificados e passam por contagens durante o ano de acordo com a sua classificação. A logística acompanha e monitora essa análise e em paralelo pode solicitar durante o processo de planejamento a contagem de algum item também.

Projetos relacionados à fábrica inteligente vêm sendo desenvolvidos na empresa a fim de melhorar os seus indicadores de desempenho, como descrito na seção 8.1.6.1 deste trabalho.

8.1.6. Projetos relacionados a indústria 4.0

Ao longo do tempo, a empresa vem implementando melhorias com o objetivo de automatizar os seus processos visando alcançar o conceito de “fábrica inteligente”. Segue os principais projetos de melhoria que vem sendo estudados.

8.1.6.1 Etiquetas Inteligentes RFID

Projeto para a implementação de uma máquina de *stretch* automática (envolvedora de filme para embalagem) e nessa máquina será colocado um portal de RFID (Identificação por radiofrequência – tecnologia pela qual os dados digitais codificados em etiquetas RFID ou etiquetas inteligentes são capturados por um leitor por meio de ondas de rádio – os dados de uma etiqueta são capturados por um dispositivo que armazena as informações em um banco de dados), o qual será responsável por realizar a leitura do palete, analisando se a identificação do conjunto bate com a etiqueta que está na caixa e se a quantidade que está na identificação, é a mesma quantidade de peças que está no palete. Deste modo, esse procedimento será uma conferência automática e a empresa está estudando formas de enviar automaticamente essas informações para o

banco de dados da planta 2 e isso irá facilitar a identificação de extravios das peças durante o trajeto entre as plantas 1 e 2.

A planta 1 é a unidade objeto deste estudo e a planta 2 um cliente interno da planta 1.

8.1.6.2 Sistema AGV

Projeto em fase inicial de planejamento que tem por objetivo a utilização de um AGV no corredor central do chão de fábrica, onde sai todas as embalagens de produto acabado (Veículo Autoguiado com a Função de Transportar Materiais) que são encaminhados para a expedição. Assim, o AGV irá realizar este trajeto, ou seja, ele irá passar pelo corredor e recolher todos os paletes de produto acabado e deixar na expedição, além de recolher as embalagens vazias e trazer de volta para as linhas de manufatura.

8.2.Perspectivas de soluções de TI da empresa objeto de estudo

A empresa tem investido no mecanismo das aplicações no provedor do serviço (*Application Service Provider – ASP*), *Cloud-based manufacturing* (CBM) – modelo de manufatura em rede (*Networked Manufacturing Model*).

Contudo, opera seus sistemas a partir do agrupamento de servidores no formato de *clusters* capazes de sustentar o aumento pontual das solicitações de acesso por multi usuários.

Todo o investimento avança na direção do conceito de *Cloud manufacturing*, uma vez que a proposta passou a ser a transferência de todo o processamento para os servidores operando em paralelo no formato de *clusters*, embora ainda distante de operar com recursos de manufatura configuráveis (*Configurable Manufacturing Resources*).

Na mesma argumentação dos autores, Rossit, Thomé e Frutos (2019b, 2019c), a empresa também considera que os recursos de suporte IoT e CPS, relativos à programação da produção, podem contribuir com o conceito de tomada de decisão distribuída e colaborativa em tempo real através da integração envolvendo o MES e o ERP. Mas tal iniciativa ainda não se encontra em estudo na empresa.

A empresa faz uso do *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) com funcionalidades específicas de simulação do fluxo de produção de modo sistêmico e não pontualmente por processo.

8.2.1. *Cloud based design and manufacturing System (CBDMS)*

A autora do presente relatório de pesquisa pôde constatar que embora a empresa tenha investido em soluções de TI com ênfase na configuração CBDMS, há ainda a necessidade de se ampliar o escopo do projeto.

Outra vertente é a necessidade de investimentos com o objetivo de suportar o acoplamento entre as ferramentas computacionais de modo a melhorar a integração, a fim de dar maior flexibilidade para a concepção da *Cloud Computing* quanto à disponibilidade do uso de *softwares* para vários usuários ao mesmo tempo além dos investimentos já realizados.

9. Mensuração dos Resultados Obtidos pela Empresa

A pesquisa de campo permitiu constatar que a empresa mudou o seu modus operandi do controle da produção, do controle por cartões kanbans para um programa de remessas com todos os seus fornecedores, com o propósito de maior integração.

Com o programa de remessas com os fornecedores a empresa passou a ter uma assertividade maior com as entregas do fornecedor, já que ele passou a ter uma visão de 45 dias de antecedência da programação da produção, com as datas que a empresa necessita receber as peças.

Deste modo, esse programa possibilita que o fornecedor tenha a garantia que a empresa vai puxar todo o material, já que a empresa respeita o período firme de planejamento. Por outro lado, a empresa possui pessoas monitorando as entregas do fornecedor para que ele atenda os pedidos na data correta, utilizando um sistema de gestão do fornecedor que controla a qualidade da entrega do fornecedor de acordo com a data de entrega.

Com este propósito a empresa utiliza alguns *softwares* que auxiliam as diversas áreas da empresa, com as principais funcionalidades executadas no ERP da empresa, como:

- 1) Sugestão de lote feita pelo fornecedor;
- 2) O MRP roda automaticamente e gera um lote pré-definido com o fornecedor;
- 3) Os parâmetros podem ser reajustados de acordo com a demanda, mas respeitando a capacidade da fábrica;
- 4) Se a demanda diminui, a empresa tenta reduzir o lote mínimo do fornecedor através de negociações;
- 5) A revisão dos parâmetros de planejamento nesse sistema é trimestral.

Com interface com o ERP o *software Power BI* realiza:

- 1) Controle paralelo com apontamentos diários da produção (*dashboard*);
- 2) O *software* utiliza os dados fornecidos pelo ERP.

Em conjunto há a aferição das perdas durante o processo através de apontamentos de refugos.

Para a realização dos apontamentos de refugos, a empresa possui uma área de retrabalho centralizada e fechada, com apenas 2 pessoas. No passado o apontamento era descentralizado, ou seja, cada célula de manufatura fazia o seu próprio retrabalho e apontamentos de refugo, no entanto esse sistema era falho pois ocorria desvios durante o processo, como por exemplo, a peça ser refugada sem o devido apontamento no sistema para fazer a baixa no estoque. Deste modo, com a centralização desse processo o controle do refugo se tornou mais efetivo, além do processo de inventários rotativos com o propósito de minimizar o nível dos estoques.

Os inventários rotativos são controlados pela logística e controladoria, e neles é realizada a classificação dos itens em A, B e C. Assim, os itens são classificados e passam por contagens durante o ano de acordo com a sua classificação. A logística acompanha e monitora essa análise e em paralelo pode solicitar durante o processo de planejamento a contagem de algum item.

Tal constatação, já descrita no texto e novamente mencionada nesta seção, é o principal resultado a ser pontuado nesta pesquisa, ou seja, a integração das principais funções do PCP se dá, não unicamente com o uso das tecnologias de TI, mas com a definição de estratégias aderente à operação da empresa.

O conceito de janela de tempo de remessas com ênfase as empresas envolvidas, fornecedor de componentes e fabricante, respeita as ordens firmadas que podem sofrer reajustes pontuais com antecedência pré-estabelecida e dá maior segurança às companhias.

10. Considerações Finais

Os conceitos e definições abordados neste texto compreende desde a definição dos níveis de planejamento, classificação dos diferentes sistemas e o avanço da tecnologia capaz de integrar o fluxo de dados e informações das empresas, até estratégia aderente ao modelo de negócio da empresa objeto do estudo, como no caso o protocolo logístico programa de remessas descrito.

Basicamente o conjunto de novas tecnologias apresentado neste trabalho tem como base o trabalho de Wu et al. (2015), mas é importante destacar que não se trata de uma regra geral o uso destas. Cada modelo de negócio requer um projeto próprio que torne a empresa competitiva com os recursos que realmente tem aderência, o que não requer todo o escopo de opções da tecnologia disponível.

De 2015 ao momento atual não há mudanças significativas, com relação aos componentes da tecnologia de TI relacionados, de um modo geral. Mas tudo indica que as empresas estão investindo em projetos de digitalização nas mais diferentes áreas com o propósito de alcançar escala.

Por outro lado, é fato que há um aumento significativo do uso de recursos inteligentes com o objetivo de aumentar a autonomia do processo de decisão nas diferentes frentes de um sistema de gestão industrial, com a contrapartida do caráter sistêmico que deve ser respeitado.

Mantravadi e Møller (2019) reforçam essa tese uma vez que destacam o avanço da tecnologia na direção de ser capaz de apoiar uma descentralização cada vez maior do controle da operação com autonomia, tornando as fábricas inteligentes.

Entre as ferramentas dessa era promissora da manufatura digital encontra-se o MES como um *software* industrial que pode beneficiar, ou melhor, apoiar o controle e a gestão da operação. O que pode ser considerado uma tendência.

Neste caso o gerenciamento de operações de manufatura (MOM) deve amplificar sua capacidade de coordenar as atividades da unidade produtiva de modo a manter no controle os recursos (equipamentos, materiais e pessoal) da fábrica, onde o MES pode contribuir efetivamente como enfatizado por Mantravadi e Møller (2019).

Além dos *softwares* industriais de controle, Mantravadi e Møller (2019) também destacam a importância dos mecanismos de coleta de dados de produção que representam uma atividade que permite analisar qualquer desvio de performance dos processos de trabalho em tempo real.

Para os autores as fábricas do futuro devem utilizar efetivamente os dados de produção em tempo real para atender às necessidades dos clientes.

Os autores Bueno, Godinho e Frank (2020) destacam ainda que as principais pesquisas relacionadas às funções das atividades do planejamento e controle da produção encontram-se nas Universidades asiáticas e europeias, mais amplamente nos departamentos de Engenharia Industrial / Produção e Engenharia Mecânica.

O que deve ser considerado como referência para outros grupos de pesquisa com o propósito de tornar realidade laboratórios que viabilizem experimentos para testes e aprimoramento da tecnologia.

No Brasil a Escola Politécnica da USP é um exemplo com o laboratório de projetos da Fábrica Digital e Indústria 4.0 com ênfase na integração vertical e horizontes das mais diferentes áreas.

É importante reforçar que para os autores a ênfase dada pelos grupos de pesquisa dessas Universidades define a necessidade de ampliar o conhecimento do uso de recursos inteligentes para o controle de chão de fábrica, programação da produção, controle de estoque e planejamento de capacidade, envolvendo o suporte da digitalização para suportar capacidades em tempo real e a sincronização de estágios de fabricação a partir da colaboração/cooperação, podendo no final qualificar profissionais para o desenho dos projetos de integração das organizações industriais.

Por fim, a autora deste projeto de pesquisa avalia que ainda há muito a se fazer. Em uma frente a necessidade de se estudar as tecnologias e o potencial de aplicação destas de acordo com as funcionalidades, assim como da necessidade do desenvolvimento de recursos de acoplamento que permitam uma maior integração entre os processos de negócio. Em outra frente disseminar o conhecimento a avaliar a aderência das soluções às demandas das empresas.

O objeto de estudo deste trabalho contribuiu para identificar que mesmo com projetos de solução pontuais as empresas vêm buscando alternativas aderentes ao negócio e buscam operar, no caso da manufatura, com lotes variáveis ajustados a partir das demandas do momento, sem deixar de projetar o volume de consumo previsto dentro de uma janela de tempo pré-definida. Sempre em comum acordo com os elos da cadeia de modo a ter visibilidade da dinâmica de mercado.

Referências

- ABDINNOUR-HELM, S., LENGNICK-HALL, M. L., AND LENGNICK-HALLB, C. A. (2003) Pre-implementation attitudes and organizational readiness for implementing an Enterprise Resource Planning system. *European Journal of Operational Research*. Volume 146, Issue 2, 16, Pages 258-273. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00548-9](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00548-9).
- ACHILLAS, CH., D. AIDONIS, E. IAKOVOU, M. THYMIANIDIS, AND D. TZETZIS. (2014). “A Methodological Framework for the Inclusion of Modern Additive Manufacturing into the Production Portfolio of a Focused Factory.” *Journal of Manufacturing Systems* 37: 328–339.
- ACHILLAS, CH., D. AIDONIS, TZETZIS, D., AND RAIMONDO, M. O. (2017). Alternative production strategies based on the comparison of additive and traditional manufacturing technologies. *International Journal of Production Research*, 2017 Vol. 55, No. 12, 3497–3509, <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2017.1282645>.
- AKAMAI. (2015) State of the Internet Report. www.stateoftheInternet.com/security-report.
- AKAMAI. (2017) State of the Internet Report. Akamai, 10(1). Retrieved from <https://www.akamai.com/us/en/multimedia/documents/state-of-the-internet/q1-2017-state-of-the-internet-connectivityreport.pdf>.
- ALVES, F.; VARELA, M.; ROCHA, A.; PEREIRA, A.; LEITÃO, P. A Human centered hybrid MAS and meta-heuristics based system for simultaneously supporting scheduling and plant layout adjustment. *FME Transactions*, v.47, n.4, p.699–710, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5937/fmet1904699A>.
- AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE / THE INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION. **ANSI/ISA – 95.00.01**: Enterprise-control system integration part 1: models and terminology. Research Triangle Park: ANSI/ISA, 2000.
- AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE / THE INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION. **ANSI/ISA – 95.00.03**: Enterprise control system integration part 3: activity models of manufacturing operations management. Research Triangle Park: ANSI/ISA, 2005.
- ANDERSSON, J.; JONSSON, P. Big data in spare parts supply chains. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v.48, n.5, p.524–544, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-01-2018-0025>.
- ANSARI, F.; GLAWAR, R.; NEMETH, T. PriMa: a prescriptive maintenance model for cyber-physical production systems. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v.32, n.4–5, p.482–503, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/0951192X.2019.1571236>.

ASSOCIATION FOR SUPPLY CHAIN MANAGEMENT. **Supply-chain operations reference model (SCOR)**: Version 11.0. 2013. Disponível em: www.supply-chain.org. Acesso em: 5 fev. 2021.

AZZOLINI JÚNIOR, W.; VITORELLI, A. M.; PARADA NETO, R.; HERMOSILLA, J. L. G. Integration of IT Tools Focused on Planning and Control of Operations on the Shop Floor. In: MANAGING INTELLECTUAL CAPITAL AND INNOVATION FOR SUSTAINABLE AND INCLUSIVE SOCIETY, 2015, Bari. **Proceedings of the MakeLearn and TIIM joint International Conference**. Bangkok: ToknowPress, 2015. p.1231-1241.

AZZOLINI, W. J. **Tendência do processo de evolução dos sistemas de administração da produção**. 2004. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

AZZOLINI, W. J., FERRAZ, F. J. (2012) Adquirindo Controle – Gestão da Capacidade e Prioridades. Universidade de São Paulo. EESC Escola de Engenharia de São Carlos.

BÄNZIGER, T., KUNZ A, WEGENER K. (2020) Optimizing human–robot task allocation using a simulation tool based on standardized work descriptions. *J Intell Manuf*;31: 1635–48. <https://doi.org/10.1007/s10845-018-1411-1>.

BERRY, H. (1992) Linking Systems To Strategy. *International Journal of Operations Production Management*. Vol. 12. No. 10 pp. 3-15. University Press, OIH-3577.

BIKFALVI, P.; ERDÉLYI, F.; KULCSÁR, G.; TÓTH, T. On Some functions of the MES applications supporting production operations management. In: BOGNÁR, G.; TÓTH, T. **Applied information science, engineering and technology**: selected topics from the field of production information engineering and IT for manufacturing: theory and practice. Heidelberg: Springer, 2014. p.103-129. (Topics in Intelligent Engineering and Informatics, 7).

BOGATAJ, D.; BOGATAJ, M.; HUDOKLIN, D. Mitigating risks of perishable products in the cyber-physical systems based on the extended MRP model. *International Journal of Production Economics*, v.193, p.51-62, June 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.06.028>.

BOISEVERT, V.; HOLEC, N. Economic and environmental information for sustainability. In: FAUCHEUX, S.; O'CONNOR, M. **Valuation for sustainable development**: methods and policy indicators. Cheltenham: Edward Elgar, 1998. p.99–119.

BONNEY, M. Reflections on production planning and control (PPC). *Gestão & Produção*, v.7, n.3, p.181–207, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2000000300002>.

BUENO, A.; GODINHO, M. F.; FRANK, A. G. Smart production planning and control in the Industry 4.0 context: a systematic literature review. *Computers & Industrial Engineering*, v.149, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106774>.

CHANG, X.; RAI, R.; TERPENNY, J. Development and utilization of ontologies in design for manufacturing. **Journal of Mechanical Design**, v.132, n.2, Feb. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1115/1.4000697>.

COOPER, R. B.; ZMUD, R. W. Information technology implementation research: a technological diffusion approach. **Management Science**, v.36, n.2, p.123-246, Feb. 1990. DOI: <https://doi.org/10.1287/mnsc.36.2.123>.

CORRELL, J. G.; HERBERT, K.; FERRAZ JUNIOR, F. **Adquirindo controle – gestão da capacidade e prioridades**. Tradução de Walter Azzolini Júnior. São Carlos: EESC/USP, 2012.

DANTE, J. R. **Avaliação qualitativa de um sistema especialista para identificação de panes de máquinas**. 2009. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2009. Disponível em: <http://www.ppgem.ct.utfpr.edu.br/dissertacoes/DANTE,%20Jeferson%20Roberto.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2021.

DE MEYER, A.; VEREECKE, A. **Strategies for international manufacturing**. France: Fontainebleau, 1994. (INSEAD Working Series No. 94/25/SM/TM).

DEAN, J.; GHEMAWAT, S. MapReduce: simplified data processing on large clusters. **Communications of the ACM**, v.51, n.1, p.107-113, Jan. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1145/1327452.1327492>.

DOLGUI, A.; IVANOV, D.; SETHI, S. P.; SOKOLOV, B. Scheduling in production, supply chain and Industry 4.0 systems by optimal control: fundamentals, state-of-the-art and applications. **International Journal of Production Research**, v.57, n.2, p.411–432, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1442948>.

DOMBROWSKI, U.; DIX, Y. An analysis of the impact of Industries 4.0 on production planning and control. In: MOON, I.; LEE, G. M.; PARK, J.; KIRITSIS, D.; VON CIEMINSKI, G. (Ed.). **Advances in production management systems: smart manufacturing for industry 4.0**. Heidelberg: Springer, 2018. p.114-121. (IFIP Advances in Information and Communication Technology, 536). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-99707-0_15.

ELMARAGHY, H. A. (2005) Flexible and reconfigurable manufacturing systems paradigms. **International Journal Flexible Manufacturing Systems**, v.17, n.4, p.261–276, 2005.

FAN, L. Q.; SENTHIL KUMAR, A.; JAGDISH, B. N.; BOK, S. H. Development of a distributed collaborative design framework within peer-to-peer environment. **Computer-Aided Design**, v.40, n.9, p.891–904, 2008.

FANG, C.; LIU, X.; PARDALOS, P. M.; PEI, J. Optimization for a three-stage production system in the internet of things: procurement, production and product recovery, and acquisition. **The International Journal of Advanced Manufacturing**

Technology, v.83, n.5–8, p.689–710, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7593-1>.

FEIJÓ, R. H. B. **Uma Arquitetura de software baseada em componentes para visualização de informações industriais**. 2007. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

FERNANDES, B. H. **Competências e performance organizacional**: um estudo empírico. 2004. Tese (Doutorado) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

FISHER, M. L. What is the right supply chain for your product? **Harvard Business Review**, v.75, n.2, p.105–116, 1997.

FLEURY, A. C. C.; FLEURY, M. T. L. **Estratégias empresariais e formação de competências**. São Paulo: Atlas, 2000.

FONSSON, P.; RUDBERG, M.; HOLMBERG, S. Centralised supply chain planning at IKEA. **Supply Chain Management: an international journal**, v.18, n.3, p.337–350, 2013.

FUH, J. Y. H.; LI, W. Advances in collaborative CAD: the-state-of-the art. **Computer-Aided Design**, v.37, n.5, p.571–81, Apr. 2005.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cad.2004.08.005>.

GALAR, D.; BERGES, L.; SANDBORN, P.; KUMAR, U. The Need for aggregated indicators in performance asset management. **Eksplotacja i Niezawodnosc** – maintenance and reliability, v.16, n.1, p.120–127, 2014.

GALAR, D.; GUSTAFSON, A.; TORMOS, B.; BERGES, L. Maintenance decision making based on different types of data fusion. **Eksplotacja i Niezawodnosc** – maintenance and reliability, v.14, n.2, p.135–144, 2012.

GIANNESI, CORREIA. (1993) JIT, MRPII, OPT, Uma Abordagem Estratégica.

GOODALL, P.; SHARPE, R.; WEST, A. A Data-driven simulation to support remanufacturing operations. **Computers in Industry**, v.105, p.48–60, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.11.001>.

GRUNDSTEIN, S.; FREITAG, M.; SCHOLZ-REITER, B. A New method for autonomous control of complex job shops – integrating order release, sequencing and capacity control to meet due dates. **Journal of Manufacturing Systems**, v.42, p.11–28, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2016.10.006>.

HAMILTON, D. (2015) Manufacturers Are Turning to Public and Private Cloud: IDC Report. Site The WHIR: <http://www.thewhir.com/web-hosting-news/manufacturers-turning-public-private-cloud-idc-report>.

HAYES, R. H.; SCHMENNER, R. W. How should you organize manufacturing? **Harvard Business Review**, v.56, n.1, p.105–118, 1978.

HOAG, M. P. **Improved integration of information in discrete part manufacturing environments.** 2002. Dissertation (Master of Science in Electrical Engineering & Computer Sciense and Master of Science in Management in Conjunction with the Leaders for Manufacturing) – Sloan School of Management, Department of Electrical Engineering & Computer and Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 2002.

HU, S. J.; KO, J.; WEYAND, L.; ELMARAGHY, H. A.; LIEN, T. K.; KOREN, Y.; BLEY, H.; CHRYSSOLOOURIS, G.; NASR, N.; SHPITAINI, M. Assembly system design and operations for product variety. **CIRP Annals**, v.60, n.2, p.715–733, 2011.

HUANG, S.; GUO, Y.; ZHA, S.; WANG, Y. An Internet-of-things-based production logistics optimization method for discrete manufacturing. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v.32, n.1, p.13–26, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/0951192X.2018.1550671>.

IVANOV, D.; DOLGUI, A.; SOKOLOV, B.; WERNER, F.; IVANOVA, M. A Dynamic model and an algorithm for short-term supply chain scheduling in the smart factory industry 4.0. **International Journal of Production Research**, v.54, n.2, p.386–402, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.999958>.

JACOBS, F. R., WESTON JR., F. C. T. (2007) Enterprise resource planning (ERP)—A brief history. *Journal of Operations Management*. Volume 25, Issue 2, Pages 357-363. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2006.11.005>.

JIANG, Z.; JIN, Y.; MINGCHENG, E.; LI, Q. Distributed dynamic scheduling for cyberphysical production systems based on a multi-agent system. **IEEE Access**, v.6, p.1855–1869, Dec. 2017. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2780321.

JONSSON, P.; RUDBERG, M.; HOLMBERG, S. Centralised supply chain planning at IKEA. **Supply Chain Management**: an international journal, v.18, n.3, p.337–350, 2013.

KANG, C., WANG, Y., XUE, Y., MU, G., AND LIAO, R. (2018) Big Data Analytics in China's Electric Power Industry: Modern Information, Communication Technologies, and Millions of Smart Meters. Published in: IEEE Power and Energy Magazine. Volume: 16, Issue: 3, May-June. P. 54-65. <https://www.10.1109/MPE.2018.2790819>.

KLETTI, J. **Manufacturing execution system** – MES. Heidelberg: Springer, 2007.

KRAFZIG, D.; BANKE, K.; SLAMA, D. **Enterprise SOA**: service-oriented architecture best practices. Hoboken: Prentice Hall, 2004.

KUMAR, U.; GALAR, D.; ADITYA, P.; STENSTRÖM, C.; BERGES-MURO, L. Maintenance performance metrics: a state-of-the-art review. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v.19, n.3, p.233-277, Aug. 2013.

KUNOVJANEK, MAXIMILIAN, AND GERALD REINER. (2020). “How Will the Diffusion of Additive Manufacturing Impact the Raw Material Supply Chain Process?”

International Journal of Production Research 58 (5): 1540–1554.
<https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1661537>.

LAUDON, K. C.; LAUDON, J. P. **Sistemas de informações gerenciais**. Tradução de Thelma Guimarães, Revisão técnica Belmiro N. João. 7.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

LAURINDO, FERNANDO JOSÉ BARBIN; MESQUITA, MARCO AURÉLIO DE. (2000) Material Requirements Planning: 25 anos de história – uma revisão do passado e prospecção do futuro. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/gp/v7n3/v7n3a08.pdf>.

LEE, J.; NOH, S.; KIM, H.-J.; KANG, Y.-S. Implementation of cyber-physical production systems for quality prediction and operation control in metal casting. **Sensors**, v.18, n.5, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/s18051428>.

LI, W. D.; LU, W. F.; FUH, J. Y.; WONG, Y. S. Collaborative computer-aided design — research and development status. **Computer-Aided Design**, v.37, n.9, p.931-940, 2005.

LIN, F., WONG, M. C., AND MING, GE (2018) Development of the digital model of the jewellery production process for resource optimisation and prediction. HKIE Transactions. Volume 25 - Issue 4: Special Issue with Awarded and Shortlisted Papers from the HKIE Outstanding Paper Award for Young Engineers/Researchers.

LIN, P.; SHEN, L.; ZHAO, Z.; HUANG, G. Graduation manufacturing system: synchronization with IoT enabled smart tickets. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 30, p.2885-2900, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10845-018-1429-4>.

MAHDJOUB, M.; MONTICOLO, D.; GOMES, S.; SAGOT, J. C. A Collaborative design for usability approach supported by virtual reality and a multi-agent system embedded in a PLM environment. **Computer-Aided Design**, v.42, n.5, p.402-413, 2010.

MANTRAVADI, S.; MØLLER, C. An Overview of next-generation manufacturing execution systems: how important is MES for industry 4.0? **Science Direct Procedia Manufacturing**, v.30, p.588–595, 2019.

MARCOTTE, F.; GRABOT, B.; AFFONSO, R. Cooperation models for supply chain management. **International Journal of Logistics Systems and Management**, v.5, n.1-2, p.123–153, 2009.

MAROZZO, F., TALIA, D., AND TRUNFIO, P. (2012) Using Clouds for Scalable Knowledge Discovery Applications. European Conference on Parallel Processing. Euro-Par: Euro-Par: Parallel Processing Workshops pp 220–227.

MAROZZO, F.; TALIA, D.; TRUNFIO, P. P2P-MapReduce: parallel data processing in dynamic cloud environments. **Journal of Computer and System Science**, v.78, v.5, p.1382–402, 2012.

McCLELLAN, M. **Applying manufacturing execution systems.** Boca Raton: CRC Press, 1997.

MESA International. **MES functionalities and MRP to MES data flow possibilities.** Pittsburgh: MESA International, 1994b.

MESA International. **The Benefits of MES: a report from the field.** Pittsburgh: MESA International, 1994a.

MICHEL, J. -E. G. E.; MICHEL, D. E. Managers acceptance criteria for performance measurement. In: EIASM CONFERENCE, 2007, Nice. **Proceedings [...].** [S.l.:s.n.].

MOEUF, A.; PELLERIN, R.; LAMOURI, S.; TAMAYO-GIRALDO, S.; BARBARAY, R. The Industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. **International Journal of Production Research,** v.56, n.3, p.1118–1136, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1372647>.

MONKS, J. G. **Administração da produção.** São Paulo: McGraw-Hill, 1987.

MONOSTORI, L.; VÁNCZA, J.; KUMARA, S. R. Agent-based systems for manufacturing. **CIRP Annals,** v.55, n.2, p.697–720, 2006.

NAZIER, M. M.; KHEDR, A.; HAGGAG, M. Business intelligence and its role to enhance corporate performance management. **International Journal of Management & Information Technology,** v.3, n.3, p.8-15, 2013.

NIST: NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY – AI and the evolution of Cloud Computing: Evaluating How Financial Data is Stored, Protected, and Maintained by Cloud Providers. Hearing before the Task Force on Artificial Intelligence of the Committee on Financial Services U.S. House of Representatives on Hundred Sixteenth Congress. First Session. October 18, 2019.

NUMECENT CEO TO PRESENT AT INDUSTRY-LEADING VIRTUALIZATION CONFERENCE Solving The ‘On-Boarding’ Problem For Virtual Desktops With Cloudpaged Containers October 27, 2014 – Irvine, CA – Cloudpaging leader Numecent® today announced that its Chairman and CEO, Osman Kent, will present at Jon Peddie Research’s Virtualize Conference and participate in a panel discussing the future of virtualization technology together with other industry luminaries.

O’BRIEN, J.A.; MARAKAS, G.M. **Administração de sistemas de informação.** 15.ed. Porto Alegre: AMGH, 2010.

OLHAGER, J. Evolution of operations planning and control: from production to supply chains. **International Journal of Production Research,** v.51, n.23–24, p.6836–6843, 2013.

OLHAGER, J.; RUDBERG, M. Linking manufacturing strategy decisions on process choice with manufacturing planning and control systems. **International Journal of Production Research,** v.40, n.10, p.2335–2352, 2002.

OLHAGER, J.; SELLDIN, E. Manufacturing planning and control approaches: market alignment and performance. **International Journal of Production Research**, v.45, n.6, p.1469–1484, 2007.

OLIVEIRA, L. S., HATAKEYAMA, L. (2012) A study on ERP system implementation: a survey at large industrial companies. *Prod.* 22 (3). <https://doi.org/10.1590/S0103-65132012005000052>.

ORLICKY, J. **Material requirements planning** – the new way of life in production and inventory management. New York: McGraw-Hill, 1975.

OTT, W. R. **Environmental indices**: theory and practice. Ann Arbor: Ann Arbor Science, 1978.

PAHL, G.; BEITZ, W. Engineering design: a systematic approach. London: The Design Council, 1988.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K.-H. **Engineering desing**: a systematic approach. Traduzido e editado por Ken Wallace e Luciënne Blessing. Heidelberg: Springer, 1984.

RAUCH, E.; DALLASEGA, P.; MATT, D. T. Complexity reduction in engineer-to-order industry through real-time capable production planning and control. **Production Engineering**, v.12, n.3–4, p.341–352, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11740-018-0809-0>.

REN, L.; ZHANG, L.; TAO, F.; ZHANG, X.; LUO, Y.; ZHANG, Y. A Methodology towards virtualization-based high performance simulation platform supporting multidisciplinary design of complex products. **Enterprise Information Systems**, v.6, n.3, p.267-290, 2012.

ROSSIT, D. A.; TOHMÉ, F.; FRUTOS, M. A Data-driven scheduling approach to smart manufacturing. **Journal of Industrial Information Integration**, v.15, p.69–79, 2019c. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jii.2019.04.003>.

ROSSIT, D. A.; TOHMÉ, F.; FRUTOS, M. Industry 4.0: smart scheduling. **International Journal of Production Research**, v.57, n.12, p.3802–3813, 2019b. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1504248>.

ROSSIT, D. A.; TOHMÉ, F.; FRUTOS, M. Production planning and scheduling in cyber-physical production systems: a review. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v.32, n.4–5, p.385–395, 2019a. DOI: <https://doi.org/10.1080/0951192X.2019.1605199>.

RUDBERG, M. Linking competitive priorities and manufacturing netoworks: a manufacturing strategy perspective. **International Journal of Manufacturing Technology and Management**, v.6, n.1-2, p.55–80, 2004.

SHAMSUZZOHA, A.; TOSCANO, C.; CARNEIRO, L. M.; KUMAR, V.; HELO, P. ICT-based solution approach for collaborative delivery of customised products.

Production Planning & Control, v.27, n.4, p.280–298, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.1080/09537287.2015.1123322>.

SHEN, W.; HAO, Q.; YOON, H. J.; NORRIE, D. H. Applications of agent-based systems in intelligent manufacturing: an updated review. **Advanced Engineering Informatics**, v.20, n.4, p.415–431, Oct. 2006.

SHINGO, S. A Revolution in manufacturing: the SMED system. Portland: Productivity, 1985.

SIMCHI-LEVI, D.; WU, M. X. Powering retailers' digitization through analytics and automation. **International Journal of Production Research**, v.56, n.1–2, p.809–816, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1404161>.

SIQUEIRA, M. C. **Gestão estratégica da informação**. Rio de Janeiro: Brasport, 2005.

Supply Chain Operations Reference Model. Supply Chain Council. October 7, 2004.

Supply-Chain Council Announces Its Strategic Plan for 2004-2005. <https://www.logisticsit.com/articles/2004/09/01/232-supply-chain-council-announces-its-strategic-plan-for-2004>.

TERAN, H.; HERNANDEZ, J. C.; VIZÁN, A.; RIOS, J. Performance measurement integrated information framework in e-manufacturing. **Enterprise Information Systems**, v.8, n.6, p.607-629, Nov. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1080/17517575.2012.754950>.

THOMÉ, T.; SCAVARDA, A. M.; FERNANDEZ, L. F.; SCAVARDA, A. J. Sales and operations planning: a research synthesis. **International Journal of Production Economics**, v.138, n.1, p.1-13, July 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.11.027>.

TOLIO, T.; CEGLAREK, D.; ELMARAGHY, H. A.; FISCHER, A.; HU, S. J.; LAPERRIÈRE, L.; NEWMAN, S. T.; VANCZA, J. SPECIES— co-evolution of products, processes and production systems. **CIRP Annals**, v.59, n.2, p.672–693, 2010.

UIRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. **Product design and development**. New York: McGraw-Hill, 1995.

UZSOY, R.; LEE, C.-Y.; MARTIN-VEGA, L. A. A Review of production planning and scheduling models in the semiconductor industry part II: shop-floor control. **IIE Transactions**, v.26, n.5, p.44-55, 1994. DOI: <https://doi.org/10.1080/07408179408966627>.

VIANA, D. S.; PULINI, I. C.; MARTINS, C. B. Using multiobective genetic algorithm and multicriteria analysis for the production scheduling of a Brasilian Garmet Company. In: DEL SER, J. (Ed.). **Recent advances on meta-heuristics and their applications to real scenarios**. London: IntechOpen Science, 2013. Chap. 1.

WANG, J.; LI, D. Task scheduling based on a hybrid heuristic algorithm for smart production line with fog computing. **Sensors**, v.19, n.5, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/s19051023>.

WANG, L.; SHEN, W. DPP: an agent-based approach for distributed process planning. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v.14, n.5, p.429–439, 2003.

WANG, L.; SHEN, W.; LANG, S. Wise-shop floor: a web-based and sensor-driven e-shop floor. **Journal of Computing and Information Science in Engineering**, v.4, n.1, p.56–60, Mar. 2004.

WANG, L.; SHEN, W.; XIE, H.; NEELAMKAVIL, J.; PARDASANI, A. Collaborative conceptual design — state of the art and future trends. **Computing-Aided Design**, v.34, n.13, p.981–996, 2002.

WANG, X. V.; XU, X. W. An Inter operable solution for cloud manufacturing. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v.29, n.4, p.232–247, Aug. 2013.

WU, D.; GREER, M. J.; ROSEN, D. W.; SCHAEFER, D. Cloud manufacturing: strategic vision and state-of-the-art. **Journal Manufacturing System**, v.32, n.4, p.564-579, 2013.

WU, D.; ROSEN, D. W.; WANG, L.; SCHAEFER, D. Cloud-based design and manufacturing: a new paradigm in digital manufacturing and design innovation. **Computer-Aided Design**, v.59, p.1–14, Feb. 2015.

WU, D.; THAMES, J. L.; ROSEN, D. W.; SCHAEFER, D. Towards a cloud-based design and manufacturing paradigm: looking backward, looking forward. In: ASME 2012 INTERNATIONAL DESIGN ENGINEERING TECHNICAL CONFERENCE & COMPUTERS AND INFORMATION IN ENGINEERING CONFERENCE, 2012, Chicago. **Proceedings [...]**. New York: ASME, 2012.

WU, ING-LONG, CHUANGB, CHENG-HUNG, HSUA, CHIEN-HUA. (2014) Information sharing and collaborative behaviors in enabling supply chain performance: A social exchange perspective. **International Journal of Production Economics**. Volume 148, February, Pages 122-132. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.09.016>.

WUA, D.; ROSENA, D. W.; WANGB, L.; SCHAEFERA, D. Cloud-Based Manufacturing: Old Wine in New Bottles?. **Procedia CIRP**, v.17,p.94-99, 2014.

WYLIE, L. **A Vision of the next-generation MRP II**. [S.l.]: Scenario Gartner, 1990. (Research Report S-300–339).

XU, L.; WANG, C.; YU, J. Auto Assembly: an automated assembly planning system for complex products. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v.8, n.3, p.669–678, 2012.

YU, C.; ZHANG, W.; XU, X.; JI, Y.; YU, S. Data mining based multi-level aggregate service planning for cloud manufacturing. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v.29, n.6, p.1351–1361, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10845-015-1184-8>.

ZHOU, G.; ZHANG, C.; LI, Z.; DING, K.; WANG, C. Knowledge-driven digital twin manufacturing cell towards intelligent manufacturing. **International Journal of Production Research**, v.58, n.4, p.1034-1051, Jan. 2020.
DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1607978>.

Glossário

Ontology – Modelo de dados que representa um conjunto de conceitos dentro de um domínio (Domínio é um nome que serve para localizar e identificar conjuntos de computadores na *internet*) e os relacionamentos entre estes.