DANIEL MALDANER

**TRANSFORMAÇÕES NA ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO EM EMPRESAS QUE
ADOTAM TECNOLOGIAS COMPATÍVEIS COM A INDÚSTRIA 4.0**

São Paulo

2021

DANIEL MALDANER

**TRANSFORMAÇÕES NA ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO EM EMPRESAS QUE
ADOTAM TECNOLOGIAS COMPATÍVEIS COM A INDÚSTRIA 4.0**

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

São Paulo

2021

DANIEL MALDANER

**TRANSFORMAÇÕES NA ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO EM EMPRESAS QUE
ADOTAM TECNOLOGIAS COMPATÍVEIS COM A INDÚSTRIA 4.0**

Versão Original

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Engenharia de Produção

Orientador: Roberto Marx

São Paulo

2021

Catálogo na publicação

Maldaner, Daniel

**TRANSFORMAÇÕES NA ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO EM
EMPRESAS QUE ADOTAM TECNOLOGIAS COMPATÍVEIS COM A
INDÚSTRIA 4.0** / D. Maldaner -- São Paulo, 2021

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção,
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

1. Organização do Trabalho 2. Indústria 4.0 3. Manufatura Avançada 4. Digitalização
Industrial. I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia
de Produção

AGRADECIMENTOS

A produção científica, em especial em um programa de mestrado, cujo foco no aprendizado da arte de pesquisar é maior, não é um trabalho individual. Vale ressaltar e agradecer às pessoas que foram importantes a todo esse processo e que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

Agradeço ao Prof. Roberto Marx pelo convite ao desafio de realizar a pesquisa no contexto tecnológico industrial, que até o momento era distante da minha realidade.

Aos meus pais, Anildo e Bernadete, pelo exemplo de constante aprimoramento pessoal seja pela prática cotidiana ou pelo estudo. Ainda, pela constante doação a minha educação em toda a vida percorrida até o momento.

Ao meu irmão, Carlos, pelo incentivo a adentrar no campo acadêmico e pela troca substancial sobre as dificuldades enfrentadas no processo da pesquisa.

Aos professores Mário Salerno, pelo exemplo como professor e pesquisador, e Afonso Fleury, pelas trocas motivadoras a respeito da organização do trabalho no campo tecnológico e da pesquisa acadêmica.

À Mari Katayama, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, e à Associação de Engenheiros Brasil-Alemanha – VDI Brasil (*Verein Deutscher Ingenieure in Brasilien*) por facilitarem o acesso às indústrias onde foram realizados os estudos de caso.

Ao Ricardo Caruso, da Aquarius Software, pelo compartilhamento dos conhecimentos sobre tecnologias digitais e do processo de pesquisa neste campo.

E, por fim, mas não menos importante, aos amigos que, indiretamente, compreenderam-me e incentivaram-me nos momentos de ausência no decorrer dos anos de pesquisa.

RESUMO

A digitalização industrial é ponto central na discussão mundial em torno da Indústria 4.0 e Manufatura Avançada. Embora, no Brasil, a discussão acadêmica esteja centrada mais fortemente nas tecnologias habilitadoras, os aspectos organizacionais são essenciais para sustentar os objetivos defendidos pela Indústria 4.0 e *Smart Manufacturing*. Nesse sentido, o presente trabalho se propôs a identificar as transformações da organização do trabalho na relação com implementação de tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0. De maneira mais específica, compreender se os projetos de implementação tecnológica estão adotando uma abordagem sociotécnica. Diante disso, o escopo de estudo focou na operação e manutenção industrial, bem como na sua interface com as demais áreas de apoio, especialmente TI. Identificar quais práticas de organização do trabalho estão sendo adotadas para a integração funcional esteve como questão de suporte nesta pesquisa. Assim como, em uma investigação mais próxima ao chão de fábrica, observar se houve o aumento da responsabilidade e liberdade para a tomada de decisão pelos diferentes atores envolvidos na operação industrial. Para isso, foi adotada a metodologia de estudo de casos múltiplos, sendo realizado em três projetos. Os resultados demonstraram que a abordagem sociotécnica não é central nos projetos de adoção tecnológica dos casos estudados, sendo estes mais próximos da configuração de enriquecimento de cargos e do modelo Toyota de Produção. Como principais transformações da organização do trabalho, foram identificados ampliação da responsabilidade do operador pela ampliação das atividades desempenhadas ou pela substituição das mesmas por outras mais voltadas ao controle e monitoramento do sistema produtivo, vinculados a uma padronização dos resultados. Além disso, contatou-se o esforço organizacional para a internalização dos conhecimentos e competências atrelados ao desenvolvimento e implementação tecnológico com a criação de áreas específicas de automação industrial. Por fim, evidenciou-se a simplificação da operação frente o aumento da complexidade do sistema tecnológico, aumentando a participação direta da área de automação industrial no chão de fábrica, tanto na configuração dos sistemas tecnológicos quanto no tratamento das variâncias. Nesse sentido, não foi observado um aumento da liberdade e da participação da operação na tomada de decisão, mas sim dos atores vinculados à área de suporte, especialmente automação.

Palavras-chave: Organização do trabalho. Indústria 4.0. Manufatura avançada. Digitalização industrial.

ABSTRACT

Industrial digitization is a central point in the global discussion surrounding Industry 4.0 and Advanced Manufacturing. However, in Brazil, the academic discussion is strongly focused on enabling technologies and organizational aspects, which are essential to the objectives defended by Industry 4.0 and Smart Manufacturing. This study aims to identify how transformation in the organization of work in relation to the implementation of enabling technologies in Industry 4.0. More specifically, understand if the implementation of technology projects adopts a socio-technical approach. For this, this study focused on industrial operation and maintenance, and its interface with other support areas, especially information technology. Identifying which work organization practices are being adopted for functional integration was a goal in this research. An in-depth investigation allowed to observe if there has been an increase in responsibility and freedom for decision making by the different teams involved in the industrial operation. For this, a multiple case study methodology was adopted, being carried out as three individual projects. The results show that the socio-technical approach has not been the focus of the technological adoption projects, characterizing them closer to the configuration of load enrichment and the Toyota Production model. The main changes in the organization of work were identified as increasing the operator's responsibility for expanding activities performed or replacing them with others more focused on the control and monitoring of the production system, linked to a standardization of results. In addition, the organizational effort was made to internalize the knowledge and skills linked to technological development and implementation with the creation of specific areas of industrial automation. Finally, a simplification of the operations was observed with the increase in complexity of the technological system, increasing the direct participation of the industrial automation team on the factory floor, both in the configuration of technological systems, as well as in the treatment of variances. In this sense, the operations team has not experienced increase of freedom and participation in the decision-making process, but the support team only, especially related to automation.

Keywords: Organization of work. Industry 4.0. Advanced manufacturing. Industrial digitalization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Os quatro estágios da Revolução Industrial	23
Figura 2 – Escopo de pesquisa	56
Figura 3 – Quadro analítico da organização do trabalho	59
Figura 4 – Sensor RFID e cartão	62
Figura 5 – Sensor de presença de bobina	62
Figura 6 – Sensor de batida de corte	62
Figura 7 – Sensor de temperatura	62
Figura 8 – Processo produção e <i>setup</i> anterior	66
Figura 9 – Processo de produção e <i>setup</i> alterado	66
Figura 10 – Processo de produção da linha estudada	75
Figura 11 – Robôs colaborativos na célula de produção	76
Figura 12 – Estrutura da área de produção	77
Figura 13 – Equipamento de medição 3D	88
Figura 14 – Processo de inspeção de qualidade e ajuste A	88
Figura 15 – Processo de inspeção de qualidade e ajuste B.....	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros descritivos da organização do trabalho.....	57
Tabela 2 – Coleta de dados.....	58
Tabela 3 – Resumo “Transformações da Organização do Trabalho” na Indústria de Embalagens Plásticas.....	70
Tabela 4 – Resumo “Transformações da Organização do Trabalho” na célula de produção automatizada.....	83
Tabela 5 – Resumo “Transformações da Organização do Trabalho” na automação da inspeção e ajuste de célula de usinagem	91

LISTA DE SIGLAS

ABDI	–	Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABII	–	Associação Brasileira de Internet Industrial
AMT	–	Advanced Manufacturing Technology
B2B	–	Business to Business
BETA	–	Bureau d'Économie Theorique Appliquée
CAD	–	Computer-Aided Design
CAE	–	Computer-Aided Engineering
CAM	–	Computer-Aided Manufacturing
CAPP	–	Computer-Aided Process Planning
CIM	–	Computer Integrated Manufacturing
CNC	–	Computer Numerical Control
CNI	–	Confederação Nacional das Indústrias
CPPS	–	Cyber-Physical Production Systems
CPS	–	Cyber-Physical Systems
DNC	–	Distributed Numerical Control
EMBRAPII	–	Associação Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial
ERP	–	Enterprise Resource Planning
FEA	–	Finite Element Analysis
FMS	–	Flexible Manufacturing System
I4.0	–	Indústria 4.0
IIC	–	Industrial Internet Consortium
IoT	–	Internet of Things
M2M	–	Machine to Machine
MCTIC	–	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
MDIC	–	Ministérios da Indústria, Comercio Exterior e Serviços
MEC	–	Ministério da Educação
MES	–	Manufacturing Execution System
MESA	–	Manufacturing Enterprise Solutions Association
MRP	–	Material Requirement Planning
PDM	–	Product Data Management
PLM	–	Product Lifecycle Management

PMEs	–	Pequenas e Médias Empresas
PwC	–	PricewaterhouseCoopers
TI	–	Tecnologia da Informação
TPM	–	Total Productive Maintenance

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1. A digitalização Industrial.....	19
2.1.1. A Indústria 4.0 e manufatura avançada	23
2.1.2. Tecnologias habilitadoras	30
2.1.3. Sistemas Ciber-físicos	31
2.1.4. Indústria 4.0 no Brasil	32
2.2. Configurações da Organização do trabalho.....	34
2.2.1. Modelo Clássico	34
2.2.2. Enriquecimento de Cargos	36
2.2.3. Sociotécnica e grupos semiautônomos	37
2.2.4. Organizações Flexíveis.....	40
2.3. Digitalização da Manufatura e a Organização do Trabalho	44
3. METODOLOGIA	54
4. ESTUDO DE CASOS	60
4.1. Indústria de Embalagens Plásticas	60
4.1.1. Contexto histórico	60
4.1.2. Tecnologia implementada.....	61
4.1.3. Transformações na organização do trabalho	63
4.1.4. Discussão do Caso	71
4.2. Célula de Produção Automatizada	73
4.2.1. Contexto histórico	73
4.2.2. Tecnologia implementada.....	74
4.2.3. Transformações na organização do trabalho	75
4.2.4. Discussão do Caso	84
4.3. Automação da inspeção e ajuste na célula de usinagem	86
4.3.1. Contexto histórico	86
4.3.2. Tecnologia implementada.....	87
4.3.3. Transformações na organização do trabalho	88
4.3.4. Discussão do Caso	92

5. CONCLUSÕES	94
5.1. Considerações finais	99
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
7. ANEXOS	107
7.1. Anexo I – Perguntas para entrevistas semiestruturadas	107

1. INTRODUÇÃO

As discussões atuais sugerem que a manufatura está na iminência de experimentar uma transformação intensiva. No entanto, neste momento, vale acreditar que as mudanças sugeridas estão mais para sacudir os atores relevantes, fomentando uma contínua introdução de novas tecnologias no contexto fabril. O governo alemão denominou essa transformação intensiva como a quarta revolução industrial: a mecanização da produção usando a energia a vapor no final do século XVIII, a eletrificação e o surgimento da produção de linha de montagem no final do século XIX, a introdução de meios de produção em massa e com base na microeletrônica e automação, em meados da década de 1970 e a revolução digital baseada em sistemas físicos digitais, no final do século XX (KAGERMANN et al., 2013). Talvez, com ousadia menos pretenciosa, o governo estadunidense lança, em paralelo, o programa “*Smart Manufacturing*”, mas que mantém o conteúdo central da sua proposta como o desenvolvimento massivo tecnológico digital vinculado, especialmente, à manufatura (MANUFACTURING USA, 2016).

No Brasil, como parte do esforço para impulsionar o tema, houve a criação da Associação Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPII) em 2013, com a missão de pesquisa tecnológica nas áreas de Informação e Comunicação, Mecânica e Manufatura etc. Ainda, vale destacar a publicação do relatório da CNI em 2016, “Desafios para a indústria 4.0 no Brasil” (CNI, 2016); o “Relatório Brasil” publicado pela PwC referente à “Pesquisa Global Indústria 4.0” (PWC, 2016); a fundação, em 2016, da Associação Brasileira de Internet Industrial (ABII), inspirada no Industrial Internet Consortium (IIC) dos Estados Unidos; e o lançamento da “Agenda Brasileira para a Indústria 4.0” em março de 2018, financiada e gerida pelo MDIC e pela ABDI.

As críticas a tais movimentos salientam, especialmente, o movimento de *marketing* envolvendo os setores privado e público em torno do programa “*Industrie 4.0*” (DRATH; HORCH, 2014); o perigo de que a adoção de inovações técnicas no atual modelos de negócios resultará em repetição de erros do passado, enfatizando que o *Computer Integrated Manufacturing* (CIM) também prometeu uma produção altamente automatizada nos anos 1970 e 1980 (HARTMANN; HALECKER, 2015); a análise do discurso hegemônico do programa alemão quanto a um futuro “contado e traçado”, “negociado” e “domado” (PFEIFFER, 2017); e o caráter não espontâneo do avanço tecnológico, sendo esse um conjunto de políticas visando a retomada da primazia industrial como contramedida à transferência manufatureira e tecnológica para países estrangeiros (DAUDT; WILLCOX, 2016).

As tecnologias habilitadoras das inovações na manufatura são reconhecidas como centrais ao processo de transformação proposto pelos programas Alemão e dos Estados Unidos, sendo elas: Internet das Coisas (IoT), *Big Data*, *Cloud Computing*, Manufatura Aditiva, *Machine Learning*, Robótica Avançada e o uso de Sistemas Ciberfísicos (CPS) (HARTMANN et al., 2015; ZHOU et al., 2015; ZHONG et al., 2017; PWC, 2016; KAGERMANN et al., 2013; KRZYWDZINSKI, 2016). Para este trabalho, focaremos a atenção em projetos de aplicação destas tecnologias habilitadoras no contexto da manufatura, especialmente operação e manutenção industrial.

A relação entre o avanço tecnológico e as questões referentes à organização do trabalho têm sido um dos pilares da discussão acadêmica historicamente. Embora a implementação tecnológica gere condicionamento no contexto organizacional (SALERNO, 1999), vale evidenciar, pelo menos para este presente trabalho, que tecnologia e organização do trabalho exercem mútua influência. Além disso/ainda, em se tratando de sistema organizacional, a resultante deriva dessa relação. O foco, portanto, é a organização do trabalho que está inserida nesse contexto maior da organização, sendo um dos elementos a tecnologia. Para isso, entende-se organização do trabalho como “*a soma total das maneiras pelas quais o trabalho é dividido em tarefas distintas e, depois, como a coordenação é realizada entre essas tarefas*” (MINTZBERG, 1993).

A discussão da organização do trabalho a respeito dos impactos e da implementação tecnológica é bastante extensa. Embora esteja centralizada na literatura da abordagem sociotécnica, outras abordagens também necessitam ser discutidas, dada a sua influência no contexto industrial atual. As noções envolvendo o modelo clássico como a racionalização da tarefa preconizada por Taylor ainda são presentes na manufatura, a partir da prescrição das rotinas operacionais, da departamentalização, das funções de controle direto do trabalho, da relação emprego-salário entre gerência e operário, entre outros (ZARIFIAN, 1990).

Maslow, Argyris e Herzberg introduziram a ideia de que a produtividade de uma pessoa estabelece uma relação direta com a sua satisfação (FLEURY, 1980), impactando a dinâmica fabril através da ampliação das responsabilidades dos operadores vertical e horizontal do cargo (enriquecimento dos cargos), mas estas mudanças significaram somente alterações incrementais na lógica de organização da produção Fordista-Taylorista, segundo Marx (1998).

No entanto, as transformações organizacionais impulsionadas pelas novas práticas adotadas pelo modelo Toyota de produção fundamentam-se nessa prerrogativa de ampliação vertical e horizontal do cargo, além da introdução de princípios de cooperação e de técnicas e

ferramentas de aumento de eficiência, redução de desperdícios e aumento da qualidade (ARSLAN et al., 2003; WOMACK et al. 1990).

Na abordagem sociotécnica, a ideia de projeto organizacional fica bastante evidente, salientando que a organização pode ser projetada a partir de princípios humanísticos, tecnologia e mudança. Seu pressuposto é que, segundo Herbst (1965), o sistema sociotécnico baseia-se na teoria dos sistemas abertos no qual os sistemas podem manter o seu funcionamento estável sem o uso de um mecanismo de controle separado. Os princípios sistematizados por Cherns (1976, 1987) evidenciam características de grupos semiautônomos, do envolvimento e da participação do “chão de fábrica” em aspectos organizacionais que extrapolam a produção em si (MARX, 1998).

As questões de flexibilidade e a integração da manufatura ganham nova força com os programas Indústria 4.0 e *Smart Manufacturing*, como apontado nos objetivos de tais programas. No entanto, tal abordagem não é nova, assim como intensamente trabalhado por Zarifian (1990) e Salerno (1991, 1999), discutindo as questões de integração e flexibilidade do projeto estratégico à operação. A sustentação de que flexibilidade organizacional é atrelada ao tratamento de eventos (SALERNO, 1999) – e este a processos de comunicação normativa e cognitiva (ZARIFIAN, 1990) – é de grande contribuição para o entendimento da flexibilidade organizacional para além de sistemas tecnológicos. Ainda, nesse sentido, Salerno (1999) salienta que o projeto organizacional deve ser não só em termos estáticos, de organogramas, níveis hierárquicos e amplitude de controle, mas também em termos de sua dinâmica.

No contexto atual da discussão a respeito da Indústria 4.0, a abordagem sociotécnica ganha evidência. Nas recomendações de Kagermann et al. (2013), assim como na visão de outros autores (BUHR, 2017; DREGGER et al., 2016; HIRSCH-KREINSEN, 2014), afirma-se que a Indústria 4.0 deve ser concebida como uma abordagem sociotécnica, na qual a organização do trabalho e as tecnologias são desenvolvidas em estreita colaboração entre si. Decorre dessa visão a perspectiva de transformações da organização do trabalho, especialmente, influenciando o chão de fábrica no aumento do grau de responsabilidade individual e autonomia, surgimento de lideranças descentralizadas, maior liberdade na tomada de decisão, aumento da complexidade e abstração da tarefa na operação fabril, bem como o aumento da interdependência entre funções e especialidades. Tais suposições estariam vinculadas à adoção de uma abordagem sociotécnica. De todo modo, pela escassez dos casos de adoção destas tecnologias habilitadoras, assim como pela baixa produção acadêmica, faz-se necessária a exploração dessa relação tecnologia e organização do trabalho nesse contexto específico. Nesse sentido, entender tal relação, compreendendo as transformações ocorridas na

organização do trabalho nos projetos de adoção de tecnologias habilitadoras, foi foco da presente pesquisa.

De maneira mais específica, o objetivo desta pesquisa é compreender se os projetos de tecnologias habilitadoras no contexto da indústria 4.0 estão sendo adotados em uma abordagem sociotécnica. Além disso, identificar quais as transformações relevantes na organização do trabalho neste sentido podem ser observadas nos casos estudados.

Diante disso, o escopo de estudo está relacionado a projetos de implantação tecnológica na manufatura, observando em específico a operação e manutenção industrial, além de sua interface com as demais áreas de apoio, especialmente TI. Identificar quais as práticas de organização do trabalho estão sendo adotadas para a integração funcional está como questão de suporte nesta pesquisa. Assim como, em uma investigação mais próxima ao chão de fábrica, observar se há o aumento da responsabilidade e liberdade para a tomada de decisão pelos diferentes atores envolvidos na operação industrial.

Quanto aos aspectos metodológicos, o desafio deste trabalho esteve, assim como colocado por Geertz (1973), na necessidade de a teoria conservar-se mais próximo do terreno prático do que de uma abordagem imaginativa. Tal sentido é entendido no contexto da organização do trabalho como a investigação do trabalho real, em contraponto ao trabalho prescrito – apreender o que “de fato ocorre”, a maneira como é “feito” na organização – assumem papel central na análise da organização do trabalho, pois, assim como foi afirmado em Salerno (1991), este trabalho prescrito nunca corresponde exatamente ao trabalho real.

Para a apresentação da pesquisa, os próximos capítulos estão estruturados da seguinte maneira:

- Revisão Bibliográfica – Pesquisa na literatura acadêmica sobre histórico das tecnologias digitais na manufatura, contextualização da Indústria 4.0 e manufatura avançada, e configurações da organização do trabalho.
- Metodologia – Critérios utilizados na pesquisa empírica, apresentação do modelo descritivo e analítico da organização do trabalho adotado, e apresentação dos casos selecionados.
- Estudos de Caso – Descrição dos casos e apresentação das transformações da organização do trabalho identificadas, e discussão dos casos à luz das perguntas de pesquisa e bibliografia.
- Conclusões – Apresentação das conclusões às perguntas de pesquisa e considerações finais.

- Bibliografia – Referências utilizadas.
- Anexo – Protocolo de pesquisa.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Como referência conceitual para este trabalho, foi utilizada a literatura sobre Digitalização Industrial, Manufatura Integrada por Computador, Manufatura Avançada, Sistemas de Manufatura Flexível, Indústria 4.0 e Organização do Trabalho. Os resultados desse levantamento bibliográfico são apresentados neste capítulo.

2.1. A digitalização Industrial

O processo de digitalização industrial remonta o surgimento da microeletrônica e a sua aplicação no contexto industrial. Nesse sentido, os sistemas de controle de estoque e planejamento de necessidades de material (*Material Requirement Planning* – MRP) foram introduzidos nas décadas de 1960 e 1970. A função principal deles era identificar os materiais específicos necessários para produzir cada produto acabado, usando o computador para calcular a matéria-prima necessária e gerando, assim, a possibilidade de automatizar atividades e cancelar ou modificar o tempo de pedidos existentes para a fabricação de um determinado produto. No entanto, os desafios de planejamento iam além da produção. Ferramentas foram desenvolvidas para apoiar o planejamento de vendas e operações, especificamente, a programação de produção, a previsão, o planejamento de vendas e gerenciamento de demanda, e o planejamento de capacidade. Nesse sentido, técnicas de agendamento para o chão de fábrica e programação de fornecedores foram incorporadas aos sistemas MRP. Com isso, os usuários começaram a considerar seus sistemas como parte de toda a empresa. Esses desenvolvimentos resultaram no próximo estágio evolutivo, que ficou conhecido como circuito fechado (*Closed-Loop MRP* ou MRP II). Na década de 1980, o MRP II evoluiu para incorporar o sistema de contabilidade financeira e o sistema de gestão financeira, juntamente com o sistema de manufatura e sistemas de gerenciamento de materiais. Isso permitiu um sistema mais integrado da gestão da indústria e negócio (UMBLE et al., 2003; CHRYSSOLOURIS et al., 2008).

No início dos anos 1990, o termo *Enterprise Resource Planning* (ERP) foi criado a partir de melhorias contínuas na tecnologia do MRP II, expandido para incorporar funções de áreas como *design* de produto, armazenagem de informações, planejamento de materiais, planejamento de capacidade, sistemas de comunicação, recursos humanos, finanças e gerenciamento de projetos. Tal avanço foi suportado pelo desenvolvimento de tecnologias de microprocessadores, o advento da *internet*, a padronização de interfaces de *softwares*, ampla

aceitação de técnicas formais de *design* e desenvolvimento de *software*, e maturidade de certos programas de *software*.

O início do desenvolvimento do *Computer-Aided Design* (CAD) ocorreu na década de 1960, sendo considerado uma das tecnologias que aumentaram a produtividade, permitindo um tempo de comercialização mais rápido do produto e reduzindo drasticamente o tempo necessário para seu desenvolvimento. Tais sistemas integram a análise de elementos finitos (FEA – *Finite Element Analysis*), análise cinemática, análise dinâmica e simulação completa de propriedades geométricas, incluindo textura e propriedades mecânicas de materiais (CHRYSSOLOURIS et al., 2008)

As atividades de planejamento de processos determinam os planos de fabricação e a sequência necessária para produzir uma determinada peça econômica e competitivamente. Para isso, os sistemas de planejamento de processos auxiliados por computador (*Computer-Aided Process Planning – CAPP*) têm sido utilizados para a geração de planos de processos consistentes (CAY et al., 1997).

Sistemas de engenharia assistida por computador (*Computer-Aided Engineering – CAE*) são usados para reduzir o tempo de prototipagem durante o desenvolvimento do produto e melhorar a compreensão do sistema. Os sistemas CAE suportam diferentes campos da engenharia, incluindo mecânica de fluídos, simulação de máquinas, mecânica de materiais, termodinâmica e robótica (KING et al., 2003). Ainda, os sistemas de produção assistida por computador (*Computer-Aided Manufacturing – CAM*) foram impulsionados pela introdução do controle numérico computadorizado (CNC), integrando, assim, o desenvolvimento de produto e produção – além do fato de que esta nova tecnologia permitiu a produção em massa com maior flexibilidade a partir da ligação direta entre o modelo CAD tridimensional (3D) e sua produção (YEUNG, 2003).

Os sistemas de gerenciamento de dados do produto (PDM – *Product Data Management*), são capazes de integrar e gerenciar os aplicativos, informações e processos no desenvolvimento de um produto. Informações típicas relacionadas ao produto incluem geometria, desenhos de engenharia, planos de projeto, arquivos de peças, diagramas de montagem, especificações de produto, programas de máquina-ferramenta de controle numérico, resultados de análise, correspondência, lista de materiais e ordens de alteração de engenharia (CHRYSSOLOURIS et al., 2008). Em avanço aos sistemas PDM, o PLM (*Product Lifecycle Management*) é uma abordagem integrada orientada por informações do ciclo de vida de um produto, desde o início do projeto, fabricação, implantação e manutenção à remoção do produto e descarte. Alguns dos benefícios relatados pelo uso do PLM incluem a redução do tempo de

comercialização, a melhoria da qualidade do produto, a redução dos custos de prototipagem, a economia através da reutilização de dados originais, os recursos para otimização de produtos e redução de desperdício, e a economia através da integração completa de engenharia (GUNENDRAN, 2010).

No entanto, os movimentos de digitalização industrial ganharam força nos anos de 1980 com o *Computer Integrated Manufacturing* (CIM). O CIM é um conceito genérico que incorpora uma variedade de técnicas e sistemas associados à produção (NICHOLS; JONES, 1994). Os investimentos no CIM foram atraídos pelo potencial de aumento da produtividade através das melhorias de qualidade, redução de custos e diminuição no tempo de lançamento do produto, além de permitir respostas mais rápidas as mudanças originadas nas necessidades dos consumidores (CAGLIANO; SPINA, 2000). O objetivo central do CIM era fornecer uma forma integrada e altamente automatizada em um sistema flexível de manufatura. Tal objetivo poderia ser atingido através da integração entre *hardware*, *software* e bancos de dados com os robôs no “chão de fábrica”, do armazenamento e controle de materiais e ferramentas e desenvolvimento de produtos (ROSENTHAL, 1984; CAGLIANO et al., 2000; SWINK et al., 2007). Exemplos disso podem ser vistos na introdução de sistemas DNC (*Distributed Numerical Control*) ou na integração de máquinas CNC (*Computer Numerical Control*) individuais nas áreas de transporte e informação para formar células de fabricação flexíveis e sistemas de manufatura flexíveis (SCHULTZ-WILD, 1989)

Swamidass (1998), com base na revisão da literatura, propôs uma classificação destas tecnologias:

- a) tecnologias de *design* de produto, focando especificamente nas definições do produto, incluindo tecnologias como CAD e *Computer-Aided Engineering* (CAE);
- b) tecnologias de processos, usadas na operação da manufatura para operar e fornecer informações da fábrica, como CNC e CAM;
- c) tecnologia de planejamento e logística, cobrindo o controle do fluxo desde a matéria-prima ao produto, além de *softwares* de planejamento de produção, controle de produção e sistema MRP;
- d) tecnologias de troca de informações para facilitar o armazenamento e a troca de informações ao longo de todo o processo da manufatura e logística, tais como protocolos de transferências de dados e banco de dados comum.

Essas soluções CIM eram complexas, difíceis de implementar e caras, porque exigiam a integração de muitos produtos e fornecedores (DEUEL, 1994), sendo consideradas como um

dos motivos para o potencial “fracasso” destas iniciativas de uma fábrica totalmente automatizada.

Embora tal crítica possa ser feita, muitos avanços organizacionais foram obtidos com tais iniciativas. De acordo com Schultz-Wild (1989), os resultados de um estudo de pesquisa em 1986–1987, com 1.100 questionários preenchidos por empresas de bens de capital na Alemanha Ocidental sinaliza que o uso de tecnologia baseada em computadores (CIM) causaram mudanças consideráveis na organização, como: reestruturação de departamentos funcionais, aumento ou redução de posto de trabalho e aumento ou redução da divisão do trabalho. Além disso, o autor relata a substituição de atividades rotineiras por tarefas mais criativas como resultado da implantação tecnológica, aumento da demanda pelas funções de monitoramento e supervisão e aumento da demanda pela qualificação da mão de obra. Para o autor, esses exemplos sugerem que as mudanças na implementação do CIM não podem ser adequadamente apreendidas concentrando-se exclusivamente nos problemas tecnológicos-gerenciais do investimento e na escolha de *hardware* e *software*, mas incluir um melhor entendimento dos riscos e oportunidades associados à organização do trabalho (SCHULTZ-WILD, 1989)

No entanto, vale frisar para este trabalho que, a partir da década de 1960, o *Flexible Manufacturing System* (FMS) já construía a visão de uma manufatura totalmente automatizada. Na prática, no entanto, um tipo menos automatizado mas altamente flexível de fabricação é economicamente mais razoável na maioria dos casos (MARTIN et al., 1990), como as iniciativas adotadas com o modelo Toyota de produção.

A partir das experiências do CIM, algumas outras necessidades começaram a ficar evidentes na manufatura: soluções que possam evoluir conforme as mudanças nas tecnologias; sistemas que desempenhem muitas funções, reduzindo assim a dependência e o alto custo associado à integração e manutenção de muitas soluções pontuais; e soluções implementadas em fases para demonstrar melhorias incrementais (DEUEL, 1994).

As necessidades de redução de custos, redução da variação na qualidade dos produtos, diminuição do estoque e uma orientação para a produção sob demanda foram fatores geradores da pressão para outras mudanças na manufatura a partir da década de 1990. Com isso, o *Manufacturing Execution System* (MES), introduzido pela primeira vez em 1991 pela *American Manufacturing Research*, foi desenvolvido para diminuir a lacuna de velocidade e qualidade da informação entre as funções de gestão do negócio e a produção (LEE et al., 2012). Especificamente, o MES atua na comunicação entre os sistemas de ERP e MRP com os sistemas de controle de produção no “chão de fábrica”, buscando suportar decisões mais rápidas a partir

da disponibilidade e integração de informações em tempo real (DEUEL, 1994). De acordo com a *Manufacturing Enterprise Solutions Association* (MESA, 1997), as funções do MES estão categorizadas em funções principais e de suporte. As funções principais incluem planejamento de estoque e materiais e gestão de movimentação de materiais, e as funções de suporte incluem manutenção, tempo e atendimento, controle estatístico de processos, garantia de qualidade, dados de processo e gerenciamento de documentação (LEE et al., 2012).

2.1.1. A Indústria 4.0 e manufatura avançada

Nos últimos anos, iniciativas de fomento a tecnologias na manufatura foram adotadas em diferentes partes do mundo, direcionadas ao restabelecimento e recuperação de uma parcela significativa das indústrias locais (BOCKEN, 2016), especialmente na Europa, liderada pela Alemanha com o programa *Industrie 4.0* (KAGERMANN et al., 2013), e nos Estados Unidos, com o *Smart Manufacturing Leadership Coalition* e o *Industrial Internet Consortium*. Programas regionais surgiram em diversos outros países, sinalizando a importância do tema para a manufatura, sendo considerada a quarta revolução industrial, apoiada pelo emprego maciço de tecnologias digitais na manufatura.

Figura 1 – Os quatro estágios da Revolução Industrial

Fonte: adaptado de Kagermann et al. (2013).

O termo Indústria 4.0 (I4.0) foi usado pela primeira vez em 2011 na Feira de Hannover. Inicialmente, a I4.0 foi desenvolvida na Alemanha por três associações: a BITKOM, representando empresas de TI; a VDMA, representando fabricantes de máquinas; e a ZVEI, representando fornecedores de dispositivos elétricos e eletrônicos. Em abril de 2013, a Acatech publica o “*Recommendations For Implementing The Strategic Initiative Industrie 4.0*”, dando base ao programa Alemão. Com ele, a Alemanha lança a visão estratégica da I4.0 fundamentando-se na sua importância mundial na fabricação de máquinas industriais, na inovação tecnológica para processos industriais complexos e nas suas competências em TI e automação industrial, desejando se posicionar como líder para um novo tipo de industrialização. Desde 3 de junho de 2015, a plataforma I4.0 coordena essas atividades e é fortemente apoiada pelo Ministério Federal de Economia e Energia e pelo Ministério Federal de Educação e Pesquisa Alemão (VOGEL-HEUSER; HESS, 2016).

Segundo Kagermann et al. (2013), a I4.0 é impulsionada pela introdução da Internet das Coisas (IoT) e da Internet de Serviços no ambiente de produção e operação. Para Roblek et al. (2016), essas tecnologias abrem a possibilidade de interação e troca de informações não apenas entre pessoas ou entre pessoas e máquinas, mas também a comunicação máquina-máquina (M2M). Nesse sentido, um dos fundamentos da Indústria 4.0 é um Sistema Ciberfísico (CPS – *Cyber-Physical Systems*) composto por máquinas inteligentes, sistemas de armazenamento e instalações de produção capazes de trocar informações de forma autônoma, desencadear ações e controlar-se independentemente, o que configura a “*Smart Factory*” ou “*Smart Manufacturing*”. Dessa forma, os sistemas alocados na indústria inteligente conectam verticalmente os processos do negócio com os da fábrica e horizontalmente através de toda a cadeia de valor, podendo ser administrados em tempo real (KAGERMANN et al., 2013).

No levantamento bibliográfico realizado por Lu (2017), foi identificado que computação móvel, computação na nuvem, *Big data* e Internet das Coisas (IoT) são as principais tecnologias que sustentam o fomento à Indústria 4.0. O CPS integrado a diversos equipamentos como sensores, identificadores e processadores conectados em uma rede de internet *wireless* são capazes de gerar uma massiva gama de dados armazenados na “nuvem”. O desenvolvimento de algoritmos em condições de processar tais dados a serem empregados em finalidades específicas será o principal desafio para o avanço da Indústria 4.0 (LU, 2017). Ainda, Lu (2017) conclui que o desenvolvimento da Indústria 4.0 se dá pela integração entre máquinas e pessoas. Por meio do CPS, pessoas e máquinas trabalham juntas com informações compartilhadas e analisadas, suportadas por *Big Data* e computação na nuvem ao longo da

cadeia produtiva. Nesse sentido, de acordo com Kagermann et al. (2013), os objetivos apresentados para a indústria 4.0 são:

- Demandas individuais dos consumidores: inclusão de critérios individuais nas fases de projeto, configuração, pedido, planejamento, fabricação e operação, permitindo fabricar itens únicos ou ter volumes de produção muito baixos de maneira lucrativa.
- Flexibilidade do sistema permite a configuração dinâmica de diferentes aspectos, como: qualidade, tempo, risco, robustez, preço e parâmetros do meio ambiente. Com isso, os processos de engenharia podem ser mais ágeis, podendo ser alterados conforme a demanda ou falhas no fornecimento de matéria-prima.
- Tomada de decisão otimizada: transparência de informações em tempo real de toda a cadeia produtiva, permitindo a verificação antecipada de decisões de *design* de engenharia e respostas mais rápidas em todas as unidades produtivas de uma empresa.
- Produtividade e eficiência de recursos: permite que os processos de fabricação sejam otimizados caso a caso em toda a rede de valor – produzir o máximo possível com os recursos disponíveis utilizando o mínimo de recursos – para um determinado nível de produção. Assim, otimizando durante a produção o consumo de recursos e energia ou reduzindo emissões poluentes.
- Criar oportunidades de valor por meio de novos serviços: criar valor e novas formas de emprego e serviços aplicados às grandes quantidades de dados gerados por dispositivos inteligentes – ou fornecer serviços inovadores B2B (business-to-business), sendo oportunidade significativa para PMEs (pequenas e médias empresas) e *startups*.
- Responder à mudança demográfica no local de trabalho: com as iniciativas de organização do trabalho e de desenvolvimento de competências, a colaboração interativa entre seres humanos e sistemas tecnológicos proporcionará às empresas novas formas de transformar a mudança demográfica. Diante da escassez de mão de obra qualificada e da crescente diversidade da força de trabalho (em termos de idade, gênero e cultura), a I4.0 possibilitará carreiras diversificadas e flexíveis que permitirão que as pessoas continuem trabalhando e permaneçam produtivas por mais tempo.
- Equilíbrio entre trabalho e vida pessoal: As empresas poderão atender à crescente necessidade dos funcionários de obter um melhor equilíbrio entre seu trabalho e sua vida privada e, também, entre o desenvolvimento pessoal e o desenvolvimento profissional contínuo. Ou seja, modelos de organização do trabalho mais flexíveis, atendendo requisitos dos empregados e da empresa.

- Uma economia de altos salários, mas ainda competitiva: permitirá à Alemanha desenvolver sua posição como fornecedor líder e também se tornar o principal mercado para as soluções da I4.0.

A proposta de integração não só industrial mas organizacional em sistemas flexíveis na I4.0 são orientados por três diretrizes, segundo Kagermann et al. (2013): Integração Horizontal, Integração Vertical e Integração ponta a ponta.

- Integração horizontal através de redes de valor: refere-se à integração dos vários sistemas de TI usados nas diferentes etapas dos processos de planejamento de negócios e de fabricação que envolvem uma troca de materiais, energia e informações dentro de uma empresa (por exemplo, logística de entrada, produção, logística de saída, marketing) e entre várias empresas diferentes (redes de valor).
- Integração digital de ponta a ponta da engenharia em toda a cadeia de valor: os sistemas de TI apropriados devem ser implantados para fornecer suporte de ponta a ponta a toda a cadeia de valor, desde o desenvolvimento de produtos até o sistema de manufatura: engenharia, produção e serviço. É necessária uma abordagem de engenharia de sistemas holística que abranja as diferentes disciplinas técnicas.
- Integração vertical refere-se à integração dos vários sistemas de TI nos diferentes níveis hierárquicos (por exemplo, os níveis de atuador e sensor, controle, gerenciamento de produção, fabricação e execução e planejamento corporativo) para fornecer uma solução de ponta a ponta.

No que tange ao programa estadunidense, foi realizado em setembro de 2010 o *workshop “Implementing 21st Century Smart Manufacturing”*, cujo objetivo foi identificar e priorizar as ações necessárias para superar alguns dos desafios da manufatura inteligente e promover a implementação desta. No ano de 2011, nos Estados Unidos da América, o Conselho de Assessores da Presidência para Ciência e Tecnologia recomendou a inovação na manufatura como válvula propulsora de desenvolvimento, lançando diretrizes para o *Advanced Manufacturing* e, posteriormente, o *Manufacturing USA*. O Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia traz um planejamento de esfera nacional de apoio à pesquisa em manufatura avançada. A partir dessa iniciativa, foi criado o *National Network for Manufacturing Innovation*, que tem por meta conectar pessoas, propostas e tecnologias a fim de solucionar desafios da manufatura (MANUFACTURING USA, 2016), sinalizando os seguintes objetivos:

- Reduzir o custo de aplicação de análise avançada de dados, modelagem e simulação nos principais processos de fabricação.
- Reduzir o custo da infraestrutura, incluindo redes de dados e informações, *hardware* e *software* interoperáveis e dados corporativos compartilhados.
- Estabelecer uma indústria compartilhada, uma plataforma de recursos compartilhados que forneça acesso a *softwares* e aplicativos que facilite a inovação.
- Criar e fornecer amplo acesso a tecnologias de sensores de última geração e infraestrutura digital para a aplicação na manufatura inteligente (por exemplo, sensores descartáveis, fusão de dados e redes com e sem fio que combinam dados de diferentes fontes para obter maior precisão de medição e mais inteligência).
- Estabelecer *test-beds* nacionais ou instalações acessíveis para conceitos de fabricação inteligentes e disponibilizá-los para empresas de todos os tamanhos.
- Desenvolver ferramentas virtuais para a manufatura e cadeia de fornecimento (por exemplo, simulação e visualização em tempo real, *test-beds* virtuais, análise dinâmica de riscos, envolvimento dinâmico de fornecedores) para planejamento em tempo real e rastreamento/rastreabilidade pontual de materiais e produtos.
- Aplicar ferramentas de desempenho de painel de controle (por exemplo, indicadores de desempenho, monitoramento dinâmico, visualização dinâmica de dados críticos) em toda a empresa para gerenciar a produção dinâmica, uso e armazenamento de recursos essenciais (energia, água, ar), sustentabilidade e EH&S.

Nesse sentido, de acordo com o *National Science and Technology Council* (2016), as tecnologias essenciais que suportam a manufatura inteligente possuem determinadas funções, como:

- Sensores em rede – Dados para comunicações, controles automatizados, modelos preditivos e de planejamento, otimização da planta, gerenciamento de saúde e segurança e outras funções serão fornecidos por um grande número de sensores em rede.
- Interoperabilidade de dados – A troca contínua de dados de produtos, processos e projetos eletrônicos é possibilitada por sistemas de dados interoperáveis usados;
- Modelagem e simulação dinâmica em várias escalas – O planejamento e a programação de negócios podem ser totalmente integrados às operações por meio de modelos em várias escalas que suportam a coordenação em toda a empresa e permitem a otimização em larga escala entre empresas e cadeias de suprimento;

- Automação inteligente – Sistemas de aprendizagem automatizados são vitais mas devem ser efetivamente integrados ao ambiente de aprendizagem e decisão;
- Segurança cibernética escalonável em vários níveis – Proteção do sistema contra vulnerabilidades cibernéticas (sem comprometer a funcionalidade) é necessária em toda a empresa de manufatura.

Além de os programas Alemão e dos Estados Unidos assumirem um papel de liderança mundial, recebem muitas críticas. Drath e Horch (2014) chamaram a atenção para o movimento de *marketing* envolvendo os setores privado e público em torno do programa “Industrie 4.0. *“Na Alemanha, o termo atualmente prevalece em quase todas as feiras, conferências ou convocações relacionadas ao setor industrial para projetos financiados por fundos públicos”*, salientando o montante de 200 milhões de Euros de financiamento do governo (DRATH; HORCH, 2014)

Hartmann e Halecker (2015, *apud* Bauernhansl et al., 2014) sinalizavam a respeito do perigo em que a adoção de inovações técnicas nos atuais modelos de negócios resultarão em repetição de erros do passado, enfatizando que o (CIM) também prometeu uma produção altamente automatizada nos anos 1970 e 1980, uma visão e promessas semelhantes às envolvendo a Indústria 4.0. No entanto, o CIM não levou, como esperado, a fábricas desertas (sem operários). Em vez disso, acabou sendo uma campanha que resultou em grandes perdas de investimento.

Nesse sentido, Pfeiffer (2017) publica suas críticas no artigo “*The Vision of ‘Industrie 4.0’ in the Making—a Case of Future Told, Tamed, and Traded*”, focando sua argumentação, a partir da análise do discurso, em três aspectos: na narrativa empregada de um futuro “contado e traçado” como estratégia global de uma produção globalmente conectada e quase autonomamente funcional; na ideia subjacente de um futuro “negociado”, juntamente com a esperança de uma nova fonte de crescimento econômico desenfreado que esta visão tecnológica está prevendo desencadear; e em uma noção complementar de futuro “domado”, ou seja, uma reorganização global do trabalho que reescreve o papel do trabalho humano:

The main purpose, based on an in-depth discourse analysis, is to debunk the myth about the origin of this powerful vision and to trace the narrative back to the global economic crisis in 2009 and thus to the real actors, central discourse patterns, and hidden intentions of this vision of a new Industrial Revolution (Pfeiffer, 2017).

Por fim, a autora salienta que, ao menos, essa transformação industrial é um fenômeno entre uma ampla gama de transformações globais disruptivas.

Daudt e Willcox (2016) ressaltam, a partir da reflexão das experiências alemã e estadunidense, o caráter não espontâneo do avanço tecnológico, sendo esse um conjunto de políticas visando a retomada da primazia industrial, impulsionadas pela transferência manufatureira e tecnológica para países estrangeiros. Ou seja, “*a criação de políticas deliberadas para criar mercados e construir o futuro, incorporando tecnologias habilitadoras*” (DAUDT; WILLCOX, 2016). Os autores ressaltam, ainda, que a combinação dessas tecnologias habilitadoras pode levar a mudanças disruptivas, ressaltando papel importante, em ambos os programas, nos esforços de coordenação e uso de informação, automação, computação e sensoriamento. No entanto, ao invés de revolução industrial, acreditam em um processo evolutivo e incremental, caracterizado por uma combinação de tecnologias, várias delas já conhecidas há algum tempo (DAUDT; WILLCOX, 2016).

Embora as críticas possam ser feitas, no que tange a digitalização industrial, o elemento essencial considerado “novo” é a interseção entre produção, processos de processamento dados e fluxos de informações on-line e dispositivos que se comunicam independentemente entre si ao longo de toda a cadeia de valor. De maneira conceitual, as empresas estabeleceriam redes globais que incorporassem suas máquinas, sistemas de armazenamento e instalações de produção na forma de sistemas ciberfísicos (CPS – *Cyber-Physical Systems*) (CARUSO, 2017; ZHOU et al., 2015; MANUFACTURING USA, 2016; THOBEN et al., 2017; KAGERMANN et al., 2013; RAJKUMAR, 2010).

Em 2017, a Acatech publicou o estudo “*Industrie 4.0 – Maturity Index*” (SCHUH et al., 2017), cujo objetivo foi fornecer um meio de estabelecer estágios de maturidade da Indústria 4.0 na manufatura, com base na adoção tecnológica e transformação organizacional e criando, assim, seis estágios, como apresentado abaixo:

- Informatização – Utilização de diferentes tecnologias de informação isoladas umas das outras dentro da empresa, como dados CAD e fresadora CNC. No entanto, as ações programadas pelo CAD ainda precisam ser transferidas para a fresadora manualmente – a máquina não está conectada.
- Conectividade – a implantação isolada da tecnologia da informação é substituída por componentes conectados. Partes dos sistemas de tecnologia operacional fornecem conectividade e interoperabilidade. Por exemplo, uma vez que um *design* tenha sido criado em engenharia, seus dados podem ser enviados para produção, de modo que as etapas de produção possam ser executadas de acordo (processos CAD/CAM). Após a

conclusão da etapa de fabricação, a confirmação pode ser fornecida automaticamente e em tempo real por meio do MES.

- **Visibilidade** – Os sensores permitem que a informação sobre processos seja capturada do início ao fim com muitos pontos no chão de fábrica, integrando com dados existentes. Isso possibilita manter um modelo digital da fábrica atualizado. Desta forma, a integração dos sistemas PLM, ERP e MES fornece um panorama abrangente que cria visibilidade em relação ao status quo na manufatura.
- **Transparência** – Para identificar e interpretar as interações no modelo digital, os dados capturados devem ser analisados aplicando o conhecimento de engenharia. A análise de *Big Data*, conjuntos de dados extremamente grandes e geralmente heterogêneos, são processados e combinados. Como regra, os aplicativos de *Big Data* são implantados em paralelo a sistemas de negócios, como o ERP ou MES, podendo ser usada para monitorar as condições das máquinas e equipamento, por exemplo.
- **Capacidade preditiva** – É a capacidade de simular diferentes cenários futuros e identificar os mais prováveis. Isso envolve projetar no modelo digital uma variedade de cenários que podem ser avaliados em termos da probabilidade de ocorrerem. Com isso, é possível para a empresa tomar decisões e implementar as medidas apropriadas em tempo hábil. Embora as medidas ainda tenham que ser executadas manualmente, prazos mais longos ajudam a limitar os impactos negativos. Reduzir o número de eventos inesperados causados por interrupções ou planejamento de variações permite uma operação mais robusta do negócio.
- **Adaptabilidade** – A capacidade preditiva é um requisito fundamental para decisões e ações automatizadas e tomada de decisão. O grau de adaptabilidade depende da complexidade das decisões e da relação custo-benefício. Exemplos incluem a alteração da sequência de ordens planejadas devido a falhas esperadas na máquina ou a evitar atrasos na entrega. Ou seja, implementar as medidas correspondentes automaticamente, ou seja, sem assistência humana.

2.1.2. Tecnologias habilitadoras

A Manufatura Avançada e a Indústria 4.0 têm sido associadas (KAGERMAN, 2015; ZHOU et al., 2015; ZHONG et al., 2017; PWC, 2016; KAGERMANN et al., 2013;

KRZYWDZINSKI, 2016) à aplicação na manufatura de um conjunto de tecnologias habilitadoras (*softwares* e *hardwares*). Sendo estas:

- Internet das Coisas (IoT) – permite a comunicação em rede entre objetos físicos e *softwares*, responsável pela comunicação com sensores e controladores.
- *Big Data* – é um conjunto de dados com ampla variação, estrutura complexa e em grande volume, gerados por sensores e sistemas integrados, que não pode ser processado pelos métodos tradicionais.
- *Cloud Computing* e *Cloud Manufacturing* – O primeiro é a estrutura para a terceirização de processamento de dados. O segundo, a aplicação dessa tecnologia para a comunicação com sensores distribuídos e alocação de recursos de manufatura.
- Manufatura Aditiva – É a tecnologia que converte modelos tridimensionais em objetos físicos; é implementada por impressoras 3D.
- Sensores Inteligentes: Os sensores são as tecnologias de *hardware*, responsáveis pela coleta de dados em tempo real.
- *Machine Learning* e *Data Mining* – São tecnologias que conseguem extrair conhecimento dos dados e aplicar inteligência para melhorar as decisões; os elementos inteligentes que podem se autocoordenar, criando modelos computacionais que se utilizam de todos os dados capturados pelo sistema.
- Robótica avançada – Máquinas ou sistemas capazes de aceitar comandos de alto nível orientados para tarefas, com um mínimo de intervenção humana, capazes de trabalhar em colaboração com humanos.

2.1.3. Sistemas Ciberfísicos

O conceito de CPS foi definido pela primeira vez em 2006, introduzindo o conceito de que o mundo virtual e o mundo físico podem ser mesclados. De fato, um CPS é um sistema integrado de computação, comunicações e controle (LEE, 2008). O CPS é tido, assim como já exposto acima, como conceito central da digitalização industrial tanto para a Indústria 4.0 quanto para a manufatura inteligente. De acordo com a Acatech (2011), os sistemas Ciberfísicos exercem a função de:

- a) gravar diretamente dados físicos usando sensores e operar processos físicos usando atuadores;
- b) avaliar e salvar dados gravados e interagir ativa ou reativamente com o mundo físico e digital;
- c) conectar uns com os outros e em redes globais através de meios de comunicação digital (sem fios e/ou com fio, local e/ou global);
- d) usar dados e serviços disponíveis globalmente;
- e) ter uma série de interfaces homem-máquina multimodais e dedicadas.

No contexto industrial, os sistemas CPS são utilizados para construir uma plataforma *Cyber-Physical Production Systems* (CPPS) (STRANG; ANDERL, 2014), que conecta o espaço virtual com o mundo físico. As principais características do CPPS são atribuídas como (MONOSTORI et al., 2016):

- a) inteligência, ou seja, os elementos são capazes de adquirir informações do seu entorno e agir de forma autônoma.
- b) conectividade, ou seja, a capacidade de configurar e usar conexões com os outros elementos do sistema – incluindo seres humanos – para cooperação e colaboração, e para o conhecimento e os serviços disponíveis na internet.
- c) capacidade de resposta às mudanças internas e externas.

2.1.4. Indústria 4.0 no Brasil

Com menor expressão do que os programas dos Estados Unidos e Alemanha, dentre as iniciativas do Governo Brasileiro para o fomento do Desenvolvimento Tecnológico e Industrial está a Associação Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPII). Nascida em 2013, a EMBRAPII é sustentada com 1/3 de capital público e 2/3 financiados por empresas industriais ou polos EMBRAPII. A gestão e o financiamento da associação estão vinculados diretamente ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações – MCTIC – e Ministério da Educação – MEC – (SITE EMBRAPII). A associação tem como objetivo apoiar instituições de pesquisa tecnológica em selecionadas áreas de competência, para que executem projetos de desenvolvimento de pesquisa tecnológica para inovação, em cooperação com empresas do setor industrial. Dentre as competências tecnológicas apoiadas pelas 28 unidades

e polos, estão: Tecnologia de Informação e Comunicação, Mecânica e Manufatura, Materiais e Química, Tecnologias Aplicadas e Biotecnologia.

O relatório, bastante referenciado, publicado pela Confederação Nacional das Indústrias (CNI), em 2016, “Desafios para indústria 4.0 no Brasil”, ressaltando a importância da integração de CPS’s, Internet e Sistemas de Automação, como fundamentos para a Indústria 4.0. Tal proposta é sustentada pelas tecnologias habilitadoras: Internet das Coisas, *Big Data*, Computação em Nuvem, Robótica avançada, Inteligência Artificial, Novos Materiais e Manufatura Aditiva (3D). O relatório foi produzido a partir da pesquisa “Sondagem Especial, 2016” da CNI em que 2.225 empresas – sendo 910 pequenas, 815 médias e 500 grandes, de 29 Setores da Indústria de Transformação e Extrativa – participaram. A pesquisa revela que 42% das empresas desconheciam a importância das tecnologias digitais para a competitividade da indústria, e mais da metade delas (52%) não utilizam nenhuma tecnologia digital (CNI, 2016).

Outro aspecto presente no relatório da CNI são as percepções dos respondentes quanto às barreiras internas que dificultam a adoção de tecnologias digitais. O alto custo de implantação, falta de clareza na definição do retorno sobre investimento e estrutura, e cultura da empresa são apontadas como as principais barreiras internas, respectivamente. Como fatores externos, o relatório aponta para a falta de trabalhador qualificado, infraestrutura de telecomunicações insuficientes e dificuldade para identificar tecnologias e parceiros como as principais barreiras à adoção de tecnologias digitais (CNI, 2016).

O relatório Brasil da “Pesquisa Global Indústria 4.0”, realizada pela PricewaterhouseCoopers (PWC) em 2016, reuniu a percepção dos principais executivos de 32 indústrias no período de novembro de 2015 a janeiro de 2016. No Brasil, especificamente, os respondentes esperam um aumento expressivo no nível de digitalização até 2020, saltando de 9% para 63%. Tais aumentos estariam vinculados à integração da cadeia de valor vertical e horizontal, aos modelos de negócios digitais, ao desenvolvimento de produtos e ao acesso a novos canais de vendas. (PWC, 2016)

Vale ressaltar também, em 2016, a fundação da Associação Brasileira de Internet Industrial (ABII), inspirada no Industrial Internet Consortium (IIC) dos Estados Unidos. Atualmente, com 43 empresas associadas (Site ABII – <https://www.abii.com.br/>, 2018) tem como objetivo:

Promover o crescimento acelerado da Internet Industrial através da coordenação de um ecossistema criador de iniciativas voltadas à integração, controle e conexão segura entre máquinas, sistemas, processos e pessoas por meio de arquiteturas comuns e

padrões abertos, visando a geração de resultados transformadores para as diferentes indústrias e infraestrutura pública.

Em junho de 2017, o MDIC instituiu o Grupo de Trabalho para a Indústria 4.0 (GTI 4.0), inspirado nas experiências dos Estados Unidos, Alemanha e China, com o objetivo de elaborar uma proposta de agenda nacional para o tema (SITE MDIC, 2017). Constituído por cinquenta instituições representativas do governo, empresas e sociedade civil organizada, temas como aumento da competitividade das empresas brasileiras, mudanças na estrutura das cadeias produtivas, um novo mercado de trabalho, fábricas do futuro, massificação do uso de tecnologias digitais, *startups* e *test-beds* foram debatidos e aprofundados nesse GTI 4.0. Desse grupo de trabalho, o MDIC e ABDI lançam a “Agenda Brasileira para a Indústria 4.0” em março de 2018, firmando a base de fomento da Indústria Digital. A meta é destinar trinta milhões de reais à formação de “*test-beds*”, além de a uma política de crédito específica para o fomento tecnológico (Site MDIC, 2018).

2.2. Configurações da Organização do trabalho

Com relação à organização do trabalho, será centrada atenção nas discussões da literatura, assim como sistematizado por Fleury (1980), a escola clássica/taylorista, de relações humanas/enriquecimento dos cargos e sociotécnica/grupos semiautônomos, a discussão de autonomia proposta por Marx (1998) e de organizações flexíveis por Salerno (1991, 1998).

2.2.1. Modelo Clássico

A racionalização da tarefa do cargo é vinculada à administração científica atribuída a Frederick W. Taylor e fortalecida por Henry Ford, que preconizavam a determinação científica da tarefa, em substituição às regras pessoais empíricas que vigoravam no processo produtivo, a fim de aumentar a produtividade no setor de produção. A ideia geral sustentada por essa teoria é a prescrição precisa do que precisa ser feito, como deve ser feito e o tempo exato para a execução. A produtividade deveria ser induzida pelo incentivo salarial. As premissas que, segundo Fleury (1980), sustentam tal perspectiva são:

- a) identificar uma maneira ótima de desempenhar uma tarefa, o que torna necessário o exame científico por meio do emprego do estudo de tempos e movimentos;
- b) separar o planejamento da execução da tarefa a fim de resultar numa maneira ótima de executar o trabalho;
- c) selecionar o melhor operário para cada tarefa e treiná-lo para o seu aprimoramento.
- d) incentivo salarial individual, pois cada trabalhador procura maximizar seus ganhos monetários;
- e) evitar grupos de trabalho.

Embora tal modelo receba muitas críticas, suas técnicas ainda são muito presentes no ambiente industrial e organizacional. De todo modo, vale ressaltar os aspectos citados por Marx (1998) de que, mesmo implicitamente, a estratégia de negócio no modelo clássico é a produção em massa como forma de competir por “custo”, uma organização pautada por estruturas rígidas tanto nas diferentes funções como nas fronteiras departamentais, favorecendo a intensificação das funções de supervisão e de controle e retirando, assim, o envolvimento, a cooperação e a autonomia dos trabalhadores no chão de fábrica. Para Zarifian (1990), o modelo clássico visava combater o “método por iniciativa e incentivos”, segundo o qual se deixava que o operário tomasse a iniciativa de definir sua maneira de trabalhar, mas procurava-se incentivá-lo a intensificar a produção.

Ainda, para Zarifian (1990), a abordagem de produtividade dessa visão clássica encontra-se presente nas indústrias, de maneira a salientar:

- a) a noção de incremento da produtividade, como a redução do tempo de execução de um trabalho através da definição das rotinas operacionais;
- b) a criação de departamentos de organização e métodos de trabalho para analisar e prescrever rotinas operacionais e o trabalho de controle direto de uma chefia. Embora se saiba que o operário jamais executará exatamente o trabalho prescrito, o importante é haver uma norma padrão de referência e controle;
- c) a criação de acordos de relacionamento entre gerência e operação de que, de um lado, os operários aceitavam a prescrição e controle do trabalho, abrindo mão do seu poder neste campo, e, de outra parte, os donos das indústrias garantiam o aumento progressivo dos salários;
- d) o princípio do desenvolvimento do operário do ensino técnico especializado. Ou seja, treinamento específico em procedimentos já definidos para cada categoria de emprego;

- e) as unidades de base de cálculo de custos, com o nascimento da contabilidade analítica, estabelecendo relação direta entre rentabilidade do capital e produtividade do trabalho.

2.2.2. Enriquecimento de Cargos

O enriquecimento de cargos tornou-se outra abordagem bastante relevante para a organização do trabalho. Sua principal premissa é de que a produtividade seria maior desde que os aspectos psicológicos dos trabalhadores estivessem considerados, especialmente, nas condições do ambiente de trabalho. Desta forma, Fleury (1980), a partir da análise dos trabalhos de Maslow, Argyris e Herzberg, conclui que a produtividade de uma pessoa estabelece uma relação direta com a sua satisfação, e esta seria decorrente de fatores intrínsecos ao indivíduo. Diante disso, a estruturação do trabalho deveria incorrer na satisfação do indivíduo através das condições de trabalho para, assim, aumentar a sua produtividade. Dessa corrente, destacam-se algumas das técnicas, como: o revezamento entre as pessoas envolvidas nas tarefas (rotação de cargos); agrupamento de diversas tarefas, de mesma natureza, em um único cargo (ampliação horizontal); e agrupamento de tarefas de diferentes naturezas como produção, inspeção e manutenção em um único cargo (ampliação vertical). Como exemplo, Herzberg (1979) relata suas experiências com o programa “*Orthodox Job Enrichment*”, atingindo aumento de produtividade, significativas reduções de custo e aumento da satisfação dos trabalhadores com os seus empregos. No entanto, tais mudanças significaram somente alterações incrementais na lógica de organização da produção Fordista-Taylorista, segundo Marx (1998). Para o autor, ainda, o enriquecimento de cargos estaria relacionado ao Modelo Toyota de Produção, que inverte a lógica produtiva tradicional, implantando o sistema de demanda do mercado e da cadeia produtiva (*just-in-time*).

A constituição do modelo Toyota foi intensamente influenciada pelo contexto no qual o Japão se encontrava no pós-Segunda Guerra. A ênfase estava na intensificação da lógica da produção em massa, na redução do custo de produção em massa (toda a fonte de desperdício deve ser eliminada) e no aumento das variações dos produtos via ganhos de escala. A redução do número de trabalhadores, a utilização do trabalho cooperativo e em grupos (flexibilização de alocação dos trabalhadores aos postos de trabalho), a multitarefa (associando o trabalhador a vários postos de trabalho) e o intensivo estudo de tempos e métodos para a racionalização do trabalho são prerrogativas adotadas pelo precursor Taiichi Ohno a esse movimento. Tais características denominam a produção enxuta, pois elimina os efeitos negativos das economias

de escala e provoca novas relações de produção, como as relações com os subcontratados e a criação de novos espaços industriais. Para melhorar a produção e a qualidade, novas técnicas começaram a ser utilizadas, como círculos de qualidade (reuniões entre trabalhadores voluntários com intuito de remover defeitos e aumentar a eficiência), sistema de sugestões, gerenciamento de qualidade total (baseado na responsabilidade de cada trabalhador pelo seu trabalho e por checar o trabalho anterior na produção), produção *just-in-time*, concorrência baseada no tempo, planejamento interativo e direcionado ao cliente (ARSLAN et al., 2003).

As questões organizacionais centrais do Sistema *Lean* de Produção apoiam-se na transferência do maior número de tarefas e responsabilidades para os trabalhadores no chão de fábrica, na detecção de defeitos e em sua rápida correção. Nesse sentido, o trabalho em grupos e a distribuição de informações a todos da indústria permitem a rápida resposta aos problemas e ao entendimento da situação global da fábrica. As diferenciações centrais entre o modelo clássico (Taylorista-Fordista) e o sistema *lean* de produção estariam relacionados aos aspectos de: liderança, trabalho em grupos, comunicação e produção simultânea (WOMACK et al. 1990).

2.2.3. Sociotécnica e grupos semiautônomos

O Sistema sociotécnico teve sua origem em 1949, nos projetos do Tavistock Institute na indústria de carvão britânica (TRIST, 1981), sendo considerada uma corrente de pensamento alternativa ao modelo clássico (MARX, 1998). Para Mumford (2006), o sistema sociotécnico está mais próximo de uma filosofia do que de uma metodologia, associado a princípios humanísticos, tecnologia e mudança. Para Herbst (1965), a noção de sistema baseia-se na teoria dos sistemas abertos de Bertalanffy de que os sistemas podem manter o seu funcionamento estável sem o uso de um mecanismo de controle separados da operação. Em suas publicações de 1976, “*Principles of SocioTechnical Design*”, e 1987, “*Principles of SocioTechnical Design Revisited*”, Cherns (1976, 1987) constrói os princípios gerais dessa corrente de pensamento:

- Compatibilidade – o processo de design organizacional precisa ser compatível com os seus objetivos, sinalizando, por exemplo, se o objetivo for a construção de um sistema capaz de auto modificação e adaptação a mudanças, a importância da participação das pessoas no design da organização do trabalho à qual irão desempenhar é fundamental.
- Mínima especificação crítica – sustenta-se pela ideia de que em um sistema organizacional deve-se especificar apenas o resultado a ser atingido em vez de como se deve dividir e organizar o trabalho.

- Critério sociotécnico – a variância (evento não programado, evento crítico que afeta o resultado), se não pode ser eliminada, deve ser controlada o mais próxima possível do seu ponto de origem. Desta forma, permitindo que as pessoas inspecionem o seu próprio trabalho e aprendam com os seus erros.
- Multifuncionalidade – os sistemas tornam-se mais adaptativos e com menos desperdícios quando cada elemento possui mais de uma função.
- Definição das fronteiras – as fronteiras entre unidades organizacionais podem ser baseadas em três critérios: tecnologia, enquanto diferenciação de tecnologia, de território, enquanto distância física e, tempo, enquanto turnos. Ainda, quanto mais o controle das atividades no departamento torna-se de responsabilidades de seus membros, mais o papel do supervisor concentra-se na interface entre departamentos. Dessa forma, o papel do supervisor torna-se “recurso” para o trabalho do grupo.
- Fluxo de informação – as informações do sistema devem ser designadas para prover informação em primeiro lugar no ponto onde a ação depende dela. Cherno salienta o papel importante dos sistemas computacionais. Em especial, o papel dos seus desenvolvedores em desenhar o sistema para suportar o trabalho da equipe, fornecendo feedbacks exatos sobre o status do sistema, permitindo aprendizado do controle das variâncias e a antecipação de eventos.
- Apoio congruente – o sistema social deve ser construído de maneira a reforçar os comportamentos desejados na estrutura da organização. Nesse sentido, como exemplo, se a organização é baseada no trabalho em equipe, a remuneração baseada em resultados individuais não seria congruente.
- Valores humanos – promover um trabalho de alta qualidade no desenvolvimento de cada um dos indivíduos, naquilo que desejam se desenvolver. Apoiado no trabalho de Tharsrud, seis características de um bom trabalho são apresentadas: certa variabilidade de tarefas e atividades, aprender enquanto trabalha, uma área mínima de decisão individual a qual pode ser chamada de “sua”, ser capaz de relatar o que faz e o que produz em seu contexto social, e sentir que o trabalho o direciona a um futuro desejado.
- Princípio do Incompleto – um projeto organizacional nunca está completo, pois evolui conforme o ambiente, conforme as mudanças em seus membros. Assim que o projeto organizacional é construído, a necessidade de reconstruí-lo se faz presente, demandando constante avaliação e revisão.

- Organização transitória – quando uma organização se coloca em mudança, seja de uma organização tradicional para uma nova, de um velho para um novo sistema de valores ou para uma nova filosofia de gestão, é preciso considerar as equipes e os seus processos com um veículo de transição. Esse período de transição requer planejamento e projeto. A transição organizacional é diferente e mais complexa do que a elaboração de um projeto de uma nova organização.

Tal escola, assim como postula Marx (1998), Salerno (1999), Davis (1971), Zarifian (1990), Trist (1981), Fleury (1980), entre outros, está associada especialmente à inserção dos grupos autônomos ou semiautônomos no ambiente industrial. No cerne da discussão, está a relação de mútua influência entre a tecnologia (os sistemas técnicos em geral) com o sistema social. Tal perspectiva, assim como apoiada por Davis (1971), o sistema sociotécnico estaria relacionado aos sistemas de tecnologia avançada, como a automação industrial e os sistemas de produção assistidos por computador. No entanto, contrariamente, Trist (1981) salienta que os grupos semiautônomos não se vinculam a uma tecnologia específica, mas estariam dependentes da cultura organizacional e do apoio dado pelos níveis gerenciais da organização. Ainda, para Salerno (1999), a abordagem sociotécnica é consistente com uma organização concebida para lidar com ambientes pouco previsíveis.

A questão de autonomia foi amplamente abordada por Marx (1998), em que formula sua análise de casos a partir das dimensões de autonomia, caracterizada por três grupos em um quadro referencial (Gestão de Produção, Gestão de RH e Gestão de Planejamento). Nesse sentido, para grupos semiautônomos, torna-se essencial a participação e envolvimento em aspectos organizacionais que extrapolam a produção em si. Para o autor, a necessidade de incremento da flexibilidade é principal fator competitivo à adoção do trabalho em grupo. Por mais que os grupos semiautônomos ofereçam potencialmente resposta adequada à demanda por flexibilidade, os grupos enriquecidos (ampliação horizontal e vertical da operação, polivalência) são muitas vezes adotados por oferecerem uma alternativa que convive facilmente com mudanças menos profundas na infraestrutura organizacional e nas relações de poder no interior da fábrica. Nos casos analisados, Marx (1998) conclui que a flexibilidade apresentou maior relevância para dar conta de mau funcionamento do sistema produtivo, para suportar erros de previsão e para dar conta da flexibilidade de mix, do que no lançamento de novos produtos. A participação em grupos (nos quais os trabalhadores são instados a cooperar com base em solicitações dos gerentes e demais chefias) parece ser uma das maneiras mais importantes pelas quais a comprometimento é buscado, conclui o autor.

2.2.4. Organizações Flexíveis

A discussão de flexibilidade e a integração organizacional ganham nova força com os programas Indústria 4.0 e *Smart Manufacturing*, como apontados nos objetivos de tais programas. No entanto, tal abordagem não é nova, assim como intensamente trabalhado por Zarifian (1990) e Salerno (1991, 1999), o que tange questões organizacionais.

Zarifian (1990) apresenta, a partir dos trabalhos realizados por Patrick Cohendet e Patrick Llerena no BETA – *Bureau d'Économie Théorique Appliquée* –, o paradigma dos princípios econômicos, com a mudança do paradigma da produção em massa, para novos paradigmas da produção flexível, surgido a partir do desaparecimento de um crescimento regular e estável da demanda à qual tem se tornado instável, diversificada e dotada de características múltiplas. Nesse cenário, a BETA estima que o critério central de produtividade passa a ser a rapidez de resposta da empresa a uma mudança do mercado, o encurtamento do “prazo de resposta”. Nesse sentido, os autores partem da “flexibilidade” como direcionamento alternativo aos métodos rígidos tayloristas de produção, apontando para dois tipos de flexibilidade:

- a) flexibilidade estática, requerida por situações em que se deve responder à maior variedade da demanda, contando-se com a possibilidade de antecipar essa variedade;
- b) flexibilidade dinâmica, requerida nas situações em que a demanda não pode ser antecipada.

Com isso, segundo Zarifian (1990), a produtividade passa a depender da capacidade de conjugar e inter-relacionar dois processos:

- a) um de aprendizagem permanente das variações do ambiente externo (demanda, concorrência);
- b) um de reaprendizagem permanente do ambiente interno da empresa (carga dos fluxos, rapidez de inovação etc.).

Zarifian (1990) propõe que a flexibilidade e o aumento da competência devem ser buscados simultaneamente pelas organizações, priorizando não só a reatividade (flexibilidade a curto prazo) às novas situações, mas também a evolutividade e a inovação (consideradas como aspectos da flexibilidade de médio e longo prazos). Ainda, o autor aponta para o fato de que é

preciso ir além na proposição de princípios pelos quais a autonomia pode ser introduzida como forma de descentralizar o controle da gestão e facilitar sua absorção e seu aprendizado pelos trabalhadores. Flexibilidade é há tempos motivo de discussões e debates, assim como Salerno (1991) apresenta:

Flexibilidade é, hoje em dia, um dos termos mais evocados nas discussões sobre a produção, no bojo da difusão de um padrão produtivo centrado principalmente em novos critérios de organização da produção e do trabalho, e na informática e automação de base microeletrônica, também conhecida por automação flexível.

O autor ressalta que flexibilidade e integração, no contexto industrial, são bastante inter-relacionadas. Com um incremento na integração dos sistemas produtivos, pode-se aumentar certas dimensões de sua flexibilidade. Nesse sentido, será apresentado aqui um entendimento mais focado nesses dois aspectos.

As necessidades por flexibilidade nos sistemas de produção industriais são apontados por Salerno (1991), como:

- a) o ambiente econômico, político, social e tecnológico no qual a empresa atua;
- b) a estratégia de negócios e a consequente definição produto-processo-mercado;
- c) as estratégias de produção, que são derivadas da estratégia de negócios e que ao mesmo tempo influem sobre ela ao possibilitarem novos negócios;
- d) a concepção e projeto dos sistemas de produção, ou melhor, as alternativas de concepção dos vários sistemas componentes de uma empresa industrial;
- e) a organização e gestão da produção e do trabalho;
- f) as formas que o trabalho assume concretamente na produção.

Na discussão do aparato técnico da flexibilidade, Salerno (1991) diferencia, a partir de Groover (1980), a mecanização como a substituição da força animal pela força da máquina, e a automação, em que o equipamento executa uma sequência de operações sem a intervenção direta do homem. No entanto, ainda descreve dois tipos de automação: a fixa e a flexível. Essa última é associada aos sistemas de interface de máquinas, computadores e informática.

- Automação fixa – Com base técnica predominantemente mecânica e eletromecânica, a mudança da sequência implica em alteração física no equipamento, demorada e de alto custo. Nessas condições, tal tipo de automação é usada para produção em alta escala de produtos padronizados (ou com variações muito pequenas), e as máquinas já são pensadas unicamente para aquela produção.

- Automação flexível – Lastreada principalmente na base técnica eletrônica e, mais recentemente, na microeletrônica, a sequência de operações pode ser mudada via programa de computador, que controla o movimento ou as funções do meio de trabalho (SALERNO, 1991).

Nesse sentido, os sistemas digitais assumem papel chave na gestão dos sistemas de produção, sendo que a necessidade de flexibilidade gera fluxos de informações dificilmente tratáveis, dado o seu volume. A representação do real, daquilo que realmente ocorre no sistema organização, em modelos informatizados gera uma série de limitações, hipóteses e restrições intrínsecas a cada modelo. Com isso, afirma Salerno (1991), o papel fundamental da mão de obra na operação industrial é a gestão da variabilidade e de imprevistos.

A construção do conceito de integração é realizada por Salerno (1991), destacando dois níveis específicos de integração: a vertical e a horizontal. Tais integrações não se relacionam exclusivamente à tecnologia, mas apoiam-se nela promovendo mútua relação com o sistema social.

- Integração vertical – Relativa aos níveis de decisão e fluxo de informação na empresa, compreendendo do planejamento global à execução da produção. Tais sistemas são fundamentais para viabilizar a coordenação da produção, como por exemplo o planejamento, a programação e o controle da produção (PCP). Salerno (1991) salienta, ainda, que, quanto maior a necessidade de rapidez no desenvolvimento das atividades, maior a necessidade de integração, particularmente dos fluxos de informação.
- Integração horizontal – Relativa às operações do processo de produção, incluindo as atividades de apoio. Nesse sentido, integrar as operações de uma fábrica significa a adoção de estratégias e ações minimamente comuns entre as partes.

A adequação do tipo de sistema ao tipo de processo de trabalho e de sua organização, consistência e sistematicidade na alimentação de dados e sistemas que efetivamente apoiem os usuários e não os sobrecarreguem ou lhes sejam indiferentes são apontados como condições básicas para integração real de sistemas informativos.

Em Salerno (1999) “Projeto de Organizações Integradas e Flexíveis”, num sistema de produção integrado, flexível e automatizado, a noção de evento (imprevistos, variabilidades etc.) tem maior poder explicativo, considerando:

- a) necessário o tratamento dos eventos como o critério central da organização, da divisão do trabalho, da substituição ao conceito clássico de operação, para dar conta dos aspectos de integração e flexibilidade dos processos produtivos;

- b) tratar a integração e coordenação dos sistemas de produção e a interação entre os seus diversos atores com vista a incentivar a intercompreensão mútua entre sujeitos, minimizando fluxos descendentes de ordens intermediados ou não por “metadecisores abstratos”;
- c) possibilitar espaços para a negociação de normas e regras derivadas das estratégias, que são normalmente abstratas para o trabalhador em seu cotidiano, tratando o conflito sob uma perspectiva negocial em vez de buscar critérios externo definidos de racionalidade da ação cotidiana e mesmo da ação de prazo mais longo da fábrica;
- d) considerar a aprendizagem como inerente à atividade cotidiana, e que esta não seja isolada e organizacionalmente das definições de gestão.

Para Salerno (1999), a intercompreensão mútua apresentada em Zarifian (1990) para o tratamento de eventos remete às questões de comunicação, como mecanismo alternativo à coordenação hierárquica.

- A “comunicação cognitiva da comunicação” ao reconhecimento e a validação mútua das competências necessárias para o tratamento de uma determinada situação produtiva, particularmente eventos. A questão central aqui é que tipo de profissional é preciso para atuar frente ao evento. Para além das questões técnicas envolvidas, a dimensão comportamental de como o trabalhador se engaja no curso dos eventos é de profunda importância.
- A dimensão “normativa da comunicação” refere-se ao alinhamento em termos do que cada envolvido considera ser o mais relevante do ponto de vista da lógica da eficiência e das questões estratégicas da produção naquele momento e em seus desdobramentos.
- Já a dimensão “expressiva da comunicação”, possui alta relação com a gestão democrática, na medida em que o trabalhador se engaja cotidianamente em mediações norteadas pelas estratégias competitivas da empresa.

Nesse sentido, os processos comunicacionais dão suporte à necessidade de uma certa uniformização da linguagem para o processo de intercompreensão, especialmente no que se refere a decisões. Para o autor, decisões deveriam ser entendidas como resultados das sínteses de múltiplas determinações, segundo as estratégias da empresa, a respectiva inserção de cada pessoa ou grupo e as relações hierárquicas.

Outro aspecto relevante destacado pelo autor refere-se à dinâmica organizacional:

Em uma empresa de vocação dinâmica, a dinâmica da organização deve prever a revisão e substituição de regras e normas; a cristalização das normas é o retrato da estática organizacional e gerencial (Salerno, 1999).

Nesse sentido, o autor diz que seria necessário pensar as organizações e as suas estruturas organizacionais não só em termos estáticos, de organogramas, níveis hierárquicos e amplitude de controle, mas também (e fundamentalmente) em termos de sua dinâmica, da dinâmica da organização das mutações e relativa volatilidade da estrutura.

Embora a questão de grupos esteja no centro da discussão de projetos alterativos, Salerno (1999) ressalta que o ponto mais importante é discutir os critérios e indicadores de desempenho, a forma de estabelecimento de metas e se o grupo tem instrumentos necessários para se responsabilizar efetivamente pela obtenção dessas metas. Com isso, a relação dos grupos com o projeto e a discussão dos indicadores de desempenho é um dos pontos mais cruciais para definir seu grau de autonomia.

2.3. Digitalização da Manufatura e a Organização do Trabalho

Uma primeira questão a ser abordada na relação organização do trabalho e adoção tecnológica digital na manufatura refere-se à maneira como os projetos de implementação tecnológicas são adotados e construídos frente aos objetivos e resultados esperados no ambiente produtivo. Nesse contexto, vale remontar, de maneira breve, a discussão em torno das questões em relação ao determinismo tecnológico. Historicamente, há uma tendência de a tecnologia ser tratada, de forma indireta, como uma força causal determinista e com impactos previsíveis. Exemplos dessa visão determinista na relação tecnologia e organização do trabalho são: (a) a tecnologia é a solução para as particularidades no que diz respeito à competitividade; (b) as organizações devem se adaptar para acomodar a tecnologia, após a instalação; (c) o tipo de tecnologia determina o melhor *design* organizacional; e (d) a tecnologia avançada tende a conduzir as mudanças organizacionais em uma direção democrática e ao controle administrativo reduzido (LIKERT et al., 1999). No entanto, assim como Adler (1976) já ressaltou, a tendência é de se despendar maior energia, tempo, conhecimento e recursos na dimensão técnica e menos na dimensão social de um sistema sociotécnico.

Por mais que esteja evidenciado que tecnologia e organização trabalho possuem mútua relação de influência, vale ressaltar, assim como afirma Salerno (1991), que embora não haja

uma relação direta de determinação tecnológica, a implementação tecnológica gera condicionamento no contexto organizacional, tão mais fortes quanto mais automatizadas forem:

muitas vezes, as opções organizacionais cristalizam-se em equipamentos; estes já sofreram uma determinação social anterior, mas para o particular processo de produção onde estão sendo instalados, esse condicionamento pode ser visto como “tecnológico”, ainda que, em termos mais amplos não o seja. Há inúmeros exemplos sobre como um equipamento condiciona a organização do trabalho e o próprio trabalho (SALERNO, 1991).

Com isso, a discussão com relação à adoção tecnológica digital na manufatura, seus objetivos e no ambiente produtivo estão relacionadas a outras variáveis também. Segundo Liker et al. (1999), os processos de seleção e de implementação tecnológica trazem variação nos resultados e efeitos no ambiente produtivo: os diferentes tipos de tecnologias, diferentes contextos sociais no qual a empresa está inserida, diferentes metodologias de selecionar e implementar tecnologias e diferentes perspectivas resultariam nos ganhos na adoção da tecnologia.

Segundo essa ótica, os aspectos do contexto organizacional influenciariam diferentes formas de abordar o processo de escolha e implementação tecnológica. Dessa forma, em uma perspectiva teórica sociotécnica, a noção de que a organização do trabalho e o desempenho de novos sistemas podem ser aprimorados e, de fato, só podem funcionar satisfatoriamente se o “social” e o “técnico” forem reunidos e tratados como aspectos interdependentes de um sistema de trabalho (CLEGG, 2000).

No contexto atual da discussão em torno da Indústria 4.0 e manufatura avançada, a abordagem sociotécnica ganha evidência. Os autores afirmam que:

é necessário adotar uma abordagem sociotécnica, na qual a organização do trabalho, as medidas de desenvolvimento profissional contínuo e as arquiteturas de tecnologia e *software* são desenvolvidas em estreita colaboração entre si para fornecer uma solução única e consistente (KAGERMANN et al., 2013).

Buhr (2017) defende que a indústria 4.0 deve ser, para além de uma inovação técnica, uma inovação social, concluindo que as empresas conectarão seus equipamentos, estoques, recursos, funcionários, fornecedores por uma grande rede sociotécnica. Para Dregger et al. (2016), nesse contexto tecnológico, a questão não é “tecnológica ou humana”, mas um projeto concentrado em um sistema sociotécnico total. Hirsch-Kreinsen (2014) argumenta que a relação recíproca entre tecnologia e os subsistemas sociais – modificando não apenas empregos, atividades e qualificações de pessoas, mas além disso – têm consequências para toda a estrutura

sócio-organizacional de um sistema de produção. Por sua vez, esse sistema sociotécnico está conectado a metas estratégicas e é um elemento no processo total de uma cadeia de criação de valor. Dessa forma, os sistemas podem ser configurados para impor um controle restritivo sobre cada detalhe minucioso do trabalho de uma pessoa, ou podem ser configurados como uma fonte aberta de informações que os funcionários usam como base para tomar suas próprias decisões (KAGERMANN et al., 2013).

Estariam, portanto, as indústrias, em seus projetos de adoção de tecnologias habilitadoras para a Indústria 4.0 e manufatura avançada, adotando uma perspectiva sociotécnica? A título de exemplificação, de lado extremo, uma visão mais clássica taylorista, cujo planejamento restringe-se ao domínio técnico do sistema, com decisões centralizadas no grupo de gestores e engenheiros especialistas, com baixo envolvimento de áreas e profissionais estritamente relacionados às questões técnicas do sistema (engenheiros, profissionais de TI etc.). De outro, uma visão centrada no sistema como um todo, alinhada a uma visão de reorganização e amplo envolvimento, no qual a tecnologia é um dos elementos, o que seria mais próxima à abordagem sociotécnica. Embora a realidade possa apresentar inúmeras configurações para o planejamento e a implementação tecnológica, tal questão é pertinente na medida a sinalizar os princípios organizacionais já existentes, assim como os desejados e como eles são aplicados através do projeto.

Em resumo, a discussão da relação entre implementação tecnológica e organização do trabalho não é recente, sendo que essa se configuraria de acordo com uma complexa interação entre o contexto organizacional, a natureza tecnológica e as escolhas realizadas no projeto organizacional. Fica evidente a tendência de adoção de uma perspectiva sociotécnica tanto para análise quanto em termos de recomendações para a indústria 4.0. No entanto, vale ressaltar que, embora haja uma perspectiva teórica na abordagem sociotécnica, o questionamento de como essa abordagem está sendo considerada e utilizada na confecção dos projetos de implementação de tecnologias digitais no ambiente de manufatura é de fundamental importância o seu estudo.

Olhando um pouco mais próximo do ambiente de manufatura, a implantação das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0, assim como apresentado no item 2.2, abre um novo horizonte na direção da digitalização por meio de sistemas digitais e de automação no ambiente produtivo. Sensores inteligentes suportados por redes *wireless* e conectados a tecnologias na nuvem podem ser utilizados na integração entre ferramentas dispersas e permitir um fluxo de dados contínuo. Com isso, os dados coletados no chão de fábrica, após serem tratados, forneceriam informações significativas para o controle da produção, planejamento produtivo e planejamento da manutenção (MOURTZIS; VLACHOU, 2018), além do controle de inventário

e matérias-primas (KUMAR et al., 2018). A integração dos sistemas produtivos através dos sistemas de dados e informações colocam as questões de decisão sobre planejamento produtivo, planejamento de manutenção e a automação dos sistemas produtivos num aspecto central da discussão. Enquanto o planejamento produtivo visa atingir as metas de produção, o planejamento de manutenção tem como objetivo permitir que as máquinas e equipamentos da fábrica estejam disponíveis e em condição de executar as tarefas necessárias quando necessário pela produção. Embora na prática tais objetivos apareçam muitas vezes separados, os dois processos de decisão são altamente interdependentes, pois compartilham um denominador comum: os ativos da fábrica, que são usados e consumidos pelas tarefas de produção e restaurados pelas atividades de manutenção (LUXHOJ et al., 1997). Por exemplo, um cronograma de produção pode ser afetado devido à indisponibilidade de máquinas. Da mesma forma, o plano de manutenção pode ter de ser atrasado devido ao cronograma apertado de produção. Além disso, as decisões de dimensionamento da produção e os compromissos de entrega afetam os níveis de estoque de matérias-primas e itens acabados.

As questões de integração dos sistemas de informação industrial estariam relacionadas à integração dos dados obtidos pelos sensores nas máquinas aos sistemas MES e ERP (NIKOLOPOULOS, 2013; MAHMOUD, 2016; ZARTE et al., 2016). Com as tecnologias digitais, os sistemas integrados estariam relacionados a objetivos de planejamento produtivo adaptáveis às variações nas condições da fábrica e na demanda (manutenção, cadeia de suprimentos e eventos no mercado/demanda) e à capacidade de fornecer dados mais precisos e em tempo real das condições e da disponibilidade de máquinas e equipamentos.

No que se refere aos objetivos e estratégias organizacionais, as questões de eficiência de um sistema de manufatura por meio da integração são as principais. Sistemas de manufatura integrados foram amplamente discutidos na literatura, especialmente no que se refere às experiências do CIM e FSM, e que fazem correlação direta às estratégias seguidas para a adoção de tecnologias digitais no contexto da Indústria 4.0 (CARUSO, 2017; ZHOU et al., 2015; MANUFACTURING USA, 2016; THOBEN et al., 2017, KAGERMANN et al., 2013; RAJKUMAR, 2010). Para as questões de ordem do negócio, os objetivos estariam atrelados, especialmente, mas não só, às questões de flexibilidade do sistema produtivo frente às variações crescentes de demanda (ZARIFFIAN, 1990), às necessidades de variabilidades de mix de produtos (MARX, 1998) e às questões de custos (RUSCHEL et al., 2017).

Nesse sentido, as variáveis organizacionais para a eficiência, segundo Dean e Snell (1991), estão relacionadas à integração do processo de manufatura, integração funcional e integração de objetivos. Tais questões de integração e adaptabilidade do sistema produtivo

estariam diretamente relacionadas à utilização de sistemas de informação com base na microeletrônica e na adoção de práticas de organização do trabalho (SALERNO, 1991). Como exemplo, para a integração da manufatura, estão as práticas introduzidas pela produção enxuta, eliminando os estoques entre os estágios de produção desnecessários, sistema de qualidade total na produção, células produtivas, produção em paralelo e sistema de *Total Productive Maintenance* (TPM). Ainda, impulsionada pelas práticas de qualidade total, a adoção da colaboração pela corresponsabilidade entre subunidades e práticas de coordenação por ajuste mútuo fortaleceram a integração funcional, impulsionando a quebra das barreiras entre os departamentos tradicionais.

Com isso – a relação entre os objetivos, estratégias e necessidades organizacionais com a implementação dos sistemas tecnológicos –, os projetos estariam mais vinculados a um processo de integração entre operação, manutenção e cadeia de suprimentos, assim como colocado por Nikolopoulos (2013), Mahmoud (2016) e Zarte et al. (2016). A integração de objetivos na manufatura – custo, qualidade e tempo de produção – estaria relacionada à busca por sinergia entre departamentos em vez de *trade-offs* entre objetivos concorrentes, como, por exemplo, entre operação e manutenção. Mesmo que os projetos de implantação tecnológica possam estar vinculados a um escopo mais específico como de manutenção, as questões de integração da manufatura, funcional e de objetivos estariam bastante presentes, reforçando a perspectiva apresentada por Ruschel et al. (2017) e Luxhoj et al. (1997) sobre a necessidade de planejamento produtivo, planejamento de manutenção e cadeia de suprimentos serem tratados de forma unificada e não separada. O papel da tecnologia da informação (TI) seria de facilitar o desenvolvimento desses processos de integração. De certo, colocar um projeto dessa natureza no contexto produtivo exige a integração funcional de profissionais relacionados a operação e manutenção, e de TI. Agora, como isto ocorre não apenas no planejamento do projeto e sua implementação mas na operação destes sistemas tecnológicos está no centro de investigação desta pesquisa. Com isso, com base nessa discussão dos objetivos, a integração funcional entre Operação, Manutenção e TI estaria ocorrendo? Tal processo de integração estaria restrito às questões produtivas, assim como colocado por Salerno (1991) como “integração horizontal”, ou abrangeriam outras questões como aspectos de gestão na integração vertical?

Nesse sentido, as questões de integração tecnológica estão relacionadas à integração funcional (LAWRENCE; LORSCH, 1967), conectando departamentos eletronicamente e provendo acesso a uma base de dados comum. No entanto, tal perspectiva tende a ser aplicável se o projeto tecnológico assim for projetado e implementado. Para isso, a conexão de sistemas, como a informação é disponibilizada e quem tem acesso a ela são questões importantes na

configuração tecnológica. Se os princípios de grupos (grupos semiautônomos, mecanismos de coordenação por ajuste mútuo, participação e descentralização) estiverem presentes, há uma tendência de os projetos se apoiarem neles para serem planejados e implementados. A adequação do tipo de sistema ao tipo de processo de trabalho e de sua organização, consistência e sistematicidade na alimentação de dados e sistemas que efetivamente apoiem os usuários e não os sobrecarreguem ou lhes sejam indiferentes são apontados como condições básicas para integração real de sistemas informativos, segundo Salerno (1991). Liker (1999) sinaliza, também, que testar um projeto-piloto em uma área específica e realizar uma avaliação da tecnologia em equipe multifuncional é fundamentalmente diferente de forçar a implementação de cima pra baixo, hierarquicamente. Assim como exposto acima, necessidades de flexibilidade e integração produtiva estariam intimamente relacionadas a agrupamentos multifuncionais, maior flexibilidade nas fronteiras departamentais e participação e envolvimento nos tratamentos das variâncias de processos e eventos. Reforçando isso, Kagermann et al. (2013) salientam que a implementação das tecnologias na Indústria 4.0 precisam ser trabalhadas como um sistema único, tecnológico e social. Estruturas menos hierárquicas, com crescente descentralização para o chão de fábrica e com aumento das competências individuais de resolução de problemas complexos e abstratos estariam no centro da agenda. O que levaria a ser pensado, como as áreas de suporte à gestão, especialmente aqueles vinculados à gestão de recursos humanos, estão sendo envolvidos e influenciando modificações e seus sistemas.

Nesse sentido, vale ressaltar os aspectos de aprendizagem organizacional associados ao projeto de implementação tecnológica dessa natureza: a capacidade dinâmica organizacional, ou seja, sua capacidade de adequar-se não apenas tecnologicamente, mas enquanto suas estruturas de funcionamentos, modelos de gestão etc. A aprendizagem organizacional estaria associada, assim como exposto por Salerno (1999) e Zarifian (1990), à criação de espaços para a negociação de normas e regras derivadas das estratégias. A integração, além de funcional, estaria na capacidade de comunicação e aprendizagem no estabelecimento de novas formas de funcionar organizacionalmente a partir da participação direta de diferentes atores; ou seja, considerar a aprendizagem como inerente à atividade cotidiana, e que esta não seja isolada e organizacionalmente das definições de gestão (SALERNO, 1999).

Em resumo, a relação da implementação tecnológica e a transformação da organizacional se dá na perspectiva de aumento da integração, por meio tanto da integração do sistema técnico, dados e automação quanto pelos aspectos sociais de gestão, em resposta a necessidades e estratégias da manufatura e do negócio:

- a) integração tecnológica;

- b) integração funcional;
- c) integração de fluxos de informação.

Olhando na perspectiva mais próxima ao chão de fábrica, um fator importante e abordado pelos autores (KAGERMANN et al., 2013) é o impacto do aumento da presença de tecnologias na manufatura sobre o quadro de funcionários. Os autores enfatizam a tendência crescente pelo contínuo declínio das atividades manuais mais simples e sua substituição por sistemas automatizados. Trabalhos de baixa qualificação e tarefas simples e repetitivas serão substituídas por sistemas automatizados inteligentes. Exemplos são tarefas simples de logística, operação de máquinas e coleta e entrada de dados. No entanto, atualmente é difícil estimar a extensão desses processos de substituição (HIRSCH-KREINSEN, 2017 *apud* KINDEL et al., 2008). No entanto, os autores sustentam a existência de uma “categoria residual” de trabalhadores qualificados em produção, com atividades e funções que não são automatizadas (ou que podem ser automatizadas apenas com custos excessivos), como tarefas de manutenção e preparação, alimentação de materiais ou produtos acabados ou certas habilidades de produção manual, todas as quais requerem conhecimento e experiência.

Frey e Osborne (2013) apontam para dados mais alarmantes, sustentado que cerca de 47% de todo o emprego nos Estados Unidos estará sob a ameaça de substituição por máquinas. No entanto, sugerem que nem o progresso tecnológico em geral nem a digitalização em particular substituirão amplamente o trabalho humano. Em vez disso, como em outras épocas, as formas desatualizadas de emprego serão substituídas por formas mais adequadas para o nível de desenvolvimento organizacional e tecnológico. Embora a reorganização do trabalho não possa ser completamente prevista, terá um impacto significativo nos fatores de produção, profissões e formas de emprego. Isso resultará em riscos para o mercado de trabalho, mas, ao mesmo tempo, proporcionará oportunidades e, potencialmente, no melhor dos casos, até compensar demais os empregos perdidos. Tal perspectiva também é seguida para análise realizada na Europa segundo Hirsch-Kreinsen (2016).

Ainda, evidencia-se que é crucial empregar organização do trabalho e modelos de *design* organizacional que combinem um alto grau de responsabilidade individual e autonomia com lideranças descentralizadas e abordagens de gerenciamento que permitam aos funcionários maior liberdade para tomar suas próprias decisões, estarem mais envolvidos e regulamentar sua própria carga de trabalho (KAGERMANN et al., 2013).

Fleury (1980), discutindo o modelo de contingência da organização do trabalho em indústria com maior ou menor grau de automação, sugere que quanto menor o grau de

automação, maior proximidade do trabalho artesanal será a característica do operador. Nos sistemas semiautomatizados, cabe aos operadores seguirem procedimentos preestabelecidos, demandando um processo maior de racionalização da tarefa. Em sistemas com maior grau de automação, a tarefa do operador se resume, na maior parte do tempo, a rotinas, monitoramento e controle das máquinas.

Com o cenário da Indústria 4.0, o aumento da automatização de processos e fluxos de informação, é suposto o aumento da demanda sobre o trabalhador na gestão de um ambiente mais complexo, abstrato e de solução de problemas. Com isso, há um enriquecimento das atividades profissionais. Isso é consequência de uma maior complexidade de processos e da descentralização dos fluxos de informação e das funções de tomada de decisão, controle e coordenação. Nesse sentido, os especialistas envolvidos serão cada vez mais desafiados a planejar e coordenar procedimentos de forma independente (HIRSCH-KREINSEN, 2014). A adoção de uma abordagem sociotécnica de organização do trabalho é o grande desafio da Indústria 4.0. Do contrário, adoção de uma versão ainda mais extrema da abordagem taylorista da organização do trabalho, com base na repetição frequente de tarefas altamente padronizadas e monótonas, dificilmente será a maneira mais promissora de implementar a iniciativa Industrie 4.0 (KAGERMANN et al., 2013).

Kagermann et al. (2013) compreendem que a inovação proposta pela indústria 4.0 deve incluir a organização inteligente do trabalho integrada às habilidades dos colaboradores, uma vez que os funcionários desempenharão um papel fundamental na implementação e assimilação das inovações tecnológicas. Segundos esses autores, é muito provável que a natureza do trabalho demandará dos trabalhadores maior gerenciamento de complexidade, abstração e resolução de problemas, exigindo iniciativa própria, habilidades de comunicação e capacidade de organizar seu próprio trabalho. Além disso, o fato de que as fábricas inteligentes serão configuradas como sistemas altamente complexos, dinâmicos e flexíveis significa que elas precisarão de funcionários capacitados para atuar como tomadores de decisão e controladores. Isso poderia resultar em trabalhadores que experimentassem uma perda de controle e uma sensação de alienação de seu trabalho como resultado da desmaterialização progressiva e da virtualização dos processos de negócios e de trabalho. No que se refere ao perfil, treinamento e capacitação profissional, os autores argumentam que será necessário um perfil orientado pelo cliente, com treinamentos abrangentes e contínuos capazes de promover aprendizagem sistemática e contínua. Com isso, é salientada a importância de a organização do trabalho promover a aprendizagem dos profissionais, especialmente por uma rede de boas práticas e por técnicas de aprendizagem digitais.

As alterações das tarefas de operação e das rotinas de trabalho são questões relevantes nesse contexto. De que maneira os sistemas tecnológicos alteram as tarefas da operação? Que rotinas são alteradas ou introduzidas na operação industrial? Para Dean e Snell (1991), a integração industrial e a implementação tecnológica tenderiam ao aumento da complexidade no nível da tarefa, especialmente nas atividades de soluções de problemas, o que exigiria maior interface de conhecimentos e resultaria em uma interdependência maior entre funções e especialidades. Exigiria, também, a operação de uma maior variedade de tarefas, o que estaria diretamente relacionado ao enriquecimento de cargos e ao aumento da cooperação entre especialidades. Especificamente, a cooperação tenderia a ser maior entre áreas relacionadas a operação, manutenção e tecnologia da informação.

Com isso, também, as questões de autonomia estariam vinculadas ao papel dos operadores e dos grupos no chão de fábrica. O envolvimento do conhecimento prático aplicado à operação de máquinas e do saber cotidiano da operação estariam considerados no projeto de implementação tecnológica? De que maneira esse envolvimento está ocorrendo? Em que medida a influência dos operadores ocorre na configuração do projeto tecnológico? Com a implementação tecnológica, como a distribuição de informação é pensada e realizada? Estaria ela destinada a fortalecer a transferência do maior número de tarefas e responsabilidades para os trabalhadores no chão de fábrica, apoiadas por sistemas de informação, ou se vinculariam a centralização da análise de informação e prescrição da ação a ser tomada, mais vinculadas aos princípios clássicos de gestão? Se as considerações quanto organizações flexíveis e integradas bem como sobre as suposições para a organização do trabalho na Indústria 4.0 forem consideradas, o amplo envolvimento e distribuição da informação estariam no centro da agenda nas indústrias.

A crescente aplicação de tecnologias digitais na indústria diz respeito não só às atividades no chão de fábrica, mas também às áreas indiretas, desde o planejamento e sistemas de controle ao desenvolvimento de produtos, e às demandas de liderança e gerenciamento também mudarão significativamente. Há uma necessidade crescente de as pessoas entenderem o contexto geral e entenderem as interações entre todos os atores envolvidos no processo de fabricação. Consequentemente, além do aumento da demanda por habilidades metacognitivas, as habilidades sociais também estão ganhando importância devido ao crescente significado das interações da vida real e baseadas em computador, resultantes da maior integração de departamentos e disciplinas anteriormente rigidamente demarcados. Em termos técnicos, uma ênfase muito maior será dada às habilidades interdisciplinares, uma área em que ainda resta muito trabalho a ser feito (DREGGER et al., 2016).

Segundo os autores (KAGERMANN et al., 2013), as “fábricas inteligentes” tenderiam a oferecer a oportunidade de criar um ambiente de trabalho voltada para os interesses dos trabalhadores. No entanto, ressaltam que, para isso, é crucial que a organização do trabalho combine auto grau de responsabilidade individual e autonomia do trabalhador, abordagens de liderança descentralizada com uma gestão que dê liberdade para os trabalhadores tomarem suas próprias descrições, envolver-se mais e regular sua própria carga de trabalho, enquanto, ao mesmo tempo, também permite arranjos de trabalho flexíveis.

Em uma perspectiva diferente, com a simplificação das tarefas humanas na operação industrial, efeito da automatização de processos com base nas novas tecnologias, a consequência é a demanda por mão de obra pouco qualificada, a baixo custo e sem longos períodos de aprendizado no trabalho. A liberdade de ação, a amplitude de atuação desse grupo de funcionários é naturalmente muito pequena, tendo em vista as características estritamente definidas do sistema. Em contrapartida, um grupo de profissionais altamente qualificados, capazes de programar, de prescrever um trabalho disciplinado sem erros e, ao mesmo tempo demonstrar uma boa compreensão de todo o processo (HIRSCH-KREINSEN, 2014 *apud* WINDELBAND et al., 2011).

Por fim, Hirsch-Kreisen (2014) salienta que a organização do trabalho para uma indústria 4.0 pode assumir diferentes formas, estando situada em meio a um *continuum* de dois polos: de um lado, as organizações polarizadas; de outro, as “organizações enxame” (*swarm organizations*). A organização polarizada assume as tendências de diferenciação interna em termos de tarefas, qualificações e ocupações de pessoal, com o surgimento de um grupo de especialistas e técnicos altamente qualificados, capazes de lidar com problemas das novas tecnologias. E, no outro extremo do espectro, as “organizações enxame”, composta por uma rede de funcionários muito bem qualificados e igualmente ativos. Já não compreende atividades simples e pouco qualificadas, porque foram amplamente substituídas pela automação. Não há tarefas definidas para funcionários individuais. Em vez disso, o coletivo de trabalho age de maneira auto-organizada e altamente flexível, determinada pela situação em questão. A organização *swarm* é um *design* que se baseia no uso explícito de processos de comunicação informais e de cooperação. De todo modo, Buhr (2016) enfatiza que, em ambos os extremos, as questões de tomada de decisão humana voltam ao centro da discussão, salientando que os funcionários devem estar envolvidos no desenho e redesenho da organização do trabalho para a indústria 4.0.

3. METODOLOGIA

Em geral, a pesquisa organizacional é concebida como caso particular da pesquisa social empírica e é moldada em função de exigências próprias às finalidades e ao funcionamento das organizações (THIOLLENT, 1992). Ou seja, de um lado, coloca-se a pesquisa e, em outro, o pesquisador que busca inserir-se dentro do seu contexto de estudo. Referindo-se aos estudos de casos, no exercício de construção de teoria, Eisenhardt (1989) salienta que a pesquisa é um processo vivo, promovendo intrinsecamente a tensão entre a divergência em novas formas de compreender os dados e a convergência em uma única estrutura teórica. Além do caráter vivo da pesquisa, vale ressaltar que o estudo do fenômeno “organização do trabalho” possui em si o caráter dinâmico, pois está a transformar-se constantemente, não estático, e seu caráter complexo, estando inserido em um ambiente no qual é influenciado e exerce influência em múltiplas variáveis: contexto social, história, cultura, sistemas embarcados etc. A compreensão dos dados, por um lado, está vinculada ao método, mas, por outro, vinculada ao papel do pesquisador diante do fenômeno estudado.

Ainda, o papel do pesquisador influencia não só na análise dos dados, mas na própria estruturação da pesquisa, pois o processo envolve a convergência de definições de construção, medidas e quadro analítico para estruturar as descobertas Eisenhardt (1989). As tentativas da influência do pesquisador foram amplamente discutidas em “as regras do método sociológico”, tendo a sua primeira edição publicada em 1895 (DURKHEIM, 1975). É sustentado que o fenômeno social deveria ser estudado como um “objeto”, devendo o sociólogo se esforçar por considerar o “fato social”, naquele aspecto que se apresentam, isolado de suas manifestações individuais. Dessa forma, oferece a melhor possibilidade de apreensão à investigação científica.

Em contraponto a tal perspectiva, Geertz (1973) defende uma abordagem científica, no âmbito da antropologia cultural, na qual o pesquisador está intimamente inserido no processo da pesquisa, sendo seus recursos analíticos fonte de informação para a pesquisa: “*Começamos com as nossas próprias interpretações do que pretendem nossos informantes, ou o que achamos que eles pretendem, e depois passamos a sistematizá-las*” (GEERTZ, 1973).

De todo modo, para este trabalho, o desafio está, assim como colocado por Geertz (1973), “*as questões que tornam difícil o desenvolvimento teórico no contexto social é a necessidade de a teoria conservar-se mais próximo do terreno do que uma abordagem imaginativa*”. Tal sentido é entendido no contexto da organização do trabalho como a investigação do trabalho real, em contraponto ao trabalho prescrito. Além de possuir sua relevância metodológica, apreendendo o que “de fato ocorre”, a maneira como é “feito” na

organização, assume papel central na análise da organização do trabalho, pois, assim como foi discutido em Salerno (1991), *“este trabalho prescrito nunca corresponde exatamente ao trabalho real”*.

Foi utilizado o estudo de casos múltiplos como método de exploração. Devido à natureza exploratória da pesquisa, assim como a escassez de casos de adoção das tecnologias analisadas no Brasil, este método sustenta a visualização detalhada do fenômeno e de suas implicações, dentro do contexto das empresas estudadas (VOSS; TSIKRIKTSIS; FROHLICH, 2002). De maneira mais específica, sem perder de vista esses aspectos metodológicos expostos acima, foi adotado o modelo de estudos de casos apresentado em Eisenhardt (1989), com as seguintes etapas:

- a) definição das questões de pesquisa e construtos que possam ser definidos a priori;
- b) especificação do escopo da pesquisa e seleção de casos baseada em adequação, e não aleatória;
- c) criação de instrumento de pesquisa para orientar o trabalho de campo;
- d) coleta de dados e análise: mecanismos de coleta de dados flexíveis que aproveitem as oportunidades encontradas;
- e) análise dos dados de cada caso e busca de padrões entre casos;
- f) organização das evidências de cada construto, replicação da lógica entre casos e busca por evidências do porquê de cada relação;
- g) cruzamento de dados com a literatura que conflitem ou confirmem os resultados observados;
- h) saturação teórica sempre que possível.

Como exposto anteriormente, a pesquisa tem como foco o estudo da organização do trabalho na operação e manutenção industrial em projetos de implementação de tecnologias habilitadoras no contexto da indústria 4.0 e Manufatura Avançada. Desta forma, retomando a discussão da literatura exposta no capítulo anterior, a pesquisa buscou responder as seguintes perguntas:

- a) As indústrias, em seus projetos de adoção de tecnologias habilitadoras para a Indústria 4.0 e manufatura avançada, estão adotando uma perspectiva sociotécnica para a organização do trabalho? Com isso, quais são as transformações relevantes da organização do trabalho com a implementação tecnológica.

- b) Quais práticas de organização do trabalho estão sendo adotadas para a integração funcional entre Operação, Manutenção e TI? As fronteiras departamentais estão mais permeáveis? Há maior participação direta de diferentes atores na operação da fábrica?
- c) Na medida em que as tarefas simples e repetitivas são substituídas por sistemas automatizados, há o aumento da responsabilidade e liberdade para a tomada de decisão pelos diferentes funcionários envolvidos na produção? Isso estaria relacionado ao aumento da complexidade de suas atividades e à participação direta em decisões de gestão.

Com o intuito de responder estas perguntas, o escopo da pesquisa delimitou o estudo da organização do trabalho, inseridos em seu respectivo contexto organizacional, estratégico e social, em projetos de implementação das tecnologias habilitadoras, conforme exposto na figura a seguir:

Figura 2 – Escopo de pesquisa

Quanto à seleção dos casos, dois critérios foram utilizados:

- a) Indústrias com produção descontínua ou discreta. Ou seja, a produção de unidades de produtos, diferentemente de produção contínua. Tal critério foi identificado como importante pois tais características industriais apresentam maior potencial de discussão com a literatura de organização do trabalho apresentada, pois carregam em si características de receber maior influência nos aspectos de como o trabalho é organizado. Tais indústrias estariam presentes, por exemplo, no setor automobilístico, especialmente em sua cadeia produtiva.
- b) Projetos de adoção de tecnologias habilitadoras para a indústria 4.0 e manufatura avançada, assim como exposto no item 2.1.2.

Embora os critérios de seleção de casos estejam vinculados aos sistemas técnicos e de natureza da manufatura, o objeto de pesquisa é a análise da organização do trabalho e de como ela se relaciona à transformação tecnológica. Para isso, será utilizada definição de organização do trabalho, assim como colocada em Mintzberg (1993):

uma organização pode ser definida como a soma total das maneiras pelas quais o trabalho é dividido em tarefas distintas e, depois, como a coordenação é realizada entre essas tarefas.

Como instrumento de pesquisa, foi elaborado um protocolo de pesquisa com perguntas abertas (anexo I). Esse protocolo foi elaborado a partir de parâmetros descritivos da organização do trabalho, sendo que estes foram construídos a partir de Mintzberg (1993), Marx (1998), e Salerno (1999). A tabela abaixo resume os parâmetros de observação da organização do trabalho utilizados na obtenção dos dados, bem como para apresentação e discussão dos casos estudados. Esses parâmetros tiveram papel metodológico e descritivo à medida que sustentaram as entrevistas realizadas, garantindo padronização das perguntas das entrevistas nos diferentes casos, na descrição dos casos e na constatação das transformações da organização do trabalho ocorridas no período da implementação dos projetos estudados.

Tabela 1 – Parâmetros descritivos da organização do trabalho

ASPECTO	PARÂMETRO	CONCEITOS ASSOCIADOS
Superestrutura	Agrupamento	<ul style="list-style-type: none"> • Unidades produtivas; • Divisões e departamentos; • Processo produtivo; • Organograma.
	Coordenação	<ul style="list-style-type: none"> • Coordenação do trabalho e das interfaces: supervisão direta, ajustamento mútuo, padronização do conteúdo do trabalho, padronização de resultados, padronização das habilidades.
	Sistema de tomada de decisões	<ul style="list-style-type: none"> • Distribuição da decisão na estrutura organizacional: Descentralização vertical e Descentralização horizontal; • Autonomia: Gestão da produção, Gestão de RH e Gestão de Planejamento.
Posições	Tarefa	<ul style="list-style-type: none"> • Especialização do Trabalho; • Divisão do Trabalho; • Enriquecimento do Cargo.

	Formalização do comportamento	<ul style="list-style-type: none"> • Padronização do conteúdo, dos fluxos, e das regras e normas do trabalho.
	Treinamento e doutrinação	<ul style="list-style-type: none"> • Padronização das qualificações dos valores relativos à atividade.
Vínculos Laterais	Sistemas de planejamento e controle	<ul style="list-style-type: none"> • Controle de Desempenho; • Planejamento das ações; • Padronização das saídas (bens e serviços); • Processos: Sistemas de regulação de fluxos;
Dinâmica da organização e do trabalho	Tratamento de eventos	<ul style="list-style-type: none"> • Instrumentos de tratamento de eventos; • Aprendizagem organizacional.

Além das entrevistas, foram utilizadas fontes de dados secundários, como: documentos internos, organogramas, desenhos de processos etc. A observação participante de rotinas de trabalho, participação em reuniões e acompanhamento da operação foi de grande valia na observação do funcionamento organizacional. Em resumo, os dados coletados estão na tabela a seguir:

Tabela 2 – Coleta de dados

Caso	Dados
Indústria de Embalagens Plásticas	<ul style="list-style-type: none"> • Entrevista presencial com Diretor Executivo, Recursos Humanos, dois Operadores, Encarregado de Manutenção e Assistente de Produção (1h cada); • Relatórios de paradas de máquinas; • Observação da operação (3h).
Célula de Produção Automatizada	<ul style="list-style-type: none"> • Entrevista presencial com Diretor Industrial, Gerente de Manufatura, Coordenador de Produção, Líder de Célula, Planejador de Produção, Operador, Coordenador de Manutenção, Analista de Tecnologia da informação e Recursos Humanos (1h cada); • Visita à operação (2h).
Automação da Inspeção e Ajuste na Célula de Usinagem	<ul style="list-style-type: none"> • Entrevista presencial com Diretor de Gestão de Produtos, Gestão de Projetos e de Engenharia de Manufatura e com um Engenheiro de Automação; • Visita à operação (2h); • Reunião com equipe de engenharia de automação.

Visando manter a confidencialidade, a apresentação dos casos a seguir será realizada sem a exposição dos nomes das empresas e entrevistados ou mesmo das demais instituições que porventura fizeram parte do caso estudado. Essas informações serão omitidas mesmo porque

não possuem relevância para a análise. Todas as entrevistas e coletas de dados foram realizadas mediante aceite dos envolvidos, com informações claras sobre sua utilização.

Para a análise dos casos estudados, foi adotado o seguinte quadro analítico para uma compreensão das variáveis que influenciam a organização do trabalho. Dessa forma, buscou-se evidenciar a correlação das variáveis e as transformações na organização do trabalho observadas.

Figura 3 – Quadro analítico da organização do trabalho

Fonte: adaptado de Fleury (2004).

4. ESTUDO DE CASOS

4.1. Indústria de Embalagens Plásticas

4.1.1. Contexto histórico

Fundada em 1995 e instalada no interior do estado de São Paulo, a Indústria de Embalagens Plásticas tem seu foco produtivo em filmes e sacos plásticos de Polipropileno e Polietileno. Empresa familiar, hoje gerida pelos filhos do fundador, dois irmãos. Dois processos centrais constituem a produção: a impressão, que configura a impressão customizada das embalagens de acordo com as especificações do cliente; e corte e solda, para cortar as bobinas de filme já impressas, e a solda para a confecção das embalagens, além de furos de afixação. Vinte e cinco colaboradores compõem o quadro de funcionários, sendo nove na área administrativa e comercial e dezessete na parte produtiva, impressão e corte, e solda.

Segundo o seu sócio diretor, fatores como preço da matéria-prima, regulado pelo mercado internacional em dólar e indústria do petróleo, mercado interno sob demanda crescente e acesso a crédito público de baixo custo foram importantes para a trajetória da empresa até meados de 2008. Nesse período, a empresa adquiriu novas máquinas, aumentando e modernizando sua capacidade produtiva, além de investir na melhoria de fluxo de caixa. Com o aumento do dólar, a partir de 2008, na perspectiva de iniciar a exportação de seus produtos, os sócios veem a necessidade de melhoria da gestão da produção e inovação. Com isso, com auxílio de instituições de fomento à indústria, a Indústria de Embalagens Plásticas começou programas de melhoria na gestão da produção e inovação na perspectiva de atender o mercado internacional. Nesse contexto, a empresa passou a participar de um projeto-piloto de introdução de dispositivos da Indústria 4.0 em pequenas e médias empresas em meados de 2016. Esse projeto tinha o objetivo de aproximar pequenas indústrias dos princípios da Indústria 4.0, aliando soluções tradicionais da gestão de produção à cultura digital. Na Indústria de Embalagens Plásticas, apenas a parte de corte e solda do processo produtivo foi contemplada neste projeto. Segundo o sócio diretor, a importância dessas iniciativas foi de ter colaborado com a promoção de uma “cultura de inovação”, envolvendo os colaboradores em iniciativas dessa natureza. Segundo ele, os dispositivos da I4.0 são parte desse processo organizacional maior de melhoria e inovação organizacional.

O principal objetivo estratégico destas iniciativas foi o aumento de eficiência. Segundo relatado pelo Diretor Executivo, o engajamento dos colaboradores na melhoria dos processos

produtivos e a utilização do dispositivo de IoT foram fatores essenciais para este objetivo central. Neste caso, eficiência produtiva é caracterizada, especificamente, pelo aumento da disponibilidade de máquina para produção e redução de perdas por falhas no processo produtivo. Para isso, um principal foco das melhorias passou a ser o alto índice de parada de máquinas. Tal aspecto tornou-se mais relevante na medida em que o foco de negócio da indústria é a venda e a produção de pequenos lotes de embalagens personalizadas, o que demanda da produção processos de *setup* de máquina mais frequentes do que na produção de lotes maiores ou produção em larga escala. E, além das paradas de máquinas para o processo de *setup*, o monitoramento de paradas para manutenção era falho ou inexistente. Com isso, foram implantados dispositivos de Internet das Coisas (IoT) para o monitoramento das máquinas, armazenamento desses dados em nuvens (servidor externo), análise dos dados e disponibilização das informações por meio de sistema de interface homem-máquina. Ou seja, o aspecto da gestão da produção passou a ser foco de trabalho e projetos para o aumento da eficiência produtiva a partir da evidenciação de dados e informações sobre paradas de máquinas.

4.1.2. Tecnologia implementada

Para a coleta de dados de monitoramento das máquinas, foram implementados quatro sensores: sistema RFID de leitura de cartões para categorização de paradas de máquinas, sensor de temperatura da faca de corte e solda, sensor para medição de tempo de troca de bobina plástica e sensor de batidas de corte da faca. Os dados coletados e transmitidos por meio de uma rede de internet *Wi-Fi* instalado na produção e transmitido para um servidor externo na nuvem. Os dados são tratados por meio de um *software* desenvolvido especificamente para essa finalidade e retransmitido à produção, sendo apresentado por uma tela (*dash board*).

Figura 4 – Sensor RFID e cartão

Figura 5 – Sensor de presença de bobina

Figura 6 – Sensor de batida de corte

Figura 7 – Sensor de temperatura

No caso do leitor de RFID, como o objetivo era classificar os tipos de parada de máquina e assim ter dados específicos, foram implementados nove cartões, cada qual representando uma categoria de parada:

- a) início e término de *setup*;
- b) início e término de produção;
- c) ajustes da máquina: ajuste de furo, sanfona, temperatura, caída, fotocélula, fita, bobina, barra, solda etc.;
- d) trocas de insumos da máquina;
- e) manutenção Corretiva;
- f) parada programada;
- g) início e término de expediente;
- h) duas pistas;
- i) outros.

Na existência de algum tipo de parada, o operador é responsável por passar o cartão de acordo com o motivo da parada no leitor, sinalizando, assim, a categoria de parada de máquina. O primeiro relatório das paradas apontou um acúmulo de 30% de tempo de máquina parada no mês. No caso do sensor de presença de bobina, ao se retirar uma bobina para sua

substituição por término do rolo a ser cortado e soldado, a mediação do tempo de permanência sem a bobina é medido. O sensor de batida da faca de corte produz a informação da quantidade de embalagens produzidas, e o sensor de temperatura auxilia na regulação da temperatura da faca de corte de acordo com as condições ambientais e da especificação do produto a ser produzido. A função exercida pelos dispositivos de IoT implementados está relacionada à disponibilidade de informações rápidas sobre o funcionamento produtivo. Com isso, permitindo a tomada de decisão por modificações em processos e procedimentos com base neles. Nesse sentido, a forma como a organização do trabalho passou a utilizar tais informações será fruto da apresentação a seguir.

4.1.3. Transformações na organização do trabalho

A Indústria de Embalagens Plásticas está estruturada em duas unidades produtivas e uma administrativa. As unidades produtivas estão agrupadas por tipo de processo e produto, embora o fator de decisão para essa configuração seja a falta de recursos para colocar ambos processos na mesma unidade. Uma é responsável pela impressão nas bobinas plásticas e outra, pelo corte e solda das embalagens, transformando as bombinhas impressas em embalagens, conforme especificações do pedido. A área administrativa está agrupada por função: financeiro, comercial, compras e recursos humanos. As unidades produtivas ficam geograficamente separadas, em prédios distintos. A separação em unidades do processo produtivo é relatada como fator dificultador na coordenação do balanceamento produtivo e na cooperação entre os processos. É sinalizada a necessidade da junção das unidades de negócio com intuito de minimizar os impactos na coordenação da produção, eliminando a necessidade logística de materiais entre unidades e aumento da colaboração no chão de fábrica entre os processos produtivos.

Como os dispositivos de IoT foram implementados na unidade de corte e solda, a descrição da organização do trabalho se fixará a este processo. O processo de produção de corte e solda era composto pelas etapas:

- a) recebimento das bombinhas impressas;
- b) *setup* de máquina: preparação da bobina de filme plástico na máquina, ajustes de corte e solda (temperatura da faca, ajustes de rolamentos etc.) e ajustes de furo;
- c) operação da máquina;
- d) inspeção de qualidade;
- e) embalagem;

f) expedição.

O processo de corte e solda é realizado em apenas uma máquina, com um operador por máquina, sendo que a unidade possui seis máquinas em produção paralela. Com a análise dos dados disponibilizados pelos relatórios obtidos por meio da captura de dados das máquinas, foram identificados problemas repetitivos impactando diretamente no tempo de máquina parada. Por exemplo, foi contabilizado o tempo de parada por *setup* de máquina, constatando um tempo médio de vinte minutos para cada *setup*. Com base nessa análise, foram tomadas algumas iniciativas de melhoria desse processo. Neste caso, em específico, foi introduzida uma etapa no processo de separação de *kit* de *setup* para a produção de um novo pedido, antes de o anterior terminar. Reduzindo, com isso, o tempo de máquina parada. Mais à frente, a mudança desse processo será relatada com maiores detalhes.

Outro procedimento introduzido foi o de planejamento de manutenção, de estoque mínimo de peças e ferramentas sobressalentes. Os dados obtidos pelos dispositivos de IoT evidenciaram alto grau de paradas de máquinas por manutenção corretiva. Com isso, um procedimento de plano de manutenção preventiva das máquinas foi estabelecido e um processo de estoque mínimo para reparos das máquinas sem ter que aguardar todo o processo de comprar e transporte das peças foi implementado. Além disso, disponibilizar um *kit* de ferramentas por máquina teve impacto na redução do tempo de *setup*. Após a implementação e melhoria nesses procedimentos, constatou-se uma redução de tempo dispendido entre cinco a dez minutos para cada *setup*.

Embora não tenha sido relatada nenhuma correlação com a implementação do dispositivo de IoT, foi criada uma planilha compartilhada, com acesso disponibilizado a cada área da empresa, com a finalidade de comportar as informações entre departamentos. Essa planilha foi implementada um pouco antes do projeto de IoT, parte do movimento descrito nas entrevistas como o envolvimento dos colaboradores na cultura de inovação e melhoria contínua. A iniciativa surgiu de dois colaboradores, Recursos Humanos e Compras, e o seu desenvolvimento foi realizado internamente. É relatado como um marco simbólico nas entrevistas como parte da apropriação do envolvimento nessa cultura pelos colaboradores. Fator importante na melhoria da coordenação entre as unidades e áreas. Essa planilha passou a funcionar como um ERP, integrando informações da produção, compras, comercial, administrativo etc. Após oito meses em uso, essa planilha foi substituída por um sistema de ERP fornecido pelo mercado.

Os mecanismos de coordenação ocorrem pela supervisão direta entre o Diretor Executivo para com o Preparador de Máquina, Encarregado e Assistente de Produção, e estes

para com os Operadores. Não foi apresentado formalmente um gestor de produção, sendo essa uma mudança decorrida. Entre o Preparador de Máquina, o Encarregado e o Assistente de Produção, a coordenação é realizada por ajuste mútuo.

O sistema de tomada de decisão era, em sua maioria, centralizado no sócio diretor. Aspectos da gestão da produção, especialmente o planejamento de produção, é realizado pelo Assistente de Produção. Questões relacionadas ao aumento de eficiência produtiva são discutidas em reuniões de comitê e diretamente com o Diretor Executivo. Nessa reunião de comitê são apresentados os indicadores de parada de máquina e é discutido planos de ação para diminuição das paradas. Por exemplo, como já descrito, a alteração do processo de *setup*, planos de manutenção etc.

Com relação à posição de Operador, parte da parada de máquinas estava relacionada ao tempo dispendido aos ajustes da máquina no processo de *setup* e ao longo da produção de um lote, como: limpeza da barra, ajuste de fotocélula, ajuste no alinhador, emenda de bobina etc. A responsabilidade pelos ajustes era do encarregado de produção ou do preparador de máquina. Resultado disso, muitas vezes, quando necessário algum ajuste, ambos estavam em outras atividades de manutenção ou de ajustes em outras máquinas, e a produção ficava parada, aguardando a liberação desses colaboradores. Com esse problema evidenciado, foram definidos procedimentos para a realização desses ajustes, e os operadores foram treinados nesses procedimentos, ampliando suas atividades na operação. Nesse sentido, a padronização do conteúdo do trabalho por meio de novos procedimentos para o tratamento de eventos de ajustes de máquina foi implementada.

Para o nível da tarefa, com a implementação do dispositivo de IoT, foram relatadas as seguintes mudanças: os operadores passaram a utilizar os cartões, automatizando o controle de paradas de máquinas, que antes era realizado por meio de uma ficha de acompanhamento diário. Além disso, com as iniciativas de enriquecimento da função, os operadores começaram a

realizar os ajustes de máquinas tanto no processo de *setup* quanto durante a operação. Foi relatado que os operadores não se viam como operadores, mas como “catadores de saco”, atividade de recolhimento das embalagens coladas e soldadas a serem encaminhadas para o fechamento e expedição. Com a ampliação das atividades de ajuste de máquina, essa percepção dos operadores modificou, passando a se auto reconhecer como operadores.

A função do preparador de máquinas está relacionada diretamente ao processo de *setup*. Com a implantação da tecnologia, ficou evidenciada a necessidade de redução do tempo de máquina referente a este processo. Anteriormente à implantação, o processo de *setup* era iniciado quando a produção do lote se encerrava, o que demandava o início da separação do novo *kit* de facas de furo, ferramentas para troca e retirada de bobina no almoxarifado, ajustes de material etc. Como medida de redução de tempo, foi implementado o processo paralelo à produção de Preparação do *Setup*. Ou seja, quando sinalizada a proximidade do término de produção do lote, o preparador passou separar o *kit* de *setup* do novo lote, antecipando ao término da produção. Com isso, houve a redução de tempo de *setup* de até 50%.

Lote em Produção	Término da Produção	<i>Setup</i>	Início da Produção
------------------	---------------------	--------------	--------------------

Figura 8 – Processo produção e *setup* anterior

Lote em Produção	Término da Produção	Setup	Início da Produção
Preparação do Setup			

Figura 9 – Processo de produção e *setup* alterado

Fator que favoreceu para que o preparador de máquina dispusesse de tempo para a etapa de preparação do *setup* foi a inclusão de atividades de ajustes de máquinas na função dos operadores.

A função de encarregado foi alterada com base nas necessidades apresentadas pela análise dos dados de parada de máquinas. Um foco de trabalho foi estabelecido em torno das paradas de máquinas provenientes de manutenção corretiva. Antes, a manutenção das máquinas era totalmente realizada por um terceiro. Iniciou-se o trabalho de especialização da função na manutenção, o que levou à demissão do encarregado e à sua substituição por um novo colaborador com o perfil e as competências de manutenção necessárias. Introduziu-se o foco

nas manutenções preventivas com a confecção de planos de manutenção, manutenções de *overhaul*, e o processo de estoque mínimo de peças e ferramentas sobressalentes para a necessidades de manutenção não programada. Para isso, mecanismos de coordenação entre a operação e a área de compras foram estabelecidos por meio de ordens de compras antecipadas de acordo com a delimitação de estoque mínimo de peças sobressalentes.

O Assistente de Produção na Indústria de Embalagens Plásticas tem como função a programação da produção, alocando os pedidos a serem produzidos nas máquinas, inspecionando a qualidade do produto e emitindo relatórios para fornecedores e área comercial. Além disso, é responsável pelos fechamentos de produção, emitindo relatórios dos indicadores de produção, diário, semanal e mensal. A Assistente de Produção passou a incluir em sua função o acompanhamento de dados e informações obtidas de forma automatizada tanto da produção quanto de paradas de máquinas. Antes da implementação dos dispositivos de IoT, o controle de paradas era realizado por meio de uma planilha preenchida por cada operador, e o assistente de produção compilava esses dados em um relatório quinzenal e mensal. Com a implementação do controle de parada, foi disponibilizado um computador na área produtiva, e a Assistente passou a estar fisicamente na produção durante toda a sua jornada de trabalho. A introdução de um computador na área produtiva foi outro marco simbólico, sendo relatada por todos os entrevistados como uma ação de maior proximidade do controle de produção e manutenção no chão de fábrica. Esse processo, com o uso dos cartões de categorização de paradas no sensor de RFID, foi automatizado. A assistente de produção tem acesso ao *software* que aponta de forma on-line o *status* de cada máquina. Mesmo em casos em que o operador não passava o cartão sinalizando a categoria de parada de máquina, a assistente de produção era capaz de observar se a máquina estava parada através do sensor de batida da faca, aumentando a supervisão direta por meio do aumento de controle produtivo. É relatado pelos operadores uma sensação de estarem sendo vigiados: *“agora qualquer parada da máquina é apontada e logo o assistente de produção vem nos perguntar o motivo”*. A maneira como a Assistente de Produção abordava os operadores quando era apontada uma parada de máquina passou a ser discutida, e a inclusão de competências de gestão e relações humanas passou a ser necessária. O envolvimento dos operadores na busca de soluções ou para evitar uma parada passou a ser condição para uma melhoria dos indicadores de parada de máquina. Dessa forma, o envolvimento dos operadores passou a estar relacionado à maneira da abordagem da Assistente de Produção para com os Operadores. Para além do aspecto comportamental da Assistente, a demanda pela competência de análise de dados e construção de planos de ação passou a ser crescente. O tempo de resposta

de correção de uma parada de máquina, seja corretiva ou de revisão de processo, passou a ser condição ainda maior para a melhoria do índice de parada de máquinas.

Com isso, ações de Recursos Humanos foram inseridas. Reuniões de apresentação de resultado, diretrizes estratégicas e de conversas sobre a necessidade do envolvimento de todos nas melhorias foram implementadas com todos os colaboradores. Foi relatada a importância dessas reuniões para o entendimento das razões das mudanças de procedimentos, do enriquecimento das funções e da necessidade de envolvimento e colaboração.

Com a evidência da necessidade de ampliação das competências de gestão e liderança daqueles que ocupam funções de gestão, foi implementado um treinamento com esse enfoque com o intuito de capacitar esses colaboradores na elaboração de projetos de melhoria contínua e de relações de liderança com as equipes. Nesse sentido, ainda, uma mudança no organograma passou a ser prevista com a introdução de um gestor de produção para integrar as unidades produtivas, aumentando o balanceamento de produção e o alinhamento da cadeia produtiva junto a fornecedores, e realizar a coordenação e supervisão direta do encarregado de manutenção, assistente de produção e preparador de máquina. Além disso, uma política de incentivo à produtividade com bonificações crescentes atreladas a metas de produção foi implementada.

As iniciativas vinculadas a gestão de pessoas e Recursos Humanos (RH) estão diretamente ligada ao que foi trazido nas entrevistas como aspecto central das mudanças ocorridas na Indústria de Embalagens Plásticas – mudança para uma cultura de inovação e de melhoria contínua. Segundo a gestora de Recursos Humanos, dois pilares estão centrais a essa mudança de cultura: a transparência e o envolvimento. A transparência refere-se à implementação de mecanismos de disseminação de informações de forma ampla pela organização. Desde as estratégias da empresa e as razões pelas quais tais estratégias são adotadas, a divulgação dos resultados da organização, desde operacionais, comerciais e financeiros, e planos de ação e força-tarefa para atender necessidades específicas em determinado momento. Esse pilar está sustentado na crença de que *“as pessoas precisam saber o porquê das coisas para poderem se engajar”*, como relatou a gestora de Recursos Humanos. Desse modo, o segundo pilar é o envolvimento. Envolvimento refere-se à capacidade de participação dos colaboradores de forma ativa na direção das estratégias organizacionais. Nesse sentido, *“isso ficou evidente quando solicitamos para os operadores realizarem horas extras, dado o aumento da demanda na produção, e parte do grupo se recusou. Quando passamos a tornar transparentes as informações e a buscar deles sugestões de como fazer melhor, o envolvimento nas necessidades da produção passou a ser bem maior”*, segundo a gestora de

RH. Ainda, como afirma o Diretor Executivo, “*se os colaboradores que executam não ‘comprarem’ a ideia de que a empresa está mudando, nada irá mudar*”, reafirmando a importância da transparência e do envolvimento.

Por fim, em resumo ao que foi exposto acima, segundo o Diretor Executivo, “*os dispositivos de IoT não geraram uma melhoria da eficiência, mas geraram informação para atuarmos na melhoria da eficiência; uma informação mais assertiva para darmos foco em um plano de ação*”. Nesse sentido, como apresentado, as mudanças em procedimentos, nos mecanismos de coordenação, função e tarefa são fruto desses planos de ação, construindo a partir de uma mudança de cultura dentro da organização. Os dispositivos tiveram papel importante, pois sinalizaram a importância dos dados e de informações rápidas sobre o status da produção para que iniciativas pudessem ser tomadas.

No quadro abaixo, estão resumidas as transformações na organização do trabalho em relação à implementação tecnológica. Os parâmetros estão apontados na metodologia e foram guias para a confecção do Protocolo de Pesquisa e coleta dos dados. Estão apontadas apenas as transformações, sendo que na coluna A apresenta a situação anterior à mudança e, na coluna B, após a mudança.

Tabela 3 – Resumo “Transformações da Organização do Trabalho” na Indústria de Embalagens Plásticas

ASPECTO	PARÂMETRO	A	B
Superestrutura	Agrupamento em unidades	<ul style="list-style-type: none">Duas unidades produtivas – processos separados.	<ul style="list-style-type: none">Perspectiva de mudança para uma única unidade, visando maior integração do fluxo produtivo.
	Coordenação	<ul style="list-style-type: none">Coordenação por ajuste mútuo.	<ul style="list-style-type: none">Coordenação pela padronização do conteúdo do trabalho e dos resultados.
	Sistema de tomada de decisões	<ul style="list-style-type: none">Envolvimento da diretoria na tomada de decisão sobre o processo produtivo;Sem Gestor de Produção – ajuste mútuo na produção.	<ul style="list-style-type: none">Perspectiva de contratação de Gestor de Produção. Aumento da supervisão direta.
Posições	Tarefa	<ul style="list-style-type: none">Ajustes de Máquina realizado exclusivamente pelo Preparador de Máquina.	<ul style="list-style-type: none">Ajustes de Máquinas realizado também pelo Operador.
		<ul style="list-style-type: none">Encarregado com função generalista.	<ul style="list-style-type: none">Encarregado com função especializada na manutenção.
		<ul style="list-style-type: none">Assistente de Produção com função focada na qualidade.	<ul style="list-style-type: none">Assistente de Produção inclui a gestão do controle da produção. Introdução do computador no chão de fábrica.
	Formalização do comportamento	<ul style="list-style-type: none">Ajustes de Máquinas sem Procedimento.	<ul style="list-style-type: none">Procedimentos de Ajustes de Máquinas.
		<ul style="list-style-type: none">Planos de Manutenção inexistente ou não seguidos.	<ul style="list-style-type: none">Plano de Manutenção Preventiva e Estoque Peças Sobressalentes.
	Treinamento e doutrinação	<ul style="list-style-type: none">Treinamentos não formais.	<ul style="list-style-type: none">Treinamento de Gestão e Liderança;Treinamento de Ajustes de Máquinas e Controle de Paradas.
		<ul style="list-style-type: none">Diretriz difusa.	<ul style="list-style-type: none">Diretriz de Transparência e Envolvimento.
		<ul style="list-style-type: none">Sem remuneração variável.	<ul style="list-style-type: none">Sistema de remuneração variável atrelada a metas de produção.
Vínculos Laterais	Sistemas de planejamento e controle;	<ul style="list-style-type: none">Decisão pelo Diretor Executivo para o tratamento de eventos.	<ul style="list-style-type: none">Implantação do comitê de solução de problemas e reuniões de área com Diretor Executivo.
		<ul style="list-style-type: none">Sem controle de Paradas de Máquinas.	<ul style="list-style-type: none">Controle automatizado e relatório de paradas de máquinas.
		<ul style="list-style-type: none">Preparação de <i>setup</i> e processo contínuo com produção.	<ul style="list-style-type: none">Processo de Preparação de <i>Setup</i> e paralelo: Preparação de <i>Kit</i> (processo em paralelo à Operação).
Dinâmica da organização e do trabalho	Tratamento de eventos	<ul style="list-style-type: none">Sem participação do Operador.	<ul style="list-style-type: none">Participação do Operador.

4.1.4. Discussão do Caso

As transformações ocorridas na “indústria de embalagens plásticas” junto à implementação tecnológica têm duas principais forças motrizes: a necessidade do aumento da flexibilização do sistema produtivo e o aumento de disponibilidade de máquinas. De maneira mais ampla, assim como apontado por Zariffian (1990), a necessidade da flexibilidade do sistema produtivo frente à crescente demanda é fator bastante alinhado à estratégia de produto da organização estudada. O foco de produção são lotes pequenos com alta customização do produto para os clientes, o que impacta diretamente no alto volume de *setup* de máquinas. Desse modo, conhecer os motivos e diminuir o tempo de máquinas paradas, aumentando a disponibilidade delas para a produção, passou a ser central na competitividade da indústria. Dessa maneira, a introdução do sistema de controle de paradas automatizado permitiu uma medição mais acurada e rápida do funcionamento produtivo, evidenciando, assim, necessidades de mudanças na organização do trabalho com intuito de diminuir ou sanar problemas causadores das paradas de máquinas.

Para isso, observou-se aumento na integração funcional a indústria estudada, assim como apontado por Salerno (1991). Foi constatado que, pelo controle de paradas automatizado, as paradas ocasionadas por *setup* de máquina (operação) e ajuste de máquina (manutenção) tinham principal impacto negativo nos indicadores produtivos. Com isso, houve um aumento na padronização do conteúdo do trabalho pela implementação de procedimentos de ajustes de máquinas, manutenção preventiva e novo processo de *setup*. O aumento da padronização do conhecimento pelo treinamento dos operadores nos ajustes de máquina e as transferências dessas atividades para os operadores foram as principais mudanças observadas que aumentaram a integração entre os dois departamentos. Vale ressaltar que essa indústria possuía uma baixa formalização em seus processos e controles. Nesse sentido, a transparência dos dados e a classificação dos tipos de paradas de máquina possibilitou a construção de planos de ações que aumentaram a padronização de conteúdo e de conhecimento. Em vez de modificar procedimentos, eles foram criados e disseminados na operação, formalizando o modo de se fazer as atividades. Fleury (1980) sinalizou que cabe aos operadores seguirem procedimentos quando em indústrias com processos semiautomatizados.

Não foi possível observar aumento na integração das áreas operacionais, manutenção e operação com a área de tecnologia da informação (TI). Toda a demanda de infraestrutura de TI,

desenvolvimento do sistema e do *software* de controle de paradas de máquinas são atribuições desempenhadas por fornecedores.

As questões de melhoria no fluxo produtivo e de proximidade do decisor ao chão de fábrica levou à criação da posição de gestor de produção. O aumento na estrutura organizacional visava atender as crescentes necessidades de melhoria no balanceamento de produção entre as unidades de impressão e de corte e solda, assim como as melhorias no fluxo produtivo entre área comercial, planejamento, produção, manutenção, suprimentos e de logística. Aumento dos níveis hierárquicos é contrário ao exposto por Kagermann et al. (2013). No caso da “indústria de embalagens plásticas”, as decisões da gestão da produção estavam sob a responsabilidade do Diretor Executivo, distante da realidade da operação e com restrições de promover melhorias no sistema produtivo. Tais necessidades ficaram evidentes com os dados das paradas de máquina – sinalizando, ainda, uma maior integração não apenas horizontal entre manutenção e operação, mas também vertical, com as demais áreas além da produção. Tal aspecto foi relatado pelo aumento do fluxo de informações entre as áreas, com a implementação de uma planilha compartilhada e, depois, com a implementação de um sistema ERP.

Há a observação de enriquecimento do cargo dos operadores. A transferência de atividades de ajuste de máquinas da manutenção para a operação e de controle de produção e da máquina passou a incorporar as rotinas operacionais. Tal aspecto relaciona-se ao enriquecimento horizontal, ampliando as atividades de operação. Junto a isso, observou-se o aumento do envolvimento dos operadores e mantenedores nos objetivos da organização. Frente a isso, a inclusão de metas de produção e de remuneração variável bem como a participação direta dos operadores na solução de problemas.

Ainda, vale ressaltar os aspectos de aprendizagem organizacional e da sua dinâmica. Salerno (1999) salienta a importância da aprendizagem como atividade inerente ao cotidiano organizacional. Com isso, observou-se a criação de espaços de negociação de novas regras e normas via os comitês de solução de problema e as reuniões de resultado envolvendo a produção, com aumento do envolvimento dos operadores e demais colaboradores na discussão e busca de soluções de melhoria do processo e fluxo produtivo. Com isso, contata-se maior participação e envolvimento da operação e áreas de apoio no tratamento de variâncias do processo produtivo, especialmente nas ações que mobilizam tal participação realizadas pela área de recursos humanos.

4.2. Célula de Produção Automatizada

4.2.1. Contexto histórico

A indústria estudada atende a cadeia automobilística de veículos leves, máquinas agrícolas, veículos pesados e a linha branca. Em operação no Brasil desde 1942, produz retentores, juntas e sistemas de vedação, fornecendo produtos originais para as linhas de montagens mundiais das principais montadoras e, também, ao mercado de reposição de peças. Atualmente, 20% de sua produção é destinada ao mercado internacional. No Brasil, por uma série de fatores tributários, atende uma cadeia logística de aproximadamente 500 pontos de vendas espelhados pelo território, o que traz uma grande complexidade na gestão logísticas. No período no qual a coleta de dados foi realizada, a capacidade produtiva da fábrica estava em 170 mil peças por dia. O alto volume, o baixo preço médio e margens pequenas fazem que o fator eficiência produtiva seja determinante, além dos fatores de qualidade. As diretrizes para o aumento da eficiência e competitividade da fábrica estão vinculadas à implementação de novas tecnologias para automação de linha produtivas e automação de processos na cadeia de suprimentos, além de monitoramento de informações de consumo da fábrica. Junto a essas diretrizes está o fato de que essa fábrica precisa absorver a produção de outras duas unidades que estão em projeto de desligamento. O foco é aumentar a capacidade de produção da fábrica sem o aumento de funcionários. A fábrica possui aproximadamente 400 funcionários focados na operação, sendo que a parte administrativa fica no escritório na cidade de São Paulo.

Segundo o diretor industrial da unidade estudada, a fábrica caminha em um processo histórico de digitalização. Em 1998, foi dado início a esse processo com a implantação de um sistema tipo ERP, sendo que, naquele momento, ainda em uma estrutura bastante desintegrada. A diretriz dada foi de concentração cada vez maior das informações, o que hoje, por exemplo, resulta na gestão eletrônica de documentos, relatado como um movimento básico mas essencial ao processo de digitalização. Em 2015, a indústria estudada fez um mapa estratégico, fomentando, a partir daí, uma série de iniciativas de inovação. Foram elencadas 47 iniciativas dentro de alguns pilares estratégicos: eficiência energética, inovação em preparação de compostos, robôs colaborativos, dispositivos móveis, modernização nas rotas de abastecimento, aplicação do *Big Data* e computação em nuvem, prototipagem e flexibilidade nos baixos volumes, inovação em produto e inovações de processos produtivos. Pela quantidade de

projetos iniciados, segundo relato do diretor industrial, a competência de gestão de projetos foi essencial para que as iniciativas de digitalização gerem o valor desejado. Ressaltando, com isso, para o aumento da competitividade da indústria, o maior desafio foi saber escolher as iniciativas e a aplicação tecnológica adequada para que tivessem um impacto positivo no sentido da eficiência. Ou seja, com relação às tecnologias habilitadoras, *“saber escolher o que não implementar porque não impactaria positivamente na competitividade foi fator essencial na fase de definição dos projetos”*, diz o entrevistado. Nesse sentido, projetos vinculados a adoção de tecnologias foram iniciados na fábrica, como, por exemplo: fábrica virtual ou fábrica gêmea para estudos e simulações de processos; utilização de realidade aumentada para o treinamento de funcionários no ambiente de trabalho; adoção de manufatura aditiva para aceleração de prototipagem de novo produto e na fabricação de pequenos componentes para as linhas produtivas; ampliação na adoção do MES, conectando e coletando dados em tempo real das máquinas; e o monitoramento em tempo real de energia elétrica e consumo de água.

Vale ressaltar que o incentivo à adoção de uma cultura de inovação é amplamente presente no relato dos entrevistados. Tais iniciativas são sustentadas pelo diretor industrial, mobilizando ações e recursos neste tema. Dentre eles, é ressaltado o processo de gestão dos projetos no formato A3, com reuniões regulares entre os envolvidos no projeto, de todos os níveis hierárquicos com o diretor. Essas reuniões são realizadas no chão de fábrica, em frente ao mural onde os A3 estão expostos a todos. Além disso, há a iniciativa de construção de um centro de inovação no chão de fábrica, com oficinas de prototipagem e testagem: *“queremos que todos os colaboradores vejam o que está sendo feito e se interessem por inovação. Tudo o que puder ocorrer no chão de fábrica, assim faremos”*. Soma-se a isso as iniciativas do departamento de Recursos Humanos na mobilização de parcerias com instituições de capacitação em elétrica industrial e automação. Essa capacitação é aberta a todos os colaboradores. O objetivo principal é estimular o olhar dos colaboradores para a inovação e atualização de conhecimento: *“mais do que o saber fazer, é mudar a forma de enxergar o seu trabalho, buscando constantemente oportunidades de inovação e melhorias, na formação e no trabalho”*, relata a gestora.

4.2.2. Tecnologia implementada

O projeto no qual esta pesquisa focou foi a automação de uma das linhas de produção. A automação ocorreu pela conexão entre máquinas, fisicamente por meio de esteiras rolantes e robôs colaborativos, e sistemicamente por meio do MES, MRP e ERP. Para o objetivo desta

pesquisa, foi escolhido este projeto de automação da linha produtiva para o estudo de caso. A escolha deste projeto ocorreu pela sua maturidade na implementação na fábrica, capaz de sinalizar os impactos e a sua relação com a organização do trabalho, e pela utilização de tecnologias apontadas como habilitadoras à Indústria 4.0 e manufatura avançada, como robôs colaborativos e conexão entre sistemas tipo MES e ERP. Vale ressaltar que este é um projeto-piloto, cujas soluções implementadas têm a condição de serem implementadas nas demais linhas de produção, sendo esse o enfoque estratégico para a fábrica.

O processo produtivo da linha estudada é composto por seis principais etapas:

1. Injeção/vulcanização: aplicação de composto de borracha à peça metálica;
2. Usinagem: corte e ajuste de excessos de borracha na peça vulcanizada;
3. Inspeção: inspeção de qualidade das peças vulcanizadas e usinadas;
4. Montagem de Mola: aplicação da mola à peça;
5. Aplicação de Graxa: lubrificação da peça;
6. Embalagem: embalagem para expedição.

Injeção (Borracha)	Usinagem	Inspeção 1	Montagem da Mola	Aplicação de Graxa	Embalagem
-----------------------	----------	------------	---------------------	-----------------------	-----------

Figura 10 – Processo de produção da linha estudada

4.2.3. Transformações na organização do trabalho

As mudanças no processo produtivo ocorreram no sentido de sua automação. Nenhuma das etapas do processo produtivo foram eliminadas, mas houve a sua integração em um processo e fluxo contínuo. Cada uma das etapas é composta por uma máquina. A integração das máquinas ocorreu pela implementação de esteiras rolantes e pela introdução de robôs colaborativos. As máquinas passaram a “conversar” entre si, emitindo e recebendo sinais uma das outras, permitindo a coordenação do fluxo contínuo de produção.

Embora não esteja diretamente relacionada à implementação dessas tecnologias, foi relatada pelos entrevistados como fator importante de ganho de produtividade a mudança de *layout* da fábrica. Aproximadamente quatro anos antes do período dessa pesquisa, havia sido realizada essa mudança, passando a agrupar as máquinas por linha de produto, em vez de tipo de máquina e processo. Segundo o que foi relatado, essa mudança foi fundamental para a eliminação da necessidade de deslocamento de partes do produto pela fábrica, diminuindo, com

isso, o tempo de fabricação. Com a automação da linha produtiva, somada a essa readequação do *layout* da fábrica, eliminou-se por completo os estoques intermediários: *“hoje, uma peça é produzida de forma contínua. Se alguma máquina necessitar de ajuste ou tiver algum problema, toda a linha é parada até que seja consertado ou ajustado. Não temos nenhum produto em estoque intermediário”*, relata o coordenador de produção.

O robô colaborativo passou a realizar a alimentação das bandejas da máquina injetora e a retirar as peças já vulcanizadas, colocando-as na esteira para seguir para a máquina de usinagem. No final da linha, outro robô executa a retirada das peças da esteira e, após etapa de aplicação da graxa, realiza a colocação das peças nas caixas para a etapa de embalagem. Fator importante no relato dos entrevistados é de este robô atender duas linhas simultaneamente, com produtos diferentes. Segundo o que foi relatado, as vantagens da utilização de robôs colaborativos, ao invés dos tradicionais, é a facilidade de sua programação e a condição de operar em ambiente fechado, apresentando um nível de segurança, podendo trabalhar de forma integrada com as pessoas.

Figura 11 – Robôs colaborativos na célula de produção

Na etapa de usinagem, é utilizado um robô tradicional, isolado em uma caixa de segurança. Na etapa de inspeção, a introdução da máquina de inspeção automática foi fundamental para garantir níveis de qualidade e redução da rejeição de produtos acabados: *“hoje, as peças são aprovadas na inspeção, na primeira passada, com um índice de 98,5%”*, segundo o diretor industrial. A automação e o fluxo contínuo trouxeram estabilidade ao processo, impactando no aumento da produtividade, mas também na diminuição da necessidade de ajustes de máquinas – aspecto importante, especialmente para as máquinas de injeção que são influenciadas pela variação das condições ambientais e de matéria-prima.

A fábrica está organizada em células por tipo de produto/cliente e trabalha em três turnos. A estrutura na produção é composta por cinco níveis: Diretor Industrial, Gerente de Manufatura, Coordenador de Produção, Líder de Célula e Operador.

Figura 12 – Estrutura da área de produção

Para a operação da linha de produção estudada, antes da automação, cada etapa do processo produtivo possuía um posto de trabalho; ou seja, cada etapa do processo produtivo exigia um operador especializado nas atividades que aquela etapa demandava. Com a implementação da automação do processo, essas posições foram eliminadas. Segundo o que foi relatado, a redução de operadores nas linhas automatizadas foi de 5 operadores para $\frac{1}{2}$. Ou seja, o que antes era necessário 5 operadores para operar a linha, atualmente, um operador cuida de 2 linhas produtivas. Com relação à estrutura de posições e processo produtivo, essa é uma principal transformação observada.

O sistema de decisão no caso da operação respeita a estrutura hierárquica. O operador tem amplitude de decisão restrita à produção, no requerimento de matéria-prima ao almoxarifado, aos ajustes de máquinas e solicitação de suporte quando os procedimentos descritos para tratamentos de falha não são suficientes para a solução. O líder de célula decide sobre a alocação de pessoas nas linhas de produção e no auxílio na interface com as áreas técnicas. Decisões quanto ao quadro de funcionários, voltadas para a gestão de recursos humanos, são tomadas pelo coordenador de produção. Tal perspectiva não se alterou. No entanto, como será relatado mais à frente, há o desejo de que o líder de célula amplie seu escopo de atuação nos temas de Recursos Humanos. Ainda foi relatado um aumento da interface entre o operador e o líder de célula, no entanto, tal interface está vinculada, especialmente, à resolução de falhas que fogem do conhecimento do operador e é necessária a intervenção da equipe técnica.

Segundo o gerente de manufatura, uma das diretrizes para os projetos de automação das células é a facilidade da interface entre operador e o sistema. A linha está mais complexa em seu funcionamento técnico, mas está se comunicando mais facilmente com as pessoas. Com isso, a competência do operador não precisa estar necessariamente na programação ou manutenção do sistema tecnológico, mas na competência específica do funcionamento da linha, em sua gestão. A resolução de problemas e ajustes da linha, quando necessário, fica na responsabilidade de um grupo de profissionais de engenharia à parte. A manutenção dos robôs é realizada por uma equipe terceirizada, por meio de um contrato de prestação de serviço de locação do equipamento e de sua manutenção. No caso da máquina autônoma de inspeção, há um especialista nesse tipo de equipamento. No entanto, é sinalizada a necessidade de mais profissionais com essa competência específica. Para a conexão das máquinas e do sistema interligado, há um engenheiro específico de automação e integração.

A mudança do foco de trabalho do operador está na ampliação da sua visão da operação. Segundo o que foi relatado pelo operador, a sua responsabilidade era cuidar da produção da máquina de injeção, alimentando com carcaças e retirando peças vulcanizadas. Tal atividade foi substituída pelo robô. Quando necessário, realizava algum ajuste na temperatura, velocidade e algum outro parâmetro da máquina. Produzia as peças vulcanizadas e as estocava em um estoque intermediário a fim de seguir para a próxima máquina. Se porventura algum problema surgia em uma outra máquina, a sua produção não parava, aumentando o estoque intermediário. Com a automatização, a sua principal responsabilidade passou a ser cuidar para que o fluxo produtivo seja contínuo. Qualquer interrupção em uma máquina, a linha toda é parada: *“eu passei a administrar a linha como um todo”*. Segundo o relato, administrar significa: realizar ajustes e correções nas máquinas; quando necessário, acionar área de manutenção; garantir a solicitação de matéria-prima ao almoxarifado de acordo com a produção para toda a linha; e realizar os registros de controle de produção e de paradas de máquinas e de refugo no MES. Aprender sobre a operação e os ajustes de cada uma das máquinas, além do controle de produção, foram as principais necessidades para a mudança de atividades do operador. Essa aprendizagem deu-se na prática da operação, e não em treinamento formal: *“nos primeiros dias, a equipe de engenharia ficou comigo aqui. Depois, eu fui pedindo ajuda para o preparador e a equipe de manutenção e aprendi a fazer os ajustes específicos de cada uma das máquinas de acordo com o surgimento dos problemas”*, relata o operador. Hoje, quatro operadores estão habilitados a operar a linha automatizada.

Segundo o gerente de manufatura, o foco do operador na linha automatizada é zelar para que o OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) esteja em linha com as necessidades do

planejamento produtivo. Neste sentido, uma iniciativa foi a disponibilidade da informação do OEE ao operador, em tempo real. Com essa ação, foi atingido um aumento de 8% no índice. O gerente de manufatura relaciona esse aumento ao fato de o operador ter um *feedback* do próprio trabalho em tempo real e saber que de alguma maneira será cobrado pelo resultado da produção da linha. Segundo o líder de célula, com uma mudança do papel do operador para uma ação gerencial da linha de produção – incluindo atividades de apontamento de motivos de paradas no MES, análise de causas das paradas e *setup* da máquina com a testagem do sistema de inspeção automática – o operador fica focado na identificação de algum problema ou ajuste para aumentar a eficiência e na solução ou busca da informação para a solução. Por exemplo, a MIA está reprovando muitas peças. O trabalho do operador é identificar o porquê dessa reprovação ocorrer e a solução para esse desvio. A correção desses desvios é direcionada pelo mapa de causa-efeito, procedimentos que prescrevem a ação do operador na correção e tratativas de desvios. Quando não é possível tratar o desvio, o operador aciona a cadeia de ajuda, ou seja, o preparador de máquina ou a equipe de manutenção/automação.

Foi relatado o aumento na demanda de troca de informações entre o líder de célula e o operador. No entanto, segundo o operador, essas informações estão relacionadas, especialmente, aos problemas ocorridos na célula de produção, sobre as ordens de serviço e alocação de produção.

Os planejadores têm duas principais funções, atualmente, na fábrica estudada: o planejamento e emissão de ordem de compra de matérias-primas e o planejamento de ordem de produção para as equipes e máquinas. Pelo relato de um dos planejadores de produção, o modo como é planejada a produção ainda não mudou. “*Ainda, pelo sistema, não conseguimos conectar as informações vindas das máquinas (MES) com o MRP vinculado ao ERP.*” Embora os dados já sejam gerados pelas máquinas, sua utilização ainda não é realizada para efeito de compra de material, por exemplo. Em projeto-piloto, a linha estudada nessa pesquisa está sendo viabilizada para se conectar diretamente com os fornecedores. O objetivo do projeto é a máquina que faz a montagem da mola emitir ordem de compra automática para os fornecedores. No entanto, o que está sendo posto em prática, neste momento, é a ordem de compra de insumos emitida na leitura de entrada de produto acabado em estoque. Tal medida deve-se apenas a uma condição de sistema de conexão entre MES e ERP. A entrada de produto acabado em estoque já é realizada dentro do ERP, sem necessidade de conexão com o MES, estando conectado aos fornecedores. Atualmente, as atividades relacionadas a planejamento e compra de insumos para a produção são realizadas por meio de contato telefônico, e-mail, planilhas, e formalizadas via ERP, exigindo basicamente o trabalho manual e mental do planejador. Com a automatização

dessas atividades a partir da ordem de compra automática para fornecedores, os planejadores passarão a dar foco no planejamento da produção: *“esta função ainda é um dos nossos pontos fracos. Enxergamos muitas oportunidades de nivelamento de produção e de definição do melhor lote econômico, por exemplo. O planejamento ainda está orientado basicamente no estoque de matéria-prima ou no melhor aproveitamento de setup de máquina, e não naquilo que especificamente é pedido pelo cliente”*. A linha estudada produz três produtos, e o cliente pede os três itens ao mesmo tempo. O desafio colocado é como administrar a produção de maneira mais fracionada, atendendo a demanda do cliente dos três itens, sem aumentar o estoque de produto acabado e aumentando o giro de estoque. O foco é aumentar a capacidade de reação às alterações nos pedidos realizados pelos clientes. Essa revisão da estratégia de planejamento de produção é foco dos planejadores na medida em que as atividades de planejamento de compra de matéria-prima forem automatizadas: *“hoje, a equipe de planejamento não tem ‘braço’ para realizar este trabalho”*.

No que se refere a manutenção e automação, alguns anos atrás, foi tomada a decisão de unificar as áreas de automação e manutenção. A sinergia entre os processos foi o principal fator impulsionador dessa decisão: *“acaba aquela rixa entre manutenção e automação. Hoje, quem cria e desenvolve automação será responsável pela sua manutenção também”*, relata o gerente de manufatura. Esse foi um fator chave para o sucesso da automação da linha de produção. Junto a isso, fator histórico importante é a competência organizacional instalada no desenvolvimento e fabricação de novas máquinas. A indústria estudada possuía uma unidade de fabricação de máquinas no segmento de injeção e vulcanização. Do quadro de colaboradores, 3 deles são especializados em automação e advêm dessa antiga empresa de produção de máquinas. O entrevistado, por exemplo, fez parte do desenvolvimento de 90% das máquinas produzidas e que estão em operação no momento desta pesquisa. Isso teve um impacto positivo ao facilitar a conexão das máquinas, na padronização de protocolos de comunicação entre máquinas e nos processos de manutenção de correção do sistema.

Essa foco na padronização das habilidades de automação é amplamente incentivado pelo gestor da área de automação e manutenção. Efeito disso é o exemplo relatado de que as dificuldades do processo de implementação do robô colaborativo na linha estudada, pelo atendimento destes a duas linhas produtivas simultaneamente, foi 70% do trabalho realizado internamente. Nesse sentido, a capacitação da equipe de manutenção com as novas tecnologias implementadas tem sido um foco central na busca por eliminar a dependência de técnicos terceiros e a falta da competência instalada internamente. Soma-se a isso uma mudança de perfil de contratação de mecânicos ou eletricitistas para técnicos em mecatrônica. Tal mudança é

devida pela capacidade multifuncional, podendo atender a uma variabilidade de situações de manutenção maior. Os eletricitas e mecânicos do quadro de funcionários estão em capacitação para ampliarem a sua atuação.

A área de TI corporativa apoia na configuração do MES e no auxílio da configuração da infraestrutura de comunicação via WI-FI, servidores etc. Há uma exigência maior no projeto de conexão das máquinas com o MES e conexão deste com o sistema ERP, integração vertical dos sistemas. Nesse caso em específico, há a existência de um profissional focado em análise dos dados no MES, além de fornecer suporte para as fábricas, sendo que a demanda sobre ele é crescente à medida que o projeto de conexão das máquinas ao MES aumenta.

Com relação à gestão da operação, três funções estão presentes na estrutura da fábrica: Coordenador de Produção, Líder de Célula e Preparador de Máquina. O preparador de máquina faz o acompanhamento do *setup* de máquina e realiza o treinamento dos operadores e, quando solicitado, atua na solução de problemas. Não foi relatada mudança de função ou atividade. O Líder de Célula tem o papel de direcionar os colaboradores frente à ordem de produção do dia, alocação de mão de obra nos postos de trabalho, análise dos números diários, análise dos problemas do dia no que diz respeito à qualidade e reuniões de entrada da equipe no turno, e no final o repasse para o próximo turno. Uma principal mudança foi a necessidade de uma análise de causa raiz mais robusta e da padronização dos procedimentos. Além disso, passei a exercer a supervisão dos padrões já implementados.

Para a função de coordenador de produção, responsável pela produção da fábrica no turno, não foi relatada mudança na função ou atividade, apenas o acesso à informação do funcionamento das linhas conectadas ao MES: *“consigo ter acesso à informação sobre o status de funcionamento da linha e de cada uma das máquinas de forma on-line”*. A mesma informação que o operador tem no computador na linha produtiva, o coordenador de produção consegue acessar remotamente. Com isso, há velocidade de acesso à informação e tomada de decisão mais rápida para correções. O próprio operador toma a iniciativa de buscar a cadeia de ajuda.

Foco de atuação de desenvolvimento de competências comportamentais da liderança e ferramentas de gestão. Fortalecer a atuação da liderança no chão de fábrica para realização do trabalho de desenvolvimento das pessoas (reunião de turno). Hoje, por exemplo, a avaliação de desempenho dos operadores está sob a responsabilidade dos coordenadores de produção, e o objetivo é que esse processo de gestão de pessoas fique na responsabilidade do líder de célula.

No quadro abaixo, estão resumidas as transformações na organização do trabalho em relação à implementação tecnológica. Os parâmetros estão apontados na metodologia e foram

guias para a confecção do Protocolo de Pesquisa e da coleta dos dados. Estão apontadas apenas as transformações, sendo que a coluna A apresenta a situação anterior à mudança e a coluna B, após a mudança.

Tabela 4 – Resumo “Transformações da Organização do Trabalho” na célula de produção automatizada

ASPECTO	PARÂMETRO	A	B
Superestrutura	Agrupamento em Unidades Mecanismos de Coordenação	<ul style="list-style-type: none"> Duas fábricas no Brasil. 	<ul style="list-style-type: none"> Duas fábricas, porém, em transferência de linhas de produção gradual para a fábrica estudada.
		<ul style="list-style-type: none"> Processo de produção com estoques intermediários. 	<ul style="list-style-type: none"> Processo de produção sem estoques intermediários – máquinas conectadas.
		<ul style="list-style-type: none"> Cinco postos de trabalho na linha produtiva. 	<ul style="list-style-type: none"> Um posto de trabalho na linha produtiva.
	Coordenação	<ul style="list-style-type: none"> Padronização do conteúdo do trabalho. 	<ul style="list-style-type: none"> Padronização dos resultados.
	Sistema de tomada de decisões	<ul style="list-style-type: none"> Respeita o fluxo hierárquico, utiliza a padronização de conteúdo do trabalho. 	<ul style="list-style-type: none"> Respeita o fluxo hierárquico, utiliza a padronização de conteúdo do trabalho; Foco na ampliação da decisão no chão de fábrica.
Posições	Tarefa	<ul style="list-style-type: none"> Operador focado em uma etapa do processo e uma máquina. 	<ul style="list-style-type: none"> Operador focado no fluxo contínuo de produção e todas as máquinas da linha.
		<ul style="list-style-type: none"> Ordem de compras realizadas manualmente. Foco do planejador na operação da compra. 	<ul style="list-style-type: none"> Ordem de compra de suprimentos automatizada, foco do planejador na otimização do planejamento da produção.
	Formalização do comportamento	<ul style="list-style-type: none"> Mapa causa-efeito para correção de falhas. 	<ul style="list-style-type: none"> Mapa causa-efeito para correção de falhas.
	Treinamento e doutrinação	<ul style="list-style-type: none"> Treinamentos não formais. 	<ul style="list-style-type: none"> Treinamento de Gestão e Liderança para líderes de células.
		<ul style="list-style-type: none"> Matriz de habilidades especializada na operação da máquina. 	<ul style="list-style-type: none"> Matriz de habilidade focada na linha de produção automatizada.
Vínculos Laterais	Sistemas de planejamento e controle	<ul style="list-style-type: none"> Controle de produção manual. 	<ul style="list-style-type: none"> Controle de produção digitalizado.
	Instrumentos de Vínculo	<ul style="list-style-type: none"> Ajuste mútuo para resolução de falhas, especialmente entre operador e preparador de máquina. 	<ul style="list-style-type: none"> Intensificou a necessidade de ajuste mútuo para resolução de falhas, especialmente entre operador, preparador de máquina e líder de célula.
Dinâmica da organização e do trabalho	Tratamento de eventos	<ul style="list-style-type: none"> Participação direta do operador e do preparador de máquina. Cadeia de ajuda/equipe técnica. 	<ul style="list-style-type: none"> Diminuição da participação do operador e preparador de máquina; aumento da participação da cadeia de ajuda/equipe técnica.

4.2.4. Discussão do Caso

As forças motrizes que impulsionaram o projeto estudado “célula de produção autônoma” estão vinculadas, principalmente, à necessidade de diminuição do custo operacional, assim como colocado por Ruschel et al. (2017) como motivador para adoção tecnológica. Como objetivos secundários, estão o ganho de escala da produção e manutenção dos indicadores de qualidade. Nesse sentido, o projeto teve foco essencialmente na integração do processo de manufatura (DEAN; SNELL, 1991). As transformações da organização do trabalho observadas estão, essencialmente, na diminuição dos postos de trabalho e na mudança no escopo de trabalho do operador na célula de produção. Tais transformações estão alinhadas ao objetivo central de redução de custo da produção.

A automação do fluxo produtivo e a eliminação de estoques intermediários foram as transformações principais no processo produtivo. Uma vez que as atividades dos operadores foram automatizadas, a função do operador teve uma mudança significativa. Assim como sinalizado por Fleury (1980), foi observado que os operadores passaram a desempenhar atividades de controle do sistema produtivo: acompanhamento dos indicadores operacionais e do funcionamento do sistema automatizado, controle e gestão da matéria-prima da célula, dados e informações da produção e manutenção e desempenho produtivo. A zona de responsabilidade do operador era a máquina, passando a ser uma célula produtiva. O que, antes, eram atividades operacionais da máquina passaram a ser atividades de gestão do sistema produtivo. Essa mudança da função passou a exigir do operador habilidades de gerenciamento menos mecânicas e mais abstratas, assim como apontado por Kagermann et al. (2013), na medida em que passa a lidar com indicadores de eficiência e funcionamento das máquinas oferecidos eletronicamente, e, com base neles, gerar alguma ação caso constatada alguma alteração não desejada. Nesse caso, não se observou a inclusão de atividades àquelas já desempenhadas pelo operador, mas sim o operador ter passado a desempenhar outras atividades, diferente das anteriores. Nesse sentido, as atividades do operador, nesta célula, foram substituídas, e não incrementadas.

Ainda, uma mudança de orientação da padronização do conteúdo das atividades de trabalho para uma padronização dos resultados foi observada na operação da célula. Uma vez que o operador passou a ter a função de gerenciamento e monitoramento das máquinas e do fluxo produtivo, foi incorporada maior responsabilidade pelo resultado de produção. A implementação do sistema de informação automatizado com o *feedback* on-line do desempenho da célula para o operador foi fator chave para essa mudança, além da própria automação das atividades e do fluxo produtivo.

Vale ressaltar que, quanto à integração funcional, a relação da operação com as áreas de manutenção e automação, no tratamento de eventos, aumentou significativamente. Por mais que a operação do sistema produtivo tenha ficado, segundo relatado, mais simples, a manutenção e o funcionamento do sistema técnico produtivo ficaram mais complexos. Com isso, a presença de especialistas de automação passou a ser mais intensa e frequente na célula de produção. Garantir os ajustes no sistema técnico de *setup* da célula, por exemplo, demanda especialidades que o operador não possui. Embora o estudo tenha sido realizado em um projeto-piloto na indústria, o que explicaria a presença da equipe de automação na célula, constata-se, a partir desta análise, a simplificação das atividades da função do operador ao controle e monitoramento produtivo, não dependendo de um aumento de conhecimento para a sua execução, dado que a configuração do sistema e a prescrição da operação são realizadas por um corpo técnico. Com isso, constata-se uma diferenciação interna maior entre operação do sistema e manutenção do sistema, aproximando ao que Hirsch-Kreisen (2014) denominou como organizações polarizadas.

Essa característica é salientada pelo fator histórico da organização de integrar sob uma mesma área a manutenção e a automação. Além de eliminar objetivos concorrentes entre as áreas de manutenção e automação, os técnicos possuem um acúmulo de conhecimento histórico que, segundo relatado, foi fator determinante para o desenvolvimento do projeto. As máquinas e a automação do sistema produtivo da célula de produção estudada foram, em sua grande maioria, desenvolvidas por esses profissionais. Dessa forma, olhar da macroestrutura à junção das áreas de manutenção e automação foi essencial na efetivação do projeto.

4.3. Automação da inspeção e ajuste na célula de usinagem

4.3.1. Contexto histórico

A empresa na qual foi realizado o estudo de caso atende ao mercado automotivo nos segmentos de componentes de motor, filtragem e periféricos de motor, gerenciamento térmico, eletrônica e o *aftermarket*. É presente em 35 países espalhados pelos 5 continentes. A fábrica é responsável pela produção de compressores de ar-condicionado para veículos e está situada no interior do estado de São Paulo. Construída em 1992 e, no momento da coleta dos dados, possuía 540 colaboradores.

Duas diretrizes para o desenvolvimento da operação e controle da planta estavam vigentes no momento das entrevistas. Em primeiro lugar, a rastreabilidade de peças; cada produto é rastreável e comporta dados do processo de sua fabricação. Tal movimento é impulsionado pela demanda crescente do mercado automobilístico de garantias e robustez do processo de ciclo de vida do produto. Por exemplo, a cada etapa do processo de produção dos compressores, há a coleta das informações sobre a fabricação do produto por meio de RFID. Todo o histórico de produção do produto é passível de ser recuperado individualmente. A segunda diretriz é tornar as máquinas cada vez mais independentes da interferência humana, o que levou ao projeto de automação das correções das máquinas, bem como o controle de qualidade das peças.

Nesse sentido, uma transformação nos aspectos de macroestrutura foi a criação de uma área específica de automação. A formação de um grupo de engenheiros de automação dedicados a projetos de integração de células, programação de sistemas e desenvolvimento de robótica interna. Tal iniciativa visa impulsionar a integração da manufatura alinhado ao aspecto estratégico da empresa e a internalização do conhecimento. Ou seja, o objetivo é o desenvolvimento interno do conhecimento e das competências focadas em automação, em vez de terceirizar o desenvolvimento dos projetos a parceiros. Segundo o que foi relatado, muitos dos engenheiros têm o conhecimento aprofundado dos processos e máquinas específicos, fator determinante para auxiliar no processo de automação. Além disso, por melhor que seja o integrador, eles não conseguem captar variáveis específicas do processo de produção, o que acabava impactando em atrasos ou mesmo no abandono dos projetos pelos terceiros. Desenvolver internamente, pelo conhecimento aprofundado dos processos não automatizados, aumenta a velocidade de implementação, do desenvolvimento tecnológico para automação e do sucesso do projeto. Nesse sentido, há investimento no desenvolvimento e implementação

interno da indústria das novas tecnologias. Essa é uma iniciativa da unidade estudada e é um projeto-piloto a ser testado e aplicado a outras unidades da empresa.

É destacado pelo gerente entrevistado o esforço, desde 2008, de implementar metodologias do sistema *lean* de produção, como: produção puxada, redução do deslocamento das partes do produto por meio de células de produção, *kanban* e padronização das atividades.

Dentre os projetos desenvolvidos pela equipe de engenharia de automação, foi dado destaque ao *machine learning*, como parte do processo de automatização das correções e ajustes entre as máquinas; à implementação de sistemas automatizados de indexação e gravação de matérias primas para aumento da rastreabilidade; e aos projetos de automação para restringir a interferência humana nos ajustes das máquinas. Esse último foi escolhido como parte dos estudos de caso realizados nesta pesquisa.

A escolha deste projeto ocorreu pela sua maturidade na implementação na fábrica, capaz de sinalizar os impactos e a sua relação com a organização do trabalho, e pela utilização de tecnologias apontadas como habilitadoras à Indústria 4.0 e manufatura avançada como a conexão entre sistemas tipo MES, na troca de dados *machine to machine*, essencial para o objetivo do projeto de automatizar os procedimentos de ajuste das máquinas CNCs.

4.3.2. Tecnologia implementada

Em termos de infraestrutura técnica, uma mudança foi a alocação do equipamento de *scanner* 3D no chão de fábrica, o que antes estava localizado em um laboratório somente. O foco era colocar o controle de qualidade no chão de fábrica através da implementação desse equipamento junto às máquinas. Em um primeiro momento, foi realizada a conexão com uma das máquinas CNC e, em seguida, a conexão com todas as máquinas da célula. No processo de conexão das máquinas, foi identificada a necessidade de melhoria na infraestrutura de rede para o suporte a esta conexão das máquinas e transmissão dos dados. Com isso, houve o investimento em uma nova rede de engenharia industrial e infraestrutura com servidores para comportar a coleta, a análise de dados obtidos dos *scanner* 3D e a comunicação com as máquinas CNCs: a infraestrutura de rede de fibra ótica, servidores e *hubs*, além do *software* tipo MES.

Figura 13 – Equipamento de medição 3D

Como o foco do projeto era eliminar a interferência humana nos ajustes de máquinas, houve a automatização de etapas do processo produtivo. Inicialmente, o processo produtivo era composto por:

- a) ciclo produtivo, em que a peça era usinada em nove máquinas CNCs;
- b) deslocamento de uma amostra de um lote ao laboratório para a medição no *scanner* 3D quando a peça estava finalizada;
- c) emissão de um relatório comparativo entre as medições da peça e as especificações do desenho original da peça;
- d) interpretação desse relatório pelo preparador de máquina;
- e) ajuste das máquinas CNCs pelo preparador de máquina caso houvesse necessidade.

Ciclo Produtivo	Peça finalizada e deslocamento para o laboratório	Inspeção em laboratório	Emissão de Relatório	Interpretação do relatório e identificação dos desvios	Ajuste manual das CNCs
-----------------	---	-------------------------	----------------------	--	------------------------

Figura 14 – Processo de inspeção de qualidade e ajuste A

4.3.3. Transformações na organização do trabalho

Após a automatização, as etapas do processo de inspeção em laboratório, emissão de relatório, interpretação do relatório e ajuste manual das máquinas CNCs foram eliminadas. Segundo o gerente de engenharia e o engenheiro entrevistado, os ganhos obtidos com esta automação do processo estão na eliminação de tempo de deslocamento da peça para o laboratório, eliminação das possíveis falhas humanas de interpretação e ajuste manual das

máquinas, o que impactou, especialmente, na qualidade do produto, atendendo às especificações em 100% das peças produzidas. Fator determinante para isso é que 100% das peças passaram a ser inspecionadas, e os ajustes das realizados nas máquinas tornaram-se constantes.

Peça finalizada	Inspeção na linha de produção	Ajuste automático das CNCs
-----------------	-------------------------------	----------------------------

Figura 15 – Processo de inspeção de qualidade e ajuste B

As atividades de *setup* de máquina e de correção de máquinas eram realizadas pelo preparador de máquina. Esse profissional era responsável pelos ajustes de início de ciclo das nove máquinas e pelos ajustes de correção caso houvesse variância da medição com o desenho original da peça. Ou seja, era responsável pela leitura e interpretação do relatório emitido pelo laboratório quanto às medidas da peça finalizadas comparadas com as especificações do desenho da peça original, efetuando possíveis correções de funcionamento das máquinas. Na medida em que as correções das máquinas foram sendo automatizadas, a necessidade do envolvimento do preparador na célula diminuiu, cabendo ao operador da linha as atividades de *setup* e de operação do *scanner* 3D. A operação desse equipamento era realizada por um técnico especializado no laboratório e atualmente é realizada pelo operador, que opera a máquina de usinagem e o equipamento de medição. Essa transferência de atividade é relatada como bastante significativa dentro do projeto: *“a gente tinha medo de deixar esse equipamento na mão do operador, pois a atividade sempre foi realizada pelo técnico especialista. Essa foi uma mudança importante na nossa forma de pensar a operação”*, relata o engenheiro responsável pelo projeto.

O operador volante era responsável por recolher as peças nas células e levar ao laboratório para análise. Essa função foi eliminada do processo produtivo nesta célula, na medida em que o equipamento de medição foi alocado na célula de produção e os ajustes das máquinas foram automatizados.

A função do operador da célula, atualmente dois operadores por turno, foi a que mais sofreu incremento de atividades. As atividades de *setup* de máquina e de operação do equipamento de medição das peças finalizadas foram as principais atividades incorporadas a essa função. Esses operadores foram treinados pelo preparador de máquinas e pelo técnico de laboratório a desempenharem tais atividades, além do envolvimento deles em treinamentos técnicos de usinagem e aprimoramento técnico de operação – treinamento que antes era

direcionado aos preparadores de máquinas e técnicos, apenas. Com isso, houve a necessidade de revisão das descrições de cargo e, segundo relato do gerente de engenharia, o cargo de Operador 1, atualmente divididos de 1 a 3, será eliminado da estrutura de cargos.

O engenheiro responsável pelo projeto relata a necessidade de seu aprimoramento de conhecimento e habilidades, passando de uma atuação em engenharia mecânica e usinagem para o campo da TI: *“tive que entender de infraestrutura de rede, servidores e softwares de gerenciamento de fluxo de informações”*. Tal aspecto está diretamente relacionado à estratégia da organização estudada de incorporar competências de automação na equipe de engenharia.

Até o momento do projeto, a relação da célula produtiva com a manutenção não sofreu nenhuma alteração. Segundo o engenheiro entrevistado, *“o que futuramente será possível, visto que as máquinas estão conectadas a um servidor, é capturar informações de funcionamento da máquina”*. A captura das informações das máquinas permitirá o trabalho com os dados para otimização dos processos de manutenção preventiva, preditiva e corretiva. Segundo o relato do gerente de engenharia de manufatura entrevistado, a área de manutenção não possui estrutura em termos de competências técnicas para a operação das análises de *Big Data*. Dessa forma, a decisão de transferir o projeto para a equipe de engenharia de automação ou de estruturação da manutenção não tinha sido realizada no momento da coleta de dados.

No quadro abaixo, estão resumidas as transformações na organização do trabalho em relação à implementação tecnológica. Os parâmetros estão apontados na metodologia e foram guias para a confecção do Protocolo de Pesquisa e coleta dos dados. Estão apontadas apenas as transformações, sendo que a coluna A apresenta a situação anterior à mudança e a coluna B, após a mudança.

Tabela 5 – Resumo “Transformações da Organização do Trabalho” na automação da inspeção e ajuste de célula de usinagem

ASPECTO	PARÂMETRO	A	B
Superestrutura	Agrupamento em Unidades	<ul style="list-style-type: none"> Projetos de automação coordenados pela equipe de engenharia e desenvolvidos por parceiros externos. 	<ul style="list-style-type: none"> Criação de equipe de engenharia interna focada no desenvolvimento de projetos de automação. Internalização do conhecimento e competência de automação.
	Coordenação	<ul style="list-style-type: none"> Sistema de produção coordenado por padronização do conteúdo e do conhecimento. 	<ul style="list-style-type: none"> Sistema de produção coordenado por padronização do conteúdo e do conhecimento.
	Sistema de tomada de decisões	<ul style="list-style-type: none"> Tomada de decisão por supervisão direta. 	<ul style="list-style-type: none"> Tomada de decisão por supervisão direta.
Posições	Tarefa	<ul style="list-style-type: none"> Operador focado na operação das máquinas CNCs. 	<ul style="list-style-type: none"> Operador expande sua atuação para <i>setup</i> de máquina e operação de equipamento de medição, além da operação das máquinas CNCs.
		<ul style="list-style-type: none"> Funções do operador volante no deslocamento de peças e relatórios entre célula produtiva e laboratório. 	<ul style="list-style-type: none"> Extinção da função de operador volante, e laboratório deixa de atender a célula automatizada.
		<ul style="list-style-type: none"> Existência do Cargo de Operador 1. 	<ul style="list-style-type: none"> Cargo de Operador 1 extinto, mantendo apenas 2 e 3, mais qualificados tecnicamente.
	Treinamento e doutrinação	<ul style="list-style-type: none"> Treinamentos técnicos oferecidos apenas para as funções técnicas especialistas. 	<ul style="list-style-type: none"> Treinamentos técnicos oferecidos para todos os níveis de operadores.
Vínculos Laterais	Sistemas de planejamento e controle	<ul style="list-style-type: none"> Controle de qualidade realizados por amostragem. 	<ul style="list-style-type: none"> Controle de qualidade realizado em 100% das peças finalizadas.
		<ul style="list-style-type: none"> Ajuste de máquinas realizado após inspeção da peça. 	<ul style="list-style-type: none"> Ajuste de máquinas realizado de forma automática a cada peça produzida.
Dinâmica da organização e do trabalho	Tratamento de eventos	<ul style="list-style-type: none"> Acionamento da equipe de manutenção 	<ul style="list-style-type: none"> Maior presença da área de automação no tratamento de eventos.

4.3.4. Discussão do Caso

O principal motivador estratégico para a execução deste projeto está relacionado à qualidade de produto. A incorporação do controle de qualidade à célula de produção e a automação dos ajustes de máquinas foram as principais mudanças no sistema produtivo. Embora o movimento das peças no fluxo produtivo entre as máquinas manteve-se dependente do operador, a integração da manufatura ocorreu pelo sistema de comunicação *machine to machine*, permitindo troca de dados e ajustes automáticos. A integração da manufatura pela automatização do fluxo de informações foi acompanhada pelas transformações na função do operador e do preparador de máquina e na função de apoio de controle de qualidade.

Para o operador, foi observado um enriquecimento de cargo horizontal na medida em que foram acrescidas atividades relacionadas ao controle de qualidade e de *setup* de máquinas, mantendo as atividades anteriormente desempenhadas. Com a automatização dos ajustes das máquinas, essa atividade foi retirada da interferência do operador, sendo essa a mais passível de erro humano. Com isso, a operação da célula de produção ficou menos complexa. Dessa forma, foi tomada a decisão de transferir atividades de *setup*, de troca de ferramentas das máquinas CNCs e de controle de qualidade, que antes estavam na responsabilidade do preparador de máquina e técnico de laboratório, funções que deixaram de desempenhar essas atividades na célula. Vale ressaltar que, segundo o que foi relatado, a decisão de transferir essas atividades só foi tomada à medida que a complexidade da operação foi diminuída, não exigindo alta capacitação técnica do operador. Embora o grau de responsabilidade do operador tenha aumentado por incorporar um número maior de atividades, podemos observar a manutenção da complexidade das atividades desempenhas por ele. Nesse caso, ao invés das atividades mais simples serem automatizadas, uma atividade mais complexa, pela sua abstração e conhecimento técnico, o foi. Desse forma, não foi possível observar, assim como exposto por Kagermann et al. (2013), para o nível do operador na célula, a demanda pelo gerenciamento de complexidade, abstração e de resolução de problemas.

Com a transferência de atividades do preparador de máquinas e de controle de qualidade para o operador, estes passaram a participar dos treinamentos técnicos que antes eram oferecidos apenas aos preparadores de máquinas e especialistas. Aumentar o nível técnico no chão de fábrica faz parte da estratégia da organização de centralizar no operador a gestão da linha de produção de maneira mais autônoma possível, diminuindo cada vez mais a necessidade do preparador para atividades de *setup* de máquina e troca de ferramentas das CNCs.

O aumento da complexidade pode ser observado na área de engenharia, responsável pelo desenvolvimento e manutenção do sistema até o momento. Pelo que foi relatado, o desenvolvimento do projeto exigiu conhecimento técnico em TI. Por mais que a organização tenha uma área de TI central para o atendimento às fábricas, o conhecimento teve de ser adquirido pela equipe de engenharia de automação responsável pelo projeto. Tal fato observado relaciona-se diretamente à estratégia da organização de desenvolver o conhecimento internamente em uma equipe dedicada a projetos de automação. Dessa forma, a multifuncionalidade passou a ser mais intensa, especialmente entre TI e automação.

Sobre a interface com a manutenção e o planejamento produtivo não foi observada ou relatada nenhuma transformação até o momento. A responsabilidade pela manutenção do sistema tecnológico autônomo, bem como pelo tratamento de eventos, está a cargo da área de automação, responsável pelo seu desenvolvimento.

5. CONCLUSÕES

Como última discussão dos resultados deste trabalho, serão apresentadas algumas conclusões às perguntas elaboradas no capítulo 3, sobre a metodologia, consolidando o foco desta pesquisa a partir da discussão teórica apresentada.

a) As indústrias estudadas, em seus projetos de adoção de tecnologias habilitadoras para a Indústria 4.0 e manufatura avançada, estão adotando uma perspectiva sociotécnica para a organização do trabalho? Com isso, quais são as transformações relevantes da organização do trabalho com a implementação tecnológica.

Assim como apresentado por Marx (1998), Salerno (1999), Davis (1971), Zarifian (1990), Trist (1981), Fleury (1980), entre outros, a abordagem sociotécnica está associada especialmente à inserção dos grupos autônomos ou semiautônomos no ambiente industrial. Nesse sentido, não foi possível observar transformações na organização do trabalho, nem mesmo a pretensão de realizá-las, em adotar grupos autônomos ou semiautônomos. O caso da “indústria de embalagens plásticas” foi o caso que mais se aproximou dessa abordagem. Um primeiro aspecto relacionado a isso tem a ver com a amplitude de transformações na organização. Nos outros dois casos estudados, os projetos estavam localizados especificamente na produção em uma célula. No caso da “indústria de embalagens plásticas”, a amplitude extrapolou o chão de fábrica, gerando transformações nas interfaces departamentais, para além da produção e manutenção. Dois fatores podem estar atrelados a isso. Um primeiro é que, assim como relatado e defendido pelo seu sócio diretor, as transformações da organização do trabalho não estavam em relação direta à implementação tecnológica, mas sim a ações de melhorias da eficiência do sistema organizacional como um todo. No caso específico, a automação do controle de parada de máquinas foi um fator importante na melhoria do controle produtivo, permitindo o acesso a informações padronizadas e em um menor espaço de tempo. Assim como apontado por Kagermann et al. (2013), nos casos estudados, a visibilidade dos dados sobre a produção impulsionou diferentes ações de melhoria no nível organizacional. Outro fator relevante no entendimento deste caso específico é a baixa formalização dos processos e procedimentos, tanto na produção e manutenção quanto nas áreas administrativas. Ficou evidente que, com a produção de dados padronizados, as ações de melhoria levaram a ações de formalização. Dessa maneira, ações com uma abordagem clássica da gestão foram adotadas. Assim como apontado por Zarifian (1990), redução do tempo de execução de um trabalho pela

implementação de rotinas operacionais, novos acordos entre a gerência organizacional de aceitação de tais procedimentos pelos operadores frente ao aumento progressivo de salários e o estabelecimento da relação direta entre rentabilidade do capital e produtividade.

Embora o caso da “indústria de embalagens plásticas” tenha apresentado características de uma abordagem sociotécnica, é mais evidente a abordagem de enriquecimento de cargos ou do modelo Toyota e *lean* de produção, assim como nos casos “célula de produção autônoma” e “automação da inspeção e ajuste de máquinas”. As referências a esse modelo foram diretas nas entrevistas, e a estruturação, especialmente pelo modelo de produção puxada, bem como outros métodos e princípios puderam ser observados. Como destaque, o enriquecimento do cargo, ou seja, transferir o maior número de tarefas e responsabilidades possível para os trabalhadores do chão de fábrica na detecção de defeitos e sua rápida correção (WOMACK et al., 1990), foi, em certa medida, observado nos três casos. Tal aspecto é reforçado pelo aumento da padronização dos resultados em maior importância a padronização do conteúdo do trabalho. Garantir os resultados de produtividade e qualidade ganhou evidência na responsabilidade da operação. Políticas de remuneração variável vinculada a resultados, informações do controle de produção na célula para o operador e incremento de atividades de controle de qualidade foram transformações que buscaram esse aumento de responsabilidade. No entanto, tal aspecto é colocado como desafio organizacional na medida em que demanda competências sociais como iniciativa e relacionamento, além da necessidade de ampliação do conhecimento técnico do operador para que a transferência de tarefas e responsabilidade para o chão de fábrica seja crescente.

As questões de correção das variâncias, na medida da implementação de sistemas digitais automatizados, perderam a participação direta da operação, aumentando a dependência das áreas de suporte de engenharia de automação, especialmente. O aumento da complexidade do sistema tecnológico é fator determinante para isso. De todo modo, o enriquecimento do cargo se deu pela ampliação horizontal das responsabilidades e complexidades das tarefas, e foi observada ampliação vertical na participação direta da operação nos aspectos de controle e inspeção. No entanto, ampliação da participação das tarefas não se deu nos níveis de gestão de RH, Planejamento de Produção e Gestão da Produção.

As questões de aprendizagem, em um contexto mais amplo das macroestruturas da organização em seu ambiente interno, relacionam-se ao que Zarifian (1990) e Salerno (1991) defendem sobre a capacidade de evolução e inovação, consideradas como capacidades de flexibilidade de médio e longo prazo. Nesse sentido, pode-se concluir, a partir dos casos estudados, que as estratégias de internalização do conhecimento técnico para a implementação

dos projetos técnicos estão na prioridade das organizações estudadas e são as transformações mais evidentes na macroestrutura organizacional. Internalizar o desenvolvimento dos projetos em vez de terceirizar a parceiros, foi condição para o sucesso dos projetos. Tal aspecto deve-se ao fato do conhecimento das particularidades e especificidades do sistema técnico produtivo e das máquinas, pertencente aos profissionais da organização, em detrimento do conhecimento generalista do terceiro. Além disso, deve-se aos aspectos de médio e longo prazo no domínio do conhecimento necessário para a operação e manutenção dos novos sistemas, diminuindo, assim, a dependência externa e aumentando a capacidade de inovação e desenvolvimento internos.

Ainda sobre a aprendizagem, Salerno (1990) salienta a importância da capacidade dinâmica da organização em prever a revisão e substituição de regras e normas, sendo a cristalização das normas e regras o retrato da estática da organização. Nesse sentido, observou-se a implementação de iniciativas que buscavam efeito de aprendizagem organizacional, no entanto, tais movimentos estavam muito mais ligados a melhorias específicas no processo produtivo do que em uma visão mais ampla nas regras e normas que estabelecem e regulam a estrutura de poder e os padrões de relações dentro da fábrica ou mesmo da célula de produção. Alterações nas definições de zonas de responsabilidades e alterações de cargos e salários podem ser observadas como decorrentes de “condicionantes do sistema tecnológico” da automação, assim como discutido por Salerno (1991). Com isso, a adoção de comitês de resolução de problemas multidisciplinares, ou iniciativas de gestão de projetos de melhoria observados, relacionando mais as melhorias dos processos produtivos e menos vinculado a um projeto de transformação de estruturas e padrões de relações.

Em conclusão, essa perspectiva de pensar e repensar as estruturas, estabelecendo mecanismos que promovam e estimulem a dinâmica organizacional, está no centro da discussão como oportunidade para as indústrias estudadas aproximarem seus projetos a uma abordagem sociotécnica. Tal discussão começou a ser estabelecida de forma tímida dentro das organizações estudadas, na medida em que detectam na função da liderança operacional, no nível de líder de célula, líder de turno ou coordenador de produção oportunidades de desenvolvimento das competências de liderança e de seu papel frente as equipes operacionais. Dessa forma, há uma possibilidade de aprofundar as transformações no sentido do que coloca a Acatech:

é crucial empregar organização do trabalho e modelos de design organizacional que combinem um alto grau de responsabilidade individual e autonomia com lideranças descentralizadas e abordagens de gerenciamento que permitam aos funcionários maior liberdade para tomar suas próprias decisões, estarem mais envolvidos e regulamentar sua própria carga de trabalho (Kagermann et al., 2013).

b) Quais práticas de organização do trabalho estão sendo adotadas para a integração funcional entre Operação, Manutenção e TI? As fronteiras departamentais estão mais permeáveis? Há maior participação direta de diferentes atores na operação da fábrica?

As questões de integração funcional estão relacionadas mais aos aspectos de integração horizontal e vertical entre os departamentos vinculados a produção. Cada um dos projetos estudados adotou iniciativas distintas que resultaram em uma maior integração funcional entre Operação, Manutenção e TI.

Vale destacar que os conhecimentos e tarefas relacionados a TI foram incorporados pela área de engenharia de automação. Surge, talvez, uma nova função ou um conjunto de conhecimentos específicos à Tecnologia da Informação Industrial que, por razões práticas do desenvolvimento dos projetos, foi assumida pela área de engenharia de automação. Infraestrutura de rede, servidores, *softwares*, bem como sistemas de habilitadores de troca de dados entre máquinas tipo MES fizeram parte do aprendizado da equipe de automação.

Nesse sentido, houve maior integração da área de engenharia de automação com a operação e manutenção. O aspecto da implementação do projeto em si, responsabilidade funcional da engenharia de automação e o domínio do conhecimento, não existente nas equipes de manutenção e operação, foram fatores para maior integração. A disponibilidade de informações automatizadas sobre a produção, pela automatização da operação das células produtivas, a manutenção tem nova oportunidade de trabalhar com os dados. No entanto, tais iniciativas estavam em fase iniciais nos casos da “célula de produção autônoma” e “automação da inspeção e ajuste”. Nesse mesmo sentido, projetos junto à área de suprimentos estão em andamento no sentido de maior integração. Nesse sentido, questões de integração tecnológica estão relacionadas à integração funcional (LAWRENCE; LORSCH, 1967), conectando departamentos eletronicamente e provendo acesso a uma base de dados comum.

Mudanças de estruturas organizacionais tiveram fator importante na integração funcional. No caso da “indústria de embalagens plásticas”, tal integração ocorreu pela junção da coordenação da produção e manutenção com a introdução de um gestor de produção e manutenção, ocupando as duas funções. No caso da célula de produção autônoma, a junção da coordenação das áreas de manutenção e engenharia de automação na mesma função e, no caso da “automação da inspeção”, a criação de uma área específica para projetos de automação.

No que concerne a fronteiras entre as áreas operacional, não foi possível concluir o aumento da permeabilidade. O que se pôde concluir, pelo exposto acima, foi o aumento da dependência da presença da área de engenharia de automação no chão de fábrica.

c) Na medida em que as tarefas simples e repetitivas são substituídas por sistemas automatizados, há o aumento da responsabilidade e liberdade para a tomada de decisão pelos diferentes atores envolvidos na produção? Isso estaria relacionado ao aumento da complexidade de suas atividades e à participação direta em decisões de gestão.

Um primeiro aspecto a ser destacado – assim como colocado por Kagermann et al. (2013); Hirsch-Kreinsen, 2017 *apud* Kindel et al. (2008); e Frey e Osborne (2013) –, trabalhos de baixa qualificação e tarefas simples e repetitivas tendem a ser substituídos por sistemas automatizados inteligentes. Embora tenha sido constatado o potencial de redução de posições de trabalho e de funções pela automação, nem toda atividade simples e repetitiva foi automatizada. As mudanças na organização do trabalho, assim como defendido pelo modelo de Fleury (2004), sofre influência direta das decisões, e estas estabelecem mútua relação com a estratégia. Com isso, a maior ou menor redução de posições de trabalho está mais relacionada à estratégia da indústria, com escolha tecnológica, do que com a característica da atividade desempenhada.

No caso da “célula de produção autônoma”, onde ocorreu a maior redução de postos de trabalho, o objetivo do projeto estava vinculado diretamente à redução do custo operacional. Com isso, foi implementada a conexão do sistema produtivo com esteiras e robôs colaborativos exercendo atividades de carga e descarga, bem como de embalagem. No caso “automação da inspeção e ajuste”, o objetivo é eliminar a interferência humana nas atividades de ajuste de máquina – atividades críticas para o controle de qualidade do produto e de manutenção das máquinas. Neste sentido, a tarefa mais complexa da célula foi automatizada. Embora o operador tenha ampliado a sua responsabilidade e enriquecido a sua posição com a inclusão de atividades de operação do equipamento de medição 3D e a substituição de ferramentas e de *setup*, as atividades de carga e descarga foram mantidas mais simples do que a atividade automatizada. O custo e a dificuldade técnica de implementar robôs para realizarem a carga e a descarga das peças inviabilizam a sua execução.

Pode-se concluir, pelos casos estudados, um aumento da responsabilidade do operador, especialmente com a transição de uma padronização do conteúdo do trabalho para uma

padronização dos resultados. Junto a isso, as atividades de gestão do fluxo produtivo com o monitoramento de indicadores das máquinas foi a principal transformação observada. Junto ao aumento da responsabilidade, há a transição de atividades mecânicas para atividades abstratas. Assim como sustentado por Fleury (1980), com maior grau de automação, a tarefa do operador resume-se, na maior parte do tempo, a rotinas de monitoramento e controle das máquinas.

De todo modo, a liberdade do operador limita-se as decisões de gestão da célula de produção, parando a produção quando necessário, solicitando suporte da manutenção e na gestão da matéria-prima. Claramente, um enriquecimento do cargo horizontal. No entanto, decisões de planejamento de produção ou de recursos humanos saem da sua zona de responsabilidade e liberdade, estando aos cuidados das funções de gestão. Tais questões de enriquecimento vertical da função da operação estão menos relacionadas às condicionantes da implementação tecnológica e mais a escolhas e decisões sobre modelo de gestão e filosofia de gestão. Dessa forma, maior liberdade de decisão nos aspectos de gestão do operador precisa ser estimulada, assim como exposto acima, com o projeto organizacional mais amplo vinculado a uma abordagem sociotécnica.

5.1. Considerações finais

O presente trabalho se propôs a entender as transformações da organização do trabalho na relação com implementação de tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0. De maneira mais específica, compreender se os projetos de implementação tecnológica estão adotando uma abordagem sociotécnica. Diante disso, o escopo de estudo focou na operação e manutenção industrial, bem como a sua interface com as demais áreas de apoio, especialmente TI. Identificar quais as práticas de organização do trabalho estão sendo adotadas para a integração funcional esteve como questão de suporte nesta pesquisa. Assim como, em uma investigação mais próxima ao chão de fábrica, observar se houve o aumento da responsabilidade e liberdade para a tomada de decisão pelos diferentes atores envolvidos na operação industrial.

Um dos principais limitantes metodológicos desta pesquisa é o potencial comparativo cruzado entre os casos estudados. Assim como colocado por Thiollent (1992), a pesquisa organizacional é concebida como caso particular da pesquisa social empírica e é moldada em função de exigências próprias às finalidades e ao funcionamento das organizações. Nesse sentido, cada uma das organizações estudadas apresentou objetivos estratégicos distintos, bem como um conjunto de fatores históricos e constituintes da organização do trabalho, assim como colocado no modelo analítico (Figura 3) adaptado de Fleury (2004). Na tentativa de diminuir

esse fator limitante, esta pesquisa buscou, por meio do seu protocolo de pesquisa, padronizar as entrevistas por meio da identificação das transformações da organização do trabalho com base nos parâmetros descritivos (Tabela 1). No entanto, a aplicação esteve sujeita a variações de acesso a diferentes atores nos casos estudados para a realização das entrevistas (Tabela 2). De todo modo, como pesquisa exploratória, este estudo buscou reabrir a discussão acadêmica empírica no contexto tecnológico atual, apontando as transformações da organização do trabalho apresentadas anteriormente. Com base nesses achados, para pesquisas futuras, é sugerida a construção de um questionário, com base na pesquisa *survey*, a ser aplicado numa base de casos maior, podendo, assim, facilitar a comparação e a constatações de transformações na organização do trabalho de forma mais sistemática.

Para futuras pesquisas, também, fica como sugestão o olhar mais específico para as questões de aprendizagem e capacidade dinâmica da organização em seu processo de aprendizagem e transformação, assim como defendido por Zarifian (1990) e Salerno (1991, 1999). No que foi apresentado, os projetos estudados estão em fase de projeto-piloto, sendo que o processo de aprendizagem organizacional a partir deles é central. Aprofundar o entendimento na forma como a organização do trabalho funciona no sentido de sua dinâmica de aprendizagem é fundamental para um projeto organizacional com base em uma abordagem sociotécnica. Neste sentido, a capacidade de inovação dos processos produtivos e de gestão da manufatura tendem a estar relacionada aos instrumentos e mecanismos de aprendizagem internos à organização.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACATECH. **Cyber-Physical System**. acatech Position Paper, acatech Position. v. 11, n. December, p. 48, 7 Nov 2011.

ADLER, P. S. **Managing Flexible Automation**. California Management Review, v. 30, n. 3, p. 34–56, Abr 1988.

ALBACH, H. *et al.* (Org.). **Management of Permanent Change**. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2015. v. 44. p. 23–45.

ARSLAN, U.; ERDIL, E. **New Technologies and Changes in Work Organization: A Survey**. p. 1–45, 2003.

BOCKEN, N. M. P.; PRAUSE, G. **Sustainable business models and structures for Industry 4.0**. Journal of Security and Sustainability Issues, v. 2, n. April, p. 1–28, 2016.

BUHR, D. **Social Innovation Policy for Industry 4.0**. 2017.

CAGLIANO, R.; SPINA, G. **Advanced manufacturing technologies and strategically flexible production**. Journal of Operations Management, v. 18, n. 2, p. 169–190, Fev 2000.

CARUSO, L. **Digital innovation and the fourth industrial revolution: epochal social changes?** AI & SOCIETY, 24 Jun 2017.

CAY, F.; CHASSAPIS, C. **An IT view on perspectives of computer aided process planning research**. Computers in Industry, v. 34, n. 3, p. 307–337, Dez 1997.

CHERNS, A. **Principles of Sociotechnical Design Revisted**. Human Relations, v. 40, n. 3, p. 153–161, 22 Mar 1987. CHRYSSOLOURIS, G e colab. **Digital manufacturing: history, perspectives, and outlook**. v. 223, p. 451–462, 2008.

CHERNS, A. **The Principles of Sociotechnical Design**. Human Relations, v. 29, n. 8, p. 783–792, 22 Ago 1976.

CLEGG, C. W. **Sociotechnical principles for system design**. Applied Ergonomics, v. 31, n. 5, p. 463–477, Out 2000.

CNI. **SONDAGEM Especial - Industria 4.0**. [S.l: s.n.], 2016.

DAUDT, G. M.; WILLCOX, L. D. **Reflexões críticas a partir das experiências dos Estados Unidos e da Alemanha em manufatura avançada**. BNDES Setorial, n. 44, p. 5–45, 2016.

DAVIS, L. E. **The coming crisis for production management: technology and organization.** International Journal of Production Research, v. 9, n. 1, p. 65–82, 25 Jan 1971.

DEAN JUNIOR, J. W.; SNELL, S. A. **Integrated Manufacturing and Job Design: Moderating Effects of Organizational Inertia.** v. 34, n. 4, p. 776–804, 1991.

DEUEL, A. C. **The benefits of a manufacturing execution system for plantwide automation.** ISA Transactions, v. 33, n. 2, p. 113–124, Jul 1994.

DRATH, R.; HORCH, A. **Industrie 4.0: Hit or Hype? [Industry Forum].** IEEE Industrial Electronics Magazine, v. 8, n. 2, p. 56–58, Jun 2014.

DREGGER, J. *et al.* **The digitization of manufacturing and its societal challenges: a framework for the future of industrial labor.** Maio 2016, [S.l.]: IEEE, maio 2016. p. 1–3.

DURKHEIM, E. **A regras do método sociológico.** 7. ed. São Paulo: Companhia das Letras, 1975.

EISENHARDT, K. M. **Building Theories from Case Study Research.** The Academy of Management Review, v. 14, n. 4, p. 532, Out 1989.

FLEURY, A. C. C. **Produtividade e organização do trabalho na indústria.** Revista de Administração de Empresas, v. 20, n. 3, p. 19–28, Set 1980.

FLUERY, A. **Prospecção Organizacional in Modelo SENAI de Prospecção: documento metodológico.** [S.l.: s.n.], 2004.

FREY, C. B.; OSBORNE, M. A. **The Future of Employment: How susceptible are jobs to computerisation?** p. 1–72, 2013.

GEERTZ, C. **A interpretação das culturas.** 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

GUNENDRAN, A. G.; YOUNG, R. I. M. **Methods for the capture of manufacture best practice in product lifecycle management.** International Journal of Production Research, v. 48, n. 20, p. 5885–5904, 15 Out 2010.

HARTMANN, M. H.; HALECKER, B. **Management of Innovation in the Industrial Internet of Things Things.** 2015, [S.l.: s.n.], 2015. p. 1.

HERBST, D. P. G. **David (P.G.) Herbst.** p. 1–13, 1965.

HIRSCH-KREINSEN, H. **Smart production systems : a new type of industrial process innovation.** DRUID Society Conference 2014, n. June 2014, p. 1–21, 2014.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W. e HELBIG, J. **Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0**. Final report of the Industrie 4.0 WG, n. April, p. 82, 2013.

KAGERMANN, H. **Change Through Digitization—Value Creation in the Age of Industry 4.0**.

KING, G. S.; JONES, R. P.; SIMNER, D. **A good practice model for implementation of computer-aided engineering analysis in product development**. Journal of Engineering Design, v. 14, n. 3, p. 315–331, Set 2003.

KRZYWDZINSKI, M.; JÜRGENS, U.; PFEIFFER, S. **The Fourth Revolution: The Transformation of Manufacturing Work in the Age of Digitalization**. WZB Report, p. 22–25, 2016.

KUMAR, S. *et al.* **Investigating the value of integrated operations planning: A case-based approach from automotive industry**. International Journal of Production Research, v. 56, n. 22, p. 6971–6992, 17 Nov 2018.

LAWRENCE, P. R.; LORSCH, J. W. **Differentiation and Integration in Complex Organizations**. Administrative Science Quarterly, v. 12, n. 1, p. 1, Jun 1967.

LEE, E. A. **Cyber Physical Systems: Design Challenges**. Maio 2008, [S.l.]: IEEE, Maio 2008. p. 363–369.

LEE, S. M. *et al.* **Successful implementations of MES in Korean manufacturing SMEs: An empirical study**. International Journal of Production Research, v. 50, n. 7, p. 1942–1954, 2012.

LIKER, J. K.; HADDAD, C. J. **PERSPECTIVES ON TECHNOLOGY AND WORK ORGANIZATION**. 1999.

LU, Y. **Industry 4.0: A Survey on Technologies, Applications and Open Research Issues**. Journal of Industrial Information Integration, v. 6, p. 1–10, 2017.

LUXHØJ, J. T.; RIIS, J. O.; THORSTEINSSON, U. **Trends and perspectives in industrial maintenance management**. Journal of Manufacturing Systems, v. 16, n. 6, p. 437–453, Jan 1997.

MAHMOUD, M. I. *et al.* **Production operation management using Manufacturing Execution Systems (MES)**. Dez 2015, [S.l.]: IEEE, Dez 2015. p. 111–116.

MANUFACTURING USA. **Manufacturing USA Annual Report, Fiscal Year 2016**. PowerAmerica. [S.l.: s.n.], 2016.

MARTIN, T.; ULICH, E.; WARNECKE, H. J. **Appropriate automation for flexible manufacturing**. *Automatica*, v. 26, n. 3, p. 611–616, maio 1990.

MARX, R. **Organização para a inovação: avaliação crítica dos projetos e da implantação de trabalho em grupos com autonomia**. 2008. Tese (Livre Docência)-Departamento de Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MESA, International. **MES Functionalities & MRP to MES Data Flow Possibilities**. [S.l: s.n.], 1997.

MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS E MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, Inovações e Comunicações. **Perspectivas de Especialistas Brasileiros sobre a manufatura avançada no Brasil**. [S.l: s.n.], 2016.

MINTZBERG, H. **Criando Organizações Eficazes: estruturas em cinco configurações**. 2. ed., 3. reimpr. São Paulo: Atlas, 1993.

MONOSTORI, L. *et al.* **Cyber-physical systems in manufacturing**. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, v. 65, n. 2, p. 621–641, 2016.

MOURTZIS, D.; VLACHOU, E. **A cloud-based cyber-physical system for adaptive shop-floor scheduling and condition-based maintenance**. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 47, n. October 2017, p. 179–198, 2018.

MUMFORD, E. **The story of socio-technical design: Reflections on its successes, failures and potential**. *Information Systems Journal*, v. 16, n. 4, p. 317–342, 2006.

NICHOLS, W; JONES, O. **The Introduction of CIM: A Strategic Analysis**. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 14, n. 8, p. 4–16, Ago 1994.

NIKOLOPOULOS, K. *et al.* **Integrating industrial maintenance strategy into ERP**. *Industrial Management & Data Systems*, v. 103, n. 3, p. 184–191, Abr 2003.

PFEIFFER, S. **The Vision of “Industrie 4.0” in the Making—a Case of Future Told, Tamed, and Traded**. *NanoEthics*, v. 11, n. 1, p. 107–121, 25 Abr 2017.

PWC. **Indústria 4.0: digitalização como vantagem competitiva no Brasil**. [S.l: s.n.], 2016.

RAJKUMAR, R, *et al.* **Cyber-physical systems**. 2010, New York, New York, USA: ACM Press, 2010, p. 731.

ROBLEK, V.; MEŠKO, M.; KRAPEŽ, A. **A Complex View of Industry 4.0**. *SAGE Open*, v. 6, n. 2, p. 215824401665398, 20 Abr 2016.

ROSENTHAL, S. R. **Progress toward the “factory of the future”**. Journal of Operations Management, v. 4, n. 3, p. 203–229, Maio 1984.

RUSCHEL, E.; SANTOS, E. A. P.; LOURES, E. F. R. **Industrial maintenance decision-making: A systematic literature review**. Journal of Manufacturing Systems, v. 45, p. 180–194, 2017.

SALERNO, M. S. **Flexibilidade, organização e trabalho operatório: elementos para análise da produção na indústria**. 1991.

SALERMO, M. S. **Projeto Organizacional de produção integrada, flexível e de gestão democrática: processos, grupos e espaços de comunicação-negociação**. 1999.

SCHUH, G. *et al.* **Industrie 4.0 Maturity Index**. Acatech Study, p. 59, 2017.

SCHULTZ-WILD, R. **On the threshold of computer-integrated manufacturing**. Computer Integrated Manufacturing Systems, v. 2, n. 4, p. 240–248, Nov 1989.

STRANG, D.; ANDERL, R. **Assembly process driven component data model in cyber-physical production systems**. 2014, [S.l.: s.n.], 2014. p. 947–952.

SWAMIDASS, P. M.; KOTHA, S. **Explaining manufacturing technology use, firm size and performance using a multidimensional view of technology**. Journal of Operations Management, v. 17, n. 1, p. 23–37, 1998.

SWANSON, L. **The impact of new production technologies on the maintenance function: An empirical study**. International Journal of Production Research, v. 37, n. 4, p. 849–869, 1999.

SWINK, M.; NAIR, A. **Capturing the competitive advantages of AMT: Design–manufacturing integration as a complementary asset**. Journal of Operations Management, v. 25, n. 3, p. 736–754, Abr 2007.

THIOLLENT, M. **Organização do trabalho intelectual e novas tecnologias do conhecimento**. Ciência da informação, v. 21, n. 2, p. 110–114, 1992.

THOBEN, KD.; WIESNER, S.; WUEST, T. **“Industrie 4.0” and Smart Manufacturing – A Review of Research Issues and Application Examples**. International Journal of Automation Technology, v. 11, n. 1, p. 4–16, 5 Jan 2017.

TILSON, D. *et al.* **Desperately Seeking the Infrastructure in IS Research: Conceptualization of “Digital Convergence” As Co-Evolution of Social and Technical Infrastructures**. 2010, [S.l.]: IEEE, 2010. p. 1–10.

TRIST, E. **The Evolution of socio-technical systems: a conceptual framework and action research program.** Conference on Organizational Design and Performance, v. 2, p. 1–67, 1981.

UMBLE, E. J.; HAFT, R. R.; UMBLE, M. M. **Enterprise resource planning: Implementation procedures and critical success factors.** European Journal of Operational Research, v. 146, n. 2, p. 241–257, Abr 2003.

VOGEL-HEUSER, B.; HESS, D. **Guest Editorial Industry 4.0–Prerequisites and Visions.** IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, v. 13, n. 2, p. 411–413, Abr 2016.

VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. **Case research in operations management.** International Journal of Operations & Production Management, v. 22, n. 2, p. 195–219, Fev 2002.

YEUNG, M. K. **Intelligent process-planning system or optimal CNC programming – a step towards complete automation of CNC programming.** Integrated Manufacturing Systems, v. 14, n. 7, p. 593–598, Nov 2003.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **The Machine that Changed the World.** Free Press (1990).

ZARIFIAN, P. As novas abordagens da produtividade. *In*: SOARES, R. M. S. M. **Gestão da empresa, automação e competitividade:** novos padrões de organização e de relações de trabalho. Brasília: IPEA/IPLAN, 1990.

ZARTE, M. *et al.* **Building an Industry 4.0-compliant lab environment to demonstrate connectivity between shop floor and IT levels of an enterprise.** Out 2016, [S.l.]: IEEE, Out 2016. p. 6590–6595.

ZHONG, R. Y. *et al.* **Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review.** Engineering, v. 3, n. 5, p. 616–630, 2017.

ZHOU, K.; TAIGANG, L.; LIFENG, Z. **Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges.** Ago 2015, [S.l.]: IEEE, Ago 2015. p. 2147–2152.

7. ANEXOS

7.1. Anexo I – Perguntas para entrevistas semiestruturadas

GERAIS	
Sobre a empresa	Número de funcionários; Produtos fabricados; Quantas plantas existem no grupo e como elas se diferenciam; Quais os mercados atendidos? Em síntese, quais os principais momentos históricos da empresa/unidade?
Sobre os Entrevistados	Área dentro da empresa; Posição ocupada na empresa; Atribuições e responsabilidades da área; Contato – e-mail e/ou telefone para contato posterior.
GESTOR DE OPERAÇÃO, MANUTENÇÃO E/OU GESTOR DE TI	
Projeto	O que levou à decisão de implantar este sistema? Quais necessidades, problemas oportunidades foram identificadas e que influenciaram na decisão? O que era esperado obter? (Objetivos, melhorias, ganhos etc.) Quais indicadores são utilizados para medir estes objetivos? Quais resultados vocês observaram até este momento?
Tecnologia	Quais tecnologias/sistemas foram adotadas no projeto? O que essas tecnologias permitem a organização fazer de diferente?
GESTORES DE OPERAÇÃO (GERENTE/COORDENADOR DE PRODUÇÃO)	
Organização do Trabalho	<p>A respeito da organização geral do trabalho, especifique:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Organograma: antes e depois, alguma mudança? • Desenho do processo produtivo: antes e depois, alguma mudança? • As principais rotinas existentes, quais mudanças foram realizadas; • Houve alguma mudança na distribuição de tarefas e atividades na operação? Como era antes e como ficou? • Sobre a sua função e principais atividades atribuídas a você, houve alguma mudança com a implementação do sistema? Especifique. • Como você utiliza esse sistema para realizar a sua função? O que se modificou? • Decisões Operacionais. Relate exemplos, especificando os tomadores das decisões – como eram realizadas e como passaram a ser tomadas após o sistema? <p>Na ocorrência de eventos não planejados (quebra, falha etc.), especifique:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Relate exemplos recentes de eventos não planejados, antes e depois da implantação do sistema - que mudou na forma de tratamento do evento? • O que foi feito? Quem foi envolvido? Quais decisões foram tomadas? • Quanto aos indicadores de desempenho operacional, quais mudanças foram observadas neste período? Na sua visão, essa mudança está associada a que, especificamente?
OPERADOR DA PRODUÇÃO/MANTENEDOR	
Organização do Trabalho	<p>A respeito da organização do trabalho da tarefa e atividade na operação, especifique:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Descreva rapidamente o fluxo do seu trabalho e a sua função/atividades centrais no trabalho. • No que se refere às suas atividades de trabalho, o que mudou com a implementação do sistema? O que e como fazia antes? O que e como passou a fazer? • Quanto às decisões que você toma no dia de trabalho, houve alguma mudança? Quais decisões tomava? Quais toma agora? • Você recebeu algum treinamento? Qual treinamento você recebeu ou recebe? Como foi o treinamento? • Com a implementação do sistema, houve alguma mudança no que você está autorizado a fazer? <p>Na ocorrência de eventos não planejados (quebra, dificuldade, dúvida), especifique:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Relate exemplos recentes de eventos não planejados, antes e depois da implantação do sistema.

	<ul style="list-style-type: none"> O que foi feito? Quem foi envolvido? Quais decisões foram tomadas?
GESTOR/PROFISSIONAL DE TI	
Organização do Trabalho	<p>A respeito da organização do trabalho em TI, especifique:</p> <ul style="list-style-type: none"> De modo geral, descreva o sistema técnico implementado; Descreva o processo de implementação, as suas etapas, as pessoas/funções envolvidas neste processo e em quais momentos foi crucial a interface com outras funções. Em quais momentos você mantém interface com a área de produção e manutenção? Como ela ocorre? Sobre a sua função e principais atividades atribuídas a você, houve alguma mudança com a implementação do sistema? Especifique. Na sua visão, quais as principais mudanças ocorridas na organização do trabalho antes e após a implantação do sistema? <ul style="list-style-type: none"> Fluxo de trabalho; Processo produtivo; Processo de manutenção; Processos Adm (RH etc). <p>Na ocorrência de eventos não planejados (quebra, falha etc.), especifique:</p> <ul style="list-style-type: none"> Relate exemplos recentes de eventos não planejados, antes e depois da implantação do sistema; O que foi feito? Quem foi envolvido? Quais decisões foram tomadas? <p>Quanto aos indicadores de desempenho operacional, quais mudanças foram observadas neste período? Na sua visão, essa mudança está associada a que, especificamente?</p>
GESTOR DE MANUTENÇÃO	
Organização do Trabalho	<p>A respeito da organização geral do trabalho, especifique:</p> <ul style="list-style-type: none"> Organograma: antes e depois, alguma mudança? Desenho do processo produtivo: antes e depois, alguma mudança? As principais rotinas existentes, quais mudanças foram realizadas; Houve alguma mudança na distribuição de tarefas e atividades na Manutenção? Como era antes e como ficou? Sobre a sua função e principais atividades atribuídas a você, houve alguma mudança com a implementação do sistema? Especifique. Como você utiliza esse sistema para realizar a sua função? Decisões que você toma. Relate exemplos, especificando o processo que você utiliza para tomá-la; <p>Na ocorrência de eventos não planejados (quebra, falha etc.), especifique:</p> <ul style="list-style-type: none"> Relate exemplos recentes de eventos não planejados, antes e depois da implantação do sistema; O que foi feito? Quem foi envolvido? Quais decisões foram tomadas? <p>Quanto aos indicadores de desempenho operacional, quais mudanças foram observadas neste período? Na sua visão, esta mudança está associada a que, especificamente?</p>
RECURSOS HUMANOS	
Organização do Trabalho	<ul style="list-style-type: none"> De modo geral, quais são as políticas de gestão de pessoas da organização? Houve alguma mudança com a implementação tecnológica? Como o trabalho é avaliado/medido na empresa? Com a implementação da tecnologia houve alguma mudança? Organograma, antes e depois, alguma mudança? Desenho do processo produtivo: antes e depois, alguma mudança? As principais rotinas existentes, quais mudanças foram realizadas; Houve alguma mudança nas tarefas e atividades na operação/manutenção? Como era antes e como ficou? Com a implementação tecnológica, quais treinamentos foram necessários? Sobre a sua função e principais atividades atribuídas a você, houve alguma mudança com a implementação do sistema? Especifique... Como você utiliza deste sistema para realizar a sua função? O que se modificou?