



REVISTA BRASILEIRA DE MECATRÔNICA
FACULDADE SENAI DE TECNOLOGIA MECATRÔNICA

**ESTUDO DA IMPLEMENTAÇÃO DOS CONCEITOS DE DIGITALIZAÇÃO EM UM
PROCESSO DA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA E SEUS IMPACTOS EM FACE AOS CONCEITOS DO
LEAN**

**STUDY OF THE IMPLEMENTATION OF DIGITALIZATION CONCEPTS IN A PROCESS IN
THE AUTOMOTIVE INDUSTRY AND ITS IMPACTS IN THE FACE OF LEAN CONCEPTS**

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

Data de submissão: (03/12/2022) Data de aprovação: (12/09/2023)

RESUMO

O presente trabalho tem como objeto de estudo a avaliação da implementação de ferramentas do *lean manufacturing*, bem como de tecnologias dentro do conceito de Indústria 4.0 e dos resultados obtidos. Para tal, essas implementações e análise foi realizada numa célula piloto no setor de estamparia de uma indústria automotiva, com o objetivo de melhorar sua performance produtiva. Dentro do estudo, primeiro foi analisado o cenário prévio, bem como seus indicadores, para que servissem de referência de comparação. Foi também realizada uma pesquisa com os envolvidos, do setor englobando desde os operadores até os gerentes, para entender o quão aderente eram os conhecimentos na metodologia e ferramentas do *lean* e também dos conceitos e tecnologias da Indústria 4.0, como uma forma de validar que todo esse conhecimento era utilizado de maneira uniforme na área, garantindo que todo esse processo estava sendo implementado da forma mais efetiva possível, uma vez que pessoas formam a base mais importante, ou até mesmo fundamental, desse tipo de inovação. Em seguida, foram analisados os resultados obtidos com essas implementações e comparados com o que se tinha anteriormente, observando-se uma melhoria na performance do processo, apesar de algumas limitações e com a expectativa de uma melhora mais efetiva com a maturidade da implementação a ser conseguida com o passar do tempo e a devida tratativa dos dados disponíveis.

Palavras-chave: Lean Manufacturing; Indústria 4.0; disponibilidade; produtividade.

¹ Mestrando em Engenharia de Produção em Lean 4.0 na Universidade Federal do ABC. Email: anderson.santi@ufabc.edu.br

ABSTRACT

The present work has as its object of study the evaluation of the implementation of lean manufacturing tools, as well as technologies within the concept of Industry 4.0 and the results obtained. To this end, these implementations and analysis were carried out in a pilot cell in the stamping sector, with the objective of improving its productive performance. Within the study, the previous scenario was analyzed, as well as its indicators, so that they could serve as a reference for comparison. A survey was also carried out with those involved, from the sector, ranging from operators to managers, to understand how adherent their knowledge was in the lean methodology and tools and also in the concepts and technologies of Industry 4.0, as a way of validating that all this knowledge was used uniformly in the area, ensuring that this entire process was being implemented as effectively as possible, since people are the most important, or even fundamental, basis for this type of innovation. Then, the results obtained with these implementations were analyzed and compared with what had been previously, observing an improvement in the performance of the process, despite some limitations and with the expectation of a more effective improvement with the maturity of the implementation to be achieved with the passage of time and due treatment of the available data.

Keywords: Lean Manufacturing; 4.0 Industry; availability; productivity.

1 INTRODUÇÃO

A indústria está em constante atualização ao longo dos anos. Essa modernização teve seu começo no século XVIII e causou grandes transformações. Na Europa, especificamente, existia uma enorme quantidade de trabalhos manuais, em função da inexistência de máquinas e equipamentos para realização de tarefas ou capazes de produzir ferramentas que auxiliassem na produção. Alguns países da região, mesmo os trabalhos sendo exclusivamente manuais, possuíam manufaturas, que eram na época, enormes oficinas com vários artesãos, trabalhando em condições precárias, em turnos bastante extensos. Entretanto, essa situação estava com os dias contados, pois entre o final do século XVIII até meados do século XIX, a Inglaterra foi pioneira em grandes transformações que vinham acontecendo na indústria. Um crescimento exponencial da indústria têxtil aconteceu com a utilização da máquina mecânica de tear e a responsável por essa mudança foi a invenção das máquinas movidas à vapor, período que recebeu o nome de Primeira Revolução Industrial.

A partir de 1860, aconteceram novas transformações com o uso da eletricidade em máquinas. Nesse período, os países europeus da vanguarda tecnológica, como a Inglaterra, Alemanha e França, foram protagonistas da Segunda Revolução Industrial, período que se começaram os conceitos de produção como o Taylorismo e o Fordismo e um processo produtivo seriado, que causou na indústria condições de produzir grandes volumes de veículos em curtos espaços de tempo. Outro ponto importante a ser destacado, com o uso da eletricidade, é que as fábricas passaram a ter condições de trabalhar em turnos noturnos, antes limitado ao horário em que se tinha luz solar.

A Terceira Revolução Industrial iniciou-se em meados do século XX com o surgimento dos robôs e da internet, causando grandes transformações nos processos produtivos. A internet possibilitou o fluxo de dados e informações de maneira mais rápida e eficiente. Os robôs revolucionaram os processos produtivos, auxiliando os colaboradores que atuam nos processos e transferindo trabalhadores para outras atividades que, pelo menos naquele

momento, não eram possíveis de serem automatizadas, ou fazendo com que essa mão de obra ficasse mais especializada para atuar nesse novo conceito robotizado de produção. Após a Segunda Guerra Mundial, o Japão, por conta da necessidade de reconstrução do pós-guerra, formalizou uma filosofia adaptada aos conceitos de manufatura existentes. Este formato otimizado de produção ficou mais conhecido como modelo de processo enxuto ou Sistema Toyota de Produção, já que esse sistema se iniciou na montadora japonesa, ou ainda, também comumente conhecido como *Lean Manufacturing*. O sistema obteve uma grande repercussão, que começou a ser analisado, entendido e implementado em diversos países e nos mais diversos ramos da indústria.

A partir do ano 2000 outras tecnologias como: a Internet das Coisas (*IoT*), Computação em Nuvem, Realidade Virtual (R.V.), Realidade Aumentada (R.A.) e Inteligência Artificial (I.A.), transformaram uma vez mais a maneira otimizada de produção. Entretanto, essa transformação acontece de forma gradual, investimentos regulares e um estudo detalhado para se tomar a decisão de qual o momento ideal para iniciar essa mudança para o que podemos chamar de Quarta Revolução Industrial, ou mais conhecida como Indústria 4.0, em função do alto investimento envolvido e a exigência de novas competências.

1.2 Objetivos

Esse trabalho tem como objetivo geral explorar os estados antes e depois de um processo de melhoria, para assimilar e compreender as expectativas, os resultados e os desafios impostos pela integração das novas tecnologias em um processo produtivo de uma indústria automotiva. Para essa compreensão e as devidas conclusões, será necessário conhecer o cenário antes da implantação desse programa de melhoria e dos investimentos que foram aplicados ao processo e com isso, conhecer os indicadores de produção, produtividade e disponibilidade do processo produtivo, bem como após a implantação, para se comparar e verificar os resultados obtidos dos mesmos indicadores. Para tal, dois paradigmas de produção serão estudados e que serão considerados nesse programa de investimento e melhoria do processo: o *Lean Manufacturing* (Manufatura Enxuta) e a Indústria 4.0 (Manufatura Avançada).

Como objetivo específico pretende-se verificar o envolvimento dessas duas abordagens de produção nesse processo da indústria automotiva. Assim, procura-se entender e que serviu de justificativa desse trabalho, se as tecnologias da Indústria 4.0 atuam como facilitadoras do *lean*, ou se o *Lean Manufacturing* é uma base fundamental para a implantação da Indústria 4.0. Além de entender qual a maturidade da empresa do segmento estudado com o *Lean Manufacturing*, bem como sua capacidade de implementação dos conceitos da Indústria 4.0.

1.3 Escopo

Esse trabalho tem como abrangência um processo produtivo dentro da indústria automotiva. Trata-se da área de Estamparia que ao longo dos anos vem recebendo constantes transformações, procurando se adaptar às novas tecnologias e buscando melhorar a performance do processo e, com isso a eficiência operacional. É uma área do processo que a montadora terceirizou boa parte dos componentes que antes eram feitos internamente, mantendo atualmente, somente as peças que estão relacionadas com a superfície dos veículos: portas, tampa traseira, teto, isto é, peças consideradas chaves para o negócio, devido ao alto grau de exigência da qualidade. A eficiência operacional é, praticamente, mandatória

dentro do segmento automotivo, pois, o seu alto custo operacional deve ser diluído através da melhoria da produtividade operacional e financeira para se manterem competitivos no mercado. Como limitação do trabalho está o levantamento de alguns dados divergentes realizados antes das últimas implementações e de investimentos, uma vez que por serem imputados manualmente pelos operadores, muitas vezes essas informações não eram devidamente registradas, mas ainda assim é possível entender como era o cenário prévio, para que seja utilizado como comparativo.

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

O *Lean Manufacturing*, conhecido também como Manufatura Enxuta, ou simplesmente sistema de produção enxuta, foi idealizado e implementado inicialmente por várias montadoras de veículos. Já nos anos 90, diversos conceitos do *Lean Manufacturing* começaram a ser implementados em vários outros segmentos da indústria brasileira. Como se trata de uma metodologia com objetivo de otimizar processos e aumentar a produtividade, é importante estudá-lo com certo detalhamento.

Karlsson & Ahlstrom (1996) comentam que o objetivo principal do *lean*, idealizado pela montadora Toyota no Japão, após o fim da Segunda Guerra Mundial, era reduzir os desperdícios do processo produtivo. Além disso, outro ponto importante da metodologia do *lean* e talvez um dos pontos centrais, é a busca contínua da melhoria, que origina da palavra em japonês *Kaizen*, que para eles tem um significado muito mais amplo do que simplesmente “melhoria contínua”. Se formos traduzir a ideia correta do *Kaizen*, seria “melhoria contínua com envolvimento de todos”. O conceito do *lean* vai muito mais do que a aplicação de ferramentas, mas podemos considerá-las como parâmetros para analisar a eficiência desse conceito, como por exemplo:

- a) Reduzir estoques – Produto estocado significa dinheiro parado, ou seja, não estão gerando receita enquanto ficam armazenados. Sem contar que, produto em estoque corre risco de ser perdido devido à obsolescência, além da própria área ocupada, que poderia ser utilizada para outra finalidade com um maior valor agregado;
- b) Tamanho de lotes reduzidos – Diminuindo-se os lotes de produção, não haverá excesso de produtos produzidos que precisem ir para estoque, conforme comentado no item anterior. Dessa forma, a programação de produção precisa ser planejada de maneira que evite excessos e com isso, evite estoques. Se os lotes forem menores, mesmo que ocorra estoque, eles também serão menores;
- c) Produto com qualidade – Qualidade não deve ser uma responsabilidade exclusiva do pessoal de qualidade, mas sim de todos os trabalhadores envolvidos no processo, esse controle da qualidade deve ser realizado por todos os colaboradores em todo o processo, o que reduziria o envio de peças defeituosas para a próxima etapa ou no pior caso, para o cliente final;
- d) Movimentação de peças – A movimentação de peças para uma certa etapa da produção não tem valor agregado, portanto, esse transporte deve ser eliminado ou

reduzido, com isso, conseqüentemente se reduziria o *lead time* do processo. Portanto, o *lay out* do processo deve ser pensado de maneira que se evite ou ao menos minimize essas movimentações desnecessárias;

- e) Times multitarefas – O objetivo é em vez de ter colaboradores especializados apenas em uma atividade específica, a ideia é que se tenha mais funcionários que trabalhem em diversas tarefas, diminuindo a dependência de um trabalhador especializado e aumentando a flexibilidade das células produtivas, com colaboradores mais flexíveis em multitarefas;
- f) Descentralização de tarefas – Todos os colaboradores precisam ser responsáveis por supervisionar as tarefas e a ideia é a de ter uma certa rotação de líder entre os colaboradores que foram treinados para essa função, além de se reforçar dessa maneira a responsabilidade sobre as atividades exercidas no processo;
- g) Just-in-time – A ideia desse conceito é que as peças necessárias para uma certa atividade do processo, cheguem no momento certo e na qualidade esperada, evitando estoque e ajustes/retrabalhos no processo. Para tanto, é necessária a redução dos tamanhos de lotes e a redução do tempo aguardando pela chegada dos itens.

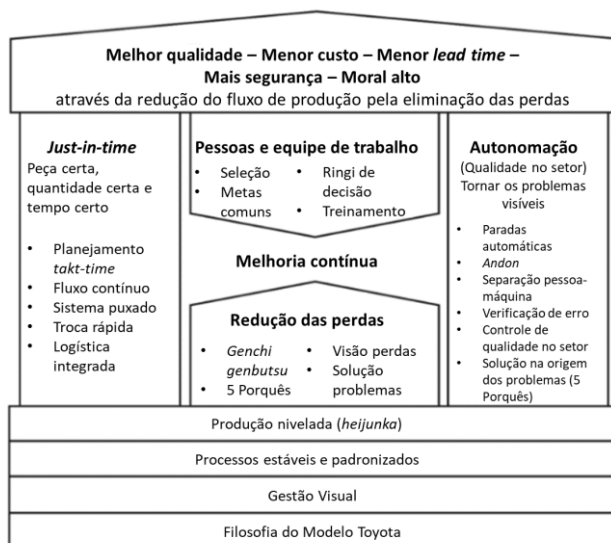
Goodson (2002) apresenta uma nova metodologia de avaliar a maturidade nos conceitos do *Lean Manufacturing*. Ele desenvolveu um método de avaliação que foi chamada por ele de “*The Rapid Plant Assessment (RPA)*”. Para fazer a avaliação da maturidade de uma fábrica, a avaliação faz uma classificação em 11 categorias. Há um questionário com 20 perguntas de simples respostas, apenas com “sim” e “não” para verificar se a fábrica está utilizando das melhores práticas dentro das 11 categorias. A seguir estão apenas algumas dessas categorias que são avaliadas pelo autor na pesquisa:

- a) Satisfação do cliente – Os trabalhadores conhecem os consumidores e sabem que seu objetivo principal é satisfazê-los ou até mesmo superar suas expectativas. Outro ponto crucial é a preparação dos funcionários para receber os clientes e apresentar a empresa para eles, já que esses clientes devem sempre ser bem-vindos à fábrica, sem conta que essa proximidade faz com que relação entre fabricante e consumidor fique fortalecida;
- b) Utilização do espaço, transporte de peças e fluxo do processo produtivo – Plantas com alta eficiência são as que organizam o *lay out* de forma eficiente, reduzindo transporte de peças e reduzindo o *lead time*;
- c) Meio ambiente, limpeza, organização e segurança – Em uma empresa limpa e com organização é muito melhor para se trabalhar. Causa uma satisfação de estar naquele ambiente, um verdadeiro bem-estar, além da facilidade de se encontrar o que necessita, já que tudo está devidamente identificado, organizado e nos seus devidos lugares, evitando se guardar aquilo que não precisa;
- d) Time de trabalho motivado – As plantas precisam ter um quadro que apresente seus funcionários, programa de sugestões, clareza nas medidas de segurança necessárias para aquele ambiente, além de quadros de informações apresentando de maneira clara indicadores que mostrem o funcionamento da planta.

2.2 Sistema Toyota de Produção (STP)

Conforme Liker (2013), por muitos anos, a Toyota não tinha documentado seus processos produtivos. Era simples para uma fábrica pequena treinar seus funcionários e fornecedores na maneira como executava as tarefas das linhas produtivas. Com o passar do tempo a empresa cresceu e a maneira como faziam para repassar as “melhores práticas” para todas as unidades da organização pelo mundo foi se tornando impraticável. Com isso, Taiichi Ohno (1998) formulou um modelo que representasse o Sistema Toyota de Produção (STP), conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Formato da casa do STP



Fonte: Ohno (1988)

Conforme qualquer casa, é primordial que o alicerce (base), colunas bem como o telhado sejam estáveis. Se algum deles apresente instabilidade, a casa como um todo será afetada. Com essa filosofia, Ohno representou em cada componente estrutural dessa casa do STP, as ferramentas indispensáveis para sustentar o modelo que ele havia desenhado, de cima para baixo temos:

- Telhado – Um *lead-time* menor, menos custo de produção, um processo mais seguro e a garantia da qualidade são características primordiais do Sistema Toyota de Produção. De forma que para essas características serem alcançadas, ferramentas de gerenciamento do *Lean* se tornam necessárias e para evitar desperdícios, o formato de produção mais adequado é aquele puxado pela demanda, garantindo dessa maneira estoque reduzido.
- Pilar Just-in-time – Trata-se de um processo com sincronização e eficiência e para que ele funcione, necessário fazer todo um mapeamento do fluxo do processo produtivo. Todos os passos do processo precisam estar bem delineados de maneira que o processo seja bem-organizado. Assim, o componente deve ser entregue na etapa da produção na quantidade exata e no momento certo do uso, evitando parada de produção, sem causar gargalos e tampouco excesso de material em processo. Outra questão importante desse pilar, é uma produção do tipo *pull* (puxada), ou seja, o volume de produção é delineado em função da demanda, assim, o produto somente será produzido quando tiverem pedidos, reduzindo estoque e o tamanho do lote.

- c) Pilar *Jidoka* – Ou também conhecido, conforme Slack, Chambers e Johnston (2009), como “autonomação”, conceito relativamente recente, integrante do STP. Trata-se de um termo que comumente tem relação com automação, mas a grande verdade é que ele não é restrito somente às máquinas e equipamentos. Ainda de acordo com os autores, o objetivo do conceito é mais abrangente, dando aos trabalhadores capacidade de detectar a ocorrência de condições anormais e parar o trabalho instantaneamente. Dar condições e permissão que colaboradores parem a produção caso detectem uma anomalia é uma parte importante do processo produtivo. Essa situação irá evitar desperdícios, retrabalhos e ainda irá ajudar a garantir produto com qualidade. Por se tratar de “autonomação”, não está somente ligado a máquinas e equipamentos ou automação em si, pode ser implementado em qualquer processo produtivo, de qualquer tipo. O *Jidoka* é definido, como um meio com capacidade de “humanizar a interface entre o operador e a máquina” (Slack, Chambers e Johnston, 2009).
- d) Centro – No centro da casa, encontramos o *Kaizen*, que tem como característica fundamental a melhoria contínua. Dentro desse conceito, todos os colaboradores, após treinamento na ferramenta, passam a ser capazes de identificar deficiências do processo produtivo ou simplesmente a possibilidade de fazer melhor uma operação. Algumas ferramentas de qualidade podem ser utilizadas nesse processo de melhoria, por exemplo os “5 Por quês”, entre outras.
- e) Base – Com todas as ferramentas (colunas) implementadas, o que irá solidificar a estrutura, é a padronização, garantindo a aplicação com sustentabilidade as boas práticas, evitando que problemas passados se repitam, garantem princípios como a “autonomação” e transforma em cultura conceitos como o do *Kaizen*, na busca incansável de melhoria.

De forma errada, a Manufatura Enxuta, é vista por um grupo de autores como um conjunto de ferramentas, mas é muito mais do que isso. É na verdade a implantação de uma cultura, que todos os colaboradores, de todos os níveis da organização precisam estar engajados no mesmo objetivo, com um mesmo ideal. Conforme Liker (2005), “é um sofisticado sistema em que cada parcela contribui com o todo”.

2.3 Indústria 4.0

Segundo alguns autores, como Schwab (2016), o setor industrial já está vivendo o que eles chamam de Quarta Revolução Industrial e não necessariamente uma evolução da terceira, pois os avanços tecnológicos estão provocando mudanças significativas nos sistemas produtivos e de acordo com Gimenez e Santos (2019) esse termo Indústria 4.0 significa, em essência, a integração de sistemas físicos cibernéticos em produção e logística e o uso da “internet das coisas” (*IoT*) em processos industriais – incluindo as consequências para uma nova criação de valor, modelos de negócio e organização de trabalho.

Dessa forma, a Indústria 4.0 terá a internet e os algoritmos de tecnologia da informação com um papel importante e fundamental na implementação desse conceito de manufatura avançada, desde a compra da matéria prima, passando por todos os processos internos, até a entrega do produto, além do controle de estoque, entendimento da demanda, análise comportamental e expectativas do cliente final.

Para a implementação dessa transformação, estão disponíveis diversas tecnologias, mas o mais importante do que a existência delas, é entender o nível de maturidade que as empresas são capazes de alcançar com a implementação de toda essa tecnologia, observando

os resultados através de uma análise do nível de desenvolvimento. Para tanto, de acordo com Schumacher (2016), normalmente se utiliza como instrumento um modelo de maturidade. O objetivo de um modelo de maturidade é detalhar as etapas de melhoria de um processo, desde um nível embrionário para um nível avançado, incorporando os componentes de cada nível e as recomendações para sua utilização. Conforme Kwak e Ibbs (2002), esses componentes são frequentemente compostos por práticas e processos, ferramentas e tecnologias utilizadas para aumentar a eficiência da organização.

Atualmente não existem ainda muitos modelos de maturidade sobre a implementação da manufatura avançada, ou Indústria 4.0, nas empresas. Entre esses poucos modelos existentes, a proposta de Schumacher (2016) apresenta uma análise sistêmica da aplicação da indústria 4.0, que utilizando de uma escala Likert de 5 pontos, o nível de implementação dos itens categorizados em nove dimensões diferentes (Estratégia, Liderança, Consumidor, Produtos, Operações, Cultura, Pessoas, Governança e Tecnologia).

De qualquer forma, esses casos precisam ser aprofundados, pois além da aplicação das ferramentas e tecnologias da indústria 4.0, ainda há outros elementos a serem observados de forma a entender a capacidade de tudo isso ser transformado em casos de sucesso, pois além da questão cultural, em muitas empresas ainda encontramos realidades muito distintas e com níveis de automação muito variados que vão representar resultados diferenciados quanto à implementação da manufatura avançada.

Em outro estudo, apresentado na pesquisa da Acatech – “*Industrie 4.0 Maturity Index*” (Schuh *et. al.*, 2017), maioria das empresas ainda não compreendem os aspectos mais importantes do que seja Indústria 4.0. Por exemplo, as organizações normalmente limitam indevidamente a Indústria 4.0 à apenas as digitalizações dos processos ou simplesmente automação total. Então, em vez de promoverem mudanças coordenadas de maneira coletiva em toda organização, promovem na verdade mudanças isoladas, de forma separada do resto da empresa, assim, acaba refletindo pouco ou até de certa forma, sem nenhum efeito prático. Para um reflexo positivo na organização e que os benefícios sejam percebidos, é mandatório que as mudanças sejam implementadas em todos os departamentos. Desde o recebimento do material, até o pós-venda, na relação com o consumidor final.

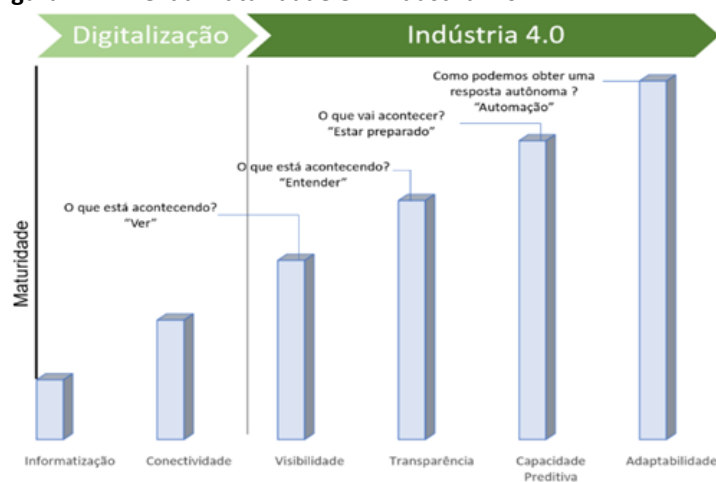
A característica mais importante dessa nova fase da indústria, conforme apresentado na pesquisa, é a rapidez em implementar mudanças. Se mais ágil for a empresa em implementar as mudanças para se adaptar às necessidades do mercado e dos seus clientes, melhores serão os frutos colhidos. As mudanças devem estar relacionadas com o tempo do processo produtivo e a entrega ao cliente. Organizações com maior agilidade e maior capacidade de se adaptar às novas tecnologias, produzem mais rápido e com maior qualidade, diminuindo o prazo de entrega.

Cada organização estudada da Acatech tem uma meta final que diferencia uma das outras. Portanto, foi elaborado um mapeamento para que cada uma delas pudesse atingir uma maturidade no nível que desejava. Para mensurar e com isso conhecer em que nível estava a maturidade dentro da Indústria 4.0 de cada uma das organizações, foi feita uma divisão em 6 etapas, conforme segue (Figura 2):

- a) Informatização – A informatização é um passo que vem antes do processo de implementação da digitalização. Atualmente, a maioria das empresas já possuem um certo nível de informatização, com máquinas e equipamentos que realizam trabalhos automatizados, repetitivos e com precisão, porém, esses equipamentos não estão conectados entre si, trabalhando de maneira isolada, com *setups* individuais;

- b) Conectividade – Nessa etapa, máquinas e equipamentos estão conectados a softwares que fazem a gestão do processo produtivo. Os colaboradores que trabalham diretamente na produção, são capazes de fazer todo o acompanhamento de uma peça, desde o seu desenvolvimento, até a finalização da produção em si. Os fornecedores das máquinas conseguem também, através de acesso remoto, realizar manutenções corretivas ou até identificar problemas antes mesmo que eles aconteçam;
- c) Visibilidade – Com uma tecnologia em constante avanço, os custos vêm diminuindo e devido a isso, as empresas mais constantemente são capazes de instalar sensores por toda a planta e em todos os processos produtivos e dessa forma, coleta dados em tempo real que dá condições de enxergar tudo que está em produção, até mesmo em que etapa desse processo está, se há ocorrências e se está sendo finalizado conforme o prazo esperado;
- d) Transparência – Nessa etapa, a empresa precisa ter condições de interpretar os dados coletados pelo sensoriamento implementado com o suporte da engenharia, pois diferente da fase de visibilidade, aqui há quantidade considerável de dados que não são possíveis de serem analisados com métodos convencionais. É nessa fase que entra o conceito conhecido como Big Data Analytics.
- e) Capacidade Preditiva – A organização que tem bem delineada a captação de dados, tem condições de prever ocorrências futuras. Essa capacidade é primordial para se evitar paradas de projeto ou de produção. Tendo esses dados/informações nas mãos, dá possibilidade de tomadas de decisões prévias para mitigar os impactos que possam ser negativos.
- f) Adaptabilidade – Uma ótima maneira de se identificar qual nível da maturidade 4.0 de uma empresa é a sua capacidade de adaptação. Se as mudanças acontecem com velocidade, ágil, e sem precisar da interferência do homem, é um claro termômetro que a última etapa de maturidade dentro dos conceitos da Indústria 4.0 foi atingido.

Figura 2 – Nível da maturidade em Indústria 4.0



Fonte: Schuh et al. (2017).

2.4 Manufatura Enxuta

A Manufatura Enxuta é um pré-requisito para a implantação de ferramentas dos conceitos da Indústria 4.0 ou, em outro ponto de vista, as ferramentas dessa última são consideradas como responsáveis por alavancar os conceitos do *Lean*. Conforme visto na Figura 2, a digitalização, é considerada uma das primeiras etapas para a implementação da Indústria 4.0. Conforme Metternich *et. al.* (2017), a digitalização, etapa importante nessa condução, pode ser separada em: processos internos, que traz benefícios diretos para a organização e digitalização de produtos que são ofertados ao cliente. Se temos o produto/serviço conectado, temos uma ligação direta com o consumidor no pós-venda, criando um relacionamento contínuo entre o fabricante e o consumidor. Surgindo dessa forma, novos formatos de negócios totalmente digitais, conectando serviços ao produto vendido diretamente ao consumidor.













Com esse novo ponto de vista, outra perspectiva importante está atrelada a essa rede de conexão que se molda. A relação é vertical na conexão dos dados que surgem através de sensoriamento da produção com a nuvem e é uma relação horizontal que se formata na conexão do produto fabricado com o consumidor final, de forma que dessa maneira a produção é totalmente direcionada para o consumidor. Cientes que cada organização tem seu caminho próprio a ser percorrido rumo à industrialização, pois apesar de se existir diversos conceitos que auxiliam e orientam o caminho, não é um conjunto de ferramentas pronto para ser implementada que irá trazer ganhos de produtividade instantaneamente.

De certa forma, tanto o *Lean Manufacturing* como a Indústria 4.0 buscam atingir os mesmos objetivos, ou seja, uma produção mais eficiente, com melhor qualidade, com mais segurança, produtividade e sem desperdícios. A Indústria 4.0 ainda vai mais além, com a busca por um produto/serviço mais individualizado ao cliente, criando uma relação entre fabricante e consumidor final. O *Lean* se utiliza de processos padronizados para eliminar desperdícios e analisar desvios, já a Indústria 4.0 é capaz de otimizar processos com uma autoanálise de dados.

Uma ferramenta importante do *Lean Manufacturing*, como um dos pilares dessa metodologia, o *Jidoka* ou “autonomação”, que dá autonomia ao colaborador de parar a produção é substituído na Indústria 4.0 por algoritmos que possibilitam analisar e definir caminhos alternativos do processo produtivo objetivando reduzir os impactos causados por possíveis paradas do processo produtivo.

Dessa forma, é possível identificar que a Indústria 4.0 tem condições de eliminar obstáculos e levar uma organização a um nível de performance industrial que a cultura do *Lean Manufacturing* não conseguiria. Na Figura 3, conseguimos identificar, conforme Metternich *et. al.* (2017), os pontos convergentes e divergentes entre o *Lean* e a Indústria 4.0. As linhas iniciais mostram os pontos contraditórios e as seguintes os pontos convergentes entre os conceitos.

Figura 3 - Similaridades do Lean com a Indústria 4.0

	Lean		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 adaptabilidade
 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: Metternich et. al. (2017)

Os objetivos mais importantes do *Lean Manufacturing* é eliminar desperdícios, ser *Poka Yoke* (expressão em japonês para a prova de erros) e aumentar a produtividade. Por essa razão, os conceitos da Indústria 4.0 se somam às ferramentas do *Lean* acrescentando a digitalização sem renunciar aos objetivos iniciais. Muito pelo contrário, agregando ainda mais valor a esses objetivos e auxiliando para que eles sejam alcançados. Para avaliarmos o nível da maturidade em *Lean* nos passos que antecedem ao que podemos chamar de *Lean 4.0*, são essenciais 5 etapas conforme mostrado na Figura 4.

Figura 4 - Passos para o Lean 4.0



Fonte: Metternich et. al. (2017)

- Primeiras tentativas do *Lean*: A maioria das empresas começa a implementação do *Lean* olhando para essa cultura como se fosse um conjunto de ferramentas e as utilizam como uma forma de resolver problemas em projetos individuais, em vez de uma implementação coordenada com toda a organização, dessa forma os resultados são pequenos e não se sustentam ao longo do tempo;
- Perspectiva da cadeia de valor: a maneira como gerimos as atividades de um processo produtivo afetam de forma direta o custo de produção e consequentemente o lucro dos acionistas. Objetivando melhorar o fluxo produtivo, reduzindo desperdícios, estoques intermediários e o *lead time*, se utiliza o VSM (*Value Stream Map*) para ajudar a desenvolver um processo com melhor valor agregado, reduzindo não só o tempo de processo como também melhorando a qualidade do produto;

- c) Perspectiva do colaborador: O princípio da melhoria contínua só traz resultados, quando ela é uma cultura da organização, para isso, os funcionários necessitam treinamento para se tornarem capacitados para reconhecer os desvios, para isso, é importante o apoio e a gestão de toda a liderança, pois como já comentado anteriormente, é fundamental dentro dos conceitos do *Lean Manufacturing* a implementação deles de forma vertical, da mais alta liderança até o operacional da produção;
- d) *Lean Digital*: A partir do momento que temos maturidade em *Lean Manufacturing*, possibilita implementar digitalização dos processos. Para essa etapa, o autor do artigo sugere alguns questionamentos que a organização deve fazer, como: Quais máquinas/equipamentos são primordiais para garantir um produto com qualidade? Que processos precisam ser melhorados? Quais processos têm flexibilidade para se ajustar conforme as necessidades dos consumidores?
- e) *Lean 4.0*: Nessa etapa, a empresa deixa ter uma gestão basicamente operacional e passa a ter um modelo com uma abordagem de gestão mais ampla, em toda a organização. Tem uma conexão de TI com as solicitações do consumidor e com o processo produtivo, com uma abordagem orquestrada de toda a organização. A partir de um pedido novo, o fabricante é informado e uma sequência de processos que estão conectados se iniciam e é gerenciado até que o produto seja entregue.

2.5 Relação Lean VS. Indústria 4.0

Conforme se avançou a tecnologia, muitas limitações que existiam começaram a ser superadas e um conjunto de novas ferramentas começaram a ser utilizadas. Esses limites têm relação com cada um dos pilares e base do STP, apresentado na Figura 1, sendo um deles, os processos padronizados e estabilizados. A padronização dos processos serve para auxiliar no conhecimento dos desvios e eliminar os erros. Entretanto, com produtos mais individualizados e uma mudança constante de *setup*, fica mais complicado criar processos que sejam padronizados e conseqüentemente estáveis. Como solução, a sugestão é a modular atividades com processos semelhantes, conforme Mayr *et. al.* (2018).

Um segundo limitante, é a gestão visual. Conforme Metternich *et. al.* (2017), a gestão visual do *status* dos processos e do seu desempenho, além dos procedimentos padrões e instruções de trabalho, dão aos colaboradores e aos gerentes a possibilidade de reconhecer os desvios de forma imediata e sem atividades complementares. Cada um dos desvios identificados, devem ser tratados como um processo de melhoria, dentro do conceito do PDCA (*Plan, Do, Check and Action*). Outro ponto importante que faz da Indústria 4.0 uma meta a ser atingida, é a capacidade de predição. Tendo os dados sendo gerados por sensoriamento em tempo real, possibilita identificar a necessidade de realizar manutenção nas máquinas e equipamentos, evitando paradas e com isso desperdícios de tempo com as manutenções corretivas. Ainda conforme o autor, a utilização dos ciclos do PDCA quando devidamente documentados e digitalizados, possibilita uma pesquisa na rede, de ocorrências similares e dessa forma, soluções mais bem sucedidas.

O terceiro aspecto verificado é o que se chama de produção nivelada. Uma demanda que flutua, pode levar como consequência, a uma produção também flutuante. Dessa forma, isso pode fazer com que se busque ganhos com a produção para se atender a demanda. Entretanto, se esta demanda está em baixa, o volume de produção também é reduzido, fazendo com que a capacidade produtiva não seja utilizada. Com o nivelamento produtivo, a

produção estará sempre limitada à capacidade máxima disponível, evitando que alguma estação vire gargalo. Aceitando novos pedidos conforme a máxima capacidade possível, garantindo também que eles sejam entregues no prazo.

Uma quarta limitação tem relação com o *takt-time*. Objetivando evitar tempos improdutivos no processo, toda a cadeia, desde que o pedido é colocado até que a entrega seja realizada, deve estar interconectada. Entretanto, caso a demanda flutue e os produtos a serem produzidos de um mesmo consumidor possuam diferentes materiais usados no processo, fica difícil determinar o tempo que será necessário para a produção. Dessa forma, a partir do contato inicial com o consumidor e a definição do pedido, a cadeia produtiva deve ser programada previamente para se identificar os possíveis gargalos e fazer os ajustes necessários na cadeia, antes mesmo que a produção se inicie.

Outro ponto importante e considerado limitante, é o pilar da “autonomação”, ou *Jidoka*. Em um processo em que são produzidos uma grande variedade de produtos, fica mais difícil evitar que algum erro passe. Além disso, com os processos digitalizados, fica também complicado identificar onde ocorreu o erro. Dessa forma, é importante se utilizar os dados como um aprendizado da própria máquina, que assim podem identificar cada vez mais rápido os erros evitando que se transformem em um defeito.

Por último, como aspecto central do STP, encontramos a melhoria contínua, ou *Kaizen*. Para que aconteça e de forma eficiente, os processos precisam estar muito bem definidos, de maneira que qualquer desvio, por menor que seja, consiga ser identificado. Entretanto, não é eficiente quando o processo de melhoria fique sem ser documentado e disponibilizado para toda a organização, de forma que todos possam acessar esse documento. Isso garante que processos otimizados passem por ciclos PDCA desnecessários e processos similares, possam implementar as melhorias documentadas.

2.6 Indicador de Disponibilidade

De acordo com Martins (2012), o indicador da disponibilidade é definido como a probabilidade de um determinado equipamento estar disponível para operar quando necessário. Dessa forma o tempo indisponível retrata o tempo total que a manutenção impediu que houvesse produção em determinado período. Para calcular a Disponibilidade, divide-se *Mean Time Between Failures* (MTBF), que é o tempo médio entre as falhas no período de um mês, pela soma do tempo MTBF com o *Mean Time To Repair* (MTTR), que se trata do tempo médio de reparo no período de um mês, revelando o total de tempo que o equipamento esteve indisponível devido à uma ação da manutenção. Ou seja, do total trabalhado, o quanto que a manutenção afetou a disponibilidade do equipamento e por consequência a produção, calculado conforme Martins (2012) pelas equações 1, 2 e 3 a seguir.

$$DISP = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (1) \text{ onde,}$$

$$MTBF = \frac{\text{Tempo total disponível} - \text{Tempo total de falhas}}{\text{Número de falhas}} \quad (2) \text{ e}$$

$$MTTR = \frac{\text{Tempo total de reparo}}{\text{Número de reparos}} \quad (3)$$

MTBF = Tempo Médio entre Falhas (*Mean Time Between Failures*)

MTTR = Tempo Médio de Reparos (*Mean Time To Repair*)

3 METODOLOGIA

Esse trabalho, trata-se de uma pesquisa descritiva explicativa com uma abordagem quantitativa e qualitativa, baseada num estudo de caso. Os dados utilizados no trabalho para a análise quantitativa, estão relacionados aos indicadores de produtividade antes das implementações que tem sido feitas no processo e comparado aos resultados obtidos pós implementações. E no sentido qualitativo, a relação existente entre os conceitos do *Lean Manufacturing* e a Indústria 4.0.

3.1 Caracterização da Empresa

A indústria automotiva é praticamente o berço dos conceitos do *Lean Manufacturing*, então nada melhor do que avaliar a evolução dos conceitos da Indústria 4.0 e a relação dessas ferramentas nesse segmento. A empresa objeto de estudo é uma montadora multinacional, com décadas de história pelo mundo. Faz parte de um grupo conglomerado da indústria automotiva e é uma das maiores montadoras do mundo, com mais de 100 parques fabris, presente em diversos países. No Brasil, é uma empresa que vem recebendo constantes investimentos para inovações e transformações, sempre buscando aperfeiçoamento dos processos produtivos com o objetivo de se manter sempre à frente da concorrência. Principalmente, desde o ano de 1990, com a abertura comercial do governo Collor e consolidação da política do INOVAR AUTO com a chegada de veículos de diversas montadoras no país, fez com que a empresa se mantivesse atualizada no que se refere aos processos produtivos e, conseqüentemente, às tecnologias disponíveis no mercado. No início dos anos 2000, a empresa deu passos importantes em direção à sustentabilidade e, além disso, implantou um sistema eficiente de Gestão Ambiental, conquistando a certificação ISO 14001 em todas as suas unidades no país. É uma empresa que vem buscando sempre as melhores práticas do mercado, seja com relação à conceitos de produção como com relação às tecnologias mais modernas existentes para esse tipo de indústria. Em 2011, a empresa começou uma nova etapa no Brasil, com a inserção de conceitos de maior conectividade entre processos, produtos e até o próprio cliente, passando a ser a mais inovadora do grupo.

3.2 Cenário Prévio

O objeto de estudo, trata-se de uma célula da área de Estamparia, que realiza os processos de corte e conformação de chapas metálicas, utilizadas na carroceria dos veículos. Boa parte desses processos foi terceirizado pela empresa, mas as peças consideradas mais críticas ou que detenham características de projeto vistas como confidenciais, são produzidas internamente. É uma área que vem recebendo inovações e transformações ao longo dos anos com constantes implementações, principalmente de ferramentas baseadas na metodologia do *Lean Manufacturing*. Por se tratar de uma área que necessita de um alto investimento em bens de produção, os equipamentos do parque fabril, em sua maioria, datam anteriores aos anos de 1970. No início dos anos 2000, a área se encontrava com um problema sério nos indicadores relacionados à disponibilidade dos equipamentos por conta da necessidade constante de manutenção corretiva. A disponibilidade, com a visão da manutenção, considerando MTBF (*Mean Time Between Failures*) e MTTR (*Mean Time To Repair*), de algumas máquinas chegavam a 50%, verificou-se que vários problemas que causavam paradas de manutenção, eram falhas relativamente simples que ficavam à espera de algum técnico para solucioná-las, podendo causar longas paradas desnecessariamente. Dessa forma, foi implementado o TPM (*Total Productive Maintenance*), iniciando-se com um *check list* diário a ser realizado pelos operadores antes de iniciarem o turno de trabalho e, além disso, um treinamento de manutenção básica foi dado a esses operadores, para que pudessem solucionar pequenos problemas por conta própria e ainda, pintaram as máquinas de branco, para ajudar na identificação de pequenos vazamentos de óleo, ações que segundo os gestores, já causaram um impacto na disponibilidade de máquinas (dados da época da implantação não estão mais disponíveis). Desde então, outras ferramentas foram implementadas, sempre com a visão de se reduzir desperdícios e, conseqüentemente, melhorar a produtividade. A célula piloto em específico, possui uma certa estabilidade com relação à disponibilidade, em média 79%, conforme dados de 2020, apresentados na Tabela 1, reflexo das implementações feitas durante os últimos anos dentro dos conceitos do *lean*, porém se deseja melhorar ainda mais a disponibilidade, com uma nova meta determinada pela área de 85%.

Duas métricas foram consideradas, uma a disponibilidade, com a visão da manutenção, que considera o MTTR e o MTBF e outro indicador foi a produtividade, calculada especificamente para essa célula, que considera o volume produzido, a quantidade de horas de operadores necessárias e a as horas líquidas disponíveis, chamada de UT (*Usefull Time*) ou também chamado de tempo líquido disponível, ou seja, quanto menor a quantidade de paradas para manutenção e o tempo por parada, maior a disponibilidade e conseqüentemente maior o tempo líquido disponível (UT). O *Usefull Time* considera outras paradas como será visto a seguir na Figura 7, porém, para nosso estudo consideraremos como relevante apenas a parada por manutenção.

Para o cálculo da disponibilidade da célula, são considerados os dados reportados conforme no Relatório de Paradas preenchido manualmente pelos operadores num Diário de Bordo. Partindo desses dados, a seguir, na Tabela 1, vemos os cálculos referente ao MTTR e MTBF da célula piloto para o Ano 2020, período prévio à implementação de algumas tecnologias baseadas na Indústria 4.0, mas mostrando certa estabilidade do processo pós implementações do *lean*.

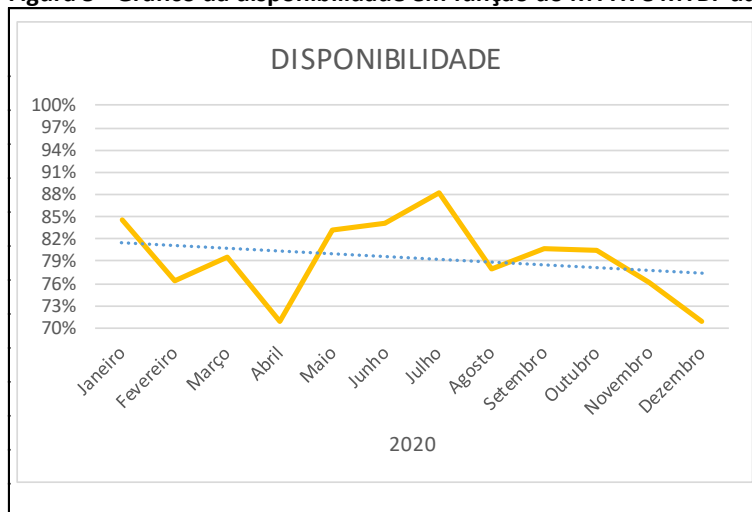
Tabela 1 – Disponibilidade em função do MTTR e MTBF da célula piloto

Ano	Mês	Tempo de parada (horas)	Total de parada (horas)	MTTR	MTBF	Nº de Falhas	Dias úteis	Turnos	DISP
2020	Janeiro	3,7	81,4	3,7	20,3	22	22	3	85%
	Fevereiro	9,0	108,0	9,0	29,0	12	19		76%
	Março	6,0	108,0	6,0	23,3	18	22		80%
	Abril	15,5	139,5	15,5	37,8	9	20		71%
	Maiο	4,5	81,0	4,5	22,2	18	20		83%
	Junho	3,5	84,0	3,5	18,5	24	22		84%
	Julho	2,3	64,4	2,3	17,4	28	23		88%
	Agosto	8,5	110,5	8,5	30,3	13	21		78%
	Setembro	4,4	96,8	4,4	18,5	22	21		81%
	Outubro	3,4	98,6	3,4	14,0	29	21		80%
	Novembro	9,5	114,0	9,5	30,5	12	20		76%
	Dezembro	6,4	153,6	6,4	15,6	24	22		71%

Fonte: Elaborado pelo autor

Partindo desses dados, na Figura 5, vemos graficamente a evolução da disponibilidade durante o ano de 2020, apresentando certa estabilidade, conforme já comentado, com uma média de aproximadamente 79% e com uma leve tendência de queda. O objetivo desse trabalho de implementação de tecnologias da indústria 4.0 é fazer com que essa média suba para 85%.

Figura 5 - Gráfico da disponibilidade em função do MTTR e MTBF da célula piloto

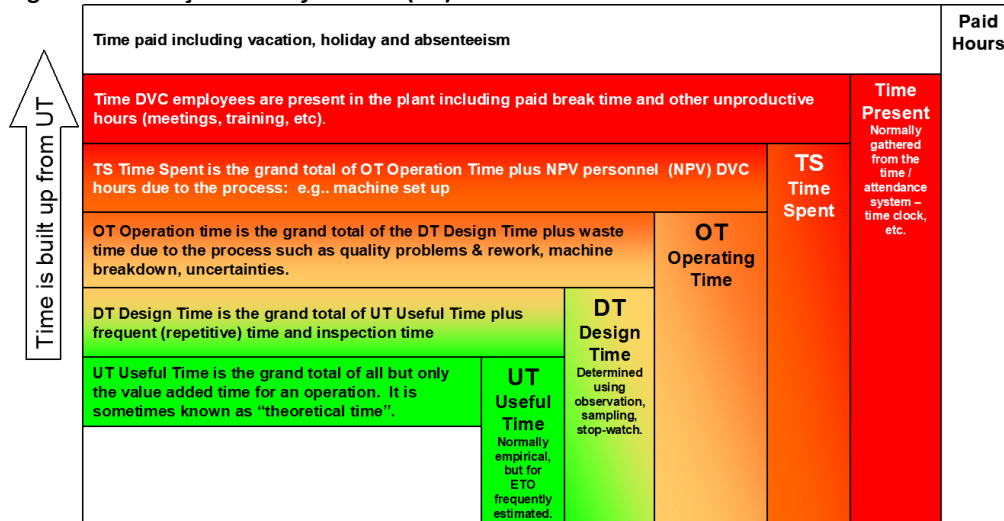


Fonte: Elaborado pelo autor

O segundo indicador de referência para se verificar a eficácia da implementação das tecnologias da Indústria 4.0 e que mostra o quanto está sendo eficiente o processo, é a produtividade. Para o cálculo da mesma, e tomado o tempo líquido disponível ou *Usefull Time* (UT) que conforme a Figura 6, trata-se do tempo efetivamente disponível para a produção, descontado tempo de paradas programadas, como refeições, *set ups*, manutenções preventivas etc., e também os tempos não programados, como paradas por conta de qualidade, retrabalhos, inspeção e paradas de máquina para manutenção não programadas. Além disso, considera-se o volume efetivamente produzido dentro desse tempo útil e a quantidade de horas-homem (Hh) na operação. Ou seja, quanto mais se produz, com menos recursos possíveis e dentro do melhor tempo útil, maior será a produtividade da célula. Como se trata de uma célula automatizada, o tempo de operação já é considerado fixo e possui

apenas 1 operador responsável por acompanhar o funcionamento da mesma e tomar ações quando necessário, mas que pode ser otimizado com outras funções se reduzida a demanda dele no acompanhamento da célula, entretanto, o que irá efetivamente impactar na produtividade é justamente o tempo útil disponível.

Figura 6 - Definição do *Usefull Time (UT)*



Fonte: Elaborado pelo autor

Sabendo-se disso, o cálculo da produtividade total, que será apresentado nas Tabela 3 e 9, é realizado mensalmente, tomando como base de dados, o ganho tanto na demanda de horas do operador (Produtividade Horas), ou seja, o número de horas que foi possível economizar para produzir a quantidade de peças programada em face ao esperado (*Forecast* Produtividade Horas) que está diretamente ligado à disponibilidade de tempo útil, previamente definido, e essa redução se dá quando o operador utiliza essas horas para outra atividade produtiva que não esteja relacionada com a célula objeto de estudo e também do ganho do volume de produção, ou seja, o volume produzido a mais ou a menos comparado ao *forecast* pré-definido, portanto, isso se dá na relação entre a quantidade real de unidades fabricadas pela quantidade total de unidades programadas (*Forecast* Unidades Fabricadas). Esse cálculo é feito conforme Labor Productivity Management (2013) pela fórmula 4 a seguir:

$$\text{Produt. Total (\%)} = \left[\frac{\text{Produtividade Horas}}{\text{Produtividade Horas} \times \text{Real Horas Trabalhadas}} \times \frac{\text{Real Unidades Fabricadas}}{\text{Forecast Unidades Fabricadas}} \right] \times 100 \quad (4)$$

Onde,

Produtividade Horas: Quantidade de horas economizadas pelo operador para produzir o volume de peças programado;

Real Horas Trabalhadas: Quantidade de horas líquidas, ou seja, efetivamente utilizadas para produzir o volume de peças programado (descontada as paradas);

Real Unidades Fabricadas: Quantidade de peças produzidas com qualidade;

Forecast Unidades Fabricadas: Volume de peças programado.

Para que seja gerada essa evolução de produtividade por mês e o acumulado do ano, são considerados alguns conceitos, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Glossário dos conceitos usados na produtividade

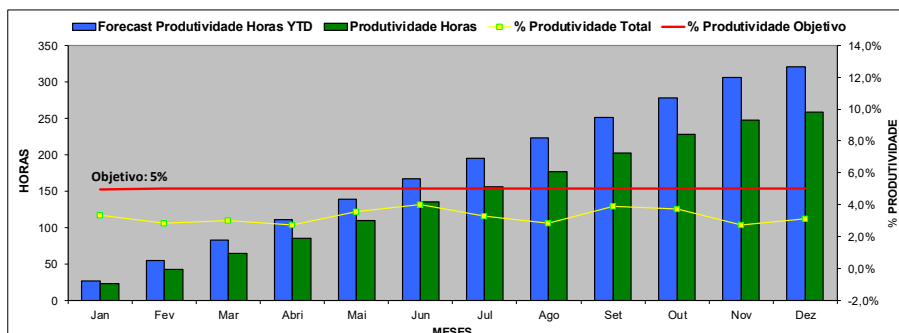
Forecast horas líquidas trabalhadas	Horas líquidas previstas para trabalhar durante o ano considerando os dias úteis de cada mês
Forecast horas líquidas trabalhadas YTD	Acumulado de horas líquidas previstas para trabalhar durante o ano.
Real horas trabalhadas	Horas realmente trabalhadas no mês
Real horas trabalhadas YTD	Acumulado de horas reais trabalhadas durante o ano
Forecast Produtividade Horas	Quantidade de ganho de horas esperadas por mês
Forecast Produtividade Horas YTD	Acumulado de quantidade de ganho de horas esperadas por mês
Produtividade Horas	Produtividade reais de horas ganhos no mês
Produtividade Horas YTD	Acumulado de produtividade reais de horas ganhos no mês
Forecast Unidades Fabricadas	Unidades previstas fabricas no mês
Forecast Unidades Fabricadas YTD	Acumulado de unidades previstas fabricas durante o ano
Real Unidades Fabricadas	Real quantidade de unidades fabricadas no mês
Real Unidades fabricadas YTD	Acumulado quantidade real de unidades fabricadas durante o ano
% Produtividade Total	Produtividade real em função das horas de produção e do volume produzido por mês
% Produtividade Total YTD	Acumulado da produtividade real em função das horas de produção e do volume produzido no ano

Fonte: Elaborado pelo autor

Essa conceituação de tempo, como no caso do *Usefull Time* (UT) já citado anteriormente e da produtividade segue um procedimento corporativo denominado *Labor Productivity Management* (2013-V3) que descreve como deve ser realizado esses cálculos de produtividade e tomando a Fórmula 4, descrita anteriormente, bem como os conceitos descritos no glossário da Tabela 2, realiza-se um cálculo mês a mês das horas efetivamente trabalhadas, bem como o registro de peças efetivamente produzidas em face dos valores programados para ambos (*forecast*) e colocado numa tabela conforme demonstrado na Tabela 3, para o cálculo da produtividade, além de uma demonstração gráfica dos resultados.

Tabela 3 - Cálculo da Produtividade

		Ano 2020											
Célula: Piloto (C201)		Jan	Fev	Mar	Abri	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2020		Jan	Fev	Mar	Abri	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Forecast horas líquidas trabalhadas		504	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528	264
Forecast horas líquidas trabalhadas YTD		504	1.032	1.560	2.088	2.616	3.144	3.672	4.200	4.728	5.256	5.784	6.048
Real horas trabalhadas		504	480	528	504	528	504	528	528	504	528	504	264
Real horas trabalhadas YTD		504	984	1.512	2.016	2.544	3.048	3.576	4.104	4.608	5.136	5.640	5.904
Forecast Produtividade Horas		27	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	14
Forecast Produtividade Horas YTD		27	55	83	111	139	167	195	223	251	279	307	321
Produtividade Horas		22	20	22	21	24	26	21	20	26	26	19	12
Produtividade Horas YTD		22	42	64	85	109	135	156	176	202	228	247	259
Forecast Unidades Fabricadas		360	330	360	345	360	345	360	360	345	360	345	180
Forecast Unidades Fabricadas YTD		360	690	1.050	1.395	1.755	2.100	2.460	2.820	3.165	3.525	3.870	4.050
Real Unidades Fabricadas		288	234	270	236	295	282	309	278	275	286	260	128
Real Unidades fabricadas YTD		288	522	792	1.028	1.323	1.605	1.914	2.192	2.467	2.753	3.013	3.141
% Produtividade Total		3,3%	2,8%	3,0%	2,7%	3,6%	4,0%	3,3%	2,8%	3,9%	3,7%	2,7%	3,1%
% Prdutividade Total YTD		3,3%	2,9%	3,0%	2,8%	3,4%	3,5%	3,6%	3,2%	3,3%	3,4%	3,2%	3,0%
% Produtividade Objetivo		5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%



Fonte: Elaborado pelo autor

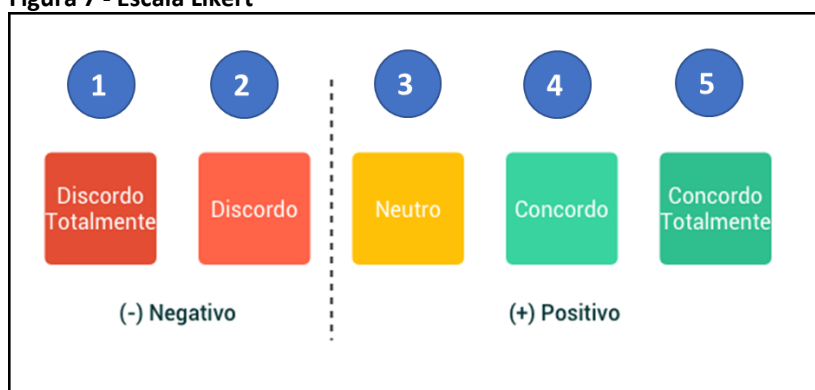
Apesar de todas as implementações realizadas e com um histórico da gestão que teve melhoras significativas após todas as ações tomadas anteriormente, ainda há uma ineficiência que impede atingir os volumes esperados de produção e conseqüentemente não é possível ter ganho de produtividade na célula em questão, com um objetivo de 5% (linha vermelha no gráfico da Tabela 3), previamente definido estrategicamente pela gestão do departamento para atender a necessidade de demanda de produção, com todas as implementações feitas, no cenário prévio, conseguiram atingir uma produtividade anual acumulada de 3% (% Produtividade Total YTD na Tabela 3), em Dezembro de 2020, portanto, abaixo do objetivo. Quando olhamos graficamente os resultados obtidos nos cálculos da disponibilidade, conforme Figura 5, e comparamos com o gráfico da produtividade, linha amarela do gráfico da Tabela 3, há certa semelhança nos comportamentos, dando sinais claros que o primeiro está possivelmente refletindo nos resultados do segundo, mesmo sabendo que temos outras variáveis consideradas, como por exemplo qualidade. Portanto, olhando para esses números, quando for melhorada a disponibilidade das máquinas, é esperada uma melhora na mesma proporção na produtividade.

3.3 Maturidade no Lean e na Indústria 4.0

Como uma forma de entender o nível de maturidade dentro dos conceitos do *lean manufacturing*, bem como nos conceitos do *lean 4.0*, que trata dessa conexão entre o *lean* e a Indústria 4.0, foi também aplicada uma pesquisa em todas as pessoas envolvidas nesse processo de melhoria contínua da área estudada, com o objetivo de entender esse nível para com isso melhor compreender o cenário atual, avaliar as implementações realizadas, bem como interpretar os resultados obtidos.

O questionário utilizado para análise de maturidade *Lean* foi elaborado utilizando a escala Likert, Figura 7, 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 do *Lean Manufacturing* que nos ajuda a identificar o grau de maturidade da empresa estudada, mais especificamente da área onde a célula piloto está instalada.

Figura 7 - Escala Likert

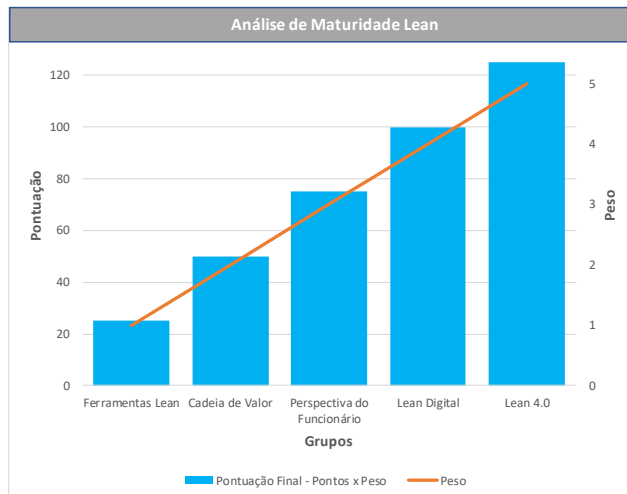


Fonte: Carvalho (2019)

A maturidade foi 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 relacionados a manufatura 4.0, maior será o grau de

maturidade. Quanto menor a pontuação nos níveis que estão próximos ao *Lean* (ferramentas), menor o grau de maturidade. O primeiro grupo se relaciona ao primeiro estágio de maturidade e o último grupo se relaciona ao estágio mais avançado. O primeiro grupo de perguntas terá, portanto, peso 1, seguido pelo segundo com peso 2 e assim sucessivamente até o grau mais avançado com peso 5.

Figura 8 - Análise de Maturidade Lean



Fonte: Elaborado pelo autor

A pesquisa é composta 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. A área, baseado nas respostas dos envolvidos, será categorizada da seguinte forma:

375-281 pontos - Área excelente. A liderança e todos os colaboradores entendem e aplicam mais de 80% das ferramentas *Lean*. Eles compreenderam que o *Lean* vai muito além de um caixa de ferramentas.

280-187 pontos – Área ótima. Boa parte das ferramentas *Lean* são aplicadas, embora possa ter alguns setores da área que ainda não aderiram a cultura *Lean*. Muitos colaboradores entendem da importância do avanço em direção à Indústria 4.0, mas há algumas barreiras para aplicação e evolução.

186-93 pontos – Área Intermediária. Aqui, boa parte das práticas de manufatura e relacionamentos seguem modelos antigos de gestão. Não há uma conexão sólida entre os setores e poucas práticas do *Lean* são aplicadas.

92-0 pontos – Área em risco. 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. Situações como essa são um risco caso queiram aderir as ferramentas da indústria 4.0. Estão fadados a automatizar processos ineficientes.

Essa escala será utilizada para pontuar a área com base dos níveis de maturidade em cada um dos grupos de perguntas. As perguntas serão respondidas numa escala de 1-5 e posteriormente aplicado os pesos a cada um dos resultados obtidos. Na Tabela 3 estão apresentados os grupos de perguntas, divididos em: Ferramentas do *Lean*, Cadeia de Valor, Perspectiva do Funcionário, *Lean* Digital e *Lean* 4.0, sendo esse último já uma referência à atuação da área dentro das tecnologias da indústria 4.0 orquestrada com as ferramentas do

Lean. Dentro de cada grupo, as perguntas aplicadas com o objetivo de entender o nível de maturidade do item e consequentemente do grupo.

Tabela 4 - 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
Perspectiva do funcionário	10. A cadeia de valor está mapeada identificando seus gargalos e pontos de melhoria. (VSM)	1	2	3	4	5
	11. Os funcionários são incentivados a proporem 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
Lean Digital	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
	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 trabalho 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
Lean 4.0	20. Falhas na qualidade do produto podem ser identificadas através dos dados, identificando sua causa raiz. (Rastreabilidade)	1	2	3	4	5
	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 da pesquisa, conseguiremos diagnosticar se as ferramentas estão sendo aplicadas e qual o grau de maturidade de cada uma dessas ferramentas. A maturidade será analisada à medida que a área obtém uma pontuação elevada nos grupos de perguntas que se aproximam do *lean 4.0*. Além disso, algumas perguntas da pesquisa estão relacionadas com a cultura *lean* de forma geral que nos auxiliarão a avaliar se a área está pronta para atingir novos patamares, ou se serão necessárias algumas modificações.

3.4 Coleta de Dados

A pesquisa foi encaminhada por e-mail diretamente para os colaboradores diretamente envolvidos ao processo de melhoria da área, tanto da gestão, colaboradores da qualidade, da manutenção, como da operação da célula. O *Microsoft Forms* foi utilizado para que todos pudessem responder o questionário de forma online.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Aplicado o questionário na organização, ao total, foram obtidas 18 respostas à pesquisa, conforme mostrado na Tabela 5, sendo formada por:

Tabela 5 - Número de respostas por área

Área	Respostas
Gerente da Produção	1
Gerente da Manutenção	1
Gerente da Qualidade	1
Líder de Produção	2
Líder de Qualidade	1
Líder de Manutenção	2
Operador de Produção	2
Inspetor de Qualidade	4
Técnico de Manutenção	4

Fonte: Elaborado pelo autor

A Tabela 6 mostra os resultados obtidos com as respostas de cada um dos colaboradores que participaram da pesquisa. Nota-se uma variação nos resultados que está um pouco relacionada com a percepção de cada um deles com relação às ferramentas do *Lean*, bem como a implementação de tecnologias da Indústria 4.0 na área. Essa variação pode ser fruto de uma falta de uniformização das informações dentro de cada setor e, portanto, da área como um todo. Principalmente a metodologia do *Lean Manufacturing* depende muito de pessoas e de como as ferramentas estão sendo difundidas entre elas. Colaboradores da produção podem estar bastante familiarizados com ferramentas da sua área, mas talvez pouco conheçam de ferramentas aplicadas à manutenção e à qualidade e assim vice e versa, portanto, uma certa ineficiência na integração entre os setores.

Tabela 6 - Resultados obtidos da Pesquisa

Pesquisados	Ferramentas Lean					Cadeia de Valor					Perspectiva do Funcionário					Lean Digital					Lean 4.0					Pontos	
	1	0	0	3	1	1	0	0	1	3	1	0	0	0	4	1	0	0	0	4	1	0	2	3	0		0
Colaboradores	2	0	1	0	4	0	0	0	0	5	0	0	0	5	0	0	3	0	2	0	2	2	0	1	0	224	
	3	0	0	0	4	1	0	0	0	2	3	0	0	0	3	2	0	0	0	4	1	0	0	3	2	0	302
	4	0	0	0	4	1	0	2	0	2	1	0	0	0	5	0	0	0	1	4	0	0	0	0	5	0	291
	5	0	0	1	1	3	0	0	0	1	4	2	3	0	0	0	1	0	2	1	1	1	1	2	1	0	223
	6	0	0	3	1	1	0	0	1	3	1	0	0	0	4	1	0	0	0	4	1	0	2	3	0	0	270
	7	0	0	1	1	3	0	0	0	3	2	0	2	0	3	0	3	1	0	1	0	2	2	0	1	0	201
	8	0	1	2	1	1	0	0	1	3	1	0	0	0	4	1	0	0	0	4	1	0	2	3	0	0	269
	9	0	0	2	1	2	0	0	0	2	3	0	0	0	0	5	0	0	1	2	2	0	0	0	3	2	335
	10	0	0	1	2	2	0	0	0	2	3	0	0	0	0	5	0	0	1	2	2	0	0	0	3	2	336
	11	0	0	0	0	5	0	0	0	0	5	0	0	0	3	2	0	0	0	3	2	0	0	0	2	3	344
	12	0	0	0	0	5	0	0	0	0	5	0	0	0	0	5	0	0	0	5	0	0	0	3	1	1	340
	13	0	0	0	3	2	0	0	0	2	3	0	0	0	0	5	0	0	1	2	2	0	0	0	3	2	337
	14	0	1	0	1	3	0	0	0	3	2	1	0	0	4	0	2	1	0	2	0	5	0	0	0	0	189
	15	0	0	1	3	1	0	0	0	2	3	0	0	0	3	2	0	0	0	4	1	0	0	3	2	0	301
	16	0	0	0	2	3	0	0	0	3	2	0	2	0	3	0	3	1	0	1	0	2	2	0	1	0	201
	17	0	0	0	4	1	0	2	0	2	1	0	0	0	5	0	0	0	1	4	0	0	0	0	5	0	291
	18	1	1	0	0	3	0	0	0	3	2	0	2	0	3	0	3	1	0	1	0	2	2	0	1	0	199

Fonte: Elaborado pelo autor

Primeiramente, foi feita a análise da confiabilidade das escalas como parte do processo de validação do instrumento da pesquisa, através do software *IBM SPSS Statistics* que, conforme Landis e Koch (1977), aplica na análise, a fórmula 5 a seguir.

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \times \left[1 - \frac{\sum Si^2}{S^2_{\text{soma}}} \right] \quad (5) \text{ onde,}$$

k é o número de itens

Si^2 é a variância dos escores dos respondentes (para i variando de 1 a k)

S^2_{soma} é a variância dos escores dos totais de cada respondente

Este teste demonstrou o índice do Alfa de Cronbach confiável com um resultado de 0,961 conforme Tabela 7, calculado com o software *IBM SPSS Statistics* que utiliza a Fórmula 5 do alfa para os dados da Tabela 6, referente às respostas da pesquisa aplicada.

Tabela 7 - Alfa de Cronbach

Estatística de Confiabilidade	
Alfa de Cronbach	N de itens
0,961	25

Fonte: IBM SPSS Statistics

De acordo com Landis e Koch (1977), o Alfa de Cronbach deve ter um valor mínimo de 0,60, para medição do grupo de perguntas pesquisadas neste estudo, o que significa que todas as variáveis analisadas contribuíram para a mensuração dessa pesquisa e que ainda conforme os autores, esse resultado, como o perfeccionismo envolve padrões pessoais (expectativas de desempenho), de acordo com a Tabela 8, se refere a uma pesquisa quase perfeita. O teste de confiabilidade das escalas também se mostrou satisfatório no que se refere aos construtos mensurados, com 25 variáveis conforme pode ser visualizado na Tabela 6.

Tabela 8 - Consistência interna do questionário de acordo com o alfa de Cronbach

Valor de alfa	Consistência interna
Maior do que 0,80	Quase perfeito
De 0,80 a 0,61	Substancial
De 0,60 a 0,41	Moderado
De 0,40 a 0,21	Razoável
Menor do que 0,21	Pequeno

Fonte: Landis e Koch (1977)

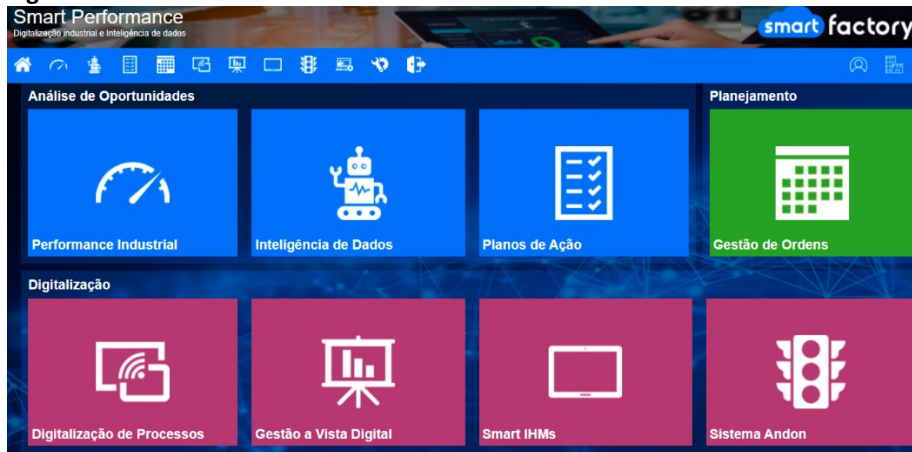
Já com relação à avaliação da média dos resultados obtidos, temos 274 pontos, o que significa que boa parte das ferramentas do *lean* estão implementadas, mas alguns colaboradores podem não estar devidamente familiarizados com essas ferramentas, o que denota uma falha nessa uniformização das informações como comentado anteriormente e isso pode comprometer o bom funcionamento dessas ferramentas dentro da área, bem como criar barreiras na aplicação de tecnologias da indústria 4.0.

4.1 Aplicação de Tecnologias I4.0

No início do ano de 2021, uma equipe responsável por melhoria contínua da área da empresa, objeto de estudo, decidiu tomar essa célula como piloto, considerada gargalo de produção, uma vez que há uma necessidade de relativa constância em fazer horas extras para complementar a produção que não pode ser atingida dentro do tempo programado de trabalho, devido a ineficiência da célula por conta da indisponibilidade conhecida e esse trabalho complementar é necessário para compor um *buffer* de peças (reservas) para evitar a parada de produção da linha onde a célula está inserida. De acordo com Wagner, Herrmann e Thiede (2017) ainda é imatura a ideia de como deve ser integrado os conceitos da Indústria 4.0 em sistemas que já tenham implementado Manufatura Enxuta. Embora a Indústria 4.0 seja um dos tópicos mais frequentemente discutidos entre profissionais e acadêmicos nos últimos anos. De acordo com Brettel, Friederichsen e Rosenberg (2014) e Hermann, Pentek e Otto (2016) nenhuma definição clara do conceito com relação à sua implementação foi estabelecida. Contudo, em desenvolvimento com uma empresa especializada em digitalização de processos, chegaram no consenso de implementar um sistema de Gestão Industrial Digital, com o objetivo de coletar dados da célula uma vez que a mesma já é automatizada, facilitando a integração com os componentes já existentes, de forma que esses dados coletados fornecessem informações em tempo real, facilitando assim, a gestão de produção e a tomada de decisão na célula no momento em que os problemas ocorressem, com o objetivo de aumentar a disponibilidade e com isso permitir maior eficiência do processo e minimizar perdas.

A coleta de dados é integrada a um software da empresa escolhida para essa busca na melhoria do processo. O software em questão, chamado *Smart Performance*, apresentado na Figura 9, tem a característica de fazer gestão da produção da célula, onde uma ordem de produção quando aberta é enviada ao software que por sua vez transmite esses dados para o processo executar, informando a peça a ser fabricada, com o tempo de processo previamente definido, bem como o volume a ser produzido. Durante a operação, caso tenha uma ocorrência, por exemplo, de manutenção, essa informação aparece imediatamente na tela do operador, que em caso de uma ocorrência simples, ele mesmo resolve, baseado nos conceitos de TPM já anteriormente implementado, caso contrário, na própria tela ele tem a opção de acionar a manutenção e com isso o software envia uma mensagem automática (por e-mail e SMS) ao gestor da manutenção e a colaboradores indicados por ele, já mostrando que tipo de falha está ocorrendo, assim, ele pode disponibilizar de forma ágil e mais preparado, uma vez que informações prévias foram fornecidas na mensagem, o técnico para solucionar o problema e restabelecer a operação no menor tempo possível. Otimizando dessa forma o tempo entre a ocorrência e a ação efetiva do técnico. Situação que não era efetiva antes, pois havia um tempo relativamente considerável aguardando a chegada de um técnico na célula e muitas vezes ele não estava devidamente preparado.

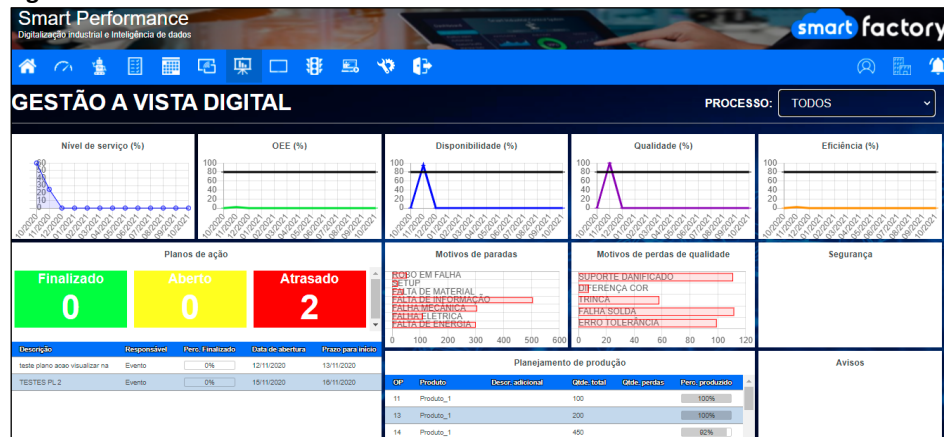
Figura 9 - Software Smart Performance



Fonte: Elaborado pelo autor

Além do acesso direto na célula, como os dados coletados são disponibilizados numa nuvem, ele pode ser acessado e monitorado de forma remota via *smartphone* ou *tablet*, no caso, por exemplo, do operador estar fora da célula realizando algum outro serviço ou ainda o gestor da produção, poderá acessar a célula através do computador e saber como está o andamento da produção. Criando assim, uma gestão à vista em tempo real, como pode ser visto na Figura 10, possibilitando tomadas de decisões mais ágeis.

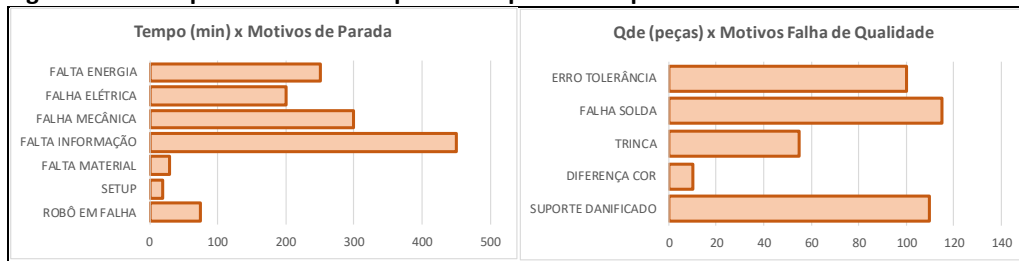
Figura 10 - Gestão à Vista no Smart Performance



Fonte: Elaborado pelo autor

As informações constantes na tela de gestão à vista do software que apresentam os motivos de paradas e motivos de perdas de qualidade Figura 10, destacado na Figura 11, alimentam com informações em tempo real um relatório emitido pelo software que será usado para análise desses desperdícios, substituindo o relatório que anteriormente era usado (Diário de Bordo).

Figura 11 - Exemplo de motivos de paradas e perdas de qualidade

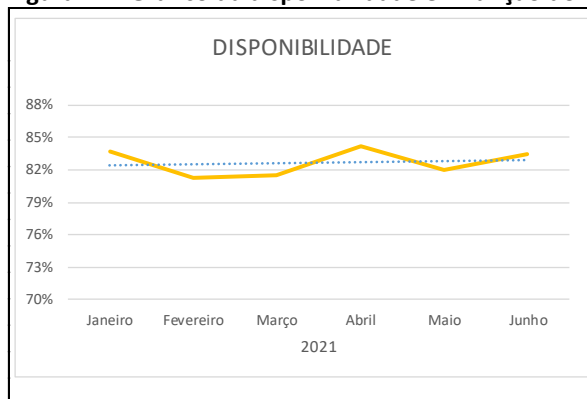


Fonte: Elaborado pelo autor

Dessa forma, com a implantação desse software, a disponibilização dos dados em nuvem e consequentemente a disponibilização de informações em tempo real, conforme comentado, uma gestão também em tempo real pode ser realizada, uma vez que em ocorrências de paradas não programadas como por problemas de qualidade, manutenção, falta de material, etc., se devidamente atendidas de forma ágil, irão garantir uma maior disponibilidade do equipamento e com isso a melhora na eficiência da operação e consequentemente uma maior produtividade. Além disso, é possível através do software fazer uma análise das maiores paradas e criado um plano de ação baseado no Pareto, que 20% das falhas representam 80% das paradas da célula (JURAN,1992). Esse plano pode, inclusive, ser delineado dentro do próprio software *Smart Performance*, dando uma maior visibilidade em cima das ações a serem realizadas, com os devidos prazos e responsáveis, fazendo uma gestão remota e com maior celeridade e consequente eficiência, refletindo na disponibilidade da célula.

Em paralelo à implementação do software, bem como da coleta de dados e integração com a célula piloto, foi realizado um treinamento com toda a equipe envolvida, desde pessoal de produção, como também manutenção e qualidade. Com objetivo de uniformizar o conhecimento operacional do sistema e um acompanhamento foi feito pela empresa responsável pela e implementação, durante um período de 3 meses, para garantir que estavam utilizando de forma adequada o software, bem como o uso dos dados disponíveis. Como forma de comparação, foram tomados os dados de MTTR e MTBF da mesma forma que foi feita antes da implementação, para que pudesse ser calculada a disponibilidade da célula com a visão da manutenção e verificar se o objetivo de atingir a média de 85% estava sendo alcançada ou ao menos numa tendência positiva de crescimento e esse resultado pode ser visto na Figura 12.

Figura 12 - Gráfico da disponibilidade em função do MTTR e MTBF da célula piloto



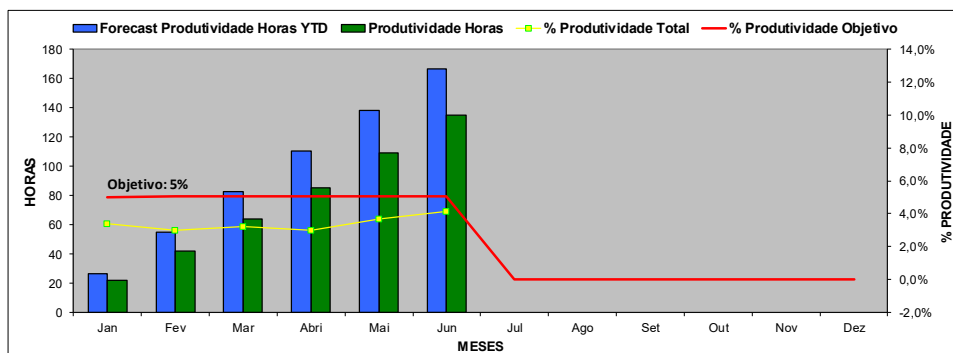
Fonte: Elaborado pelo autor

Os dados foram coletados diretamente através do software *Smart Performance* e é possível verificar que nesses primeiros 6 meses da implementação do *software*, com o devido acompanhamento da empresa responsável pelo sistema e treinamento de toda equipe, houve um pequeno aumento quando comparado à média anual do ano de 2020 que ficou em 79% conforme Figura 5, chegando a uma média de 83% de disponibilidade do equipamento com relação à manutenção, no primeiro semestre de 2021, e uma curva com leve tendência positiva. Esse resultado também pode ser reflexo da proximidade da empresa e o acompanhamento próximo do time de gestão para verificar o funcionamento do sistema implementado, que pode ter refletido, por exemplo, numa ação mais ágil por parte do time de manutenção. De qualquer forma, como visto na pesquisa, realmente há uma capacidade do time em se envolver nos processos de melhoria e trazer resultados positivos conjuntamente com a inovação implementada.

Para complementar a comparação com a situação prévia, também foram tomados os dados para o cálculo da produtividade, de acordo com a Fórmula 4, que é o que efetivamente mostrará o resultado positivo da implementação, apresentando se houve aumento do volume produzido (Real Unidades Fabricadas) face ao aumento de tempo de disponibilidade do equipamento mostrado no gráfico da Tabela 9 (dados dos 6 primeiros meses de 2021), e com uma possível redução do tempo do operador atuando na célula piloto (Produtividade Horas). Uma vez que a ideia de produtividade de acordo com Messa (2013) é o aumento da eficiência que uma determinada operação na utilização dos seus recursos, ou seja, o que popularmente se diz com a expressão 'produzir mais com menos'. Esses dados, bem como o gráfico da produtividade pode ser visto na tabela a seguir.

Tabela 9 - Cálculo da Produtividade

Célula: Piloto (C201)		Ano 2021											
2021	Jan	Fev	Mar	Abril	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Forecast horas líquidas trabalhadas	504	528	528	528	528	528							
Forecast horas líquidas trabalhadas YTD	504	1.032	1.560	2.088	2.616	3.144							
Real horas trabalhadas	500	468	525	475	525	501							
Real horas trabalhadas YTD	500	968	1.493	1.968	2.493	2.994							
Forecast Produtividade Horas	27	28	28	28	28	28							
Forecast Produtividade Horas YTD	27	55	83	111	139	167							
Produtividade Horas	22	20	22	21	24	26							
Produtividade Horas YTD	22	42	64	85	109	135							
Forecast Unidades Fabricadas	360	330	360	345	360	345							
Forecast Unidades Fabricadas YTD	360	690	1.050	1.395	1.755	2.100							
Real Unidades Fabricadas	290	240	290	242	305	290							
Real Unidades fabricadas YTD	290	530	820	1.062	1.367	1.657							
% Produtividade Total	3,4%	3,0%	3,2%	3,0%	3,7%	4,1%							
% Prdutividade Total YTD	3,4%	3,0%	3,3%	2,9%	3,5%	3,6%							
% Produtividade Objetivo	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	



Fonte: Elaborado pelo autor

De acordo com esses dados, pode ser visto que houve um aumento no volume mensal de produção (Real Unidades Fabricadas) quando comparado ao ano de 2020, Tabela 3, bem como uma pequena redução do tempo mensal do operador na célula (Real Horas Trabalhadas) quando comparado também a 2020, o que reflete positivamente na produtividade, elevando para 3,6% a produtividade acumulada (% Produtividade Total YTD), melhor que o ano anterior, porém ainda abaixo do objetivo de 5%, e praticamente proporcional ao aumento da disponibilidade vista anteriormente. Contudo, apesar dos fatos mostrarem resultados positivos à implementação de novas tecnologias, há a necessidade de um acompanhamento por um tempo ainda maior para que se possa verificar essa efetividade. Por outro lado, dados mais confiáveis estão disponíveis através do software, uma vez que eles eram anteriormente apontados de forma mais manual, agora estão automatizados e em cima disso, é possível fazer um histórico de paradas e com a devida interpretação, identificar aquelas que são mais recorrentes ou que refletem em tempos maiores de parada de forma que ações preventivas ou até mesmo corretivas possam ser tomadas, que seguramente irá refletir ainda mais na disponibilidade da célula e conseqüentemente na sua produtividade.

5 CONCLUSÃO

Com o desenvolvimento desse trabalho, foi possível verificar a importância de ferramentas do *lean manufacturing* na implementação de conceitos e tecnologias da Indústria 4.0. Podemos dizer que, nesse caso, a primeira foi uma base fundamental na implementação da segunda, principalmente quando se refere ao envolvimento das pessoas, característica bastante importante na metodologia do *lean*, reafirmando Agostinho Junior (2020) onde apresenta que o *lean* pode ser considerado um facilitador para as tecnologias da Indústria 4.0, pois otimiza o processo antes da etapa de digitalização, e a Indústria 4.0 soluciona as deficiências e limitações do *lean*. Conforme já amplamente conhecido e comprovado, o *lean* só é efetivo dentro de uma organização quando se torna cultural e as pessoas utilizam as ferramentas de maneira integrada e contínua na busca por melhorias. Conforme apresentado por Ferraz (2018), tempo de aplicação dos conceitos *lean* e tamanho da empresa, representado pelo seu número de funcionários, não são determinantes para o nível adotado dos princípios do *lean*, por consequência, do nível de maturidade *lean* na organização, mas sim, o quanto a metodologia é cultural na organização, medida basicamente pelo envolvimento das pessoas, apoiadas pela liderança, na aplicação das ferramentas do *lean manufacturing*. Ter uma célula com ferramentas do *lean* já implementadas, com certa maturidade, que ficou visível na pesquisa realizada, com pessoas devidamente treinadas, familiarizadas e envolvidas, trouxe resultados, otimizando o processo e melhorando disponibilidade com reflexo na produtividade, apesar de ainda insuficientes diante dos objetivos organizacionais, entretanto, a implementação de elementos da indústria 4.0 numa célula otimizada, garantiu que ela não ocorresse em um processo com excesso de desperdícios, o que poderia dificultar para se atingir os resultados esperados. Além disso, um processo com maturidade em *lean*, o prepara para a implementação de mudanças, uma vez que as pessoas aceitam com mais facilidade essas inovações. Os envolvidos foram fundamentais e verdadeiros facilitadores em todo esse processo, não só os gestores que tinham interesses em melhorar os indicadores, mas também pessoal de fábrica, desejando ver melhorias no processo e nas informações disponíveis.

Como limitação desse trabalho, a implementação ocorreu em apenas uma célula piloto, bem como o curto espaço de tempo em que ela está em atividade com a inovação, nos traz informações que ainda não refletem uma maturidade dessa integração e nem demonstram

efetividade a longo prazo. Para trabalhos futuros, sugere que o estudo seja realizado em células que tenham ferramentas do *lean* implementadas e tecnologias da Indústria 4.0 há mais tempo em operação, com dados mais robustos e ações de melhoria realizadas na célula com a interpretação desses dados, além de realizar estudos em segmentos diferentes, para se validar que todos esses conceitos são também aplicáveis em empresas que estejam fora do ramo automotivo. Além de validar que realmente a metodologia do *lean* é peça fundamental na integração com as tecnologias da Indústria 4.0, conforme apresentado nessa pesquisa, uma vez que estudos como esse ainda são escassos no meio científico e mais informações são necessárias para se validar o que se interpreta da teoria, pois existem vários autores que defendem que o *lean* é base na implementação de elementos da indústria 4.0, mas há outros que defendem que são implementações totalmente distintas.

REFERÊNCIAS

- BRETTEL, M., N.; FRIEDERICHSEN, M. K.; ROSENBERG, M. A descentralização e a construção de redes mudam o cenário da manufatura: uma perspectiva da indústria 4.0. **Jornal Internacional de Engenharia Mecânica, Aeroespacial, Industrial, Mecatrônica e de Manufatura**, p. 37–44, 2014.
- CARVALHO, H. Design de produto. O que é escala Likert e como aplicá-la. 2019. Disponível em: <https://vidadeproduto.com.br/escala-likert/>. Acesso em: 5 nov. 2021.
- FERRAZ, A. D. **Princípios do Lean Management e sua relação com os níveis de maturidade lean nas organizações**. Centro Universitário da FEI. São Bernardo do Campo, 2018.
- GIMENEZ, D. M., SANTOS, A. L. **Indústria 4.0, manufatura avançada e seus impactos sobre o trabalho**. Instituto de Engenharia, Universidade de Campinas. Campinas, 2019.
- GOODSON, E. **Read a plant – fast**. Harvard Business School, Cambridge, 2002.
- HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Princípios de design para cenários Indústria 4.0. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DO HAVAÍ SOBRE CIÊNCIAS DO SISTEMA, 49., 2016, Koloa. **Anais...Koloa**, p. 3928–3937, 2016.
- AGOSTINHO JUNIOR, V. **Implementação da Indústria 4.0 em um ambiente com Lean Manufacturing: Interações e desafios**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão da Inovação) Universidade Federal do ABC. Santo André, 2020. Disponível em: <https://biblioteca.ufabc.edu.br/mobile/detalhe.php?idioma=ptbr&acesso=web&codigo=122083&tipo=1&detalhe=0&busca=1>. Acesso em: 5 nov. 2021
- JURAN, J. M. **Planejando para a qualidade**. São Paulo: Pioneira, 1992.
- KARLSSON, C.; AHLSTROM, P. Assessing changes towards lean production. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 16, n. 2, pp. 24-41. 1996. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/01443579610109820>. Acesso em: 5 nov. 2021.
- KWAK, Y. H.; IBBS, C. W. Project Management Process Maturity (PM) 2 Model. **Journal of Management in Engineering**, p. 150-155, 2002.

LANDIS, J., & KOCH, G. The measurement of observer agreement for categorical data. University of Michigan. Michigan. **Biometrics**, p. 159-174, 1977.

LIKER, J. K., FRANZ, J. K. **O modelo Toyota de melhoria contínua**. Estratégia + Experiência Operacional = Desempenho Superior. Porto Alegre: Bookman, 2013.

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

MARTINS, A. P. R. A. P. **A Influência da Manutenção Industrial no Índice Global de Eficiência (OEE)**. Dissertação (Mestrado de Engenharia e Gestão Industrial) — Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012.

METTERNICH, 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.

MAYR, A.; WEIGELT, M.; KUHL, A.; GRIMM, S.; ERLI, A.; POTZEL, M.; FRANKE, J.; Lean 4.0 – A conceptual conjunction of lean management and Industry 4.0. 51st CIRP, 2018.

MESSA, A. **Indicadores de Produtividade**: uma breve revisão dos principais métodos de cálculo. IPEA, Brasília, 2013.

OHNO, T. **The Toyota production system**: Beyond large-scale production. Portland, Oregon: Productivity Press, 1988.

PERFORMANCE DEPARTMENT. Labor Productivity Management. Version 3. Wolfsburg, 2013.

SCHUH, G.; ANDERL, R.; GAUSEMEIER, J.; TEN HOMPEL, M.; WAHLSTER, W.; Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies (Acatech STUDY). Munich. 2017.

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.

SCHWAB, Klaus. **Klaus Schwab**: navigating the fourth industrial revolution. 2016. Disponível em: <https://www.biznews.com/wef/davos-2016/2016/01/20/klaus-schwab-navigating-the-fourth-industrial-revolution> . Acesso em: 11 out. 2021.

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

WAGNER, T.; HERRMANN, C.; THIEDE, S. Industry 4.0 impacts on lean production systems. **Procedia CIRP**, v. 63, p. 125-131, 2017

SOBRE O AUTOR

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>