CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI
BRUNO TADEU KAHIL SILVA
GIULIA HEIFFIG ZUCCATO
LEONARDO HESPANHOLE VALLE
PEDRO DUQUE ESTRADA CENDÓN

FERRAMENTA DE MANUFATURA DIGITAL APLICADA EM UMA PEQUENA EMPRESA PRODUTORA DE ESCOVAS INDUSTRIAIS

São Bernardo do Campo
2020

BRUNO TADEU KAHIL SILVA
GIULIA HEIFFIG ZUCCATO
LEONARDO HESPANHOLE VALLE
PEDRO DUQUE ESTRADA CENDÓN

FERRAMENTA DE MANUFATURA DIGITAL APLICADA EM UMA PEQUENA EMPRESA PRODUTORA DE ESCOVAS INDUSTRIAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário FEI, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção. Orientado pelo Prof. Dr. Fábio Lima.

São Bernardo do Campo
2020

BRUNO TADEU KAHIL SILVA
GIULIA HEIFFIG ZUCCATO
LEONARDO HESPANHOLE VALLE
PEDRO DUQUE ESTRADA CENDÓN

FERRAMENTA DE MANUFATURA DIGITAL EM UMA PEQUENA EMPRESA PRODUTORA DE ESCOVAS INDUSTRIAIS

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Centro Universitário FEI, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Comissão julgadora

_____

Fábio Lima

_____

Gabriela Scur Almudi

_____

Ricardo Janes

São Bernardo do Campo
09/12/2020

Dedicamos esse trabalho à todas as pessoas que pensam em empreender no Brasil.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos, de um modo geral, a todas as pessoas que auxiliaram o processo de realização desse trabalho.

À Fábio Lima, orientador do trabalho, por mentorear a realização do mesmo, contribuindo ativamente para elevar o nível de formação dos autores.

À Abrasfer Escovas Industriais LTDA, por oportunizar a execução do trabalho de campo em suas dependências.

Aos nossos familiares e amigos, por todo apoio prestado durante esse período desafiador.

À Rafael Alves, pela ajuda com o aprendizado do uso do *software plant simulation.*

Finalmente, ao Centro Universitário FEI, pela oportunidade dada. Ainda, dedicamos esse espaço para fazer uma menção ao departamento de engenharia de produção da FEI, por prover todo o suporte necessário aos seus alunos.

RESUMO

A partir da quarta revolução industrial, ferramentas como computação em nuvem e internet das coisas fomentam a integração das máquinas, viabilizando uma nova era produtiva. Nesse âmbito, surgem as fábricas inteligentes, apoiadas pelas ferramentas da manufatura digital. O presente trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho da Abrasfer, uma pequena empresa, frente à aplicação da simulação computacional, além de reforçar a importância do uso dessas ferramentas, a fim de apoiar micro e pequenas empresas em situações similares. O objeto de estudo da pesquisa, localizada em Arujá, atua no segmento de escovas industriais. O propósito desta pesquisa é exploratório, com natureza quantitativa. A partir da realização do trabalho de campo, definiu-se por estudar, somente, a linha de escovas circulares onduladas. Para modelar um cenário base que retrate com precisão a realidade atual da empresa, fez-se imperativo a criação de um fluxograma, que embasa a cronometragem de tempos. Outros dados de entrada também foram apurados, uma vez que a companhia não possuía uma documentação formal dos mesmos. Assim, a simulação computacional pôde ser materializada. O uso do *software Plant Simulation* foi desafiador, por não ser uma tecnologia tão amigável. Os resultados obtidos foram satisfatórios e endossam os objetivos propostos, apontando para uma configuração em lotes dimensionados, visando obter os melhores indicadores de produção.

Palavras-chave: Manufatura digital. Industria 4.0. Simulação. Micro e pequenas empresas.

ABSTRACT

From the fourth industrial revolution onwards, tools such as cloud computing and the internet of things encourage the integration of machines, enabling a new productive era. In this context, intelligent factories appear, supported by the tools of digital manufacturing. The present work aims to evaluate the performance of Abrasfer, a small company, regarding the application of computer simulation, in addition to reinforcing the importance of using these tools, in order to support micro and small companies in similar situations. The object of study of the research, located in Arujá, operates in the segment of industrial brushes. The purpose of this research is exploratory, with a quantitative nature. From the fieldwork, it was defined to study only the line of wavy circular brushes. To model a base scenario that accurately portrays the current reality of the company, it was imperative to create a flowchart, which supports the timing of times. Other input data were also investigated, since the company does not have formal documentation of them. Thus, the computer simulation could be materialized. The use of Plant Simulation software was challenging, as it is not such a friendly technology. The results obtained were satisfactory and endorse the proposed objectives, pointing to a configuration in dimensioned lots, aiming to obtain the best production indicators.

Keywords: Digital manufacturing. Industry 4.0. Simulation. Micro and small businesses

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Evolução da indústria....16
Figura 2 - Tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 19
Figura 3 - Etapas de planejamento e modelagem....27
Figura 4 - Escova circular ondulada....33
Figura 5 - Fluxograma da escova circular ondulada....34
Figura 6 - Modelo conceitual do processo fabril da escova circular ondulada 43
Figura 7 - Modelo computacional do cenário base 61
Figura 8 - Modelo computacional do cenário 1....62
Figura 9 - Modelo computacional do cenário 2....63
Figura 10 - Modelo computacional do cenário 3....64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Venda anual em unidades no ano de 2019 31
Tabela 2 - Representatividade dos tipos de escova no faturamento 32
Tabela 3 - Etapas do processo produtivo separadas por locais 36
Tabela 4 - Tempos cronometrados em cada operação 38
Tabela 5 - Distâncias entre locais 39
Tabela 6 - Capacidade dos locais 40
Tabela 7 - Descrição dos locais 42
Tabela 8 - Parâmetros e resultados do cenário base 49
Tabela 9 - Parâmetros e resultados do cenário 1 50
Tabela 10 - Parâmetros e resultados do cenário 2 52
Tabela 11 - Parâmetros e resultados do cenário 3 53
Tabela 12 - Comparação entre cenários 54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
CAD	*Computer Aided Design*
CEO	*Chief Executive Officer*
CNI	Confederação Nacional da Indústria
GPS	*Global Positioning System*
IA	Inteligência Artificial
IoT	*Internet of Things*
MCTIC	Ministérios da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
ME	Ministérios da Economia
MRP	*Material Requirement Planning*
MTS	*Make to Stock*
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PO	Pesquisa Operacional
TI	Tecnologia da Informação

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13
1.1 JUSTIFICATIVAS 14
1.2 OBJETIVOS 15
1.3 ARÉA DA ABEPRO 15
1.4 METODOLOGIA 15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 16
2.1 INDÚSTRIA 4.0 17
2.1.1 Panorama brasileiro 22
2.2 MANUFATURA DIGITAL 23
2.3 SIMULAÇÃO 25
2.3.1 Modelagem, verificação e validação 26
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 29
4 TRABALHO DE CAMPO 30
4.1 ABRASFER ESCOVAS INDUSTRIAIS LTDA 30
4.2 DEFINIÇÃO DO PRODUTO PARA MODELAGEM 30
4.3 DOCUMENTAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO 33
4.4 APURAÇÃO DOS TEMPOS DE PRODUÇÃO 36
4.5 DISTÂNCIAS ENTRE LOCAIS 39
4.6 CAPACIDADE DOS LOCAIS 39
4.7 MODELAGEM 40
4.7.1 Modelo conceitual 41
4.7.2 Modelo computacional 47
4.7.2.1 Cenário base 48
4.7.2.2 Cenário 1 – Movimentação em lotes redimensionados 49
4.7.2.3 Cenário 2 – Sem buffers e com movimentação em fluxo contínuo 50
4.7.2.4 Cenário 3 – Com esteiras e com movimentação em fluxo contínuo 52
4.7.2.5 Comparação entre cenários 53
5 CONCLUSÃO 55
REFERÊNCIAS 57

ANEXO A – MODELO SIMULADO NO *SOFTWARE PLANT SIMULATION* – CENÁRIO BASE 61
ANEXO B – MODELO SIMULADO NO *SOFTWARE PLANT SIMULATION* – CENÁRIO 1 62
ANEXO C – MODELO SIMULADO NO *SOFTWARE PLANT SIMULATION* – CENÁRIO 2 63
ANEXO D – MODELO SIMULADO NO *SOFTWARE PLANT SIMULATION* – CENÁRIO 3 64

1 INTRODUÇÃO

A estrutura comercial e econômica contemporânea, vigente em todo o globo, tem características bem definidas, norteadas pelo dinamismo de novas tecnologias e técnicas de gestão da produção, aproximando, de forma significativa, mercados e consumidores, proporcionando elevados índices de competitividade à atividade exercida. O desafio, portanto, é dado ao aprimorar processos, produtos e serviços de uma maneira a oferecer um custo benefício compatível comparado com outras empresas presentes em um mesmo segmento. É oportuno mencionar que companhias incapazes de adaptação às novas ferramentas do mercado tendem a tornarem-se obsoletas, impossibilitando qualquer tipo de vantagem perante à concorrência (CAMARGO; SILVA, 2018).

Nesse âmbito, uma problemática enfrentada é associada ao conflito entre preservar receitas vigentes, assegurando sucesso presente, e investir em novos conceitos que oportunizariam êxito futuro. Especificamente em micro e pequenas empresas, o tópico é ainda mais sensível, dada a dificuldade em obter tais recursos (LONGO; MEIRELLES, 2016).

Como sugere Moura et al. (2017), deve-se, majoritariamente, priorizar eventuais vantagens competitivas, visando incorporar novas tecnologias na busca por peculiaridades que possam distinguir as empresas favoravelmente ante seus concorrentes. Mecanismos virtuais são explorados em demasia para atender a expectativa de atualização constante de artifícios subordinados ao exercício produtivo. Em caso de ausência ou insuficiência de tecnologias de informação, o poderio de competição é comprometido abruptamente, ocasionando, em uma esfera global, até mesmo o encerramento das atividades da corporação, baseado no cenário que se desdobra daqui em diante (GOMES et al, 2019).

As inovações tecnológicas demandam das empresas a necessidade de inovar e se adaptar. Estima-se que a digitalização e a automatização submeterão mudanças na forma como as pessoas vivem, trabalham e, ainda, relacionam-se. A orientação provinda de inúmeras organizações aponta para um novo processo de revolução industrial, desta vez tendo como foco aspectos tecnológicos. Necessariamente, há um incremento no ritmo normal de progresso das empresas, expondo a magnitude da introdução das tecnologias baseadas em aspectos digitais (LIMA; PINTO, 2019).

A manufatura digital, nesse contexto, desponta como a parte central que compõe a contemporânea administração da produção e que originou compreensões sobre a organização das fábricas. Seus fundamentos centram-se na integração computacional de técnicas e dispositivos disponíveis em níveis distintos da empresa (seja o tático, estratégico ou

operacional), facultando interconectar, desenvolver interfaces e constituir processos de produção e controle sobre a mesma (SHINOHARA et al., 2015).

Para Santos et al. (2018), a evolução natural dos sistemas industriais anteriores e necessidade das empresas em manterem-se competitivas no mercado, tornou vantajosa a implementação de dispositivos "inteligentes" que permitem a comunicação autônoma ao longo da cadeia de valor. Esse movimento de avanço tecnológico tem promovido grandes mudanças em diversas áreas, e foi denominado de Indústria 4.0. A Indústria 4.0 pode ser definida de diferentes maneiras. Para Manyika et al. (2017), os mais recentes desenvolvimentos em robótica, inteligência artificial e aprendizado de máquina nos colocam à beira de uma nova era de automação, que se desenrolou em alterações nas estruturas sociais e nos sistemas econômicos.

Por tratar-se de um tema oportuno, a proposta desse estudo é a avaliação do desempenho da utilização de ferramentas da manufatura digital, em uma das linhas de produção de produtos de uma pequena empresa, a partir da simulação de cenários e comparação de eficiência entre eles. Apesar da ênfase em uma pequena empresa, enfatiza-se que os conceitos empregados nesse trabalho podem ser utilizados por empresas de maior porte.

1.1 JUSTIFICATIVAS

Custos elevados e o tempo de implementação são obstáculos enfrentados à incorporação de sistemas tecnológicos em pequenas empresas. Nota-se que a ausência de mão de obra qualificada, internamente, prejudica o desenvolvimento desse tipo de projeto, assim como o tempo necessário para resposta de resultados (GASQUES et al, 2016). A proposta nesse trabalho, usando a ferramenta de simulação, dentro do contexto da manufatura digital, é uma forma de diminuir tais restrições que as pequenas e micro empresas vivenciam para entrar nesse ambiente e realizar análises de possibilidades de cenários alternativos de forma mais ágil, tornando mais acessível a decisão de implementação de ferramentas de manufatura digital.

Objeto de estudo deste trabalho, a Abrasfer Escovas Industriais começou suas atividades em 1987 e tem sua sede localizada em Arujá, cidade da região metropolitana de São Paulo. O empreendimento conta com treze tipos de escovas em seu portfólio de produtos, porém, sendo possível a fabricação de mais 660 variações de customização, e seus clientes são, predominantemente, dos segmentos industriais químico, naval, metalúrgico, petrolífero, alimentício, calçadista e borracha. Em sua configuração atual, 80% do sistema produtivo é automatizado e os mantenedores pretendem, em breve, expandir esse número. Em função disso,

a pergunta problema que se impõe nessa circunstância é: Como a manufatura digital pode auxiliar no processo decisório de uma pequena empresa?

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral desse trabalho é avaliar o desempenho de produção, perante a aplicação da simulação computacional, de uma das linhas de produtos da empresa Abrasfer. Tal aplicação é uma das ferramentas presentes na manufatura digital, visando suportar a alta gestão com indicadores e parâmetros a fim de auxiliá-la nas tomadas de decisões. Os objetivos específicos subordinados à meta principal são:

a) Validar a produtividade da linha de produção estudada e buscar oportunidades para o seu aumento de desempenho;
b) Avaliar cenários alternativos e estudar os seus comportamentos;
c) Estimular micro e pequenas empresas a considerar a aplicação do mesmo procedimento.

1.3 ARÉA DA ABEPRO

O trabalho é compreendido na área de pesquisa operacional (PO) e na subárea de modelagem, simulação e otimização.

1.4 METODOLOGIA

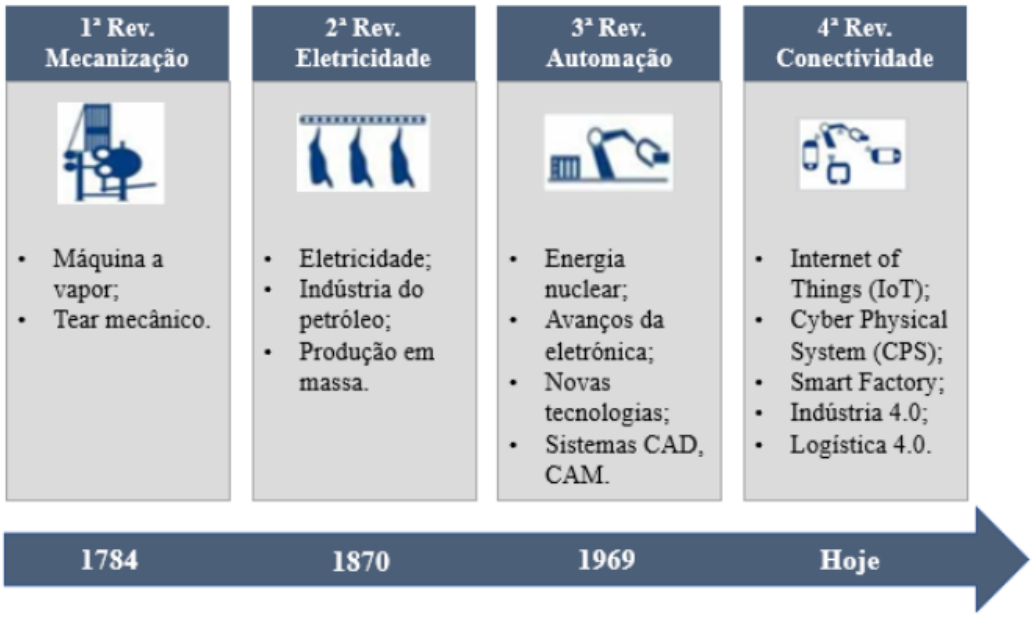
A natureza deste estudo é quantitativa e o propósito da pesquisa é exploratório.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A economia mundial, historicamente, é dependente do setor industrial. Com o propósito de manter a relevância, desde o séc. XVIII, observa-se a necessidade de reinventar-se. A indústria passou por inúmeras transformações até atingir o atual patamar, movida pela incessante procura de soluções, impulsionando o desenvolvimento de várias tecnologias em todas as áreas relacionadas à produção (SUGAYAMA; NEGRELLI, 2015).

Cronologicamente, conforme proposto pela Figura 1, em uma etapa inicial, na qual a confecção de artefatos era realizada de forma manual, a primeira revolução industrial bancou a utilização de máquinas a vapor em substituição à antiga configuração do trabalho. Mais adiante, no início do séc. XX. houve a introdução da eletricidade em sistemas produtivos, marco da segunda revolução industrial, onde também se concebeu a divisão do trabalho e a produção em massa. Para a terceira revolução industrial, o aprimoramento da automação se dá por meio da aplicação de eletrônica e TI, contando com mão de obra mais qualificada, sustentando a fabricação de mais artigos em um menor espaço de tempo. Finalmente, a combinação de tecnologias avançadas e *internet* altera, novamente, o panorama vivenciado, denotando a constituição de um movimento batizado de Indústria 4.0 (SANTOS et al., 2018).

Figura 1 - Evolução da indústria



Fonte: Santos et al, 2018

2.1 INDÚSTRIA 4.0

A Indústria 4.0 pode ser definida de diferentes formas. Esse movimento de surgimento do progresso tecnológico e promoveu mudanças importantes em diversos campos. Para Manyika et al. (2017), desenvolvimentos recentes em robótica, inteligência artificial e aprendizado de máquina nos colocaram à beira de uma nova era de automação. Os robôs e computadores não apenas podem realizar uma série de atividades físicas diárias melhores e mais baratas que os humanos, mas também são cada vez mais capazes de realizar atividades que incluem habilidades cognitivas que antes eram consideradas difíceis de automatizar com sucesso, como julgamentos tácitos, sentir emoções, ou até mesmo dirigir. A automação mudará o trabalho diário de todos, desde mineradores e jardineiros até banqueiros comerciais, *designers* de moda, soldadores e *CEOs (Chief Executive Officer).* Cada ocupação inclui vários tipos de atividades, e, muito poucas ocupações - menos de 5% - são candidatas à automação total. No entanto, quase todas as ocupações têm potencial de automação parcial, uma vez que parte de suas atividades poderia ser automatizada.

O tema da redução gradual do emprego tem emergido com intensidade. A partir do momento em que os computadores se tornarem mais inteligentes e executarem com mais eficácia as tarefas atualmente realizadas por humanos, a automação trará mudanças inimagináveis. O progresso tecnológico estimulará o ser humano a demonstrar competências que o diferenciam de máquinas e aprender novas competências será essencial para se adaptar ao novo momento do mercado de trabalho. A inteligência artificial (ou IA) absorve não apenas o trabalho manual, mas também os trabalhos cognitivos e não rotineiros, especialmente aqueles que antes eram considerados fora do alcance da mecanização. Além do crescimento econômico gerada pela redução do custo de trabalho após a automatização de processos, automatizar certas funções também permitiu a criação de novos empregos, deslocando trabalhadores entre departamentos e cargos. No entanto, a previsão agora predominante de desemprego em massa é improvável de ser realizada, uma vez que a inteligência artificial e a digitalização são restringidas pelas forças socioeconômicas e organizacionais (ou seja, preços de trabalho, relações de poder existentes e tarefas de trabalho relacionadas) que afetam sua implementação (BRYNJOLFSSON; MCAFEE, 2014). Manyika et al. (2017) compartilha o mesmo entendimento ao exprimir que essas mudanças não resultarão em desemprego em massa de longa duração, porque provavelmente serão acompanhadas pela criação de novos tipos de trabalho. Com a automação de várias atividades, os processos serão transformados e as pessoas vão realizar atividades que complementam o trabalho feito pela máquina e vice-versa.

Pode-se descrever a implementação de dispositivos “inteligentes” que permitem a comunicação de forma autônoma ao longo da cadeia de valor como Indústria 4.0 ou 4ª Revolução Industrial. Estes são alguns dos termos utilizados para descrever a evolução natural dos sistemas industriais anteriores, auxiliando as organizações industriais a lidarem com a necessidade de se tornarem mais competitivas (SANTOS et al., 2018). Tal “revolução” ocorre principalmente com o surgimento de novas tecnologias, sendo percebida por meio de alterações nas estruturas sociais e nos sistemas econômicos. Segundo a Confederação Nacional da Indústria, CNI (2016), esta revolução pode levar o nome também de Manufatura Avançada.

Este novo paradigma de produção com potencial para modificar o papel das tradicionais linhas de montagem, possui diversas interpretações para definição de tal fenômeno. Aires, Moreira e Freire (2017) caracterizam a Indústria 4.0 pela digitalização da produção, com o auxílio da *internet*, sensores menores e mais poderosos e a inteligência artificial. Ou seja, uma aplicação generalizada de tecnologias avançadas na produção, que gera novos valores e serviços, desencadeando o desenvolvimento de novos modelos de negócios. Kagermann, Wahlster, Helbig (2013) exprimem que a 4ª Revolução Industrial conta o potencial disruptivo como a agregação de tecnologias avançadas que, integradas, favorecem na redução das barreiras relacionadas às ferramentas virtuais e físicas. Assim sendo, proporciona máquinas e humanos conectados, trabalhando em sinergia, utilizando sistemas cyber-físicos e adotando tecnologias como Internet das Coisas (IoT), criando assim, as chamadas fábricas inteligentes ou *Smart Factories.*

A Indústria 4.0 é então um termo empregado onde redes de objetos inteligentes se comunicam, permitem o gerenciamento de processos de uma maneira independente e são proporcionadas pela implantação de novas tecnologias como Internet das Coisas, *Big Data* e Serviços de computação da nuvem (WATANABE, 2019). Ela representa os eventos de mudanças nos processos produtivos e modelos de negócios, configurando um novo patamar de desenvolvimento e gestão para as organizações.

Sugayama e Negrelli (2015) afirmam que empresas passaram a desenvolver este conceito e são apoiadas pelos governos, principalmente, europeus (com destaque para o alemão) mas também por países como os Estados Unidos, Japão e a China, sinalizando que esta nova era industrial é encarada como estratégica pelas grandes potências industriais.

A integração e sensorização da cadeia produtiva na Manufatura Avançada permite o aumento de dados coletados no processo e o surgimento de recursos de análise, como por exemplo, a introdução da inteligência artificial (VERMULM, 2018). Estas informações constantemente atualizadas, possibilitam uma rápida reação às alterações do mercado, ou seja,

auxilia nos processos de decisão. Consequentemente os produtos e serviços são melhorados, assim como o relacionamento com os clientes. São reduzidos os custos e os desperdícios, prosperando, dessa forma, melhores lucros. A Indústria 4.0 promete uma expectativa fundamentada em inovação e melhoria contínua, possibilitando a criação de melhores produtos e serviços atendendo essa demanda cada vez maior e mais exigente (LIMA; PINTO, 2019).

A CNI (2020) destacou a divisão de tecnologias da Indústria 4.0 em tecnologias centrais e tecnologias habilitadoras. Tecnologias centrais são aquelas que transformam um produto em um dispositivo inteligente conectado à internet. São elas: *Hardware* (sensores, memórias e processadores), *Software* (armazenamento em nuvem, estruturas computacionais e sistemas operacionais) e Conectividade (rede para dispositivos conectados e sistemas de dados sem fio). Já tecnologias habilitadoras são tecnologias produzidas sobre e complementares às tecnologias centrais. Tecnologias habilitadoras correspondem à integração de algumas tecnologias responsáveis pela configuração da Indústria 4.0 e são impulsionadoras da mesma. Na Figura 2, é possível observar algumas das principais tecnologias habilitadoras.

Figura 2 - Tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0

Fonte: Rotta, 2017

Citadas por CNI (2017) e Rotta (2017) e explicadas pelos seguintes autores, as principais tecnologias são:

a) Segurança Cibernética (*Cybersecurity*): É a prática que protege computadores e servidores, dispositivos móveis, sistemas eletrônicos, redes e dados de ataques maliciosos, que se tornam cada vez maiores em um mundo altamente conectado e integrado com a evolução e aprimoramento dos ataques cibernéticos (CNI, 2018);
b) Realidade Aumentada: Consiste na integração de elementos ou informações em ambientes virtuais e o mundo físico. Através de uma entrada sensorial criada por um computador, como som, vídeos, gráficos ou dados GPS, é possível, a partir de um item real, criar com um *software*, em tempo real, um objeto virtual. O dispositivo, então, exibe o objeto virtual sobreposto ao real, como se ambos fossem uma coisa só. Esta coexistência torna possível sua aplicação, por exemplo, como suporte aos processos de montagem em linhas de produção, demonstrando as etapas dos processos. A Indústria 4.0 enxerga um enorme potencial nesta tecnologia para a geração e prestação de serviços, sendo assim, pode ser aplicada no treinamento profissional de colaboradores (SANTOS, 2018);
c) *Big-Data* (Megadados): Designa a área do conhecimento que estuda como tratar, analisar e obter informações a partir de enormes quantidades de dados de fontes diversas, grandes demais para serem analisados por sistemas tradicionais (DUARTE, 2017);
d) Robótica Avançada ou Robôs Autônomos: Robôs capazes de trabalhar sem a supervisão humana, agindo de forma inteligente, cooperativa e autônoma, que pode reduzir custos com mão-de-obra e aumenta a produção, tornando as indústrias mais competitivas (VERMULM, 2018);
e) Sistemas de Simulação: Consiste em modelos matemáticos e representações 3D de máquinas, equipamentos e processos, permite testar e otimizar processos e produtos com dados reais, simulando inclusive as variabilidades do sistema. Quando desenvolvido e validado, ele pode ser utilizado para verificar e investigar diversas questões sobre o sistema. Pode-se encontrar o melhor nível de otimização no tempo de execução e no uso dos recursos, insumos e energia, verificando também a viabilidade de um projeto (MIYAGI, 2004);
f) Impressão 3D (manufatura aditiva): Segundo a CNI (2020) é a fabricação de objetos a partir do zero utilizando modelos digitais utilizando impressoras 3D, possibilitando a produção de objetos tridimensionais e complexos. Na Indústria 4.0, a manufatura aditiva é utilizada em larga escala para a produção de pequenos lotes de peças

customizadas, que no modelo de processo tradicional envolve altos custos de personalização, fabricação e transporte;

g) Integração de Sistemas: É a utilização de sistemas de TI para interligar uma cadeia de valor automatizada, desde a entrada do material até a venda do produto, por meio da digitalização de dados de tal forma que setores diferentes possam trocar dados. Assim, as informações circulam com maior rapidez e confiabilidade, tornando a execução de serviços mais ágil e auxiliando tomada de decisões (SEIFERT; SIPPERT; PORCIUNCULA, 2018);
h) Computação em Nuvem: Segundo Taurion (2009), descrevem um ambiente imerso em uma imensa rede de servidores virtuais e físicos, com capacidade de processamento, armazenamento, conectividade, plataformas, disponibilizados pela *internet*. No mundo atual, diversas empresas criaram imensos parques computacionais, fundamentando-se na computação em nuvem, para operarem seus próprios negócios, disponibilizando-os para o mercado;
i) Internet das Coisas *(IoT),* consiste na interconexão digital de objetos cotidianos com a internet por meio de *hardwares* e *softwares* e abrange também a tecnologia de Sensores e Atuadores, que são elementos eletrônicos que capazes de identificar e registrar informações sobre variáveis físicas ou químicas de um ambiente produtivo usando parâmetros físicos e sinais elétricos permitindo a comunicação (VERMULM, 2018);
j) Inteligência Artificial: Segundo Vermulm (2018), é área da computação que busca mecanismos para que máquinas tomem decisões autonomamente sem a interferência humana. Para esta tecnologia, é preciso dispor de grandes bases de dados, capacidade de processamento de informações e computação em nuvem. Aplicada a projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D), pode contribuir para diminuir o tempo de lançamento de novos produtos e no desenho de novos processos produtivos.

Segundo Duarte (2017), a incorporação da digitalização à atividade industrial integra tecnologias físicas e virtuais e são fundamentais para a 4ª Revolução Industrial. Tal integração pode se dar por meio de, por exemplo, a incorporação da Robótica Avançada, dos Sistemas de Conexão Máquina-Máquina, da Internet das Coisas e dos Sensores e Atuadores, que irão possibilitar que máquinas "conversem" ao longo das operações industriais, permitindo a conexão das diversas etapas da cadeia de valor. Além disso, dispositivos localizados em diferentes unidades produtivas podem trocar informações instantaneamente sobre compras e estoques, proporcionando uma otimização logística por meio da integração entre fornecedores,

empresas e clientes. Tal integração é apenas viável com a implementação de componentes que proporcionam captação, transporte, armazenamento e análise de dados, possíveis com os *Big Data* e a Computação em Nuvem. Esta integração além de transmitir os dados para a empresa, transmite também informações de processamento de dados para auxiliar a tomada de decisão. Tais informações podem também ser empregadas para manutenção preditiva das máquinas e dos equipamentos e aumento da eficiência no uso de materiais com a aplicação da Inteligência Artificial (CNI, 2020). As tomadas de decisão podem ainda ser auxiliadas pela simulação. Esta, além incorporar as variações (aleatoriedade) do sistema produtivo e estimar tais influências sobre sua performance, permite avaliar hipóteses sem necessariamente implementá-las, estimando as mudanças reais que aconteceriam, colaborando assim, com a tomada de decisão e desenvolvimento de novos produtos (VERMULM, 2018).

2.1.1 Panorama brasileiro

No brasil, muitos empreendimentos industriais já realizaram a automatização de seus processos produtivos, mas ainda assim não atingiram a manufatura digital. Tendo em mente que a indústria 4.0 é formada de duas vertentes: a integração de processos para garantir uma produção customizada e produtos inovadores, o Brasil ainda tem um longo caminho a percorrer nesses dois caminhos apresentados (SANTOS; MANHÃES; LIMA, 2018).

Baseando-se na pesquisa nacional que foi realizada pela CNI (2016), sobre a adoção de tecnologias digitais relacionadas à era da manufatura avançada, pode-se observar que o desconhecimento é o maior empecilho à utilização da tecnologia, vide que a indústria brasileira ainda está se familiarizando aos impactos da digitalização e do uso desse novo tipo de manufatura sobre os setores e modelos de negócio. Essa falta de conhecimento se mostra mais presente em pequenas empresas.

De acordo com o governo federal (2019), a Câmara Brasileira da Indústria 4.0, coordenada pelos Ministérios da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) e da Economia (ME), com a intenção de expandir tanto a produtividade quanto a competitividade das empresas nacionais por meio da manufatura avançada, desenvolveu um plano de ação para o período de 2019 a 2022, em parceria com mais de 30 intuições, sendo elas governamentais, da academia e da iniciativa privada. A proposta do plano de ação é impulsionar o uso dos conceitos e práticas relacionadas à indústria 4.0 em território nacional em empresas de pequeno e médio porte. Outro objetivo da proposta é aprimorar a inserção do Brasil nas cadeias globais

de valor. Sendo assim, pode-se afirmar que a capacidade de a indústria brasileira pleitear o mercado internacional, dependerá da habilidade em promover a migração para o conceito 4.0.

Chamado de “Mapeamento 4.0”, o governo federal em parceria com o Senai Nacional, trabalha para identificar todas os cursos, capacitações, eventos, programas de apoio financeiro e gerencial, além de outras ações relacionadas ao tema indústria 4.0 (GOVERNO FEDERAL, 2019).

Segundo levantamento da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) apontado por Rotta (2017), a partir da migração da indústria como conhecemos hoje, para o conceito 4.0, estima-se um uma redução anual de custos industriais no Brasil de, no mínimo, R$ 73 bilhões, dos quais 47%, aproximadamente, deste valor se referem à redução de custos de manutenção de equipamentos e 10% estão relacionados à economia de energia.

2.2 MANUFATURA DIGITAL

A competitividade entre as empresas está crescendo com a globalização cada vez mais presente. A multiplicidade de produtos existentes no varejo leva a indústria a se reinventar, buscando o menor custo e a melhoria contínua diariamente para se adequar a disputa do mercado. Com isso, surge o desafio de atender demandas cada vez maiores dos clientes em prazos cada vez mais curtos. Perante a esses estímulos, ambientes virtualizados podem auxiliar as organizações a tomarem melhores decisões e contribuir com análises mais precisas. Por isso, a manufatura digital ou fábrica digital surge para amparar as empresas, possibilitando o desenvolvimento da companhia para se destacar em um ambiente concorrido (GAMA; COSTA, 2009).

Para Chryssolouris et al. (2009) a manufatura digital atrelada ao uso da tecnologia da informação, é responsável direto pela evolução das empresas quando o assunto é melhoria nos processos. Enquanto outras abordagens tecnológicas visam apenas segmentos limitados dentro da companhia, a manufatura digital consegue integrar mais áreas da corporação, transformando o negócio. A introdução da fábrica digital é uma mudança para inovar e aperfeiçoar os processos de desenvolvimento do produto através de *softwares* promovendo a maior colaboração na manufatura.

Gama (2011) considera que os sistemas da manufatura digital são um agrupamento de ferramentas interdisciplinares que atingem diretamente os processos das empresas manufatureiras, intervindo e proporcionando de forma direta a engenharia colaborativa nos processos de tomada de decisão.

Chryssolouris et al. (2009) afirmam previamente que a fábrica digital tem como finalidade a aplicação de métodos digitais de planejamento que sejam consistentes e abrangentes, para associar toda a cadeia produtiva, desde a concepção do produto até como serão as instalações da fábrica. Além disso, mostram outras funções da manufatura digital, sendo elas:

a) Redução do tempo e do custo de desenvolvimento;

b) Integração de diversos conhecimentos através de diferentes departamentos e processos da indústria;

c) Assimilação da produção devido ao aumento da diversidade de produtos em diferentes plantas.

Segundo Gama e Costa (2009), a manufatura digital proporciona ainda redução do tempo de liberação de produtos para o mercado, diminui o tempo de fabricação, torna menor o tempo para se alcançar escala de produção e ainda estimula a inovação de produtos e de processos. Grieves (2006), complementa também que, a manufatura digital permite eliminar o desperdício e maximizar a eficiência em todos os aspectos da vida do produto, desde as fases de projeto até a distribuição, não se limitando apenas às etapas de manufatura.

Para Rowe (2006), a evolução da virtualização está trazendo benefícios para os processos de manufatura. A observação da produção de forma virtual está acelerando os ciclos de obtenção do produto, diminuindo os custos da produção e aumentando a efetividade da produção. A manufatura digital permite a conexão entre os recursos produtivos, projeto do produto, planejamento da produção e a programação das atividades. Então, através dessas conexões, é possível reproduzir dados reais em um ambiente virtual, aprimorando pontos até que sejam resolvidos e depois aplicados na fábrica real com os benefícios econômicos e de produtividade. Para compreender melhor o ciclo de produção o CAD (*Computer Aided Design*) define o que será feito, a Manufatura Digital estabelece como deverá ser feito e com o último passo, o MRP (*Material Requirement Planning*) indica quando será feito. (ROWE, 2006).

Segundo De Carli, Delamaro e Salomon (2010), a manufatura digital engloba os seguintes processos:

a) desenvolvimento, teste e otimização do produto;

b) desenvolvimento e otimização dos processos de produção;

c) projeto e melhoria da planta;

d) planejamento e controle das operações produtivas.

Faz parte ainda da manufatura digital modelos, métodos e ferramentas que oferecem suporte para as etapas de planejamento e instalações de fábricas, que através das tecnologias

virtuais representarão uma possível integração entre recursos, equipamentos gerando assim desenvolvimento nos produtos e processos por meio da modelagem e simulação. (WENZEL; JESSEN; BERNHARD, 2005).

A concepção de fábrica digital incorpora a melhoria dos produtos e dos processos de engenharia de produção. Através da simulação, que é um conceito chave, é possível utilizar a simulação discreta ou simulação em três dimensões para implementar modelos virtuais que contribuem para a melhora de diversos estágios na produção. Esse tópico será abordado mais profundamente a seguir. Assim, produtos e processos conseguem ser testados virtualmente antes de entrarem na fábrica real. (KUEHN, 2006).

2.3 SIMULAÇÃO

Entende-se simulação como uma ferramenta que possibilita a prevenção de problemas. Em outros termos, é gerar uma solução para uma adversidade, de maneira antecipada, provendo com que as ideias inicialmente estruturadas se concretizem. A visualização de erros é facilitada à medida que etapas prévias, de um dado processo, são analisadas. Ainda, se o objetivo é verificar a viabilidade de um projeto, também é praticável investigar a relação custo-benefício que o mesmo apresenta (ABREU et al, 2017).

A simulação pode então ser descrita como uma tecnologia capaz de imitar um sistema real, por meio de um modelo computacional, para que então seja possível avaliar e efetuar melhorias de desempenho no sistema que é objeto de trabalho (AZEVEDO; ALMEIDA, 2019).

Em fase de planejamento, onde existem incertezas substanciais, comumente dedica-se uma parcela de tempo para o desenvolvimento de um modelo de simulação que retrate a situação experimentada. Com o emprego de tal tecnologia é factível avaliar melhorias exequíveis dentro do contexto proposto. É relevante apontar que os cenários simulados são dinâmicos e complexos, salientando, então, a importância dessa tecnologia habilitadora da indústria 4.0 como parte facilitadora ao tomar decisões pertinentes à produção (IKEZIRI et al, 2020).

Antes mesmo da quarta revolução industrial, a simulação já era parte da rotina das corporações. O avanço exponencial da computação deu argumentos para o aperfeiçoamento do método de resolução de problemas de simulação e a criação de novos e modernos *softwares*, que reúnem diferentes áreas de conhecimento, infere em uma maior confiabilidade ao procedimento abordado (RANDON; CECCONELLO, 2019).

O início do uso da tecnologia de simulação data da década de 50, entretanto existia uma grande dificuldade de compreensão da programação, o que fazia com que somente os profissionais da área pudessem interpretar os resultados obtidos e analisá-los (AZEVEDO; ALMEIDA, 2019). Entretanto tal cenário já se torna menos comum em dias atuais, visto que pesquisas sobre o uso de modelagem e simulação estão crescendo cada vez mais, e aliados à um aumento nas capacidades computacionais, torna viável o emprego da tecnologia em projetos e operações de sistemas (RANDON; CECCONELLO, 2019).

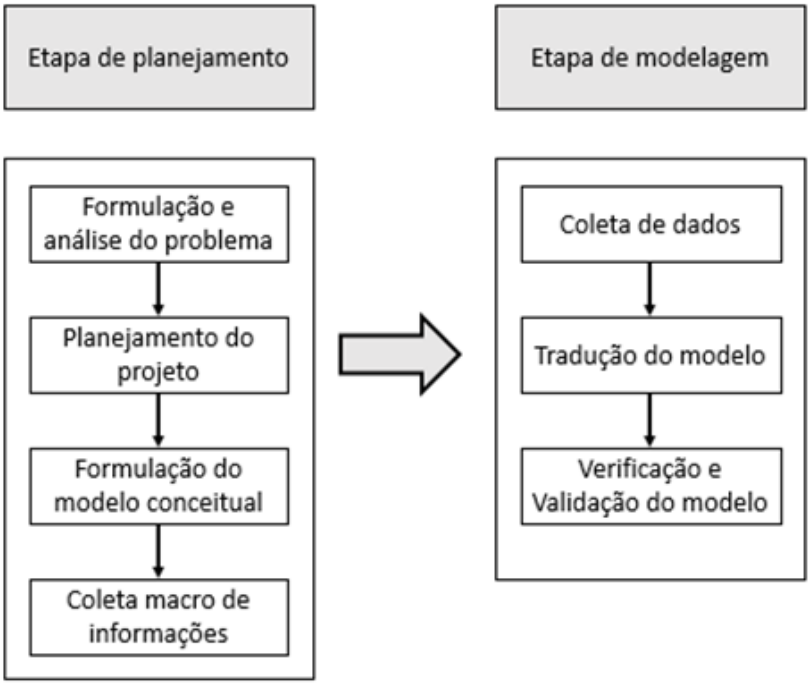
A simulação se torna, então, uma grande aliada das empresas, devido a possibilidade de se testar comportamentos em um ambiente virtual e controlado, tendo como alternativas o estudo sob várias condições diferentes, desta forma, seja para sistemas dinâmicos, complexos ou de eventos discretos (como os de manufatura), a simulação computacional é uma ferramenta de extrema valia (AZEVEDO; ALMEIDA, 2019).

Quando comparados a outros métodos de análise de sistemas, como por exemplo o uso de planilhas, a simulação se mostra mais realista e precisa quando se trata de resultados, além disso, a ferramenta ainda se mostra excelente quanto ao entendimento do sistema, tal que a animação gráfica gerada, auxilia na visualização, fazendo com que as pessoas envolvidas no projeto consigam se comunicar de forma mais assertiva (CHWIF, 2002).

2.3.1 Modelagem, verificação e validação

A construção e o emprego de modelos têm como objetivo prever e analisar eventos, com um grande nível de precisão, mas para isso é necessário que se faça, de forma correta, uma seleção das variáveis mais significativas que possam descrever o comportamento do sistema. Cabe então ao modelador (aquele que faz a modelagem), decidir com base nos objetivos previamente estabelecidos, quais são as variáveis a serem introduzidas, limitadas e detalhadas no modelo. Os dados utilizados na modelagem são, quantitativos e qualitativos, referentes à entrada e saída do sistema, mas também referenciam os componentes envolvidos no sistema e suas relações e interconexões (GAVIRA, 2003). A Figura 3 abaixo é capaz de ilustrar de forma simplificada algumas das etapas necessárias para a criação de um modelo a ser simulado.

Figura 3 - Etapas de planejamento e modelagem



Fonte: Autores “adaptado de“ Gennaro et al, 2016

Para garantir que o modelo seja fiel e funcional em relação aquilo que foi proposto, é aplicada a técnica de modelagem conceitual, que se trata de uma etapa onde é feita uma representação de forma organizada e sistemática do sistema que será simulado, que posteriormente será modelado de forma computacional. Na etapa conceitual, é montado um fluxograma com as etapas dos processos e descrição dos componentes do sistema, a fim de ilustrar com fidelidade o funcionamento real do sistema (CORRÊA; MELLO; PEREIRA, 2014).

De acordo com Gavira (2003), alguns tópicos se mostram importantes na hora de decidir se um modelo de simulação é aceitável, sendo eles:

a) Ser simples de ser entendido pelo usuário;

b) Ser objetivo e ter seus propósitos direcionados;

c) Ser preciso, ou seja, não dar respostas incoerentes;

d) Ser simples de ser manipulado e controlado pelo usuário;

e) Ser completo, ou seja, abranger totalmente as questões importantes;

f) Ser adaptável, de fácil modificação e atualização do modelo;

g) Ser evolucionário, ou seja, capaz de expandir sua complexidade de acordo com as operações realizadas pelo usuário.

Por fim, é necessário que o modelo passe por uma verificação e validação, ou seja, é realizada uma comparação entre os dados obtidos no sistema real, e no sistema projetado, uma vez realizadas as comparações, verificações e validações, o processo poderá seguir adiante para as próximas etapas (GENNARO et al, 2016).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente trabalho é classificado com propósito exploratório e natureza quantitativa, por seguir as seguintes etapas:

a) Levantamento bibliográfico: foram realizadas pesquisas bibliográficas acerca do tema explorado;
b) Escolha de uma instituição para a aplicação da simulação computacional referente a ferramenta de manufatura digital: optou-se por estudar a Abrasfer Escovas Industriais Ltda, pois entendeu-se que conduzir o estudo em uma empresa de pequeno porte gerará uma maior contribuição ao meio;
c) Seleção de um tipo de escova a ser considerada para a modelagem: foram usados critérios como o grau de automatização da linha, quantidade de produtos vendidos e relevância no faturamento anual da companhia;
d) Coleta de dados: documentou-se o fluxograma do processo produtivo e a partir dele, foi realizada a cronometragem de cada uma das etapas. Ainda, foi medida a distância entre cada célula de produção;
e) Tratamento dos dados: calcularam-se métricas como o tempo de produção da linha e a capacidade produtiva a partir das informações originárias do passo anterior;
f) Construção do modelo de simulação: primeiramente, idealizou-se um modelo conceitual, que funcionou como um roteiro, para guiar o modo com que as informações deveriam ser alimentadas no *software Plant Simulation*;
g) Avaliação de cenários: fundamentado no cenário base, efetuaram-se mudanças nos parâmetros com o intuito de avaliar as consequências de tais ações. Nesse estágio, foi analisado o *layout* da empresa, o dimensionamento dos *buffers* e a possibilidade de uso de recursos tecnológicos para movimentar as peças entre as máquinas;
h) Interpretação dos resultados: foi sugerido à empresa proposições provenientes da simulação computacional, a fim de melhorar a linha de produção estudada.

4 TRABALHO DE CAMPO

O tópico a seguir aborda aspectos da empresa escolhida para a realização do trabalho de campo.

4.1 ABRASFER ESCOVAS INDUSTRIAIS LTDA

A organização escolhida para a condução da modelagem e simulação, utilizando abordagem de manufatura digital, é a Abrasfer Escovas Industriais LTDA, pequena empresa brasileira que atua no setor industrial, no ramo de escovas industriais, atendendo desde o consumidor final até clientes interessados na revenda de seus produtos.

Atualmente, sua sede está situada em Arujá, na região metropolitana de São Paulo, concentrando o polo administrativo e a força produtiva em um único endereço. Sua localização geográfica se deu por uma circunstância conveniente, onde a companhia vislumbrou a expansão de sua atividade, juntamente com o benefício de crescimento físico.

Sua inserção no mercado consumidor se deu pela forma de uma revendedora, aproveitando uma oportunidade pontual observada por seus fundadores, no ano de 1987. Ao passar do tempo, notou-se um movimento abrupto do aumento de demanda de escovas industriais, o que fomentou o início da produção de produtos próprios, três anos após a instituição posicionar-se nesse segmento.

O produto em questão é amplamente requerido em distintas áreas industriais. As escovas, geralmente, são ferramentas utilizadas em processos de limpezas de variados itens, podendo atender necessidades agressivas e delicadas.

Na configuração em que se encontra, a Abrasfer possui, aproximadamente, 80% de todos os seus processos produtivos automatizados. Ainda assim, dentre as 12 linhas de produtos, há a ocorrência de procedimentos manuais em determinadas etapas de produção. Este fato evidencia a possibilidade de adoção de novas estratégias, tal como o uso de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0.

4.2 DEFINIÇÃO DO PRODUTO PARA MODELAGEM

Para a criação de um modelo de simulação que se aproxime da realidade da Abrasfer, foi necessário um período de entendimento do contexto atual em que a empresa está inserida. A ação mencionada ocorreu por meio de entrevistas não diretivas e observação.

Após cumprida essa etapa, julgou-se oportuno solicitar dados referentes à linha de produção de escovas industriais a fim de eleger o tipo de escova a ser estudada. Para tal definição, avaliaram-se critérios como o nível de automatização da linha, a relevância no faturamento e a quantidade de produtos vendidos.

O administrador da empresa disponibilizou um relatório contendo as informações de todos os seus produtos em catálogo, referente ao ano de 2019. Baseando-se nesse material, trataram-se os dados de uma maneira a gerar a Tabela 1, onde ranquearam-se as escovas pela quantidade vendida.

Tabela 1 - Venda anual em unidades no ano de 2019

Tipo de Escova	**Venda anual (unidades)**
Trançada	149.288
Manual	52.106
Circular Ondulada	21.779
Régua (Fita)	12.773
Cartucho	9.474
Copo	8.191
Pincel	7.568
Cônica	6.360
Miniatura	3.945
Tubo	3.743
Ondulada	300
Helicoidal	209
Serviço	83
Outros	68.120
Total	**343.939**

Fonte: Autores, 2020

A análise das vendas proveu três tipos de escovas postulantes a serem utilizadas como objeto desse estudo. Inicialmente, descartou-se a primeira opção (escova do tipo trançada), uma vez que sua linha de produção é, quase que, em sua totalidade automatizada. Para o escopo em questão, necessitou-se de uma linha, majoritariamente, com processos manuais. Assim, visando uma contribuição mais expressiva à empresa, optou-se por averiguar apenas as linhas cujas atividades produtivas seguem a restrição imposta.

Para complementar e expandir a investigação do indicador de vendas, foi oportuno averiguar a relevância de cada tipo de produto no faturamento da companhia, apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Representatividade dos tipos de escova no faturamento

Tipo de Escova	Participação no Faturamento
Trançada	26,89%
Cartucho	11,97%
Circular Ondulada	9,80%
Régua (Fita)	8,93%
Manual	4,33%
Copo	2,88%
Pincel	2,22%
Cônica	1,54%
Helicoidal	1,50%
Tubo	1,33%
Miniatura	0,96%
Serviço	0,81%
Ondulada	0,32%
Outros	26,54%

Fonte: Autores, 2020

Nota-se que a escova do tipo manual, segunda colocada em vendas, aparece apenas na quinta colocação, tratando-se do faturamento. Por outro lado, a escova do tipo circular ondulada, terceira colocada em vendas, ocupa também a terceira posição em participação do faturamento.

Portanto, considerou-se a escova do tipo circular ondulada com o melhor conjunto de indicadores, qualificando-a a ter sua linha posta à simulação da ferramenta de manufatura digital. Apesar de haver itens com maior incidência de vendas e participação em faturamento, a candidata elegida satisfez os critérios impostos e se tornou mais atrativa que as demais pelo baixo grau de automatização.

Para a manufatura da escova, existem algumas variáveis passíveis de serem alteradas, como o material dos fios. Além disso, pode-se modificar a espessura da escova, o comprimento e a bitola do fio do arame. Para a simulação escolhida, a escova apresenta as seguintes características: seis polegadas de diâmetro, 3/4 de polegada de espessura, material de aço carbono e bitola de 0,4 milímetros. Na Figura 4, encontra-se o modelo da escova circular ondulada que foi utilizada nesse trabalho.

Figura 4 - Escova circular ondulada

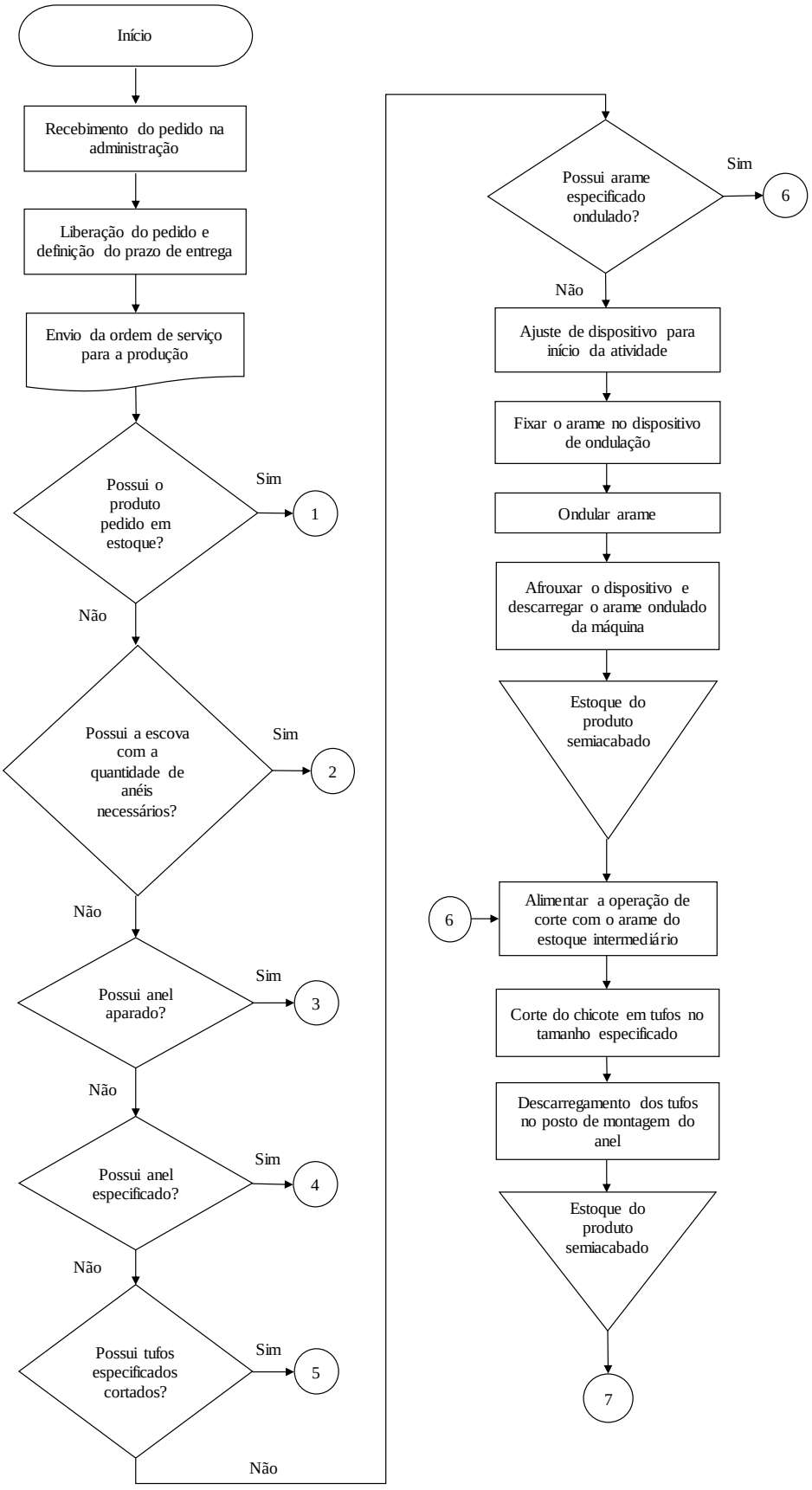
Fonte: Abrasfer, 2020

Uma vez definida a linha, devem-se documentar os processos produtivos dela. Esse registro guiará a cronometragem dos tempos de produção, que serão dados de entrada no modelo computacional.

4.3 DOCUMENTAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO

Durante a realização da visita à Abrasfer, verificou-se que não existia um fluxograma do atual processo da escova circular ondulada. Dessa forma, para a concretização do estudo, fez-se necessária a criação deste fluxograma. Assim, seria possível acompanhar as etapas que exigiriam a cronometragem dos tempos, para posteriormente alimentar os dados no *software* de simulação. O fluxograma, na Figura 5, foi apresentado à diretoria da empresa que validou as informações.

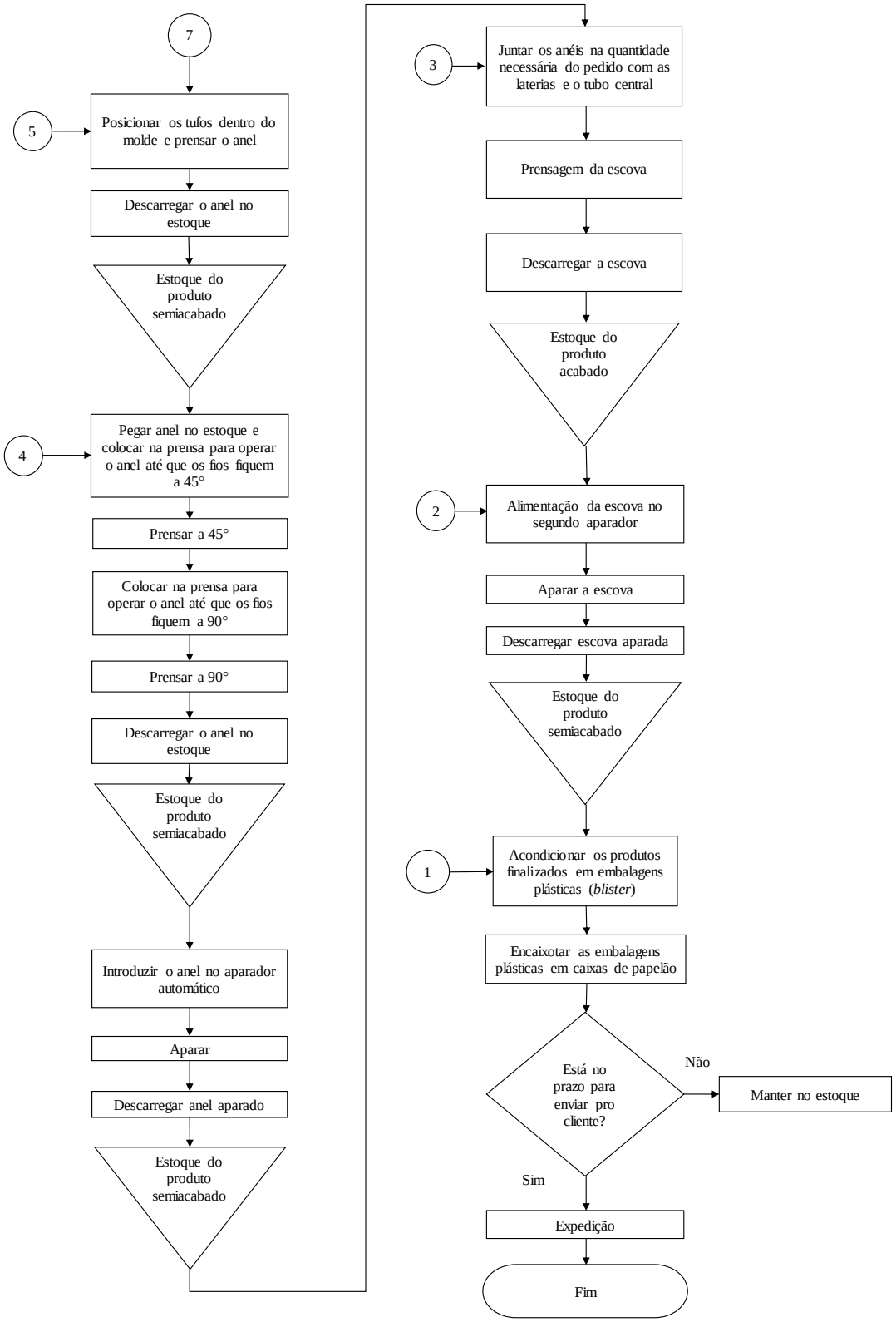
Figura 5 - Fluxograma da escova circular ondulada



Fonte: Autores, 2020

Continua

Figura 5 – Fluxograma da escova circular ondulada



Fonte: Autores, 2020

Como citado anteriormente, a empresa tem a possibilidade de produzir diferentes tipos de escovas. Importante salientar que, independentemente de mudanças no diâmetro do tubo central, espessura final (grossura) e tipo de arame ou bitola, a ordem do processo produtivo se mantém igual ao da Figura 5. As únicas diferenças são:

a) Corte do arame no tamanho especificado;

b) Quantidades de anéis colocadas na hora de serem prensadas.

As etapas do processo produtivo das escovas podem ser resumidas de acordo com a Tabela 3:

Tabela 3 - Etapas do processo produtivo separadas por locais

Operação	**Local**
Ondulação do fio para formação do chicote	Onduladeira
Corte do chicote em tufos de tamanho especificado	Serra
Montagem do anel com os tufos cortados na etapa anterior	Bancada 1
Prensagem do anel em 45º e em 90º	Prensa 1
Aparação do anel para retirar rebarbas e nivelar a lateral	Aparadeira 1
Prensagem dos anéis para transformar em escovas	Prensa 2
Aparação da escova para acabamento	Aparadeira 2
Embalar as escovas em *blister*	Bancada 2
Embalar 20 escovas em *blister* por caixa de papelão	Bancada 2

Fonte: Autores, 2020

4.4 APURAÇÃO DOS TEMPOS DE PRODUÇÃO

Não existe um registro formal, por parte da Abrasfer, sobre os tempos de produção das escovas em catalogo. Visando obter tais dados, com base no fluxograma desenvolvido, planejou-se um método que poderia certificar a validade científica das medições. Fundamentado na teoria de cronometragens de tempos, ao menos dez medições para cada etapa do processo seriam realizadas e posteriormente à computação dos dados, se verificaria a média de cada conjunto de amostras e a porcentagem de erro atribuída em cada uma das etapas.

Prioriza-se trabalhar com os valores médios para mitigar os efeitos humanos advindos das cronometragens. Dessa forma, sob a ótica da modelagem, considera-se somente, as novas grandezas calculadas como dados de entrada da simulação. Ocasionalmente, associada a aferição dos tempos, é comum trabalhar com valores de erros relativos entre 5% e 10%, o que provém a validação estatística das amostras obtidas.

A expressão que rege o cálculo do erro relativo é:

$$Er = \frac{z \times R}{d2 \times \bar{x} \times \sqrt{n}}$$

Onde n representa o número de ciclos cronometrados, nesse caso específico 10. A letra z retrata o coeficiente da distribuição normal padrão para a probabilidade estipulada de 95%, R é a amplitude da amostra, d_2 é o coeficiente em função da quantidade de cronometragens realizadas e, finalmente, $\overline{x}$ é a média da amostra. Desse modo, ao introduzir os dados referentes a cada estágio, constituem-se valores de erro, dispostos na Tabela 4.

Observa-se que a maioria das etapas cronometradas atendem ao que foi convencionado anteriormente. A única etapa que ultrapassou a marca de 10% de erro foi a prensagem dos fios até o ângulo de 90 graus (operação 12), pois constatou-se uma inconsistência na ordem em que o operador realizava a etapa, gerando assim o maior erro relativo entre todos os observados. Apesar de estar acima do erro determinado como máximo, a operação cronometrada não ocorre de forma recorrente para o produto escolhido devido a rotatividade dos produtos existentes e a baixa previsibilidade da demanda. Portanto, o valor não afetou os resultados, mesmo estando um pouco acima do limite estipulado.

Salienta-se que os locais com a inicial B, presentes na Tabela 4, referem-se aos *buffers*. Por exemplo, na operação 7, onde o ato de descarregar o arame ondulado no estoque B2 remete a um local cuja função é de estoque intermediário. Esse armazenamento é feito ao lado do colaborador, próximo à máquina. Os *buffers* com final “1” são posicionados ao lado das operações seguintes e, nesse trabalho, foram referidos como *buffers* secundários. As alusões de movimentação de estoque entre máquinas foram definidas, como na operação 19, o transporte de peças de B5 para B51.

Tabela 4 - Tempos cronometrados em cada operação

Etapa	Operação	Descrição da operação	Tempos de cronometragem (s)												
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Amplitude	Erro
Ondulação do fio	1	Transportar carretéis de arames do almoxarifado para B1	59,28	51,52	59,03	53,1	57,23	52,12	56,45	52,04	55,11	55,01	55,09	7,76	2,84%
	2	Transportar carretéis de arames de B1 para onduladeira	101,9	100,5	99,68	105,4	102,01	101,6	101	102,5	103,2	102,7	102,05	5,73	1,13%
	3	Ajuste de dispositivo para inicio da atividade	44,84	38,96	40,37	44,46	43,8	41,12	43,13	49,17	43,18	45,2	43,42	10,21	4,73%
	4	Fixar o arame no dispositivo de ondulação	18,52	13,9	21,32	16,67	18,41	17,33	20,21	15,52	14,75	17,23	17,39	7,42	8,59%
	5	Ondular arame	258,2	261,9	258,8	260,9	259,41	262,4	262,7	260,6	262,6	264,5	261,19	6,3	0,49%
	6	Afrouxar o dispositivo	62,24	53,37	58,27	52,31	54,99	51,58	53,76	51,85	53,97	51,25	54,36	10,99	4,07%
	7	Descarregar o arame ondulado no estoque B2	2,03	2,18	1,88	2,09	2,1	1,92	1,97	2,06	2,07	1,99	2,03	0,3	2,98%
Corte do chicote	8	Alimentar a operação de corte com o arame (B21 para serra de corte)	20,09	20,86	21,69	21,89	20,03	20,13	23,4	21,2	23,25	20,06	21,26	3,37	3,19%
	9	Corte do arame em tufos no tamanho especificado	8,03	9,66	8,59	9,93	7,83	8,82	9,68	9,37	8,65	9,08	8,96	2,1	4,72%
	10	Descarregamento dos tufos no posto de montagem do anel (B3 para B31)	7,59	8,15	7,92	7,58	7,39	7,83	7,54	7,36	6,96	7,33	7,57	1,19	3,17%
Montagem do anel	11	Posicionar os tufos dentro do molde e prensar o anel	23,88	23,88	24,36	25,44	21,68	22,05	22,29	24,86	21,58	21,71	23,17	3,86	3,35%
	12	Descarregar o anel no estoque B4	1,91	2,1	1,5	1,93	1,84	1,72	1,92	1,88	2,3	1,97	1,91	0,8	8,45%
	13	Transportar as peças de B4 para B41	13,43	11,92	11,21	10,53	11,39	11,43	12,5	11,31	11,83	10,26	11,58	3,17	5,51%
Prensagem do anel em 45º e em 90º	14	Pegar anel no estoque e colocar na prensa para operar o anel até que os fios fiquem a 45°	4,09	4,7	3,79	4,1	4,28	4,91	4,63	4,51	4,15	4,44	4,36	1,12	5,17%
	15	Prensar a 45°	5,46	5,7	5,8	5,47	5,89	5,62	5,27	5,41	5,43	5,36	5,54	0,62	2,25%
	16	Colocar na prensa para operar o anel até que os fios fiquem a 90°	3,83	3,49	3,7	3,4	3,67	4,71	2,94	2,87	2,89	3,49	3,50	1,84	10,59%
	17	Prensar a 90°	5,31	4,75	5,11	5,37	5,05	4,83	5,26	4,94	5,23	5,12	5,10	0,62	2,45%
	18	Descarregar o anel no estoque B5	1,57	1,5	1,58	1,7	1,64	1,58	1,34	1,66	1,78	1,79	1,61	0,45	5,61%
	19	Transportar as peças de B5 para B51	15,09	14,1	16,92	15,49	16,02	16,18	15,65	17,49	16,87	15,7	15,95	3,39	4,28%
Aparação do anel	20	Introduzir o anel no aparador automático	2,51	2,78	2,21	2,87	2,74	3,19	3,44	3,05	2,45	3,08	2,83	1,23	8,75%
	21	Aparar	3,49	3,32	3,52	3,86	3,12	2,63	3,27	3,36	3,21	3,22	3,30	1,23	7,51%
	22	Descarregar anel aparado no B6	1,47	1,35	1,28	1,28	1,2	1,63	1,25	1,34	1,15	1,24	1,32	0,48	7,33%
	23	Transportar as peças de B6 para B61	15,04	14,13	16,52	16,42	15,64	17,34	15,45	18,18	16,56	16,01	16,13	4,05	5,06%
Prensagem da escova	24	Juntar os anéis na quantidade necessária do pedido com as laterais e o tubo central	28,22	30,51	29,43	22,49	22,35	19,99	23,66	26,79	21,73	22,28	24,75	10,52	8,56%
	25	Prensagem da escova	15,74	14,45	17,69	14,19	14,01	14,56	14,57	14,82	14,67	17,85	15,26	3,84	5,07%
	26	Descarregar a escova em B7	3,01	2,57	3,3	3,5	3,78	3,39	2,75	3,03	2,92	3,44	3,17	1,21	7,69%
	27	Transportar as peças de B7 para B71	30,2	30,25	30,15	29,89	30,51	30,31	30,09	30,21	30,44	29,96	30,20	0,62	0,41%
Aparação da escova	28	Alimentação da escova no segundo aparador	5,25	4,98	4,88	5,99	6,04	5,79	5,26	5,91	5,74	4,61	5,45	1,43	5,29%
	29	Aparar a escova	49,15	47,46	61,54	52,72	59,03	58,32	62,86	62,08	56,39	54,09	56,36	15,4	5,50%
	31	Descarregar escova aparada em B8	3,93	3,12	2,86	3,81	2,45	3,8	3,26	2,94	2,51	2,81	3,15	1,48	9,46%
	32	Transportar as peças de B8 e B81	21,92	22,36	22,87	22,01	21,57	21,44	22,12	22,91	22,23	22,71	22,21	1,47	1,33%
Embalagem Plástica (*blister*)	33	Acondicionar os produtos finalizados em embalagens plásticas (*blister*)	19,95	21,4	20,86	22,32	20,5	22,08	18,24	17,82	20,49	17,99	20,17	4,5	4,49%
	34	Descarregar escova embalada em B9	0,98	1,03	1,08	0,93	0,95	1,04	1,05	1,1	1,07	0,98	1,02	0,17	3,35%
	35	Transportar as peças de B9 para B91	0,74	0,75	0,8	0,76	0,74	0,73	0,82	0,71	0,68	0,8	0,75	0,14	3,74%
Embalagem em Papelão (caixas)	36	Encaixotar as embalagens plásticas	103	110,1	102,5	107,1	108,11	109,6	98,32	100,6	97,97	88,97	102,64	21,17	4,15%

Fonte: Autores, 2020

4.5 DISTÂNCIAS ENTRE LOCAIS

Para fomentar maiores níveis de realidade para o modelo, as distâncias entre os locais foram medidas. Essa métrica, pertinente ao ambiente produtivo, não havia sido registrada previamente pela empresa. A seguir, a Tabela 5 apresenta os valores de distância entre locais sequenciais.

Tabela 5 - Distâncias entre locais

Local 1	**Local 2**	**Distância entre locais (m)**
Almoxarifado	B1	31,1
B1	Onduladeira	4,35
Onduladeira	B2	0
B2	B21	2
B21	Corte do Chicote	2,27
Corte do Chicote	B3	0
B3	B31	6,85
B31	Montagem do Anel	0
Montagem do Anel	B4	0
B4	B41	5,4
B41	Prensagem do Anel	0
Prensagem do Anel	B5	0
B5	B51	7,68
B5	Aparação do Anel	0
Aparação do Anel	B6	0
B6	B61	5,3
B61	Prensagem da Escova	0
Prensagem da Escova	B7	0
B7	B71	2,3
B71	Aparação da Escova	0
Aparação da Escova	B8	0
B8	B81	11,38
B81	Embalagem Plástica (*blister*)	0
Embalagem Plástica (*blister*)	B9	0
B9	B91	0
B91	Embalagem em Papelão (caixas)	0
Buffer Tubo Industrial	Anel	0
Buffer Tubo Trefilado	Prensa Escova	0
Buffer Lateral	Prensa Escova	0
Buffer blister	Embalagem Plástica	0
Buffer Caixa Papelão	Embalagem Papel	0

Fonte: Autores, 2020

4.6 CAPACIDADE DOS LOCAIS

Em uma das visitas realizadas à Abrasfer, foi requisitado, ao gestor da companhia, informações sobre a capacidade dos locais, que são quaisquer lugares de processamento e armazenamento em um sistema. Esse dado endossa a preocupação em retratar, de maneira fiel, a realidade da companhia. Com a colaboração do administrador do negócio, constituiu-se a Tabela 6, que reúne a quantidade de peças máxima por local. Os locais estão distribuídos entre *buffers*, denominados com a letra "B" e máquinas onde ocorrem os processos produtivos.

Tabela 6 - Capacidade dos locais

Locais	**Capacidade em peças**
B1	36
Onduladeira	2
B2	40
B21	40
Corte do Chicote	1
B3	26
B31	104
Montagem do Anel	4
B4	300
B41	300
Prensagem do Anel	2
B5	300
B51	300
Aparação do Anel	2
B6	300
B61	50
Prensagem da Escova	2
B7	300
B71	50
Aparação da Escova	1
B8	1500
B81	40
Embalagem Plástica (*blister*)	1
B9	40
B91	40
Embalagem em Papelão (caixas)	20
Buffer Tubo Industrial	300
Buffer Tubo Trefilado	200
Buffer Lateral	500
Buffer Blister	240
Buffer Caixa Papelão	20

Fonte: Autores, 2020

4.7 MODELAGEM

Para realização da modelagem conceitual do cenário base, adotaram-se as seguintes premissas:

a) Considera-se o ambiente de trabalho sendo *make to stock* (MTS), priorizando a produção em massa das escovas, por elas terem alta demanda;
b) Os tempos de movimentação foram contemplados no modelo sem a utilização de recursos humanos, apesar de eles existirem no ambiente físico;
c) Descartou-se a hipótese de peças não conformes;
d) Assumiu-se que existe uma fonte infinita de matéria prima, não interferindo em qualquer abastecimento de peça;
e) Os tempos de *setup* foram desconsiderados por acontecerem somente uma vez e serem desprezíveis quando comparados ao tempo de processamento de lote.

4.7.1 Modelo conceitual

Inicialmente, criou-se um itinerário contendo os locais e suas devidas descrições. Essa ação visa facilitar a elaboração do modelo conceitual da linha de escovas onduladas. A Tabela 7 apresenta essas descrições.

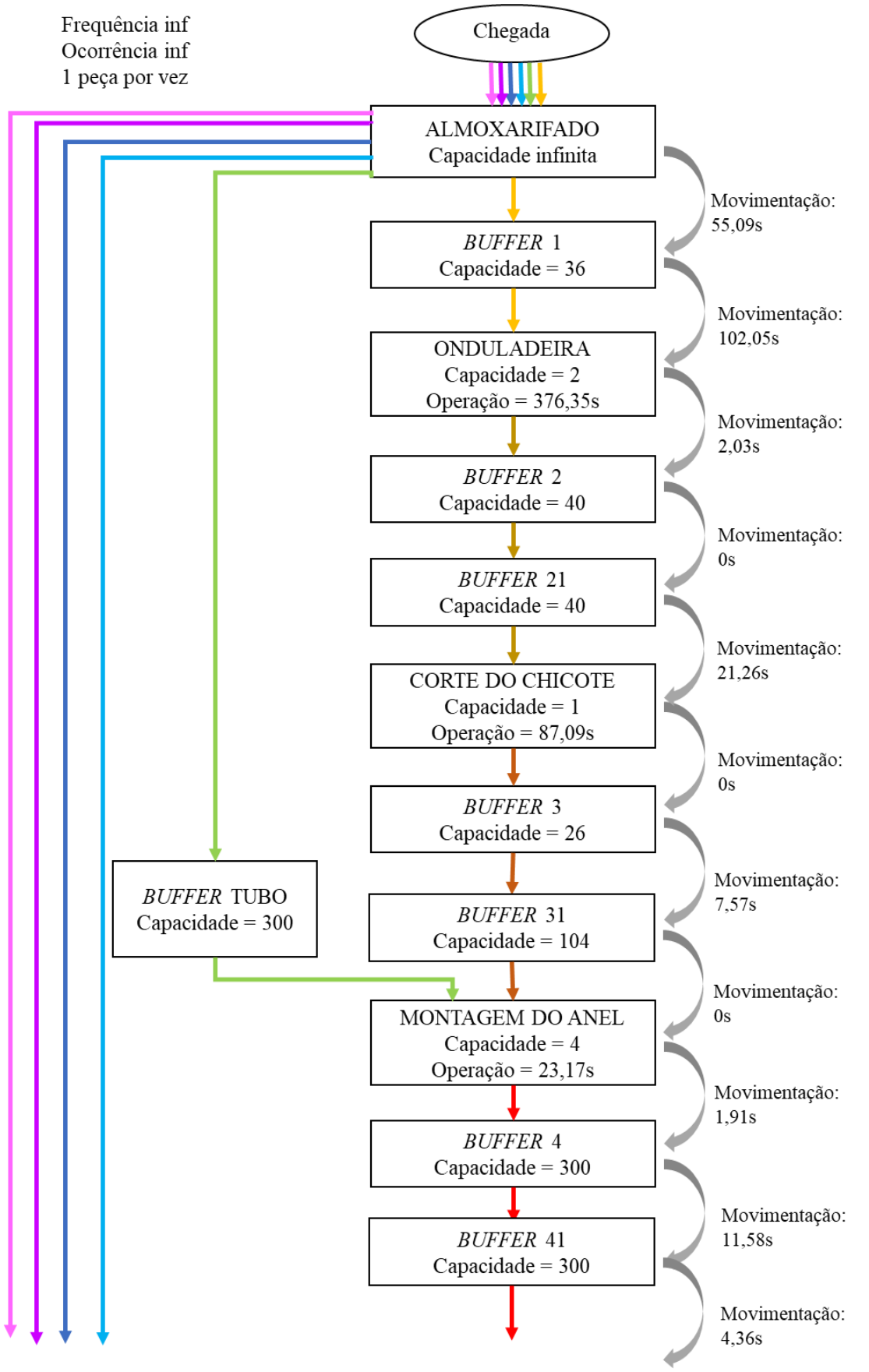
Tabela 7 - Descrição dos locais

Locais	**Descrição**
Almoxarifado	Estoque da fábrica
B1	*Buffer* de arames
Onduladeira	Máquina de ondular o arame
B2	*Buffer* de chicotes
B21	*Buffer* de chicote ao lado do corte do chicote
Corte do Chicote	Corte de chicotes
B3	*Buffer* de tufos
B31	*Buffer* de tufos ao lado da montagem do anel na bancada 1
Montagem do Anel	Montagem do Anel
B4	*Buffer* de anéis
B41	*Buffer* de anéis ao lado da prensa 1
Prensagem do Anel	Prensagem do anel em 45º e 90º
B5	*Buffer* de anéis prensados
B51	*Buffer* de anéis prensados ao lado da aparação do anel na aparadeira 1
Aparação do Anel	Aparação do anel
B6	*Buffer* de anéis aparados
B61	*Buffer* de anéis aparados ao lado da prensa 2
Prensagem da Escova	Prensagem de anéis para formação da escova
B7	*Buffer* de escovas
B71	*Buffer* de escovas ao lado da aparação da escova na aparadeira 2
Aparação da Escova	Aparação da escova para acabamento
B8	*Buffer* de escovas aparadas
B81	*Buffer* de escovas aparadas ao lado etapa de embalagem no *blister* na bancada 2
	Embalagem de escovas no *blister*
B9	*Buffer* de escovas embaladas com *blister*
B91	*Buffer* de escovas embaladas com *blister* ao lado das caixas de papelão
Embalagem em Papelão (caixas)	Embalagem de escovas na caixa de papelão
Buffer Tubo Industrial	*Buffer* de tubos industriais
Buffer Tubo Trefilado	*Buffer* de tubos trefilados
Buffer Lateral	*Buffer* de laterias
Buffer Blister	*Buffer* de *blister* (embalagem plástica)
Buffer Caixa Papelão	*Buffer* de caixas de papelão

Fonte: Autores, 2020

Sustentado pela descrição dos locais e por todos os demais dados de entrada, concebe-se o modelo conceitual disposto na Figura 6.

Figura 6 - Modelo conceitual do processo fabril da escova circular ondulada



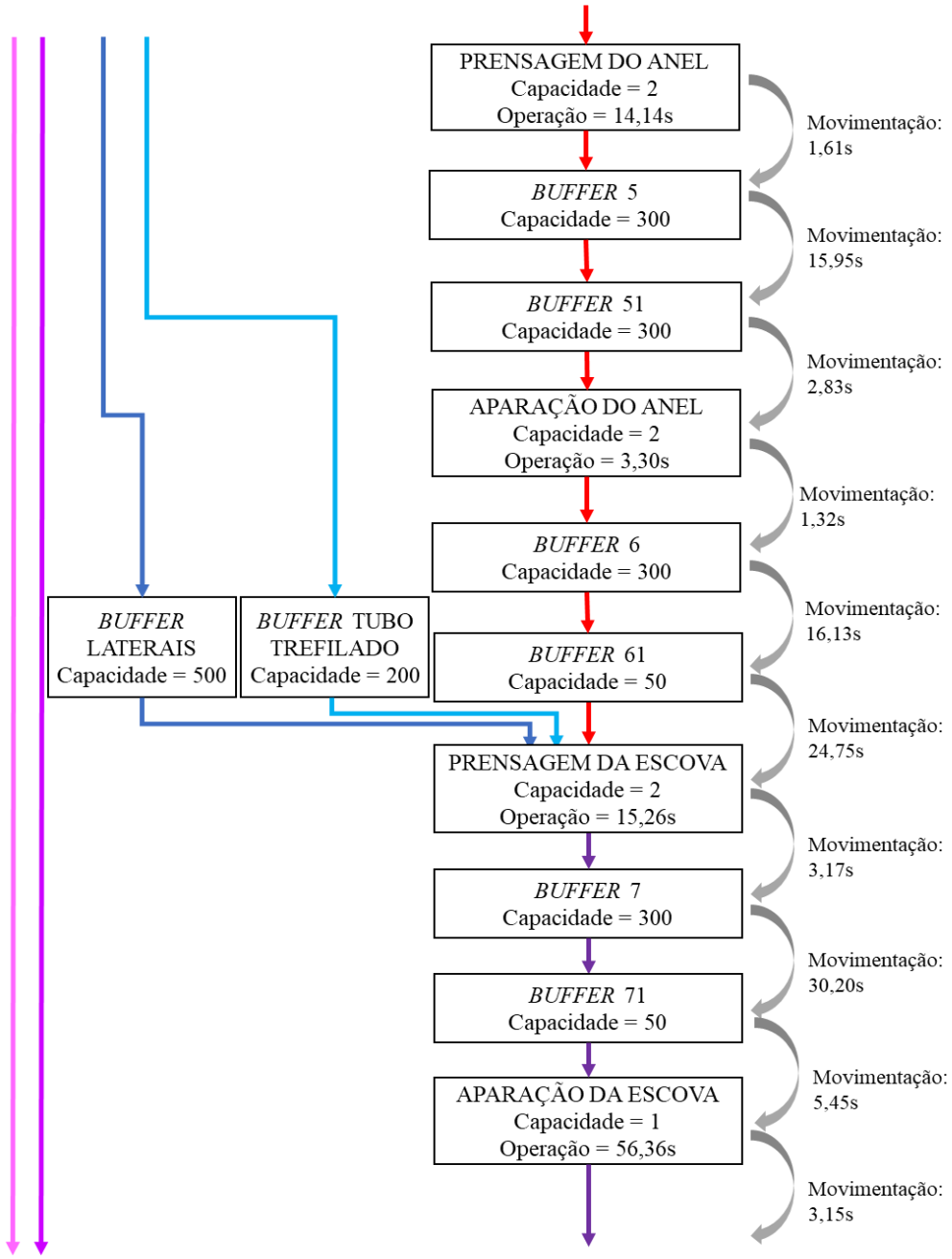
Fonte: Autores, 2020

Continua

Legenda:

- Arame
- Chicote
- Tufos
- Anel
- Escova
- Tubo
- Tubo trefilado
- Laterais
- *Blister*
- Caixa de papelão

Figura 6 – Modelo conceitual do processo fabril da escova circular ondulada



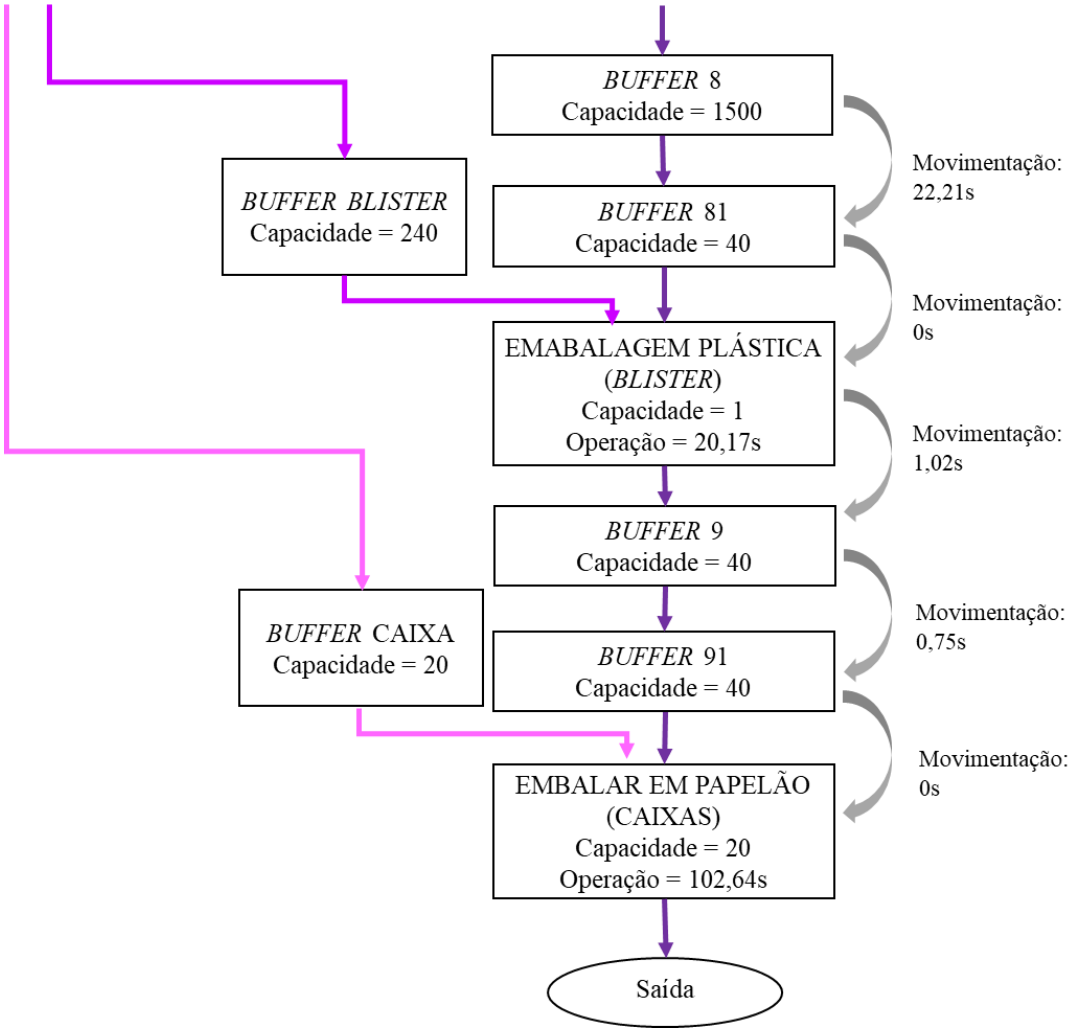
Fonte: Autores, 2020

Continua

Legenda:

- Arame
- Chicote
- Tufos
- Anel
- Escova
- Tubo
- Tubo trefilado
- Laterais
- *Blister*
- Caixa de papelão

Figura 6 – Modelo conceitual do processo fabril da escova circular ondulada



Fonte: Autores, 2020

Legenda:

- Arame
- Chicote
- Tufos
- Anel
- Escova
- Tubo
- Tubo trefilado
- Laterais
- *Blister*
- Caixa de papelão

É importante mencionar que houve um ajuste em alguns tempos de operação no modelo conceitual. O primeiro deles é pertencente a etapa de ondulação do fio, cujo resultado é obtido através da somatória das operações: ajuste de dispositivo para início da atividade, fixar o arame no dispositivo de ondulação, ondular arame e afrouxar o dispositivo. Dessa forma, foi realizada a seguinte somatória para o tempo de ondulação do arame:

$$Tempo\ de\ ondulação\ do\ arame = 43{,}42s + 17{,}39s + 261{,}19s + 54{,}36s = 376{,}35s$$

O segundo tempo alterado ocorre na etapa de corte do chicote, na operação do corte do arame em tufos no tamanho especificado. Esses tempos foram cronometrados para quatro cortes de tufos, como medida de prevenção de erros, uma vez que a operação é muito rápida. Além disso, os outros tempos dessa etapa foram determinados considerando como parâmetro o chicote inteiro. Portanto, para equiparar o tempo da operação do corte do arame em tufos no tamanho especificado com as outras operações, deve-se fazer o seguinte cálculo:

$$Tempo\ para\ corte\ dos\ tufos = \frac{8{,}96s}{4\ tufos}\ x\ \frac{26\ tufos}{chicote} = \frac{58{,}24s}{chicote}$$

O resultado obtido foi somado com os outros tempos na etapa de corte do chicote:

$$Tempo\ para\ corte\ do\ chicote = 21{,}26s + 58{,}24s + 7{,}57s = 87{,}07s$$

O último tempo a ser convertido é na etapa de prensagem do anel em 45° e em 90°. Esse fato aconteceu devido a operação de prensagem transcorrer em duas etapas, fazendo com que

o tempo apresentado no modelo seja a somatória das etapas de prensar a 45°, colocar na prensa para operar o anel até que os fios fiquem a 90° e prensar a 90°. O cálculo se dá por:

$$Tempo\ para\ prensagem\ do\ anel = 5{,}54s + 3{,}50s + 5{,}10s = 14{,}14\text{s}$$

Após a criação do modelo conceitual e a adaptação dos tempos faz-se exequível a caracterização computacional deste. No tópico conseguinte, aborda-se essa vertente do trabalho.

4.7.2 Modelo computacional

O cenário base da linha de escovas circular ondulada da Abrasfer foi modelada no *software Plant Simulation*. Este *software* é elaborado e fornecido pela empresa Siemens e permite a simulação, visualização e análise de sistemas de produção. O uso do *software*, não apenas permite que os usuários realizem experimentos e cenários hipotéticos sem interferir no sistema de produção existente, mas também pode ser usado no processo de planejamento, que antecede a instalação real do sistema. Extensas análises, estatísticas e ferramentas gráficas que o *software Plant Simulation* gera permitem que os usuários avaliem diferentes cenários de produção e tomem decisões rápidas e confiáveis nas fases iniciais do planejamento da produção.

Para as simulações dos modelos, foram apurados os tempos de pausa dos colaboradores a fim de se determinar o tempo total de simulação. O levantamento de dados retornou tal tempo como sendo de 7 horas e 20 minutos. Os 40 minutos restantes da jornada de trabalho de 8 horas são destinados a pausas para café e necessidades fisiológicas.

Os dados de tempo inseridos na simulação foram tomados pelas médias de cronometragens realizadas. Tais dados foram insuficientes para a formação de uma distribuição estatística e, portanto, foram inseridos tempos constantes no modelo.

Algumas alimentações do sistema como: *Buffer* Tubo Industrial, *Buffer* Tubo Trefilado, *Buffer* Lateral, *Buffer Blister* e *Buffer* Caixa Papelão foram dimensionadas como infinitas por não fazerem parte do escopo do trabalho. Isso se justifica pelo fato de serem oriundas de uma linha de produção paralela e, portanto, não foram apresentados os resultados relativos a elas.

4.7.2.1 Cenário base

A fim de obter uma referência para as modificações propostas, foi construído o cenário base com os dados de tempos de operação, movimentação e distâncias entre locais reais da linha de produção da empresa, conforme observado no Anexo A. Este cenário possibilitou a comparação dos cenários criados com modificações em alguns parâmetros que eventualmente trariam melhorias para a linha de produção.

As linhas de fabricação na empresa trabalham com fluxo de produção em lotes de tamanhos variados, com objetivo final de armazenar as peças em estoques de produtos semiacabados. A medição real de saídas na estação de montagem do anel foi aproximadamente de 770 peças como produção diária. Essa taxa pode sofrer uma variação na produtividade, uma vez que se trata de um processo 100% manual. Por se tratar de uma produção de escovas sob demanda, as saídas de peças embaladas, ao final do dia, acabam sendo variadas conforme as ordens de venda. Tal fato, torna a medição de peças na etapa de embalagem das escovas em caixas inconstante, de forma que a própria empresa apresenta dificuldades na obtenção de tais dados. Portanto, o modelo foi validado a partir da etapa de montagem do anel. O cenário base de modelagem foi validado, uma vez que se obteve 793 peças como saída nessa mesma etapa de produção. Para aproximar o modelo ainda mais da realidade, foram colocadas quantidades iniciais de peças nos estoques de peça semiacabadas. Tais parâmetros podem ser observados na Tabela 8.

Ao final da simulação, atingiu-se uma produção de 420 escovas embaladas prontas para serem despachadas, distribuídas em 21 caixas de papelão, uma vez que uma caixa de papelão acomoda 20 escovas embaladas em *blister*.

Notou-se que a estação da onduladeira permaneceu o tempo inteiro da simulação em operação, tornando-se assim o gargalo da linha de produção. Já as etapas posteriores à montagem do anel, com exceção da prensagem da escova, mantiveram-se a maior parte do tempo ociosas.

Devido à produção ser executada em lotes, ao final da simulação, restaram peças nos estoques intermediários aguardando o lote ser completamente abastecido para sua movimentação em direção a próxima estação, acarretando níveis elevados de ocupação relativa dos *buffers*. O número de produtos semiacabados nos estoques intermediários totalizou 565 peças.

Ao comparar tais parâmetros com a linha de produção real, comprova-se que o modelo simulado se assemelha à realidade pelo alto volume nos estoques intermediários.

Tabela 8 - Parâmetros e resultados do cenário base

Cenário Base Em lotes							
			Buffers			**Máquinas**	**Saídas**
Locais	Capacidade *buffer*	Quantidade inicial	Lote	Ocupação relativa	Número de peças ao final da simulação	Porcentagem de ocupação	Saídas acumuladas de peça por local
Almoxarifado							36
B1	36	0	36	77,78%	28		8
Onduladeira						100,00%	138
B2	40	0	2	0,00%	0		138
B21	40	3		14,86%	13		128
Corte do Chicote						41,99%	3302
B3	26	0	26	84,07%	26		3276
B31	104	0		83,54%	104		3172
Montagem do Anel						75,34%	793
B4	300	0	300	45,29%	193		600
B41	300	300		12,71%	0		900
Prensagem do Anel						25,59%	900
B5	300	0	300	12,89%	0		900
B51	300	100		13,12%	0		1000
Aparação do Anel						28,22%	1000
B6	300	0	50	21,39%	100		900
B61	50	20		36,56%	26		894
Prensagem da Escova						72,94%	446
B7	300	0	50	6,96%	46		400
B71	50	50		26,57%	0		450
Aparação da Escova						55,36%	450
B8	1500	0	40	0,98%	10		440
B81	40	20		18,10%	10		450
Embalagem Plástica (*blister*)						37,31%	449
B9	40	0	40	49,24%	9		440
B91	40	0		2,14%	0		440
Embalagem em Papelão (caixas)						8,53%	21

Fonte: Autores, 2020

4.7.2.2 Cenário 1 – Movimentação em lotes redimensionados

Para o primeiro cenário de modificações, foi realizado um dimensionamento dos lotes de movimentação dos *buffers*, por tentativa e erro. Nesse cenário, foram colocadas as mesmas quantidades iniciais de peças nos *buffers*, e suas capacidades não foram alteradas, em relação ao cenário base. Os lotes entre as etapas de montagem do anel e prensagem do anel, entre as etapas de prensagem do anel e aparação do anel e entre as etapas de embalagem foram diminuídos com o intuito de aumentar a produção. Observa-se tais mudanças no Anexo B.

Ao final da simulação, atingiu-se uma produção de 540 escovas embaladas prontas para serem despachadas, distribuídas em 27 caixas de papelão.

O rearranjo do tamanho dos lotes permitiu que as máquinas passassem a ficar menos tempo ociosas e, ao mesmo tempo, reduziu o número total de produtos semiacabados nos estoques intermediários de 565 peças, referente ao cenário base, para 307 peças.

Consequentemente, esse fato ocasionou uma redução da porcentagem de ocupação relativa dos *buffers*. Percebeu-se, ainda, que a onduladeira, de acordo com as porcentagens de ocupação das máquinas permaneceu como o gargalo da linha produtiva. Os valores anteriormente citados podem ser encontrados na Tabela 9.

Tabela 9 - Parâmetros e resultados do cenário 1

Cenário 1 **Movimentação em lotes redimensionados**							
	Buffers					**Máquinas**	**Saídas**
Locais	Capacidade *buffer*	Quantidade inicial	Lote	Ocupação relativa	Número de peças ao final da simulação	Porcentagem de ocupação	Saídas acumuladas de peça por local
Almoxarifado							36
B1	36	0	36	77,78%	28		8
Onduladeira						100,00%	138
B2	40	0	2	0,00%	0		138
B21	40	3		14,86%	13		128
Corte do Chicote						41,99%	3302
B3	26	0	26	84,07%	26		3276
B31	104	0		83,54%	104		3172
Montagem do Anel						75,34%	793
B4	300	0	40	6,97%	34		759
B41	300	300		5,74%	0		1059
Prensagem do Anel						30,08%	1058
B5	300	0	40	3,19%	0		1058
B51	300	100		3,39%	0		1158
Aparação do Anel						32,68%	1158
B6	300	0	50	42,72%	8		1150
B61	50	20		46,91%	24		1146
Prensagem da Escova						93,63%	572
B7	300	0	50	8,22%	22		550
B71	50	50		32,81%	10		560
Aparação da Escova						68,83%	558
B8	1500	0	40	1,23%	38		520
B81	40	20		21,46%	0		540
Embalagem Plástica (*blister*)						44,87%	540
B9	40	0	20	21,31%	0		540
B91	40	0		0,00%	0		540
Embalagem em Papelão (caixas)						10,50%	27

Fonte: Autores, 2020

4.7.2.3 Cenário 2 – Sem buffers e com movimentação em fluxo contínuo

No segundo cenário de modificações em relação ao cenário base, os *buffers* secundários foram retirados. Foi estabelecido que os *buffers* principais, com exceção do B2 e B3, apresentassem sua capacidade igual a 1 unidade, permitindo o transporte de apenas 1 peça por vez no processo. Os *buffers* foram utilizados como recursos de simulação, pelo fato de que não foi possível retirar os *buffers* da modelagem, uma vez que o *software* não aceita a criação de peças diretamente na máquina seguinte por meio de método, que é um código programado com linguagem *simtalk* (específica ao *software Plant Simulation*) dentro do *software.*

Independentemente deste fato, a linha modelada com movimentação de peça unitária equipara-se a linha de produção sem *buffers*. As exceções comentadas (B2 e B3) não seguiram a mesma regra, pois a saída de peça das estações anteriores, onduladeira e corte do chicote, possuem saída de peça igual a 2 e 26 peças, respectivamente, fato que não altera a movimentação unitária das peças ou a concepção do cenário sem *buffer*. O fato de os *buffers* serem configurados com capacidade unitária, o cenário foi impossibilitado de iniciar a simulação com peças semiacabadas. Retratou-se as mudanças, no *software Plant Simulation*, no Anexo C.

Ao término da simulação, alcançou-se uma produção de 280 escovas embaladas em *blister* em 14 caixas de papelão.

Foi possível observar que as porcentagens de ocupação das máquinas, em relação ao cenário base, foram mais elevadas, devido ao fluxo contínuo estipulado nesta modelagem do cenário 2, o que permitiu que as peças chegassem mais rapidamente às máquinas. Ainda sobre tal parâmetro, as porcentagens de ocupação das máquinas permitiram a análise de que a etapa da onduladeira é o gargalo da linha de produção. Os parâmetros abordados acima podem ser encontrados na Tabela 10.

Tabela 10 - Parâmetros e resultados do cenário 2

Cenário 2 Sem *buffer* Fluxo contínuo						
		Buffers			**Máquinas**	**Saídas**
Locais	Capacidade *buffer*	Quantidade inicial	Ocupação relativa	Número de peças ao final da simulação	Porcentagem de ocupação	Saídas acumuladas de peça por local
Almoxarifado						36
B1	1	0	77,78%	0		8
Onduladeira					100,00%	90
B2	2	0	66,26%	2		90
B21	-	0	-	-		-
Corte do Chicote					29,69%	2314
B3	26	0	52,74%	2		2312
B31	-	0	-	-		-
Montagem do Anel					80,25%	577
B4	1	0	0,00%	0		577
B41	-	0	-	-		-
Prensagem do Anel					33,78%	576
B5	1	0	25,72%	0		576
B51	-	0	-	-		-
Aparação do Anel					51,45%	576
B6	1	0	8,13%	0		576
B61	-	0	-	-		-
Prensagem da Escova					79,79%	287
B7	1	0	0,00%	0		287
B71	-	0	-	-		-
Aparação da Escova					47,22%	286
B8	1	0	11,88%	0		286
B81	-	0	-	-		-
Embalagem Plástica (*blister*)					23,69%	285
B9	1	0	0,00%	0		285
B91	-	0	-	-		-
Embalagem em Papelão (caixas)					5.44%	14

Fonte: Autores, 2020

4.7.2.4 Cenário 3 – Com esteiras e com movimentação em fluxo contínuo

O terceiro cenário foi modelado, conforme Anexo D, com a proposta de remover a movimentação dos operários na fábrica com a implementação de esteiras automatizadas. As esteiras escolhidas para modelagem no *software Plant Simulation* possuem velocidade de 0,5m/s, pois representa uma velocidade média das esteiras encontradas no mercado, e suas dimensões são baseadas nas distâncias reais da planta fabril da empresa abordadas anteriormente nesse trabalho. Para esse tipo de modelagem, o fluxo de produção deve ser contínuo, uma vez que as peças são produzidas e já enviadas para a próxima etapa do processo. As quantidades iniciais nos *buffers* foram zeradas, pois observou-se que no final da simulação não restaram peças nos estoques intermediários.

Ao final da simulação, a produção de escovas totalizou 360 escovas embaladas em *blister* alocadas em 18 caixas de papelão.

O fluxo contínuo proporcionado pela implementação das esteiras permitiu com que as estações de trabalho apresentassem uma ocupação maior do que observada no cenário base. O número total de produtos semiacabados nos estoques intermediários, ao fim da simulação, somou 163 peças, número muito inferior ao obtido no cenário base. Simultaneamente, a porcentagem relativa de ocupação dos *buffers* foi baixa, exceto pelo *buffer* que antecede a montagem do anel. Com as porcentagens de ocupação das máquinas, observou-se que a onduladeira permaneceu sendo o gargalo da linha produtiva. Os parâmetros abordados podem ser observados na Tabela 11.

Tabela 11 - Parâmetros e resultados do cenário 3

Cenário 3 Com esteiras Fluxo contínuo						
	Buffers				**Máquinas**	**Saídas**
Locais	Capacidade *buffer*	Quantidade inicial	Ocupação relativa	Número de peças ao final da simulação	Porcentagem de ocupação	Saídas acumuladas de peça por local
Almoxarifado						36
B1	36	0	77,78%	28		8
Onduladeira					100,00%	138
B2	40	0	0,00%	0		138
B21	40	0	0,52%	0		138
Corte do Chicote					41,57%	3177
B3	26	0	33,06%	10		3167
Esteira 3		0	78,80%	19		3148
B31	104	0	91,14%	104		3044
Montagem do Anel					72,27%	760
B4	300	0	0,00%	0		760
Esteira 4		0	2,75%	0		760
B41	300	0	0,00%	0		760
Prensagem do Anel					21,61%	760
B5	300	0	0,00%	0		760
Esteira 5		0	2,78%	2		758
B51	300	0	0,03%	0		758
Aparação do Anel					21,39%	758
B6	300	0	0,00%	0		758
Esteira 6		0	2,74%	0		758
B61	50	0	0,00%	0		758
Prensagem da Escova					61,92%	378
B7	300	0	0,00%	0		378
Esteira 7		0	1,28%	0		378
B71	50	0	0,00%	0		378
Aparação da Escova					46,45%	376
B8	1500	0	0,00%	0		376
Esteira 8		0	1,39%	0		376
B81	40	0	0,37%	0		376
Embalagem Plástica (*blister*)					31,24%	376
B9	40	0	0,00%	0		376
B91	40	0	0,00%	0		376
Embalagem em Papelão (caixas)					7,00%	18

Fonte: Autores, 2020

4.7.2.5 Comparação entre cenários

Após a simulação dos cenários obteve-se os dados de saídas para os indicadores definidos. Com essas informações foi possível gerar um comparativo, tal como visto na Tabela 12.

Tabela 12 - Comparação entre cenários

Indicadores	Cenário Base Em lote	Cenário 1 Movimentação em lotes redimensionados	Cenário 2 Sem *buffer* Fluxo contínuo	Cenário 3 Com esteiras Fluxo contínuo
Saída de caixas com escovas	21	27	14	18
Quantidade de peças no início da simulação	493	493	0	0
Total de peças em *buffers* ao final da simulação	565	307	-	163
Média ponderada de ocupação dos *buffers*	14,7%	11,5%	-	3,5%

Fonte: Autores, 2020

Com uma análise relacionando os cenários modelados, foi possível observar que a saída de caixas de escovas do cenário 1 proposto foi de 27 caixas, maior do que a saída no cenário base, que havia sido 21 caixas. Já os cenários 2 e 3, concluíram a simulação com saídas menores de caixas, 14 e 18 respectivamente. Em termos absolutos, nota-se que o cenário 2 é o menos viável.

A média ponderada de ocupação dos *buffers* foi calculada ponderando as capacidades dos *buffers* e o número de peças que restaram nos mesmos ao final da simulação. Observou-se que o cenário base e o cenário 1 apresentaram uma ocupação de 14,7% e 11,5% respectivamente. Tais índices são maiores em comparação com o cenário 3, ou seja, esses modelos possuíram uma quantidade maior de recursos parados em estoque. Em compensação, o cenário 1, foi o que apresentou maior produtividade.

Além disso, percebeu-se que, em todos os casos, a onduladeira exprimiu uma maior porcentagem de ocupação e, portanto, demonstrou-se ser constantemente o gargalo da linha produtiva.

5 CONCLUSÃO

A realização do levantamento bibliográfico e do trabalho de campo na Abrasfer, investigando a linha de escovas onduladas, fomentou a inferência das seguintes conclusões:

a) A ausência de controle de métricas relacionadas à produção das escovas influencia negativamente o desempenho produtivo da empresa;
b) Um correto dimensionamento de lote acarreta em taxas menores de ociosidade de máquinas, fomentando maiores índices de produtividade;
c) Com o correto dimensionamento de lotes, promove-se um incremento no volume de saída de peças, gerando um aumento no faturamento proveniente da linha em questão;
d) Grandes lotes não são favoráveis para a empresa, uma vez que a mesma possui uma grande variedade de produtos na mesma linha de produção. Quanto maior o tamanho do lote, mais peças restarão nos estoques semiacabados e, para tal variedade de itens, seriam necessários diversos estoques intermediários, o que ocuparia um espaço significativo na fábrica;
e) A presença de *buffers* reduz o efeito da máquina gargalo, pois permite que os postos de trabalho possam iniciar a produção no dia sem a necessidade de aguardar a chegada de peças, a partir da primeira etapa do processo.

A aplicação da simulação computacional é parte de uma nova estratégia proposta à companhia, em que se fez uso de critérios quantitativos para apoiar a tomada de decisão. Ao aplicar tal técnica, faz-se possível praticar uma administração mais assertiva e embasada em dados e fatos, excluindo intuições ou quaisquer outros elementos decisórios que não são fundamentados.

A evolução da modelagem foi desafiadora, tanto na etapa de criação do modelo conceitual quanto na tradução do mesmo para a linguagem do *software* escolhido. Primeiramente, a empresa não dispunha da grande maioria dos dados de entrada do problema, o que demandou um esforço em tarefas secundárias à realização do trabalho. Ainda, há uma curva de aprendizado ao lidar com o *software Plant Simulation*, implicando que a tecnologia não é de fácil manuseio.

Por meio desse estudo, gerou-se uma visão global da linha pesquisada ao administrador da Abrasfer. As contribuições, então, vêm em forma de legado. Instaura-se uma nova mentalidade de tomada de decisão, o que deve contribuir para um ganho de desempenho por

parte da empresa. A simulação de cenários transmite a ideia de que os objetivos desse trabalho foram atingidos.

Para futuros estudos, sugere-se a verificação da viabilidade financeira da utilização da estratégia proposta. A contribuição, com esse escopo de pesquisa, guiaria o administrador a tomar uma decisão considerando o investimento e seu possível retorno.

REFERÊNCIAS

ABRASFER. 2020. Disponível em: https://www.abrasfer.com.br/produto-01.php. Acesso em: 09/11/2020.

ABREU et al. Indústria 4.0: Como as Empresas Estão Utilizando a Simulação para se preparar para o Futuro. **Rev. Cienc. Exatas Tecnol**. v. 12, n. 12, p. 49-53, 2017.

AIRES, R. W.do A.; MOREIRA, F. K.; FREIRE, P. de S. Indústria 4.0: desafios e tendências para a gestão do conhecimento. **SUCEG - Seminário de Universidade Corporativa e Escolas de Governo**, [S.l.], v. 1, n. 1, p. 224-247, dec. 2017. ISSN 2594-7958. Disponível em: http://anais.suceg.ufsc.br/index.php/suceg/article/view/49. Acesso em: 20 abr. 2020.

AZEVEDO, M. M.; ALMEIDA, E. S. Balanceamento de uma linha de manufatura integrando análise gbo e simulação computacional: estudo de caso em uma empresa de linha branca. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**. Bauru, Ano 15, n. 1, p. 210-230, jan-mar, 2019.

BRYNJOLFSSON, E.; MCAFEE, A. **The second machine age:** work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies. Nova Iorque: W.W. Norton & Company. 2014. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4312922/mod_resource/content/2/Erik%20-%20The%20Second%20Machine%20Age.pdf. Acesso em: 10 out. 2020.

CAMARGO, Paula Larissa; SILVA, Heloisa de Puppi e. **Competitividade, estratégia e tecnologia**: um levantamento de termos correlatos no google trends. 2018. 16f. Programa de apoio a iniciação cientifica. FAE Centro universitário, Curitiba.

CHRYSSOLOURIS, G. et al**. Digital manufacturing: History, perspectives, and outlook.** Journal of Engineering Manufacture, v. 223, n. 5, p. 451-462, mai. 2009.

CHWIF, L. **Utilizando simulação de eventos discretos em projetos de sistemas automatizados de manufatura.** São Paulo, 2002.

CNI. Indústria 4.0: novo desafio para a indústria brasileira. **Portal da Indústria**, 2016. Disponível em: http://www.portaldaindustria.com.br/estatisticas/sondesp-66-industria-4-0/. Acesso em: 15 abr. 2020.

CNI. Oportunidades para a Indústria 4.0: Aspectos de demanda e oferta no Brasil. **Portal da Indústria**, 2017. Disponível em: https://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2018/2/oportunidades-para-industria-40-aspectos-da-demanda-e-oferta-no-brasil/. Acesso em: 23 abr. 2020.

CNI. Segurança Cibernética. **CNI Digital**, 2018. Disponível em: http://www.cnidigital.com.br/artigo/seguranca-cibernetica. Acesso em: 02 mai. 2020.

CNI. As invenções da 4ª revolução industrial: Uma análise dos dados de patentes no Brasil. **Portal da Indústria**, 2020. Disponível em: http://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2020/1/invencoes-da-4-revolucao-industrial-uma-analise-dos-dados-de-patentes-no-brasil/. Acesso em: 23 abr. 2020.

CORRÊA, J. E; MELLO, C. H. P; PEREIRA, T. F. Uso de simulação de eventos discretos para avaliação de uma linha de montagem de uma empresa do ramo automotivo e os impactos do fator humano. **E-LOCUÇÃO**. Ed. 6, Ano 3, p. 37-57, 2014.

DE CARLI, P. C.; DELAMARO, M. C.; SALOMON, V. A. P. **Identificação e priorização dos fatores críticos de sucesso na implantação de fábrica digital. Produção**, v. 20, n. 4, p. 549-564, 2010.

DUARTE, Adriana Yumi Sato. **Proposta de integração entre ferramentas de avaliação de ciclo de vida do produto e Indústria 4.0 (Industrie 4.0)**: estudo de caso da indústria têxtil e de confecção brasileira. 2017. 120 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/322461. Acesso em: 27 abr. 2020.

GAMA, E. B. **Benefícios obtidos na colaboração entre sistemas MES e sistemas de manufatura digital do PLM - diagnóstico**. 2011. 241 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2011.

GAMA, E. B.; COSTA, M. A. B. Benefícios obtidos com a integração dos sistemas MES e a manufatura digital do PLM. In: **Encontro nacional de engenharia de produção**, 29. 2009, Salvador. Salvador: ABEPRO, 2009. p. 31-40.

GASQUES et al. Sistemas de Informação em Pequenas Empresas: Uma Análise Teórica. In: X EEPA, 10. 2016, Campo Mourão. Campo Mourão: **Encontro de engenharia de produção agroindustrial**, 2016. p. 1-10.

GAVIRA, M. O. **Simulação computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento.** 2003. 163 f. Dissertação (Mestrado em engenharia de produção) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos.

GENNARO, C. K. et al. Aplicação da Simulação de Eventos Discretos para propostas de melhorias numa linha de montagem de uma empresa do setor automotivo. **Exacta – EP**, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 47-56, 2016.

GOMES et al. Adoção de tecnologia da informação como estratégia para melhorar o desempenho da gestão de micro e pequenas empresas. **Remipe**. Osasco, v. 5, n. 1, p.28-50, jan. 2019.

GOVERNO FEDERAL. Governo federal lança plano para alavancar indústria 4.0. **GOV.BR**, 2019. Disponível em: https://www.gov.br/economia/pt-br/assuntos/noticias/2019/09/governo-federal-lanca-plano-para-alavancar-industria-4.0. Acesso em: 15 abr. 2020.

GRIEVES, M. **Product lifecycle management:** driving the next generation of lean thinking. New York: McGraw-Hill, 2006.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0**: final report of the Industrie 4.0 Working Group. 2013. Disponível em: https://www.din.de/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf. Acesso em: 03 mai. 2020.

KUEHN, W. **Digital Factory- Integration of Simulation Enhancing the Product and Production Process Towards Operative Control and Optimisation**. I.J. of Simulation, vol. 7, n. 7, out. 2006.

IKEZIRI et al. **A perspectiva da indústria 4.0 sobre a filosofia de gestão Lean Manufacturing. Braz**. J. of Develop. Curitiba, v. 6, n. 1, p.1274- 1289 jan. 2020.

LIMA, A. G.; PINTO, G. S. **INDÚSTRIA 4.0**: um novo paradigma para a indústria. Revista Interface Tecnológica, v. 16, n. 2, p. 299-311, 21 dez. 2019. Disponível em: https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica/article/view/642/433. Acesso em: 14 abr. 2020.

LONGO, Luci; MEIRELLES, Fernando De Souza. IMPACTO DOS INVESTIMENTOS EM TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO NO DESEMPENHO FINANCEIRO DAS INDÚSTRIAS BRASILEIRAS. **REAd. Rev. eletrôn. adm. (Porto Alegre)**, Porto Alegre, v. 22, n. 1, p. 134-165, abr. 2016 . Disponivel em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-23112016000100134&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 28 abr. 2020.

MANYIKA, James et al. Harnessing automation for a future that works. **McKinsey Global Institute**, 12 jan. 2017. Disponível em: https://www.mckinsey.com/featured-insights/digital-disruption/harnessing-automation-for-a-future-that-works#. Acesso em: 10 out. 2020.

MIYAGI, Paulo E. Introdução a Simulação Discreta. **Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**, São Paulo, 2004. Disponível em: http://sites.poli.usp.br/d/pmr5008/Arquivos/Apostila_Simulacao.pdf. Acesso em: 02 mai. 2020.

MOURA et al. Benefícios da tecnologia da informação para as estratégias empresariais: uma revisão integrativa. **Revista ciência e saberes**. Maranhão, 2017, p.732-739, dez. 2017.

RANDON, G.; CECCONELLO, I. Simulação como Tecnologia Habilitadora da Indústria 4.0: Uma Revisão da Literatura**. SCIENTIA CUM INDUSTRIA**, V. 7, N. 2, p. 117-125, 2019.

ROTTA, Fernando. Indústria 4.0 pode economizar R$ 73 bilhões ao ano para o Brasil. **ABDI,** 2017. Disponível em: https://www.abdi.com.br/postagem/industria-4-0-pode-economizar-r-73-bilhoes-ao-ano-para-o-brasil. Acesso em: 23 abr. 2020.

ROWE, J. Digital Factory Within Reach**:** Modular options mean even SMBs can take advantage of production and manufacturing visualization tools. **MCAD Tech News** #179, jun. 2006.

SANTOS, B. P. et al. INDÚSTRIA 4.0: DESAFIOS E OPORTUNIDADES. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 4, n. 1, p. 111-124, 31 mar. 2018.

SANTOS, Marcos; MANHÃES, Aline Martins; LIMA, Angélica Rodrigues. **Indústria 4.0**: Desafios e oportunidades para o Brasil. *In*: X SIMPROD, 2018, São Cristóvão.

SANTOS, Paulo Roberto dos. Tecnologias Habilitadoras para Indústria 4.0. **Revista Elevador Brasil**, v. 151, p. 76-78, nov. 2018. Disponível em: https://issuu.com/elevadorbrasil/docs/revista_151_-_site. Acesso em: 02 mai. 2020.

SEIFERT, Jonatan Roberto Sidra; SIPPERT, Jaciara Treter; PORCIUNCULA, Luciana. A integração dos sistemas de BI e ERP no processo gerencial de uma indústria de implementos agrícolas do noreste do Rio Grande do Sul. **Revista GEDECON**, Cruz Alta, v.6, n.1, p. 66-93, 2018. Disponível em: http://www.revistaeletronica.unicruz.edu.br/index.php/GEDECON/article/view/6841/0. Acesso em: 02 mai. 2020.

SHINOHARA et al. Análise de estudos na área de manufatura digital: uma revisão da literatura. In: **XXII SIMPEP**, 22, 2015, Bauru. Bauru: Política Nacional de Inovação e Engenharia de Produção, 2015. p. 2-15.

SUGAYAMA, R.; NEGRELLI, E. **Connected vehicle on the way of Industry 4.0**. Paraná: Especialização Engenharia Automotiva, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015. Disponível em: http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/engineeringproceedings/simea2016/PAP16.pdf. Acesso em: 14 abr. 2020.

TAURION, Cesar. **Cloud computing**: computação em nuvem: transformando o mundo da tecnologia da informação. Rio de Janeiro: Brasport, 2009. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=mvir2X-A2mcC&oi=fnd&pg=PA1&dq=computa%C3%A7%C3%A3o+em+nuvem&ots=CaMq5GPQTt&sig=TZ7_lKjFJj9iKy1fTH8IOPEY0M8#v=onepage&q=computa%C3%A7%C3%A3o%20em%20nuvem&f=false. Acesso em: 02 mai. 2020.

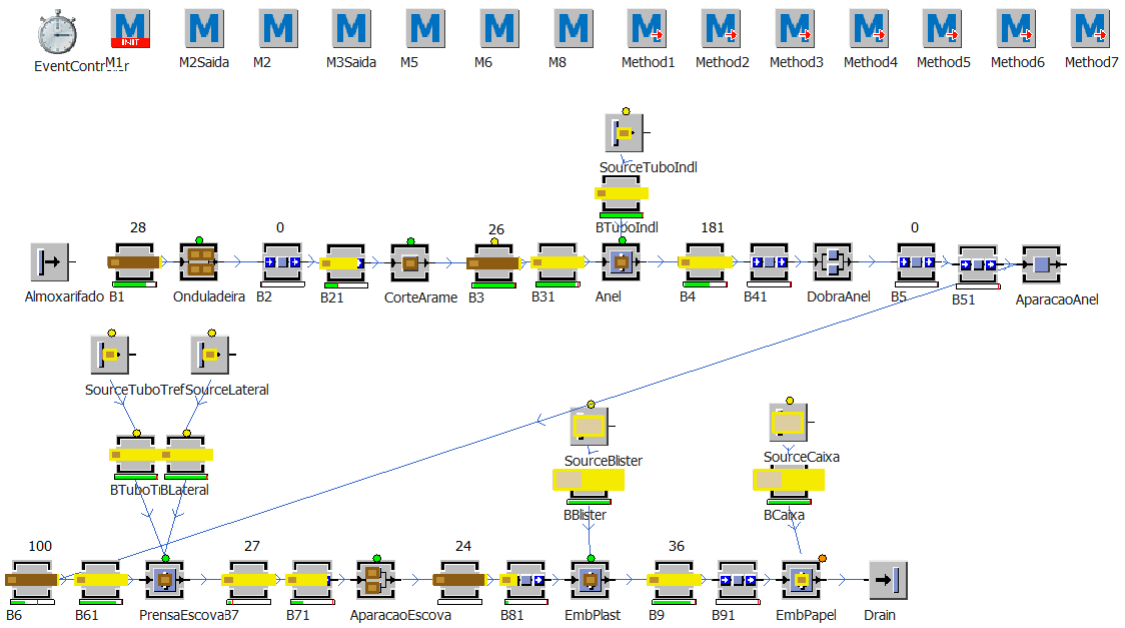
VERMULM, Roberto. Políticas para o desenvolvimento da indústria 4.0 no Brasil. **BNDES**, 2018. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/15486. Acesso em: 01 mai. 2020.

WATANABE, Alexandre. **Modelagem de uma planta virtual de produção de PCBs via digital twin dentro do contexto da Indústria 4.0.** 2019. 92 f. Dissertação (Pós-Graduação em Mecatrônica) - Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019. Disponível em: https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/1272/Dissertacao_AWatanabe_vFinal_assinada.pdf?sequence=1. Acesso em: 20 abr. 2020.

WENZEL, S.; JESSEN, U.; BERNHARD, J. Classifications and conventions structure the handling of models within the digital factory. **Computers in Industry**, v. 56, n. 4, p. 334–346, mai. 2005.

ANEXO A – MODELO SIMULADO NO *SOFTWARE PLANT SIMULATION* – CENÁRIO BASE

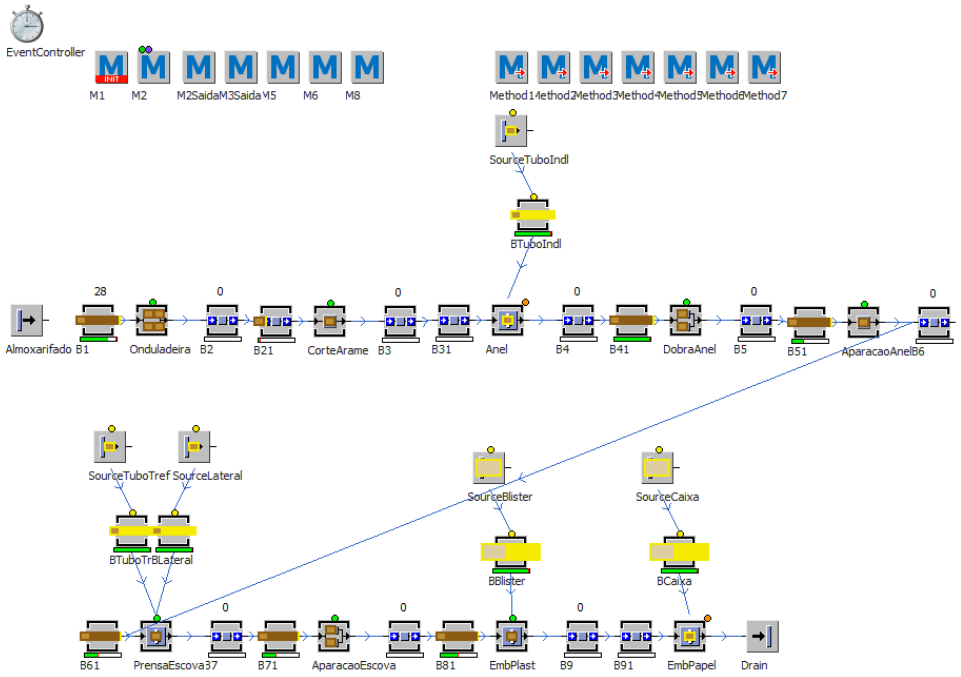
Figura 7 - Modelo computacional do cenário base



Fonte: Autores, 2020

ANEXO B – MODELO SIMULADO NO *SOFTWARE PLANT SIMULATION* – CENÁRIO 1

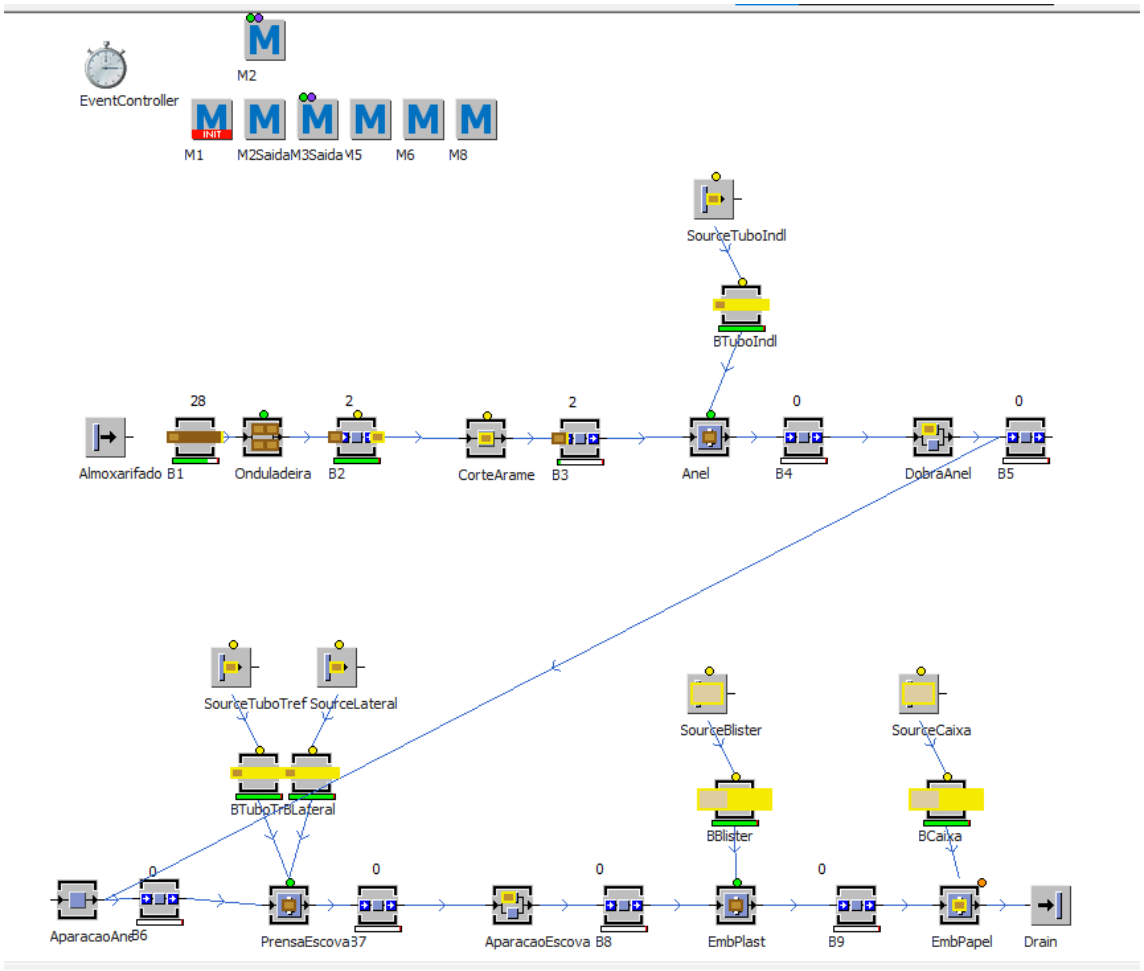
Figura 8 - Modelo computacional do cenário 1



Fonte: Autores, 2020

ANEXO C – MODELO SIMULADO NO *SOFTWARE PLANT SIMULATION* – CENÁRIO 2

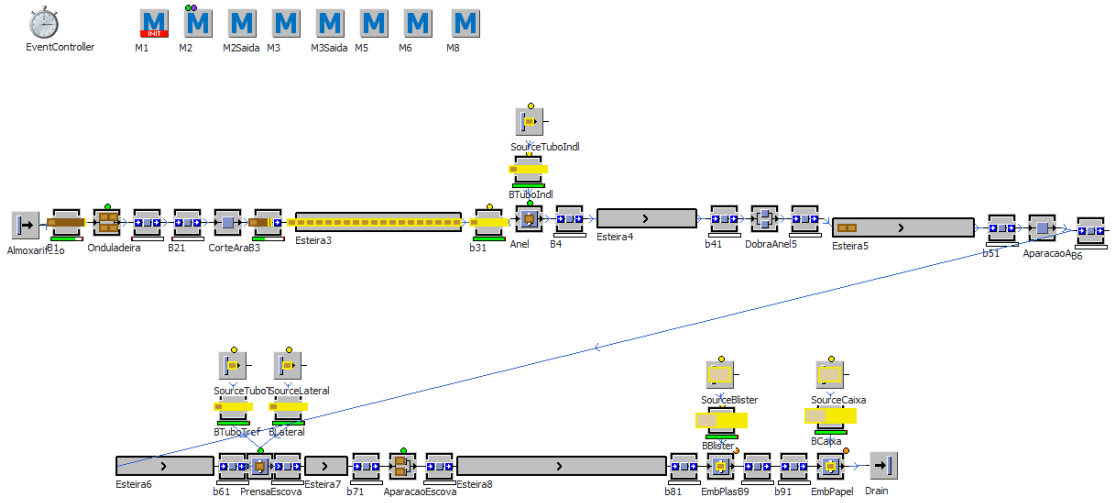
Figura 9 - Modelo computacional do cenário 2



Fonte: Autores, 2020

ANEXO D – MODELO SIMULADO NO *SOFTWARE PLANT SIMULATION* – CENÁRIO 3

Figura 10 - Modelo computacional do cenário 3



Fonte: Autores, 2020