



REVISTA BRASILEIRA DE MECATRÔNICA
FACULDADE SENAI DE TECNOLOGIA MECATRÔNICA

ESTUDO DO NÍVEL DE MATURIDADE LEAN E INDÚSTRIA 4.0 EM EMPRESAS BRASILEIRAS

STUDY OF THE LEVEL OF LEAN MATURITY AND INDUSTRY 4.0 IN BRAZILIAN COMPANIES

Anderson Tadeu de Santi Barbosa de Almeida^{1, i}

Douglas Roberto De Gennaro^{2, ii}

Ugo Ibusuki^{3, iii}

Data de submissão: (03/dezembro/2022) Data de aprovação: (13/11/2023)

RESUMO

A Indústria 4.0 é um dos termos mais utilizados para retratar o avanço da tecnologia nos últimos anos. A ele estão vinculadas uma série de ferramentas que auxiliam indústrias de todo o mundo a automatizar seus processos de fabricação. Ao longo das revoluções industriais, os processos deixaram de ser manuais e passaram a ser automatizados. No entanto, foi na Quarta Revolução que surgiram as máquinas capazes de se conectarem à rede e gerar dados. Essa evolução torna-se importante à medida que novos níveis de desenvolvimento são alcançados. No entanto, essas ferramentas só geram resultados significativos, quando aplicadas no momento certo. Este estudo busca identificar o momento ideal para a transição do *Lean Manufacturing* para a indústria 4.0, rumo ao que vem sendo chamado de *Lean 4.0*, identificando também, quais são as ferramentas certas para as organizações caminharem para a digitalização. Para analisar a maturidade de uma manufatura *lean*, desenvolvemos uma pesquisa baseada no Sistema Toyota de Produção. As questões foram divididas em quatro grupos, com base nos princípios *lean* apresentados neste artigo e nas ferramentas elencadas. Este questionário foi aplicado em empresas participantes do Programa SENAI Indústria + Avançada e programas da Universidade Federal do ABC. Dessa forma, nesse artigo, foi possível verificar o quanto a maturidade que a organização tem na metodologia do *lean manufacturing* reflete positivamente na implementação das tecnologias da Indústria 4.0.

Palavras-chave: Lean Manufacturing; Indústria 4.0; Disponibilidade; Produtividade.

¹ Mestrando em Engenharia de Produção na relação entre o Lean Manufacturing e a Indústria 4.0 na Universidade Federal do ABC. Email: anderson.santi@ufabc.edu.br

² Graduado em Engenharia de Controle e Automação pela Universidade Federal do ABC. Email: douglas.gennaro@aluno.ufabc.edu.br

³ Professor do programa de Engenharia de Gestão da Universidade Federal do ABC. Email: ugo.ibusuki@ufabc.edu.br

ABSTRACT

Industry 4.0 is one of the most used terms to describe the advancement of technology in recent years. Linked to it are a series of tools that help industries around the world automate their manufacturing processes. Throughout the industrial revolutions, processes stopped being manual and started to be automated. However, it was in the Fourth Revolution that machines capable of connecting to the network and generating data emerged. This evolution becomes important as new levels of development are reached. However, these tools only generate significant results when applied at the right time. This study seeks to identify the ideal moment for the transition from Lean Manufacturing to Industry 4.0, towards what is being called Lean 4.0, also identifying which are the right tools for organizations to move towards digitalization. To analyze the maturity of lean manufacturing, we developed research based on the Toyota Production System. The questions were divided into four groups, based on the lean principles presented in this article and the tools listed. This survey was applied to companies participating in the SENAI Indústria + Avançada Program and programs at the Federal University of ABC. Therefore, in this article, it was possible to verify how much the maturity that the organization has in the lean manufacturing methodology reflects positively on the implementation of Industry 4.0 technologies.

Keywords: Lean Manufacturing; Industry 4.0; Availability; Productivity

1 INTRODUÇÃO

A cada ano que passa a indústria vem se modernizando. Essa modernização tem início no século XVIII e XIX e trouxe grandes mudanças para época. Na Europa, particularmente, havia uma grande quantidade de trabalhadores manuais devido à ausência de máquinas para realizar tarefas ou produzir determinadas ferramentas. Até o final do século XVIII, grande parte da população europeia vivia no campo e produziam somente aquilo que consumiam – comunidades autossustentáveis. Contudo, o grande marco da primeira revolução industrial foi a mudança do trabalho manual pelo assalariado com uso de máquinas.

Apesar dos trabalhos serem realizados manualmente, alguns países europeus possuíam manufatura. Essas manufaturas, eram grandes oficinas onde diversos artesãos realizavam atividades em condições sub-humanas com grandes jornadas de trabalho. Contudo, esse panorama estava prestes a mudar. Entre 1760 e 1840, a Inglaterra liderou as mudanças que estavam ocorrendo na indústria.

Essas mudanças ocorreram primeiramente lá devido às vantagens territoriais (localização próxima ao mar) e a ascensão da burguesia. Houve um grande crescimento da indústria têxtil graças ao uso do tear mecânico. O marco dessa revolução foi o uso das máquinas à vapor.

Em meados de 1860/1870, surgem novas mudanças como o uso da energia elétrica e a utilização de combustíveis fósseis. Nessa fase, outros países como Alemanha e França tiveram uma maior participação. Foi a Segunda Revolução Industrial que deu início a linha de montagem com o Fordismo e o Taylorismo. Esse modo de produção em linha permitiu que um grande volume de carros fosse produzido num curto período. Outro fator importante é que, com o uso da luz elétrica, as fábricas que anteriormente trabalhavam em jornadas limitadas pela luz solar, passam a funcionar em período integral.

Foi na metade do século XX que começa a Terceira Revolução industrial. Marcada pelo uso da robótica e internet, trouxe grandes mudanças no cenário da produção. O uso da

internet permitiu a troca de informações e dados de maneira rápida e eficaz. Além disso, a robótica revolucionou a produção, tanto sobre o aspecto colaborativo (auxiliando os trabalhadores do chão de fábrica) como realocando mão de obra para atividades não automatizáveis. Nesse contexto, começam a surgir, no período pós Segunda Guerra, novas estratégias de manufatura que se diferenciavam daqueles existentes nos Estados Unidos. O modelo que surgiu no Japão foi denominado Sistema Toyota de Produção (STP), que posteriormente passou a ser chamado de *Lean Manufacturing* ou Sistema de Produção Enxuta. Esse sistema passou a ser estudado e aplicado por diversas empresas ao redor do mundo.

Recentemente, novas tecnologias envolvendo computação em nuvem, *IoT*, inteligência artificial, realidade virtual e realidade aumentada, revolucionaram mais uma vez a forma e o modelo de produção atual. Contudo, essa mudança não ocorre de maneira rápida. São necessários investimentos e estudo para saber qual o momento certo para fazer essa transição.

1.1 Objetivos

Para entender, através desse estudo, esse novo cenário que se desenha, foram definidos alguns objetivos a serem alcançados.

- a) Revisar as referências baseadas nos conceitos de *Lean Manufacturing* e Indústria 4.0 e assim selecionar as melhores técnicas e o momento ideal de transição para o Lean 4.0.
- b) Iniciar o mapeamento dos processos realizados em empresas que possuam algum tipo de produção em série (como do ramo automotivo, linha branca e outras), identificando a viabilidade da aplicação da(s) ferramenta(s) selecionada(s).
- c) Através da análise realizada, identificar qual nível de maturidade *lean* as empresas se encontram e propor as ferramentas que devem ser adotadas para automatizar seus processos com segurança.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Muitas referências fazem uma análise teórica sobre a relação entre *Lean Manufacturing* e Indústria 4.0, entretanto, ainda há pouca literatura que faz uma análise de implementações práticas em processos em que o *lean* foi uma base importante que precedeu um processo de digitalização.

2.1 Lean manufacturing

Lean Manufacturing, também conhecido como sistema de produção enxuta, foi criado e disseminado pelas grandes empresas automotivas. Em meados de 1990, diversas técnicas de produção *lean* começaram a surgir em vários ramos industriais. Sendo uma importante ferramenta de estudo, se faz necessário estudá-la com maior profundidade.

Karlsson & Ahlström (1996) dizem que o propósito do *lean*, criado pela Toyota no período Pós Segunda Guerra, era a redução de desperdício. Outro fator determinante para o *lean* é a busca pela melhoria constante, cuja ideia vem da palavra japonesa *Kaizen*. Contudo, o significado usado por eles vai além da melhoria constante, podendo ser traduzido como: melhoria constante envolvendo a todos. Apesar do conceito de *lean* ir muito além de

ferramentas, os autores sugerem alguns parâmetros e ferramentas para análise de eficiência *lean*, tais como:

1. Redução dos estoques – Os produtos estocados não geram receita enquanto estiverem armazenados. Além disso, é tempo de funcionamento do maquinário que poderia ser utilizado para realização de manutenções preventivas;
2. Diminuição do tamanho dos lotes – Com lotes menores, não há sobra de produtos que precisem ser estocados. A produção deve ser pensada para que não haja sobras. Lotes menores geram estoques menores;
3. Transporte de peças – O transporte de materiais necessários para uma determinada etapa do processo de fabricação também não agrega valor ao produto. Portanto, a criação de células de produção diminuiria o *lead time*⁴ de produção;
4. Qualidade do produto – É de responsabilidade de todos os trabalhadores a qualidade dos produtos que estão sendo produzidos. Sendo assim, não é necessário que haja um grande setor de qualidade, pois a verificação é feita ao longo de todo processo por todos os trabalhadores.
5. *Just-in-time* – O princípio do *Just-in-time* é que cada parte necessária para a montagem do produto deve chegar na hora certa na linha de produção e com a qualidade necessária para que não haja necessidade de ajustes. Para isso, o autor sugere a diminuição dos tamanhos dos lotes e, somado a isso, outra sugestão é a diminuição do tempo de espera.
6. Equipes Multidisciplinares – Estas equipes costumam trabalhar em subáreas de produção chamadas de células. Nessas células, a equipe é responsável por executar todas as tarefas. O principal objetivo é que ao invés de ter funcionários trabalhando em apenas uma tarefa específica, tenham menos funcionários trabalhando em mais de uma atividade. Isso diminui a dependência de apenas uma pessoa especializada em uma tarefa específica tornando o trabalho mais flexível.
7. Descentralização de atividade – Todos são responsáveis pela supervisão das tarefas. No modelo ideal, deve haver uma certa rotatividade de liderança entre os funcionários que foram devidamente treinados para este fim.

Goodson (2002) traz um novo método para análise da maturidade *lean*. O autor desenvolve uma ferramenta de análise, chamada por ele de “*The Rapid Plant Assessment (RPA)*.” A folha de classificação apresenta 11 categorias para avaliar a consistência de uma planta, e o questionário da RPA fornece 20 perguntas (sim ou não) para determinar se a planta usa as melhores práticas nessas categorias. Abaixo estão listadas algumas das categorias apresentadas pelo autor em sua pesquisa.

1. Satisfação do cliente – Os funcionários sabem quem são seus clientes e o seu principal objetivo é satisfazê-los. Outro fator importante é a apresentação da fábrica. O cliente deve ser bem-vindo à fábrica, para isso, é importante que os funcionários sejam capacitados para apresentar a planta.
2. Meio ambiente, segurança, limpeza e ordem – Numa fábrica limpa e organizada é mais fácil de se trabalhar. Não há necessidade de procurar por alguma peça, pois elas estão catalogadas e devidamente organizadas.

⁴ *Lead time* – tempo usado para rodar todo o ciclo de produção, desde o pedido do cliente até a entrega do produto.

3. Uso do espaço, movimentação de materiais e fluxo de linha de produtos – As plantas mais eficientes são aquelas que utilizam o espaço de maneira eficiente. Os materiais necessários para a produção devem ser movidos apenas uma vez.
4. Trabalho em equipe e motivação – As fábricas devem possuir um quadro de funcionários, uma área reservada para sugestões de melhoria e até mesmo medidas de segurança expostas. Além disso, informações tais como o preço e data da última manutenção são importantes para demonstrar que a empresa investe para manter o funcionamento da fábrica.

2.2 Sistema Toyota de Produção (STP)

Durante muito tempo, a Toyota não documentou seus processos de fabricação (LIKER, 2005), pois era fácil para uma empresa de pequeno porte ensinar aos seus colaboradores e fornecedores como funcionavam seus processos. Com o passar dos anos, a montadora cresceu e a tarefa de passar para todas as plantas ao redor do mundo as melhores práticas aderidas se tornou inviável. Pensando nisso, o autor elaborou um modelo representativo do STP.

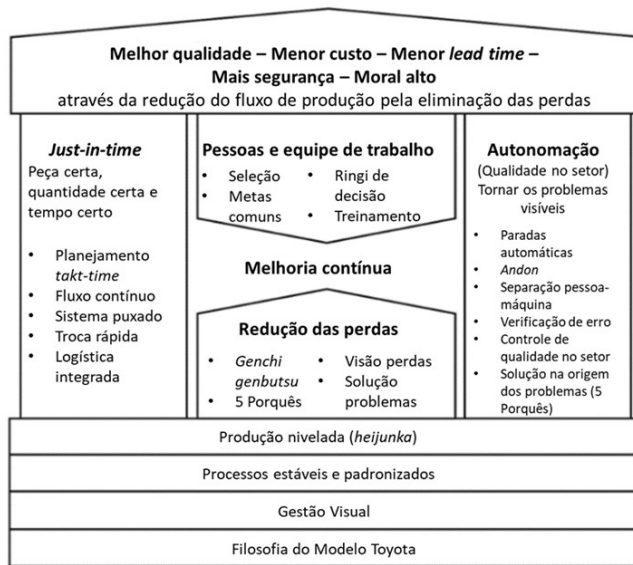
Assim como toda casa, para que ela se mantenha estável é preciso que as colunas, os alicerces e o telhado estejam todos bem solidificados. Caso um deles esteja comprometido, todo o resto é afetado. Nesse sentido, Liker (2005) colocou, em cada estrutura da casa, quais as ferramentas necessárias para a sustentabilidade do modelo por ele desenhado.

Telhado – Melhoria da qualidade, menor custo, mais segurança e menor *lead time*, são características fundamentais do Sistema Toyota de Produção. Para que cada um desses pontos seja alcançado são necessárias ferramentas de gestão *lean*. Para que não haja desperdício a produção deve ser puxada pela demanda evitando um volume de estoque muito grande.

Pilar *Just-in-time* – *Just-in-time* é o nome dado a um processo sincronizado e eficiente. Para que isso ocorra, é necessário um mapeamento de todo o fluxo de produção. Todas as etapas do processo devem estar bem definidas e delimitadas para que a produção seja organizada. A peça certa deve chegar a um determinado setor de produção na hora certa e na quantidade necessária para que não haja gargalos no processo. Outro fator importante dentro do pilar é o sistema puxado. Para que não haja excedentes, a produção é puxada conforme a demanda. À medida que novos pedidos chegam, aumenta-se a produtividade e na medida que menos pedidos chegam, diminui. Essa medida encadeia uma série de benefícios tais como: redução do estoque e diminuição do tamanho do lote.

Pilar *Jidoka* – *Jidoka* ou Autonomia é um termo que surgiu no século 20 como parte do Sistema Toyota de Produção. Apesar de, muitas vezes, ser relacionado com automação, esse termo não se restringe somente as máquinas. É importante ressaltar que ele está muito mais relacionado com a autonomia dos colaboradores em identificar e solucionar um problema à automação. Permitir que funcionários parem a linha de produção caso um problema seja identificado é parte fundamental do processo de manufatura. Isso evita o desperdício de tempo com retrabalhos e aumenta a qualidade do produto. Por não se tratar apenas de máquinas, a autonomia pode ser aplicada em qualquer tipo de negócio ou trabalhos que desenvolvam alguma atividade manual. O *Jidoka* é descrito como a forma capaz de humanizar a interface entre a máquina e o operador (SLACK, 2009, p.451).

Figura 1 - Casa do Sistema Toyota de Produção.



Fonte: Adaptado de Liker (2005, p.51)

Centro – Ao centro temos o termo *Kaizen* que significa a busca pela melhoria constante. Nesse sentido, funcionários treinados ajudam identificar erros ou falhas do processo de produção. Os colaboradores devem ser treinados para identificar qual a raiz do problema evitando que ele se repita. Práticas com os 5 porquês são eficazes na identificação da causa raiz. Essa prática consiste em se perguntar repetidamente os motivos que levaram aquela falha.

Alicerce – Na base estão todos conceitos que solidificam toda estrutura da casa. Uma vez que os princípios de autonomia foram aplicados, os funcionários devidamente capacitados, para que haja sustentabilidade do processo é necessário padronizá-lo. A padronização ajuda manter as boas práticas e evita que problemas futuros tenham que ser solucionados novamente.

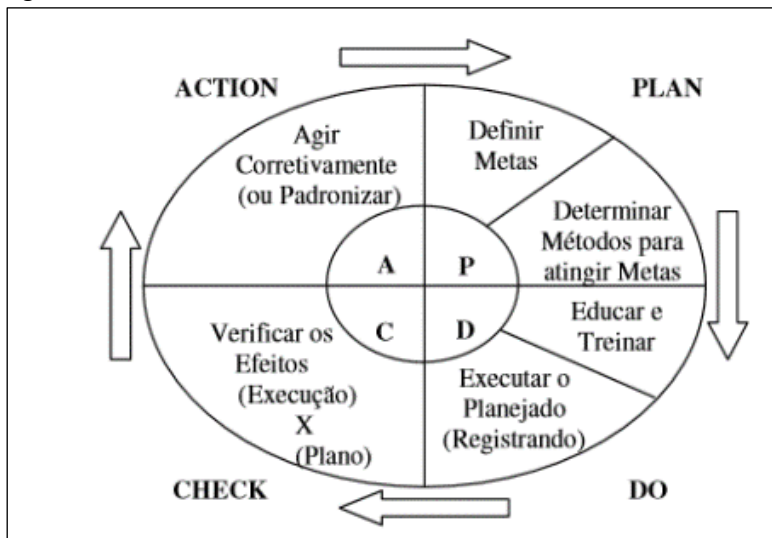
Por fim, o STP é erroneamente enxergado por alguns autores como uma caixa de ferramentas – 5S, *Just-In-Time*, 5 porquês etc. Ele é muito além disso. Pode ser encarado como uma cultura onde todos devem estar engajados com o mesmo propósito. É um sistema sofisticado de produção em que todas as partes contribuem para o todo (LIKER, 2005). Todas as medidas em conjunto são necessárias para a manutenção do *lean production*.

2.3 Ferramentas lean

1. *Kaizen* – *Kaizen* é um termo japonês que significa melhoria contínua. Segundo Rother & Shook (1999), *kaizen* pode ser separado em dois níveis diferentes:
Kaizen de fluxo: ou de sistema, que enfoca no fluxo de valor, dirigido ao gerenciamento;
Kaizen de processo: que enfoca em processos individuais, dirigido às equipes de trabalho e líderes de equipe.

2. 5S - Segundo Lapa (1998), os cinco primeiros “S” são definidos conforme definição abaixo:
SEIRI – Senso de utilização, arrumação, organização, seleção;
SEITON – Senso de ordenação, sistematização, classificação;
SEISO – Senso de limpeza, zelo;
SEIKETSU – Senso de asseio, higiene, saúde, integridade;
SHITSUKE – Senso de autodisciplina, educação, compromisso.
3. PDCA – A primeira fase do processo é o *Plan* (Planejar). Nela são estipuladas as metas ideais (roteirização de todo processo de execução) estabelecendo um método para atingir as metas traçadas. A segunda fase *Do* (Fazer) envolve o treinamento das pessoas envolvidas para que possam realizar todas as tarefas. Além disso, é importante a geração de dados para que possam ser analisados na etapa seguinte

Figura 2 - Método PDCA



Fonte: Campos (1992, p. 30)

A terceira etapa *Check* (Verificar) serve para comparar se as atividades planejadas estão sendo executadas de acordo com o planejamento. Por exemplo, as datas que foram estipuladas no planejamento devem ser verificadas para que não haja atraso no projeto. Por fim, a etapa *Action* (Agir/Corrigir) está relacionada com as medidas a serem tomadas após os resultados obtidos no passo anterior. Se os processos estão de acordo com o planejado, é importante que ele seja padronizado. Caso o plano de ação esteja diferente da execução, medidas corretivas devem ser tomadas. Assim como o *Kaizen*, o método PDCA deve objetivar a melhoria constante, sempre buscando otimizar e padronizar os processos.

4. Gestão Visual – O gerenciamento pode ser feito por quadros de *Kaizen*, onde os funcionários colocam as tarefas que estão sendo realizadas e as que já foram concluídas. Além disso, há quadros que exibem as melhorias propostas pelos funcionários e quais delas já foram aplicadas. Algumas empresas optam por usar um quadro de funcionários com os responsáveis de cada área para melhor direcionar as dúvidas e questionamentos sobre alguma determinada tarefa.
5. TQM (*Total Quality Management* ou Gestão da Qualidade Total) – Apesar da grande quantidade de artigos relacionados a esse tema, todos os autores apresentam uma definição similar sobre TQM. MEARS (1993) define TQM como um sistema permanente

e de longo prazo, voltado para alcançar a satisfação do cliente através da melhoria contínua da qualidade dos serviços e produtos da empresa. As definições que divergem dessa, apresentam ferramentas de TQM úteis para alcançar o objetivo supracitado.

6. TPM (*Total Productive Maintenance* ou Manutenção Produtiva Total) – Assim como as demais ferramentas *lean*, a TPM está muito mais associada a uma cultura do que mecanismo. Ela visa a manutenção e melhoria contínua dos equipamentos, aumentando sua efetividade e prolongando a sua vida-útil. A ideia principal é que os trabalhadores possam tirar o melhor proveito de cada máquina.

De acordo com Besterfield *et. al.* (1999), citado pelos autores Khamba e Ahuja (2008), a TPM ajuda a manter a planta e o equipamento atual em seu mais alto nível produtivo, através da cooperação de todas as áreas funcionais de uma organização.

2.4 Indústria 4.0

De acordo com o estudo da Acatech - *Industrie 4.0 Maturity Index* (2020), muitas organizações ainda não possuem um entendimento básico dos principais aspectos da indústria 4.0. Por exemplo, as empresas geralmente limitam incorretamente a indústria 4.0 à digitalização ou automação total. De acordo com Schumacher *et. al.* (2016), a maturidade deve ser não só quantitativa, mas também qualitativa e conforme Colli *et. al.* (2018) a maturidade está diretamente relacionada aos objetivos da organização. Ademais, ao invés de buscar um senso de mudanças coletivo, promovem mudanças isoladas que geram pouco ou quase nenhum efeito. Para que seus benefícios possam ser percebidos, é necessário que essas mudanças sejam aplicadas em todos os setores, quer seja ele de relacionamento com o cliente (envolvendo ferramentas de análise comportamental) como automatizando processos industriais. Segundo o estudo, a principal característica dessa nova era é a agilidade para realizar mudanças. Quanto mais rápido as mudanças organizacionais forem tomadas para se adequar a necessidade do mercado atual, maiores serão seus benefícios. Além disso, as mudanças também estão relacionadas ao tempo de produção e entrega. Empresas com agilidade e adaptada às novas tecnologias conseguem produzir melhor, com mais qualidade e mais rápido, entregando num prazo menor.

Cada empresa analisada no estudo tem um objetivo final diferente. Para isso, foi criado um mapa para que cada uma das empresas pudesse alcançar o nível de maturidade desejado. Para mensurar em qual nível de maturidade 4.0 elas estavam, o estudo foi dividido em 6 etapas sendo elas:

1. Informatização – A informatização antecede o processo de digitalização. Hoje em dia, muitas empresas já estão informatizadas, com diversos maquinários que realizam atividades repetitivas com alta precisão. Contudo, esses equipamentos, em sua maioria, não estão interconectados sendo necessário realizar o setup individual de cada um deles.
2. Conectividade – Nesse estágio, as máquinas estão conectadas a aplicativos que gerenciam o processo de produção. Aqui, os funcionários do chão de fábrica conseguem acompanhar todo o processo de produção de determinada peça, desde sua formação (CAD⁵) até a sua usinagem (CAM⁶) e finalização. Além disso, os fabricantes das máquinas e ferramentas conseguem realizar manutenções nos

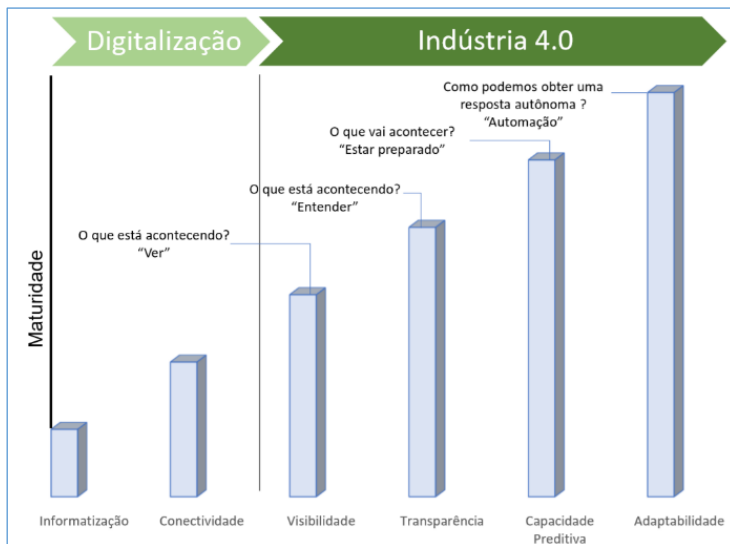
⁵ CAD – *Computer-aided design* – Processo de desenho da peça através de um computador

⁶ CAM – *Computer-aided manufacturing* – Processo de fabricação da peça assistido por um computador

equipamentos utilizados por seus clientes, graças ao acesso remoto possibilitado pela conectividade.

3. Visibilidade – Graças ao avanço da tecnologia, o custo dos sensores vem diminuindo. Isso permite que as empresas implementem sensores não somente em células de produção, mas em toda a fábrica. Os sensores também auxiliam na criação do que o autor vai chamar de sombra digital. Com base nos dados coletados em tempo real dá para mensurar o que está sendo produzido e se esses produtos serão finalizados dentro do prazo estipulado.
4. Transparência – Nessa fase, é necessário que a empresa tenha capacidade de analisar os dados coletados com o uso de engenharia. Diferentemente dos outros processos, aqui há uma quantidade enorme de dados que não é possível de ser analisados usando métodos convencionais. Neste instante, entra um conceito muito utilizado hoje em dia chamado de *Big Data Analytics*.
5. Capacidade Preditiva – Uma empresa que possui uma sombra digital bem construída tem a capacidade de prever acontecimentos futuros. Isso é fundamental para evitar possíveis paralisações de projetos e manufatura. Com essas informações em mãos é possível tomar uma série de decisões para minimizar os impactos negativos.
6. Adaptabilidade – Um bom medidor para avaliar o nível de maturidade 4.0 é a adaptabilidade. Quando as mudanças são feitas de maneira rápida e sem a necessidade de ação humana é um indício que o último estágio da indústria 4.0 foi alcançado.

Figura 3 - Maturidade da Indústria 4.0



Fonte: adaptada Acatech Study Industrie 4.0 Maturity Index.

2.5 Lean 4.0

A literatura existente está estruturada em duas perspectivas: O *Lean Manufacturing* é considerado um pré-requisito para a introdução de tecnologias da Indústria 4.0 ou as tecnologias da Indústria 4.0 são consideradas promotoras de *lean*. A digitalização faz parte dos primeiros passos rumo a indústria 4.0. Segundo o artigo *Industrie 4.0 meets Lean - Guideline to increase added value holistically* (METTERNICH et. al., 2017) a digitalização pode ser dividida em dois aspectos diferentes. A digitalização de processos internos trazendo

benefício direto para a empresa ou a digitalização de produtos e serviços que são oferecidos ao cliente. Uma vez que o produto está conectado, ele garante o relacionamento com o cliente para além da venda. Ele se converte na chave que liga o fabricante ao usuário. Com isso, surgem novos modelos de negócios completamente digitais que conectam os serviços atrelados ao produto com o cliente.

Outro aspecto importante está relacionado com a rede que se forma com essa nova visão. Os relacionamentos são verticais no sentido de que os dados vão dos sensores instalados no chão de fábrica diretamente para nuvem e são horizontais no sentido de que a produção é orientada ao cliente. Vale ressaltar que cada empresa tem o seu próprio caminho rumo a industrialização, pois não há uma caixa de ferramentas capaz de ser aplicada de maneira a trazer aumento de produtividade instantâneo.

Tanto o *lean* quanto a indústria 4.0 estão essencialmente em busca dos mesmos objetivos. Ambos buscam uma produção eficiente, com mais qualidade, segurança e menos desperdício de tempo. A indústria 4.0 vai um passo à frente e traz a importância da individualização do produto e criação de serviços que possam entender a relação do cliente e produtor. Enquanto o *lean* utiliza-se de padronização de processos para análise de desvios, a indústria 4.0 utiliza de sistemas cognitivos capaz de auto otimizar os processos.

Outro ponto que evolui com as novas mudanças é um dos principais pilares do Modelo Toyota de Produção, o *Jidoka*. A autonomia, que dá ao funcionário a autonomia de parar as linhas de produção, passa a ser substituída pelo uso de algoritmos capazes de traçar caminhos de produção diferentes de forma a minimizar os impactos de interrupção do fluxo de produção.

Com isso, é possível perceber que a indústria 4.0 veio para eliminar as barreiras e atingir patamares que a cultura enxuta não conseguiria sozinha. Na Figura 4 podemos perceber, segundos os autores do artigo supracitado, quais os pontos em comum e contraditórios do *lean* e da indústria 4.0. As duas primeiras linhas mostram a divergência entre *lean* e indústria 4.0 e as demais mostram a sinergia entre esses dois modelos.

Figura 4 - Similaridades entre os modelos.

	<i>Lean</i>		Indústria 4.0
 Abordagem	Holístico (pessoa + tecnologia + organização)		Tecnologia como viabilizadora
 Filosofia	Respeito, resolução de problemas e desenvolvimento de funcionário		Viabilidade e auto otimização
 Fundação	Estabilidade e Padronização		Integração e adaptatividade
 Princípios de Controle	Fluxo e produção puxada		Dinâmico e dependente da situação
 Aquisição de informação	Estado atual (Vá e veja)		Dados processados em tempo real
 Melhoria	Reativo no dia-a-dia e negócios através de funcionários		Auto-otimização, previsão

Fonte: Elaborada pelo autor

O principal objetivo do *lean* é ser a prova de erros, zero desperdício e gerar o máximo de valor possível ao produto. Por esse motivo, as tecnologias da indústria 4.0 somam a esse modelo pré-existente trazendo digitalização sem renunciar os objetivos primordiais. Para

analisarmos a maturidade do *lean* juntamente com os estágios que antecedem o Lean 4.0 são necessários 5 passos:

1. Primeiros passos do *Lean*: Muitas empresas que começam a implementar a manufatura enxuta a enxergam como uma caixa de ferramentas. Muitas delas utilizam o ferramental listado nesse artigo para solucionar projetos individuais. No entanto, se a cultura *lean* for aplicada somente a projetos isoladas não levará a resultados sustentáveis.
2. Perspectiva do fluxo de valor: a forma como lidamos com as atividades encadeadas afetam diretamente o custo e o lucro da empresa. Com o objetivo de deixar os produtos fluírem e reduzir o tempo de processamento, o *Value Stream Management* ajuda a desenvolver a visão de um *lean value*. O resultado do gerenciamento da cadeia de valor muitas vezes são melhorias na qualidade e diminuição no tempo de processamento.
3. Perspectiva do funcionário: Para assegurar o princípio de melhoria contínua, os colaboradores devem ser capacitados para identificar os desvios dos padrões. Nesse passo, é necessário o apoio e gerenciamento da liderança para indicar qual o caminho correto em busca da melhoria. Como já citado, é fundamental que a manufatura enxuta seja aplicada de maneira vertical – chão de fábrica até a liderança – e de maneira horizontal alcançando os clientes e fornecedores.
4. Manufatura Digital: Uma vez que uma certa maturidade foi atingida, é possível digitalizar alguns processos. Para identificar quais etapas da manufatura podem ser digitalizadas e melhoradas, os autores sugerem perguntas, como: quais são as máquinas essenciais para a qualidade do produto? Quais processos ainda não foram melhorados? Quais setores possuem manufatura flexível capaz de individualizar os produtos de acordo com o cliente?
5. Lean 4.0: Nessa fase, o sistema enxuto deixa de ser o modelo do chão de fábrica e passa a ser uma abordagem gerencial em toda empresa. O primeiro passo é conexão entre o sistema de TI do fornecedor com a solicitação do cliente. Cada vez que um novo pedido é feito, o fornecedor é notificado e uma série processos interconectados se iniciam.

2.6 Lean 4.0 – Sustentabilidade

No item 2.2 desse artigo foi apresentado o Sistema Toyota de Produção. Com o avanço da tecnologia, muitos limites foram superados e novas ferramentas passaram a ser usadas. Os limites estão relacionados com cada pilar do STP sendo o primeiro deles a estabilidade e padronização de processos. A padronização existe para auxiliar o reconhecimento de desvios e erros. No entanto, com a individualização dos produtos e a constante mudança de *setup*, se torna cada vez mais difícil criar processos estáveis e padronizados. Para solucionar esse problema sugere-se a modularização de trabalhos que possuem processos semelhante.

Outro limite identificado pelo autor e superado é o gerenciamento visual. A representação visual das condições e desempenho do processo, bem como procedimento padrão e documentos de trabalho, oferece aos funcionários e à gerência a oportunidade de reconhecer desvios imediatamente e sem ajuda ou atividades adicionais. Cada desvio deve desencadear processos de melhoria como ciclos de PDCA. Registro manual de padrões e a atualização das melhorias realizadas torna o processo exaustivo.

Outro aspecto que torna a indústria 4.0 um objetivo a ser alcançado é a capacidade preditiva. Com dados gerados a todo instante por meio dos sensores, é possível prever quando

será necessário realizar manutenção nos maquinários, evitando desperdício de tempo com manutenções não planejadas. A utilização de ciclos PDCA digitais documentados, permite uma pesquisa em rede de eventos semelhantes e, assim, soluções bem-sucedidas.

O terceiro fator analisado é a produção nivelada. Como sabemos, a demanda flutuante pode levar a uma produção flutuante. Isso pode levar a busca por ganho de produção para suprir a demanda. Contudo, quando a demanda está baixa, o potencial de produção é reduzido não usando toda capacidade fabril. O nivelamento faz com que a produção sempre esteja limitada ao máximo possível, evitando a sobrecarga de alguma estação de trabalho. Para evitar o atraso na entrega por falta de capacidade produtiva, deve-se definir o limite produtivo e aceitar novos pedidos com base nele. Dessa forma, os pedidos são entregues dentro do prazo.

O quarto fator está relacionado com o *takt time*. Para evitar intervalos improdutivos dentro do processo de fabricação, toda a cadeia, desde o pedido até a entrega, deve estar conectada. No enteando se a demanda é flutuante e os produtos produzidos para um mesmo cliente possuem lista de matérias-primas diferente, fica muito difícil definir qual o tempo necessário para produção. Para evitar o tempo ocioso de produção, a cadeia de valor deve ser planeja desde o contato com o cliente até a manutenção do produto. O desenho de toda cadeia ajuda a identificar os gargalos antes mesmo de se iniciar a produção.

O quinto aspecto analisado é o pilar *Jidoka*. Numa estação de trabalho onde são produzidos mais de uma infinidade de produtos diferentes, fica difícil não passar algum erro. Uma vez que os processos estão digitalizados, fica mais fácil identificar o local onde acontece erro. Outro uso para os dados é o aprendizado de máquina que podem identificar os erros mais rapidamente evitando que eles se tornem um defeito.

Por fim, ao centro do modelo Toyota temos a melhoria contínua. Para que ela ocorra, os processos devem estar bem definidos para que o desvio, por pequeno que seja, possa ser percebido. No entanto, esse processo deixa de ser eficiente quando não é documentado e disponibilizados para que todas as áreas de trabalho tenham acesso a ele. A documentação evita que processos já otimizados em alguma área dentro da empresa passem por novos ciclos de PDCA.

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização da pesquisa

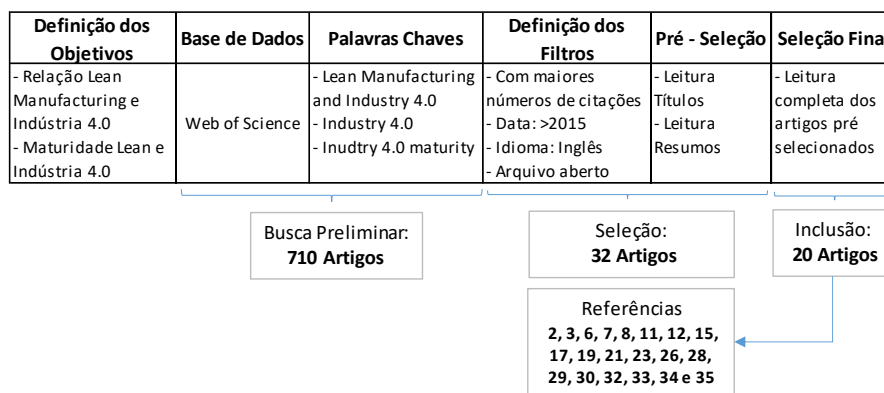
A presente pesquisa está baseada na literatura pertinente por meio de uma Revisão Sistemática de Literatura e Análise de Conteúdo e trata-se de um estudo de caso de abordagem combinada quantitativa e qualitativa que permite compreender de forma mais efetiva o problema explorado, utilizando-se como técnica um questionário e fazendo uma análise estatística dos dados levantados (quantitativa) em face ao contexto da literatura a respeito da maturidade do *lean* e da relação entre o *lean manufacturing* e Indústria 4.0 (qualitativa).

3.2 Base teórica

Foi utilizado um processo de Revisão Sistemática da Literatura como uma primeira etapa na construção do embasamento para esse estudo, utilizando-se a metodologia do PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), conforme proposto por Moher *et. al.* (2009), permitindo dessa forma uma investigação sobre o tema, analisando estudos já publicados, para justificar a lacuna da pesquisa. Seguindo essa metodologia do

PRISMA foram definidos os objetivos da pesquisa, em seguida a base dados a ser utilizada para a realização da busca de artigos publicados (*Web of Science*) além de referências citadas, depois disso foram definidos os filtros (número de citações, data, partindo dos mais recentes, e idioma inglês) e os termos de busca (palavras chaves: *lean manufacturing and Industry 4.0; Industry 4.0; Industry 4.0 maturity*). Partindo disso, foi realizada uma busca preliminar na base de dados, chegando a um total de 710 artigos identificados. Na sequência, foram eliminados os artigos duplicados. Dos artigos remanescentes foi realizada uma seleção baseada nos filtros pré-definidos e na leitura dos resumos dos artigos que se enquadraram nos filtros, que resultaram num total de 32 artigos pré-selecionados. Após isso, uma leitura completa dos artigos foi feita para selecionar àqueles que estavam alinhados, elegíveis, com o tema a ser abordado, resultando numa inclusão de 20 artigos à pesquisa.

Tabela 1 - Revisão Sistemática da Literatura



3.3 Questionário

Uma série de ferramentas *lean* foram apresentadas no questionário aplicado, com base em cada um dos autores referenciados. Apesar do Sistema Toyota de Produção não ser encarado como um caixa de ferramentas nessa pesquisa, a quantidade e qualidade de cada uma delas serviu de parâmetro para analisar a maturidade das empresas analisadas nessa pesquisa. As empresas serão consideradas aptas para dar os próximos passos em direção a indústria 4.0 à medida que as 5 etapas do desenvolvimento do Lean 4.0 forem seguidas. Cada uma das etapas é fundamental para garantir a estabilidade e sustentabilidade das mudanças.

As perguntas foram divididas em cinco grupos, feitas com base nas cinco etapas para atingir o Lean 4.0 apresentadas no artigo *Industrie 4.0 meets Lean - Guideline to increase added value holistically* (METTERNICH *et. al.*, 2017). O objetivo é identificar se cada uma das empresas participantes está madura quanto aos princípios do *lean* e já podem avançar rumo Lean 4.0 aderindo todas as inovações advindas com a indústria 4.0. Como citado no capítulo 2.6, para cada um dos pilares do STP há uma limitação que pode ser superada com a digitalização, interconectividade e aprendizado de máquina.

3.4 Análise das empresas

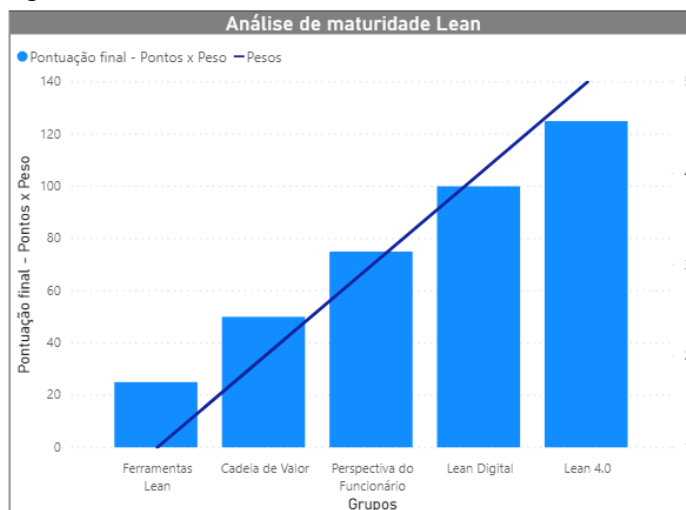
Empresas do ramo do setor automotivo, linha branca, fabricantes de eletroeletrônicos e metalúrgicas foram consideradas para o levantamento de dados através de questionário, dada a relevância que elas têm no panorama econômico brasileiro e com a implementação

constante de novas tecnologias e programas de melhoria contínua em suas linhas de produção.

O questionário utilizado para análise de maturidade *lean* foi elaborado utilizando a escala Likert, que avalia a concordância do pesquisado sobre determinado item a ser respondido. Foi adotada uma escala que varia entre 1 e 5, onde 1 discorda totalmente e 5 concorda totalmente. Por trás de cada uma das perguntas aplicadas no questionário, estão relacionadas ferramentas ou práticas da cultura de *lean production* que nos ajuda a identificar o grau de maturidade de cada uma das indústrias analisadas.

A maturidade será analisada da seguinte forma: cada um dos cinco grupos de perguntas se relaciona aos cinco passos para alcançar o Lean 4.0. Quanto maior a pontuação nos grupos que se aproximam dos conceitos relacionado a manufatura 4.0, maior será o grau de maturidade. Quanto maior a pontuação nos níveis que estão próximos ao *lean* (caixa de ferramenta), menor o grau de maturidade. O primeiro grupo se relaciona ao primeiro estágio de maturidade e o último grupo se relaciona ao estágio mais avançados. O primeiro grupo de perguntas terá peso 1, seguido pelo segundo com peso 2 e assim sucessivamente. O *survey* foi disponibilizado através de um *forms* on-line.

Figura 5 – Gráfico de maturidade Lean



Fonte: Elaborado pelo autor

O *survey* é composto de 25 perguntas com pontuação máxima de 375 pontos. Essa pontuação é dada pelo produto dos pontos obtidos no questionário com o peso de cada um dos grupos de perguntas. As empresas que responderem ao questionário serão categorizadas da seguinte forma:

1. 375-281 pontos - Empresas excelentes. A liderança e todos os funcionários entendem e aplicam mais de 75% das ferramentas *lean*. Elas compreenderam que o *lean* vai muito além de um caixa de ferramentas e pode ser aplicado em todos os setores, seja ele operacional ou estratégico.
2. 280-187 pontos – Empresas ótimas. Boa parte das ferramentas *lean* são aplicadas, embora possa ter alguns setores que ainda não aderiram a cultura *lean*. Muitos funcionários entendem da importância do avanço em direção a indústria 4.0, mas há algumas barreiras para aplicação e evolução.
3. 186-93 pontos – Empresas Intermediárias. Aqui, boa parte das práticas de manufatura e relacionamentos seguem modelos antigos de gestão. Não há uma conexão sólida com os distribuidores e poucas práticas do *lean* são aplicadas.

4. 92-0 pontos – Empresas em risco. Essas empresas possuem poucas, ou quase nenhuma das ferramentas e cultura apresentadas nessa pesquisa. Não houve adesão por parte da liderança e dos colaboradores das práticas listadas nessa pesquisa. Empresas com essa são um risco caso queiram aderir as ferramentas da indústria 4.0. Estão fadadas a automatizar processos ineficientes.

Essa escala será utilizada para pontuar as empresas com base dos níveis de maturidade em cada um dos grupos de perguntas. As perguntas serão respondidas numa escala de 0-5 e posteriormente aplicado os pesos a cada um dos resultados obtidos.

Tabela 2: Questionário de avaliação da maturidade Lean.

Ferramentas Lean	1. O processo de produção é encadeado, ou seja, cada setor processa somente a peça necessária para o próximo, pouco antes que este precise dela. (One-piece-flow)	1	2	3	4	5
	2. Os equipamentos estão organizados e rotulados otimizando o ambiente de trabalho. (5S)	1	2	3	4	5
	3. Todos os novos projetos passam pelas fases de planejamento, ação e verificação, sendo possível fazer modificações caso seja encontrada uma falha no processo. (PDCA)	1	2	3	4	5
	4. Toda melhoria de processo é padronizada e documentada e todas as informações importantes para o processo produtivo estão disponíveis e devidamente atualizadas. (Padronização e Gestão Visual)	1	2	3	4	5
	5. As máquinas e equipamentos são vistoriados periodicamente evitando desgaste ou sua inutilização, garantido assim a mesma qualidade do produto. (TPM)	1	2	3	4	5
Cadeia de Valor	6. O tamanho do lote produzido é dimensionado com base na demanda. (Produção nivelada)	1	2	3	4	5
	7. O sistema de produção é puxado, ou seja, algo só será produzido se houver um pedido de compra. (Produção puxada)	1	2	3	4	5
	8. Há um fluxo de produção contínuo, ou seja, cada parte necessária para a montagem do produto final é entregue na hora certa na linha de produção. (JIT)	1	2	3	4	5
	9. A produção é balanceada, ou seja, ela sempre está limitada ao máximo possível, evitando a sobrecarga de alguma estação de trabalho. (Takt-time)	1	2	3	4	5
	10. A cadeia de valor está mapeada identificando seus gargalos e pontos de melhoria. (VSM)	1	2	3	4	5
Perspectiva do funcionário	11. Os funcionários são incentivados a propor melhorias dentro das áreas em que trabalham. (Autonomia)	1	2	3	4	5
	12. Os funcionários são reconhecidos pelas propostas de melhoria e sua devida implementação. (Motivação)	1	2	3	4	5
	13. Os funcionários se reúnem periodicamente para analisar os resultados obtidos. (Trabalho em equipe)	1	2	3	4	5
	14. A empresa capacita seus fornecedores, revendedores e colaboradores para que todos façam parte no processo de melhoria. (Kaizen)	1	2	3	4	5
	15. A liderança indica quais são as diretrizes das mudanças e apoia seus colaboradores nas melhorias propostas por eles. (Liderança)	1	2	3	4	5
Lean Digital	16. Os processos são digitalizados e os dados podem ser obtidos em tempo real. (Transparência)	1	2	3	4	5
	17. Trabalhos digitalizados que possuem processos semelhantes são modularizados, evitando a criação de novas cadeias de processos. (Modularização)	1	2	3	4	5
	18. Estações de trabalhos ociosas puxam novos pedidos de produção. A ociosidade é medida através de sensores. (Flexibilidade)	1	2	3	4	5
	19. Os dados gerados ao longo dos processos são utilizados para agendar manutenções preventivas, evitando avarias ou inutilização de máquinas e equipamentos. (Manutenção Preventiva)	1	2	3	4	5
	20. Falhas na qualidade do produto podem ser identificadas através dos dados, identificando sua causa raiz. (Rastreabilidade)	1	2	3	4	5
Lean 4.0	21. Os dados gerados ao longo dos processos são utilizados para otimização automática da cadeia (Machine learning)	1	2	3	4	5
	22. Sistemas de algoritmos traçam caminhos alternativos de produção caso haja alguma falha no produto (Big data / Analytics)	1	2	3	4	5
	23. Sistemas de veículos automatizados se encarregam de levar o material necessário até a estação de trabalho ociosa (Automação)	1	2	3	4	5
	24. Os produtos produzidos estão conectados a rede, levando a novos desenvolvimentos e modelos de negócios em serviços, estendendo o relacionamento com o cliente para além da venda (Integração vertical)	1	2	3	4	5
	25. A fábrica está conectada ao sistema de TI do fornecedor, o que garante abastecimento contínuo e automático de matéria prima (Integração horizontal)	1	2	3	4	5

Fonte: Elaborado pelo autor

Através do *survey*, conseguiremos diagnosticar quais as ferramentas estão sendo aplicadas e qual o grau de maturidade de cada uma dessas ferramentas. A maturidade será analisada à medida que a empresa obtém uma pontuação elevada nos grupos de perguntas que se aproximam do *Lean 4.0*. Além disso, algumas perguntas do *survey* estão relacionadas com a cultura *lean* de forma geral que nos auxiliarão a avaliar se as empresas estão prontas para atingir novos patamares, ou se serão necessárias algumas modificações.

3.5 Coleta de dados

O *Survey* foi encaminhado por e-mail diretamente para as empresas participantes do programa que atuam no seguimentos automotivo, linha branca e metalúrgico. Os e-mails foram encaminhados para os funcionários indicados como sendo o contato da empresa no momento da inscrição no programa, geralmente gerentes industriais. O *Microsoft Forms* foi utilizado para que as empresas pudessem responder o questionário de forma on-line, e o link de redirecionamento foi enviado por e-mail para os contatos cadastrados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Questionário e confiabilidade

O questionário foi respondido por 34 empresas. Os e-mails foram encaminhados para todas aquelas identificadas relevantes que faziam parte de um levantamento prévio realizado pelos autores como empresas potenciais para serem respondentes. Esta quantidade representa uma abrangência de aproximadamente 19%, dado que temos 179 empresas inicialmente identificadas como relevantes.

Primeiramente foi realizada uma análise de confiabilidade do questionário aplicado para validação da pesquisa. O teste apresenta como resultado o índice Alfa de Cronbach, sendo confiável a um valor mínimo de 0,7 conforme recomendado por Landis e Koch (1977) e Hair *et. al.* (2009). O índice foi testado através do software IBM SPSS *Statistics* considerando cada uma das 5 categorias da pesquisa e em cada categoria um conjunto de 5 itens (perguntas) conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Índice Alfa de Cronbach

Confiabilidade da Pesquisa		
Categorias	Alfa de Cronbach itens padronizados	Número Itens
Ferramentas Lean	0,815	5
Cadeia de Valor	0,869	5
Perspectiva do funcionário	0,912	5
Lean Digital	0,904	5
Lean 4.0	0,943	5

Fonte: Elaborado pelo autor

Ainda com relação à confiabilidade, foi realizada uma análise em cada uma das categorias para identificar os itens (perguntas) com maior índice de relação entre elas, como uma forma de testar que há de fato uma interação confiável entre as perguntas.

Na categoria Ferramentas do *lean*, conforme Tabela 4, vemos uma forte relação entre as perguntas 2 e 3 do questionário, sendo a pergunta 2 relacionada à utilização de forma efetiva do 5S, enquanto a pergunta 3 está relacionada ao ciclo PDCA. De fato, dentro de um conceito de melhoria contínua, ambas as ferramentas estão bastante conectadas, pois na implementação do 5S, o ciclo PDCA garante uma verificação contínua dos resultados obtidos para que ações de melhoria sejam implementadas e quando da implementação de um ciclo PDCA, na etapa de planejamento, pode ser definido que o 5S seja um pré-requisito.

Tabela 4: Matriz de correlação entre itens de Ferramentas do Lean

	Perg1	Perg2	Perg3	Perg4	Perg5
Perg1	1,000	0,354	0,421	0,210	0,296
Perg2	0,354	1,000	0,761	0,626	0,458
Perg3	0,421	0,761	1,000	0,659	0,537
Perg4	0,210	0,626	0,659	1,000	0,363
Perg5	0,296	0,458	0,537	0,363	1,000

Fonte: Elaborado pelo autor

Na categoria Cadeia de Valor, de acordo com a Tabela 5, há uma relação expressiva entre as perguntas 8 e 9, sendo a primeira relacionada ao fluxo contínuo de produção (*Just-In-Time*)

e a segunda sobre uma produção balanceada (*Tak-time*) e de fato com uma produção balanceada, minimiza estoques entre as etapas de processo, portanto, possibilita que a organização faça uma programação adequada de entrega, no tempo certo e na quantidade certa, além da qualidade esperada, garantindo um processo mais otimizado e com menos ou até mesmo sem desperdícios.

Tabela 5: Matriz de correlação entre itens Cadeia de Valor

	Perg6	Perg7	Perg8	Perg9	Perg10
Perg6	1,000	0,477	0,615	0,635	0,527
Perg7	0,477	1,000	0,378	0,325	0,660
Perg8	0,615	0,378	1,000	0,753	0,625
Perg9	0,635	0,325	0,753	1,000	0,711
Perg10	0,527	0,660	0,625	0,711	1,000

Fonte: Elaborado pelo autor

Com relação à categoria Perspectiva do Funcionário, conforme Tabela 6, a relação se apresenta mais forte nas perguntas 12 e 13, sendo que a primeira trata da motivação dos funcionários e a segunda dos resultados obtidos com o trabalho em equipe. De fato, a cultura do trabalho em equipe traz ao grupo informações importantes de processo para a apresentação de propostas de melhorias com sua devida implementação. Assim, o grupo ao ver que suas propostas foram implementadas ficará mais motivado e isso faz desse processo um ciclo contínuo. Em análise por uma outra ótica, se a organização, através da sua liderança, busca meios de motivar a equipe, isso refletirá em um trabalho em equipe com melhores resultados.

Tabela 6: Matriz de correlação entre itens Perspectiva do Funcionário

	Perg11	Perg12	Perg13	Perg14	Perg15
Perg11	1,000	0,715	0,685	0,672	0,672
Perg12	0,715	1,000	0,859	0,634	0,544
Perg13	0,685	0,859	1,000	0,649	0,659
Perg14	0,672	0,634	0,649	1,000	0,652
Perg15	0,672	0,544	0,659	0,652	1,000

Fonte: Elaborado pelo autor

Já na categoria *Lean Digital*, a relação mais expressiva se deu entre as perguntas 17 e 18, conforme Tabela 7, sendo que a primeira trata dos processos modularizados e a segunda da flexibilidade das estações de trabalho. Com a modularização dos processos, há redução na possibilidade de estações de trabalhos ociosas e por outro lado, caso isso ocorra, devido a flexibilidade, facilita que novas ordens de produção sejam alocadas nessa estações. Um processo flexível, possibilita que em uma mesma estação, sejam produzidos produtos distintos, portanto, por exemplo, na falta de uma matéria-prima, uma ordem de produção de outro produto pode ser adiantada numa determinada célula, enquanto em outra célula, devido à modularização, onde não houve falta de matéria-prima, a produção do primeiro produto pode ser finalizada.

Tabela 7: Matriz de correlação entre itens Lean Digital

	Perg16	Perg17	Perg18	Perg19	Perg20
Perg16	1,000	0,744	0,765	0,589	0,591
Perg17	0,744	1,000	0,776	0,670	0,442
Perg18	0,765	0,776	1,000	0,687	0,615
Perg19	0,589	0,670	0,687	1,000	0,657
Perg20	0,591	0,442	0,615	0,657	1,000

Fonte: Elaborado pelo autor

Por fim, na categoria *Lean 4.0*, a relação mais forte se deu entre as perguntas 22 (Big Data) com 23 (Automação) e 22 (Big Data) com 24 (Integração Vertical), como pode ser visto na Tabela 8. De fato, com o processo cada vez mais conectado, horizontalmente e verticalmente, conforme relatado por Sony (2018), vai ficando mais evidente a relação entre as informações disponíveis, produtos conectados trazem informações que levam a novos desenvolvimentos e no processo, os dados disponíveis ajustam a produção em função de falhas, problemas em produtos ou até mesmo a adequação em função de estações ociosas, melhorando a produtividade e minimizando ou até mesmo eliminando paradas de produção.

Tabela 8: Matriz de correlação entre itens Lean 4.0

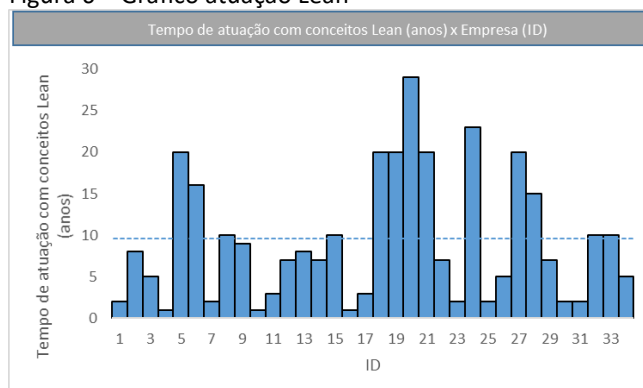
	Perg21	Perg22	Perg23	Perg24	Perg25
Perg21	1,000	0,778	0,732	0,849	0,643
Perg22	0,778	1,000	0,866	0,862	0,696
Perg23	0,732	0,866	1,000	0,805	0,691
Perg24	0,849	0,862	0,805	1,000	0,748
Perg25	0,643	0,696	0,691	0,748	1,000

Fonte: Elaborado pelo autor

4.2 Respostas do questionário

Das empresas que responderam ao questionário, a média do tempo de atuação com os conceitos *lean* foi de 9.18 anos representado pela linha pontilhada como mostra o gráfico da Figura 6.

Figura 6 – Gráfico atuação Lean



Fonte: Elaborado pelo autor

A Tabela 9 mostra o valor médio de cada uma das perguntas do *survey*. Analisando as respostas é possível desprender que as perguntas relacionadas a *Big Data / Analytics* e Automação foram as que obtiveram menor média. Isso está de acordo com o resultado esperado, uma vez que se trata de conceitos avançados da indústria 4.0. Em contrapartida, as

notas mais altas foram obtidas em conceitos básicos do *lean* tais como autonomia dos funcionários e produção nivelada.

Tabela 9: Valor médio de concordância por afirmação do questionário

Grupo	Pergunta	Média
Ferramentas Lean	1	3.74
	2	4.24
	3	4.26
	4	3.97
	5	4.09
Cadeia de Valor	6	4.00
	7	4.21
	8	4.12
	9	4.00
	10	3.97
Perspectiva do funcionário	11	4.29
	12	3.88
	13	3.62
	14	3.47
	15	3.85
Lean Digital	16	3.47
	17	3.15
	18	2.91
	19	3.47
	20	4.03
Lean 4.0	21	3.06
	22	2.59
	23	2.65
	24	2.94
	25	3.00

Fonte: Elaborado pelo autor

Já na Tabela 10 temos o valor médio separado por cada um dos níveis de análise. Percebe-se que, perguntas relacionadas ao *Lean* Digital e ao *Lean* 4.0 foram as que obtiveram menor média geral. No entanto, as empresas analisadas obtiveram uma média razoável nas categorias de Ferramentas *Lean*, Cadeia de Valor e Perspectiva do funcionário.

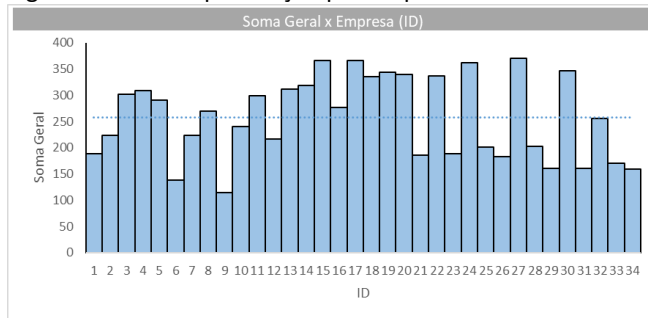
Tabela 10: Valor médio de concordância por grupo

Ferramentas Lean	Cadeias de Valor	Perspectiva do Funcionário	Lean Digital	Lean 4.0
4,06	4,06	3,82	3,41	2,85

Fonte: Elaborado pelo autor

A pontuação média obtida pelas empresas, com base na metodologia, foi de 257.50 (Figura 7). Isso as coloca dentro do intervalo de empresas consideradas ótimas. Boa parte delas obtiveram boas notas nos grupos relacionados aos princípios básicos do *lean*, no entanto, em média, as empresas participantes ainda não atingiram o nível de maturidade esperado para serem consideradas empresas excelentes. Para isso, ainda há uma jornada a ser seguida para que as ferramentas relacionadas a indústria 4.0 possam ser absorvidas por cada uma das empresas.

Figura 7 – Gráfico pontuação por empresa.



Fonte: Elaborado pelo autor

Na tabela 11 podemos ver a quantidade de empresas por intervalo de pontos.

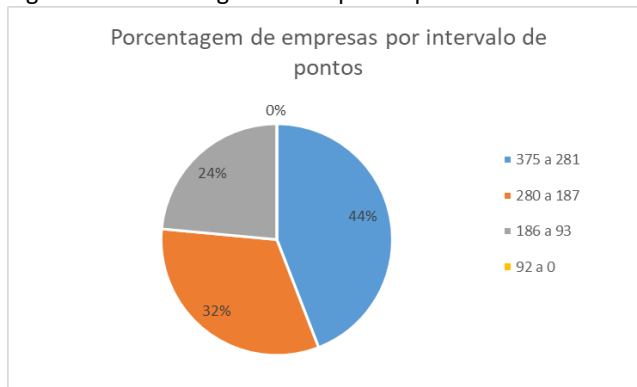
Tabela 11: Valor médio de concordância por grupo

Intervalo de Pontos	Quantidade de Empresas
375 a 281	15
280 a 187	11
186 a 93	8
92 a 0	0

Fonte: Elaborado pelo autor

A proporção em cada um dos intervalos analisados está refletida na figura 8.

Figura 8 – Porcentagem de empresas por intervalo.

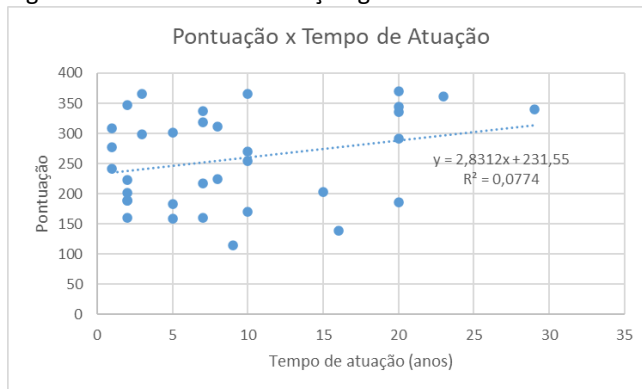


Fonte: Elaborado pelo autor

Das empresas participantes, 4% delas possuem um número de funcionários entre 101 e 500 e as outras têm mais que 500 funcionários.

Além disso, na Figura 9 podemos perceber uma correlação relativamente fraca quando consideramos a evolução da pontuação em função do tempo de atuação com o *lean*, com um coeficiente R de 0,277. Tomando como exemplo, uma empresa respondente do ramo automotivo com 20 anos de atuação em *lean*, teve soma total de pontos de 291, enquanto outra empresa, do mesmo ramo, com 10 anos de atuação em *lean*, obteve soma total de 366 pontos.

Figura 9 – Gráfico de correlação geral.

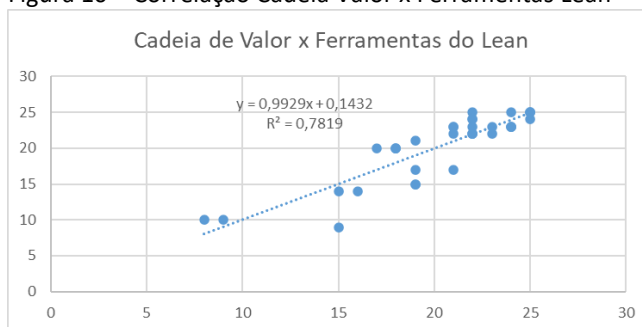


Fonte: Elaborado pelo autor

Ainda quando olhamos para as categorias é possível verificar a correlação entre elas com o objetivo de validar a relação entre categorias do Lean Manufacturing, bem como ajudar a entender a relação das categorias da Indústria 4.0 com o *lean*, uma vez que ainda não há um consenso sobre a relação entre esses conceitos, como Buer, Strandhagen e Chan (2018), há uma necessidade inerente de se investigar a respeito da implementação da Indústria 4.0 se, na sequência do *lean* ou devem ser tratadas independentes. Entretanto, nas correlações apresentadas a seguir, vemos que o *lean* tem se apresentado como uma base bastante importante para a implementação dos elementos da Indústria 4.0.

Na Figura 10 vemos a correlação entre Cadeia de Valor com Ferramentas do Lean, mostrando um coeficiente R de 0,884 o que mostra a importância das ferramentas do *lean* como, por exemplo, 5S, PDCA, *One-piece-flow* para um processo mais otimizado, balanceado e sob demanda. O 5S como uma ferramenta básica importante até mesmo antes da implementação de qualquer outra ferramenta do *lean* e quando cultural, mantém uma característica de melhoria contínua, assim como o PDCA, como ferramentas importantes na otimização do processo.

Figura 10 – Correlação Cadeia Valor x Ferramentas Lean

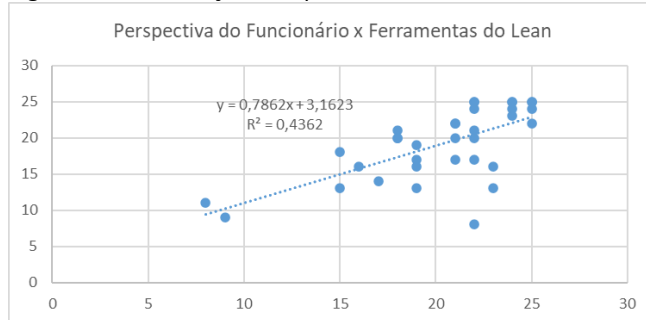


Fonte: Elaborado pelo autor

Na Figura 11, temos a correlação entre Perspectivas do Funcionário e Ferramentas do *Lean*, mostrando um coeficiente R de 0,660, um pouco abaixo dos 0,700 esperado como mínimo que represente uma correlação forte. O que mostra o quão importante é que os conceitos do *lean* sejam implementados de forma que se torne cultural na empresa. De acordo com Rosin et al. (2019), o estabelecimento da cultura de melhoria contínua é que prepara toda a organização para grandes mudanças e conforme Wyrwicka e Mrugalska (2017), a implementação bem-sucedida de qualquer prática de gestão muitas vezes depende de

características organizacionais e todos os colaboradores de todos os níveis são as peças fundamentais para esse sucesso.

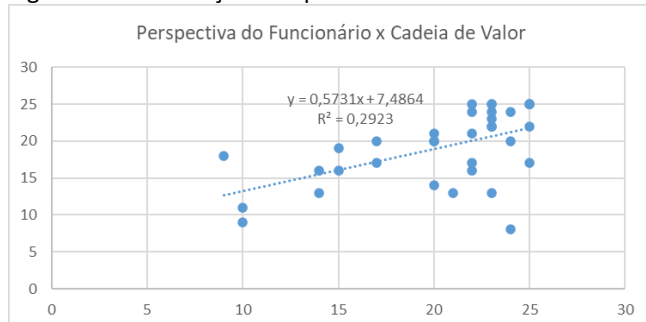
Figura 11 – Correlação Perspectiva do Funcionário x Ferramentas Lean



Fonte: Elaborado pelo autor

Já na Figura 12, vemos a correlação entre Perspectiva do Funcionário e Cadeia de Valor com um coeficiente R de 0,541, abaixo dos 0,700 esperados, indicando uma relação fraca, o que também demonstra, como na correlação anterior, uma fraca aderência dos colaboradores na cultura do *Lean Manufacturing* o que reflete na maturidade da organização na metodologia.

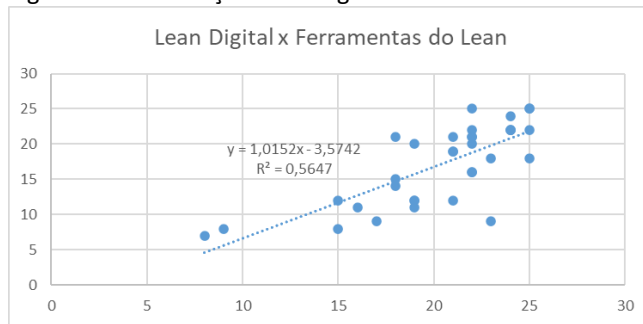
Figura 12 – Correlação Perspectiva Funcionário x Cadeia de Valor



Fonte: Elaborado pelo autor

Na Figura 13 é possível verificar a primeira correlação entre tecnologias que caminham para a Indústria 4.0 com os conceitos do *Lean*, com um coeficiente R de 0,751 para a correlação entre o *Lean Digital* e as Ferramentas do *Lean*, o que significa que ferramentas como por exemplo, 5S e PDCA em um ciclo de melhoria contínua, traz resultados positivos, por exemplo, em modularização e flexibilidade dos processos. Conforme Bhasin (2015) há uma relação entre *Lean Manufacturing* e Indústria 4.0 que refletem no aumento da flexibilidade do processo, o que ajuda a elucidar o que foi levantado por Buer, Strandhagen e Chan (2018), Kolberg, Knobloch e Zühlke (2016) mostrando que a implementação dos elementos da Indústria 4.0 pode ser facilitada em uma organização com o *lean* já implementado e com certa maturidade.

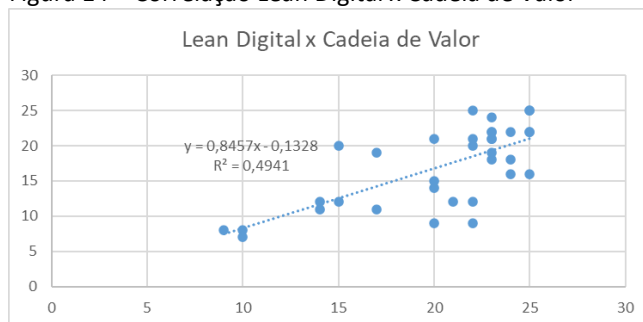
Figura 13 – Correlação Lean Digital x Ferramentas Lean



Fonte: Elaborado pelo autor

Na Figura 14, temos a correlação entre o *Lean Digital* e Cadeia de Valor, com um coeficiente R de 0,703, um pouco acima do mínimo esperado de 0,700, ou seja, como na correlação anterior, ferramentas como o VSM (*Value Stream Mapping* ou Mapeamento do Fluxo de Valor) que mapeiam o processo, seus gargalos e pontos de melhoria, também refletem positivamente para modularização e flexibilidade, por exemplo. De acordo com Buer, Strandhagen e Chan (2018) o mapeamento do fluxo de valor é uma ferramenta enxuta fundamental e frequentemente vista como um ponto de partida em um ciclo de melhoria contínua, onde o VSM Futuro, depois de implementado, passa a ser VSM Atual em um novo processo de melhoria. Já Wyrwicka e Mrugalska (2017) afirmam que digitalização do processo pode aprimorar o VSM por meio da coleta de dados em tempo real.

Figura 14 – Correlação Lean Digital x Cadeia de Valor

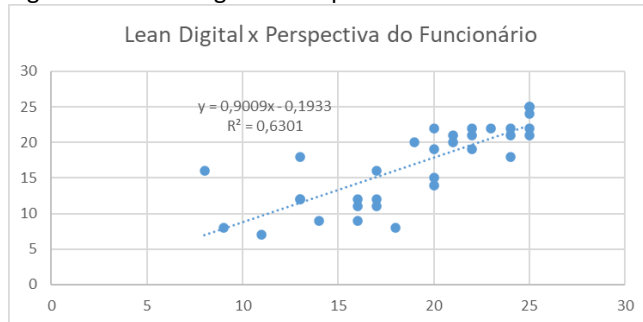


Fonte: Elaborado pelo autor

Na Figura 15, temos a correlação entre *Lean Digital* e Perspectiva do Funcionário, com um coeficiente R de 0,794, o que mostra que a cultura do trabalho em equipe, a motivação e melhoria contínua, refletem, como já comentado sobre Rosin *et al.* (2019), em uma preparação de toda organização para aceitar e incentivar grandes mudanças, como no caso da Indústria 4.0, desde o nível gerencial até o operacional. Além disso, ajudam na elucidação dos impactos da Indústria 4.0 nas práticas analítico-comportamentais do *Lean Manufacturing*, uma vez que isso hoje é uma lacuna de acordo com os artigos publicados identificado por Buer, Strandhagen e Chan (2018) e por Leyh, Martin e Schäffer (2017) onde a literatura existente ainda não mostra de forma representativa como a relação entre o *Lean Manufacturing* e a Indústria 4.0 pode influenciar os resultados da organização, mas vemos aqui que resultados positivos de uma cultura *lean* implementada na organização, com certa maturidade, realmente traz reflexos positivos na preparação da mesma para a implementação de novos elementos, como no caso da digitalização. Podemos, ainda, entender esses resultados como uma confirmação de Dombrowski, Richter e Krenkel (2017), que afirmam que o *Lean Manufacturing* é base para a introdução da Indústria 4.0 e a segunda aumenta a eficácia

da primeira, reforçando ainda o que diz Wagner, Herrmann e Thiede (2017) de que a Indústria 4.0 tende a estabilizar e suportar os princípios do *lean manufacturing*.

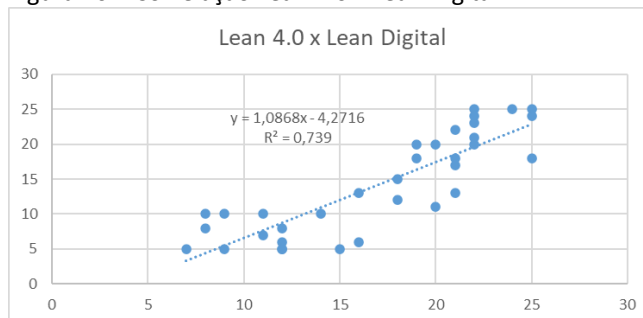
Figura 15 – Lean Digital x Perspectiva do Funcionário



Fonte: Elaborado pelo autor

Por fim, na Figura 16, vemos a correlação entre *Lean 4.0* e *Lean Digital*, com um coeficiente R de 0,860, apresentando uma forte relação entre a implementação de tecnologias de digitalização dos processos, a integração vertical e horizontal, além de processos mais autônomos em uma fábrica mais transparente com dados sendo obtidos em tempo real, processos semelhantes modularizados, flexível, com estações ociosas puxando pedidos de produção e rastreabilidade, garantindo que falhas de produtos possam ser identificados através de dados e consequentemente a identificação da sua causa raiz. De acordo com Schumacher et al (2016) e Leyh, Martin e Schäffer (2017), diversas empresas têm dificuldade em compreender a real efetividade dos conceitos da Indústria 4.0 e com essa correlação podemos verificar que os dados ficam mais acessíveis, dando uma visão efetiva da fábrica em tempo real, possibilitando tomadas de decisões mais rápidas e assertivas.

Figura 16 – Correlação Lean 4.0 x Lean Digital



Fonte: Elaborado pelo autor

O fato é que, como já comentado, apesar de diversos estudos estarem já sendo realizados, ainda não há um consenso sobre a implementação dos elementos que correspondem à Indústria 4.0, como devem ser implementados, qual relação existem entre si e onde esses conceitos devem ser implementados, conforme apontado por Hermann et al (2016), Brettel et al (2014), Rüttiman e Stöckli (2016), Hofmann e Rüsch (2017), contudo, nas empresas estudadas nessa pesquisa, verifica-se que com a implementação de uma fábrica mais digitalizada, há um acesso melhor às informações, possibilitando otimizar ainda mais os processos e o *lean manufacturing* tem se mostrado uma base importante nessa transformação, ou seja, a maturidade do lean na organização, pode refletir na maturidade da implementação da Indústria 4.0. Roy et al (2015) argumentam que a implementação dos

elementos da Indústria 4.0 não elimina o *lean manufacturing*, mas ajuda elevar a maturidade deste.

4.3 Compreensão das respostas

Para analisarmos a maturidade do *lean* juntamente com os estágios que antecedem o *Lean 4.0* são necessários 5 passos de acordo com os autores do estudo da Acatech. Primeiro, é necessário implementar aos conceitos *Lean* em todas as áreas. Sobre essa perspectiva, as empresas participantes do teste apresentaram boas notas em relação aos conceitos fundamentais do *Lean* tais como 5S, PDCA, TPM e Gestão visual. Na tabela 12, é possível ver a média do grupo 1 por ferramenta analisada.

Tabela 12: Valor médio de concordância por ferramenta (grupo1).

One-Piece-Flow	3,735
5S	4,235
PDCA	4,265
Gestão Visual	3,971
TPM	4,088

Fonte: Elaborado pelo autor

O segundo passo analisado nessa pesquisa é a importância de se conhecer sobre a cadeia de valor, Tabela 13. “Com o objetivo de deixar os produtos fluírem e reduzir o tempo de processamento, o *Value Stream Management* ajuda a desenvolver a visão de um *lean value*”. Nesse grupo, as empresas participantes obtiveram a mesma média das notas do grupo anterior. Neste grupo foram analisados os conceitos de *Just-in-Time*, Produção nivelada e VSM.

Tabela 13: Valor médio de concordância por ferramenta (grupo 2).

Produção Nivelada	4,000
Produção Puxada	4,206
JIT	4,118
Takt-time	4,000
VSM	3,971

Fonte: Elaborado pelo autor

O próximo passo está relacionado a perspectiva do funcionário. Para que as mudanças até aqui tomadas possam ser sustentáveis, todos os colaboradores devem entender o valor dos conceitos do *lean*. Com média de 3,82, a maioria das empresas incentivam seus funcionários a proporem melhorias dentro de suas áreas de atuação individual (Autonomia). Esse ponto, com média de 4,29, (maior média do grupo) é fundamental para que as melhorias possam ser implementadas em todas as esferas, indo do nível operacional – chão de fábrica até ao nível mais estratégico.

Tabela 14: Valor médio de concordância por ferramenta (grupo 3).

Autonomia	4,294
Motivação	3,882
Trabalho em equipe	3,618
Kaizen	3,471
Liderança	3,853

Fonte: Elaborado pelo autor

O penúltimo grupo relacionado ao *Lean Digital*, foram analisados os conceitos de rastreabilidade, manutenção preventiva e transparência. Sobre o aspecto de rastreabilidade, as empresas participantes obtiveram a melhor nota do grupo. No entanto, com nota de 2,912, estações de trabalhos ociosas são não ou muito pouco monitoradas por sensores capazes de puxar a produção evitando tempo de máquina ocioso. Dentro do *Lean Digital* o uso de sensores é fundamental para monitoramento de processos. Eles ajudam a não só a mapear o processo como um todo, mas até mesmo para prever desgastes em ferramentas e maquinários.

Tabela 15: Valor médio de concordância por ferramenta (grupo 4)

Transparência	3,471
Modularização	3,147
Flexibilidade	2,912
Preventiva	3,471
Rastreabilidade	4,029

Fonte: Elaborado pelo autor

Por fim, o último grupo analisado está relacionado com a fase final da escala de maturidade. As perguntas relacionadas ao *Lean 4.0* obtiveram a menor média. Isso já era esperado, uma vez que, para atingir a maturidade nesse grupo, é necessário desenvolver uma maturidade ainda maior nos níveis de maturidade anteriores. Com média 3,059, algumas empresas disseram que os dados coletados são utilizados para otimização automática da cadeia de valor. No entanto, poucas delas utilizam os conceitos de *Big Data e Analytics* capazes de criar algoritmos variáveis permitindo a criação de novos fluxos de produção.

Tabela 16: Valor médio de concordância por ferramenta (grupo 5)

Machine Learning	3,059
Big Data / Analytics	2,588
Automação	2,647
Integração Vertical	2,941
Integração Horizontal	3,000

Fonte: Elaborado pelo autor

Com base nos dados levantados e os níveis de maturidade que as empresas vão atingindo nas categorias posteriores conforme atinge um nível mais alto nas anteriores, reforça a ideia que o *Lean Digital* e o *Lean 4.0* apresentam melhores resultados quando o *lean manufacturing* é uma metodologia cultural dentro da organização, uma vez apontado por Buer, Strandhagen e Chan (2018) que apesar de algumas indicações nesse caminho, não existem estudos suficientes que apontam sobre os efeitos facilitadores da implementação do *lean* antes de uma transformação para a Indústria 4.0. Ainda segundo Tortorella e Fettermann (2018), Kolberg et al (2016), Gjeldum et al (2016), Landscheidt e Kans (2016) faltam estudos que apresentem de maneira empírica uma relação bem-sucedida na implementação de elementos da Indústria 4.0 de forma sucessiva a uma implementação madura do *lean manufacturing*, de forma que essa pesquisa tem demonstrado nas empresas estudadas justamente que maturidade da digitalização é consequência de uma metodologia do *lean* bem implementado, com fortes correlações entre as categorias voltadas para Indústria 4.0 com a as categorias do *Lean Manufacturing*.

5 CONCLUSÃO

A análise de maturidade *lean* das empresas participantes da pesquisa é de grande importância para verificarmos qual o estágio de maturidade que cada uma dessas empresas se encontra. O intuito é mostrar que, para chegar a níveis mais elevados de maturidade é necessário passar por estágio prévios. Entender os conceitos do *lean* como uma cultura e não como uma caixa de ferramenta é fundamental para o amadurecimento. As respostas obtidas no questionário mostraram que 76% das empresas participantes estão no intervalo de empresas excelentes ou ótimas, o que significa que boa parte das ferramentas *lean* são aplicadas, embora possam ter alguns setores que ainda não aderiram a cultura *lean*. Muitos colaboradores entendem da importância do avanço em direção a indústria 4.0, mas há algumas barreiras para aplicação e evolução.

Dentro dos cinco estágios de maturidade que foram desenvolvidos nessa pesquisa, as empresas obtiveram bons resultados nos três primeiros. Isso indica que tanto a liderança quanto os colaboradores operacionais entendem a importância dos conceitos de zero erro e zero defeito. Nessas empresas o *lean* não é enxergado como uma caixa de ferramenta, mas, sim, como uma cultura.

Outro aspecto importante é que, não necessariamente quanto mais tempo de atuação, mais próximo do intervalo de “empresas excelentes” ela se encontravam, mas sim o como esse tempo de atuação foi adequadamente utilizado na implementação das ferramentas e a consequente aderência delas como cultura. Para implementar uma cultura é necessário tempo e compreensão total em todas as esferas de trabalho, entretanto esse tempo precisa ser com o conceito vivo, vivenciado, para realmente refletir em resultados. As mudanças tomadas rumo a indústria 4.0 só se tornam sustentáveis quando tratadas dessa forma.

Com base nos dados, muitas empresas ainda não investem em Big Data e computação em nuvem. A fase da digitalização antecede qualquer processo de automatização. O que fazer com os dados coletados é o diferencial no processo de transição do Lean Digital e Lean 4.0. É importante ressaltar que tecnologias da indústria 4.0 são custosas e devem ser analisadas para que sirvam de acordo com as necessidades de cada uma delas.

Machine learning, computação em nuvem, *Big Data Analytics* e integração vertical são algumas das ferramentas que devem ser investidas. O aprendizado de máquina é ferramenta fundamental para otimização de processos. Computação em nuvem é importante para escalabilidade e flexibilidade. Com ela, você sempre tem a capacidade de aumentar e diminuir a sua necessidade computacional de acordo com a demanda. Uso de ferramentas de análise ajudam a extrair insights dos dados coletados. Por fim, a integração vertical ajuda na criação de novos modelos de negócios.

Ainda foi possível verificar com esse estudo, uma importante relação entre as categorias do *Lean Manufacturing*, reafirmando a ideia de serem ferramentas interconectadas e que não devem ser tratadas de maneira individual. Além disso, mostraram um importante reflexo na implementação de tecnologias da Indústria 4.0, o que pode representar que o *lean* é uma base importante para a implementação dessas novas tecnologias e essas podem refletir em melhoria na eficácia das ferramentas do *lean*.

REFERÊNCIAS

- BESTERFIELD, D.H.; BESTEFIELD-MICHNA, C.; BESTEFIELD, G.H.; BESTEFIELD-SACRE, M. **Total Quality Management**. 2. ed. Englewood Cliffs: Prentice-Hall International, 1999.
- BHASIN, S. **Lean and performance management**. in: lean management beyond manufacturing. cham: Springer International Publishing, 2015. p. 117–137.
- BUER, S.; STRANDHAGEN, J. O.; CHAN, F. The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda. *International Journal of Production Research*, 2018. p. 1-17.
- BRETTEL, M.; FRIEDERICHSEN, N.; KELLER, M.; ROSENBERG, M. How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape. An Industry 4.0 Perspective. **International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering**, 2014. p. 37–44.
- CAMPOS, V. F. TQC. **Controle da qualidade total (no estilo japonês)**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1992.
- COLLI, M.; MADSEN, O.; BERGER, U.; MULLER, C.; WAEHRENS, B.V.; BOCKHOLT, M. **Contextualizing the outcome of a maturity assessment for Industry 4.0**. IFAC-Pap. 51, 2018. p. 1347–1352.
- DOMBROWSKI, U.; RICHTER, T.; KRENKEL, P. **Interdependencies of Industrie 4.0 and Lean Production Systems**: A use cases analysis. *Procedia Manufacturing*, 2017. v. 11, p. 1061–1068.
- GJELDUM, N.; MLADINEO, M.; VEZA, I. Transfer of model of innovative smart factory to croatian economy using lean learning factory. **Procedia CIRP** 54, 2016. p. 158–163.
- GOODSON, E. **Read a Plant – Fast**. Cambridge: Harvard Business School, 2002.
- HAIR JR., J. F. et al. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.
- HERMAN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design principles for Industrie 4.0 scenarios. 49th Hawaii International Conference on System Sciences, HICSS, Koloa, p. 3928–3937, 2016.
- HOFMANN, E.; RÜSCH, M. Industry 4.0 and the Current Status as well as Future Prospects on Logistics. **Computers in Industry**, v. 89, p. 23–34, 2017.
- KHAMBA, J. S.; AHUJA, I. P. S. Total productive maintenance: literature review and directions. **International Journal of Quality & Reliability Management**. v. 25, n. 7, p. 709 – 756, 2008.
- KARLSSON, C.; ÅHLSTRÖM, P. Assessing changes towards lean production. **International Journal of Operations & Production Management**, 1996.

KOLBERG, D.; KNOBLOCH, J.; ZÜEHLKE, D. Towards a Lean Automation Interface for Workstations. **International Journal of Production Research**, Forthcoming 55. p. 2845–2456, 2016.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. An application of hierarchical kappa-type statistics in the assessment of majority agreement among multiple observers. **Biometric**, 1977.

LANDSCHEIDT, S.; KANS, M. Automation Practices in Wood Product Industries: Lessons Learned, Current Practices and Future Perspectives. 7th Swedish Production Symposium SPS, Lund, p. 25–27, 2016.

LAPA, R. **Programa 5S**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.

LEYH, C.; MARTIN, S.; SCHAFFER, T. Industry 4.0 and Lean Production – A Matching Relationship. **An analysis of selected Industry 4.0 models**. Federated Conference on Computer Science and Information Systems, FedCSIS 2017, Anais, 2017.

LIKER, J. K. **O modelo Toyota**: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo. Porto Alegre: Bookman, 2005.

MAYR, A.; WEIGELT, M.; KUHLE, A.; GRIMM, S.; ERL, A.; POTZEL, M.; FRANKE, J. Lean 4.0 - A conceptual conjunction of lean management and Industry 4.0. 51st CIRP, Conference on Manufacturing Systems, 2018.

MEARS, Peter. **How to stop talking about and begin progress toward, total quality management**. Business Horizons, Greenwich, v. 36, p. 11-4, 1993.

MATTERNICH, J.; MEUDT, T.; HARTMANN, L.; RAUEN, H.; MOSCH, C.; PRUMBOHM, F. Industrie 4.0 meets Lean – Guideline to increase added value holistically. VDMA Industrie 4.0 Forum, Frankfurt & Institute of Production Management Technology and Machine Tools (PTW), Dasmstadt, 2017.

MOHER, D.; LIBERATI, A.; ALTMAN, D. G.; TETZLAFF, J.; MULROW, C.; GOTZSCHE, P. C.; LOANNIDIS, J. P.A.; CLARKE, M.; DEVEREAUX, P. J.; KLEIJNEN, J.; MOHER, D. The PRISMA Statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. Guidelines and Guidance, v. 6, 2009.

NAKAJIMA, S. TPM Development Program: Implementing Total Productive Maintenance, Productivity Press, Portland, 1989.

ROSIN, F. et al. Impacts of Industry 4.0 technologies on Lean principles. **International Journal of Production Research**, v. 0, n. 0, p. 1–18, 2019.

ROTHER, M. & SHOOK, J. **Aprendendo a enxergar**. Lean Institute Brasil. São Paulo, 1999.

ROY, D.; MITTAG, P.; BAUMEISTER, M. Industrie 4.0 - Einfluss der Digitalisierung auf die fünf Lean-Prinzipien Schlank vs. Intelligent. Productivity Management 20, p. 27–30, 2015.

RÜTTIMANN, B. G.; M. T. STÖCKLI, M. T. Lean and Industry 4.0 - Twins, Partners, or Contenders. A Due Clarification regarding the Supposed Clash of Two Production Systems. **Journal of Service Science and Management**, v.9., p. 485–500, 2016.

SCHUH G.; ANDERL R.; DUMITRESCU R.; KRÜGER A.; HOMPEL M. **Industrie 4.0 maturity index**. Munich, 22 de abr. de 2020. Disponível em: <https://en.acatech.de/publication/industrie-4-0-maturity-index-update-2020/>. Acesso em: 20 maio 2022.

SCHUMACHER, A.; EROL, S.; SIHN, W. A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. *Procedia CIRP* 52, p. 161-166, 2016.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. tradução Henrique Luiz Corrêa.-3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SONY, M. Industry 4.0 and lean management: a proposed integration model and research propositions. **Production & Manufacturing Research**, v 6, p. 416-432, 2018.

TORTORELLA, G. L., FETTERMANN, D. Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies. **International Journal of Production Research**, 56, p. 2975–2987, 2018.

WAGNER, T. A.; HERRMANN, C.; THIEDE, S. Industry 4.0 Impacts on Lean Production Systems. *Procedia CIRP* 63, p. 125–131, 2017.

WYRWICKA, M. K.; MRUGALSKA, B. Towards lean production in industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, 182, p. 466–473, 2017.

Sobre os Autores

i ANDERSON TADEU DE SANTI BARBOSA DE ALMEIDA



Possui graduação em Engenharia Elétrica pela FEI (2005), MBA em Gestão Empresarial pela FGV (2008), MBA em Engenharia e Gestão pela USP (2021), Pós-Graduação em Segurança do Trabalho pela UNIMAIS (2022), Pós-Graduação em Docência no Ensino Superior pelo SENAC (2023) e Mestrando pela UFABC. Atualmente é Gerente de Projetos na SmartFactory e Professor no SENAI “Manuel Garcia Filho”.

<https://orcid.org/0000-0001-7667-0973>

ii DOUGLAS ROBERTO DE GENNARO



É graduado em Bacharelado em Ciência e Tecnologia pela UFABC, Universidade Federal do ABC, (2019) e bacharel em Engenharia Mecatrônica, Robótica e Engenharia de Controle e Automação pela UFABC, Universidade Federal do ABC, (2023). Atualmente é Cloud Sales Specialist na Microsoft.

<https://orcid.org/0009-0004-4903-0056>

iii UGO IBUSUKI



Possui graduação em Engenharia Mecânica pela FEI (2000), mestrado em Engenharia Mecânica pela USP (2003), MBA na FGV (2007) e doutorado em International Studies na Waseda University de Tokyo no Japão (2011). Atualmente é Professor do programa de Engenharia de Gestão da UFABC. Possui 18 anos de experiência na área Automotiva, em Gestão de Projetos, da Produção e Lean Manufacturing.

<https://orcid.org/0000-0003-2478-4551>