



## **PROJETO DE GRADUAÇÃO**

# **MODELO DE OTIMIZAÇÃO DO FLUXO DE PRODUÇÃO DE PROTETORES FACIAIS DURANTE A PANDEMIA DE COVID-19.**

Por,

**Camila Oliveira Mayerhofer Santos**

24 de maio de 2021

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia de Produção

## PROJETO DE GRADUAÇÃO 1

# MODELO DE OTIMIZAÇÃO DO FLUXO DE PRODUÇÃO DE PROTETORES FACIAIS DURANTE A PANDEMIA DE COVID-19.

POR,

**Camila Oliveira Mayerhofer Santos**

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção  
do grau de Engenharia de Produção

### **Banca Examinadora**

Prof. Ph.D. Reinaldo Crispiniano Garcia, UnB/ EPR (Orientador) \_\_\_\_\_

Prof. Andréa Cristina dos Santos, UnB/ EPR \_\_\_\_\_

24 de maio de 2021

---

## RESUMO

Durante a pandemia vivida pelo mundo no ano de 2020, diversas medidas para a proteção dos indivíduos foram tomadas. Dessa forma, se fez a necessidade da fabricação de protetores faciais, em especial para os funcionários da área de saúde, a fim de reduzir e evitar o contato com o vírus. Diante desse contexto, uma empresa localizada no Distrito Federal desenvolveu um projeto para realizar a confecção dos protetores faciais com auxílio da impressão 3D. Este estudo provê o impacto que a otimização do fluxo de produção da fábrica digital impacta na capacidade produtiva diária e, conseqüentemente, a longo prazo da equipe. Com base na produtividade média de cada membro para a realização de cada atividade demandada para a confecção das máscaras, um novo modelo de alocação da equipe foi simulado e analisado.

Palavras chaves: fluxo de produção, processo, protetor facial, simulação computacional.

---

## ABSTRACT

During the pandemic experienced by the world in 2020, several measures were taken to protect individuals. Thus, there was a need to manufacture facial protectors, especially for health workers, in order to reduce and avoid contact with the virus. In this context, a company located in the Federal District developed a project to make the face shields with the aid of 3D printing. This study provides the impact that the optimization of the production flow of the digital factory impacts on the daily productive capacity and, consequently, on the long term of the team. Based on the average productivity of each member to carry out each activity required to make the masks, a new team allocation model was simulated and analyzed.

Keywords: *production flow, process, face shields, computer simulation.*

## **Agradecimento**

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por todas as oportunidades que Ele tem me concebido, por me permitir estudar em uma instituição de ensino tão renomada e por colocar na minha vida pessoas que auxiliaram em muito a minha caminhada até aqui, em especial nestes 7 anos de UnB e durante um período tão difícil como a pandemia.

Gostaria de agradecer a todo apoio recebido dos meus familiares, em especial ao meu pai, Wladimyr Mayerhofer, minha mãe, Cecília Maria, e minha irmã, Carolina Mayerhofer, que sempre me proporcionaram as melhores condições de estudo e sempre me motivaram a seguir meus sonhos, a persistir e não desistir, estando ao meu lado nos momentos mais difíceis.

Ao Lucas Mourthé, por ter sido um ótimo companheiro, que esteve comigo desde o início da realização do meu projeto de graduação, me dando apoio e estímulos para que eu pudesse concluir o meu trabalho, sempre incentivando o melhor de mim e me encorajando diante dos desafios.

Aos meus amigos e colegas de curso, por todo apoio dado e compreensão, em especial diante de um cenário tão difícil como a pandemia, e por me motivarem a ter forças e continuar a minha jornada.

Aos meus colegas de estágio, que me ajudaram na conclusão do meu projeto de graduação, me dando apoio, compartilhando conhecimentos e domínios das diversas áreas da engenharia e me permitindo conhecer os seus trabalhos.

Ao meu orientador Ph.D Reinaldo Garcia por toda orientação dada, pela paciência e dedicação em me capacitar e instruir da melhor forma e pelo tempo disponibilizado para a conclusão do meu projeto. Agradecer por ter me dado aulas fundamentais para que eu pudesse escolher a área que eu gostaria de atuar futuramente e por ser um profissional brilhante, incentivando o melhor dos seus alunos, sendo um exemplo como pessoa e profissional para mim.

A todos os meus professores que contribuíram para a minha formação e contribuíram para que eu me tornasse uma profissional melhor, evoluindo moralmente, academicamente e profissionalmente.

Camila Oliveira Mayerhofer Santos

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura do trabalho .....	5
Figura 2 - Estrutura de um processo .....	10
Figura 3 - Metodologia geral da simulação .....	18
Figura 4 - Exemplo de ficha para controle de produtividade e diferentes categorias.....	20
Figura 5 - Fluxo dos processos para a produção de protetores faciais .....	25
Figura 6 – Fluxo de produção e composição da fábrica .....	32
Figura 7 - Simulação simplificada da produção de faceshields .....	46
Figura 8 - Simulação da produção de protetores faciais com lotes e equipes..	47
Figura 9 - Representação da simulação com categoria geral.....	48
Figura 10 - Representação da simulação com categoria hospitalar .....	48
Figura 11 - Simulação com tempo de deslocamento entre os processos A e B .....	56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade de membros necessária por atividade.....	34
Tabela 2 - Custo em hora dos operadores do tipo A e B.....	34
Tabela 3 - Capacitação e tempo de operação do turno matutino .....	35
Tabela 4 - Capacitação e tempo de operação do turno vespertino .....	36
Tabela 5 - Tempo de operação da cortadora a laser por placa PETG .....	37
Tabela 6 - Tempo de operação das impressoras 3D por suporte.....	37
Tabela 7 - Taxas (%) de cada categoria para os processos de inspeção .....	38
Tabela 8 - Tempo de deslocamento entre os processos .....	39
Tabela 9 - Resultados por categoria e turno do cenário 03 .....	49
Tabela 10 – Resultados por categoria do cenário 04.....	50
Tabela 11 – Resultados dos cenários 01 a 04 sem o gargalo da impressão para o turno da manhã .....	53
Tabela 12 - Resultados dos cenários 01 a 04 sem o gargalo da impressão para o turno da tarde .....	54
Tabela 13 - Custos dos operadores por turno.....	56
Tabela 14 – Resultados da produção e do custo do cenário 03 do turno da manhã com a redução de recursos humanos .....	59
Tabela 15 - Resultados da produção e do custo do cenário 03 do turno da tarde com a redução de recursos humanos .....	60
Tabela 16 - Análise em relação aos cenários de melhor produção e melhor custo para o turno da manhã.....	63
Tabela 17 - Configuração da nova equipe do turno da manhã para o cenário Y .....	63
Tabela 18 - Análise em relação aos cenários de melhor produção e melhor custo para o turno da tarde.....	64
Tabela 19 - Configuração da nova equipe do turno da tarde para o cenário Y	65
Tabela 20 - Análise em relação aos cenários de melhor produção e melhor custo para os dois turnos.....	65
Tabela 21 - Análise final em relação aos cenários de melhor produção e melhor custo para os dois turnos .....	66

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Resultado da simulação dos cenários 01 a 04 para o turno da manhã e da tarde .....	51
Gráfico 2 - Resultado da simulação dos cenários 01 a 04 sem o gargalo da impressão para o turno da manhã e da tarde .....	54
Gráfico 3 - Custos dos operadores ociosos e ocupados do cenário 03 do turno da tarde .....	57
Gráfico 4 - Custos dos operadores ociosos e ocupados do cenário 03 do turno da tarde sem o gargalo de impressão .....	58
Gráfico 5 - Custos dos operadores ociosos e ocupados do cenário 03 com a retirada dos recursos humanos .....	61

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Representação para os processos .....	33
Quadro 2 - Inputs e outputs do sistema .....	40
Quadro 3 - Blocos do software Arena utilizados na simulação .....	41

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO .....	1
1.2. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	3
1.3. OBJETIVOS .....	3
<b>1.3.1. Objetivo geral</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3.2. Objetivo específico</b> .....	<b>3</b>
1.4. JUSTIFICATIVA .....	4
1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	5
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>7</b>
2.1. PROTETORES FACIAIS.....	7
2.2. IMPRESSÃO 3D (MANUFATURA ADITIVA) .....	8
2.3. PROCESSO .....	9
<b>2.3.1. Gestão de processos</b> .....	<b>10</b>
<b>2.3.2. Otimização de processos</b> .....	<b>11</b>
2.4. GARGALO.....	12
2.5. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL .....	13
2.6. LINHAS DE PRODUÇÃO .....	14
2.7. SOFTWARE ARENA.....	15
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>17</b>
3.1. FASE 01 .....	19
3.2. FASE 02 .....	20
3.3. FASE 03 E 04.....	21
3.4. FASE 05 .....	22
3.5. FASE 06 .....	22
<b>4. DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>24</b>
4.1. PRODUÇÃO.....	24
4.2. OS PROCESSOS.....	25
<b>4.2.1. Impressão de suporte</b> .....	<b>26</b>
<b>4.2.2. Conformidade do suporte</b> .....	<b>27</b>
<b>4.2.3. Acabamento do suporte</b> .....	<b>27</b>
<b>4.2.4. Corte de visor</b> .....	<b>28</b>

4.2.5.	Higienização de visor .....	28
4.2.6.	Conformidade de visor (inspeção).....	29
4.2.7.	Corte de elástico .....	29
4.2.8.	Montagem de protetores faciais ( <i>faceshields</i> ).....	29
4.2.9.	Outras atividades.....	30
4.3.	ESTRUTURA DA FÁBRICA E FLUXO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO 31	
4.4.	DADOS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO.....	33
4.4.1.	Custos e quantidade de recursos utilizados.....	33
4.4.2.	Tempos de operação das equipes e dos recursos para corte e impressão .....	35
4.4.3.	Divisão de categorias .....	38
4.4.4.	Tempo de deslocamento.....	38
4.5.	RESTRIÇÕES .....	39
4.6.	DESENVOLVIMENTO DA SIMULAÇÃO .....	40
4.6.1.	Considerações sobre o modelo simulado.....	43
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	45
5.1.	CENÁRIOS.....	45
5.1.1.	Cenário 01.....	45
5.1.2.	Cenário 02.....	46
5.1.3.	Cenário 03.....	47
5.1.4.	Cenário 04.....	49
5.1.5.	Resultado dos cenários .....	51
5.2.	GARGALOS IDENTIFICADOS.....	52
5.3.	SIMULAÇÃO COM TEMPO DE DESLOCAMENTO .....	55
5.4.	CUSTOS.....	56
5.4.1.	Corte de recursos humanos. ....	58
5.5.	ANÁLISES E COMPARAÇÕES .....	61
5.5.1.	Cenário mais atual .....	62
5.5.2.	Considerações sobre a análise .....	67
6.	CONCLUSÃO .....	69
	REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO .....	71
	APÊNDICES .....	74

APÊNDICE A – SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 03 COM O GARGALO DE IMPRESSÃO.....	74
APÊNDICE B – SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 03 SEM O GARGALO DE IMPRESSÃO.....	75
APÊNDICE C – SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 03 SEM O GARGALO DE IMPRESSÃO E COM TEMPO DE DESLOCAMENTO .....	76

# 1. INTRODUÇÃO

No presente capítulo será abordado o contexto inserido da pesquisa diante da pandemia mundial vivida em 2020 pela presença do vírus Sars-Cov-2. Diante desta perspectiva, o objetivo e problema de pesquisa serão abordados, assim como a justificativa para a sua execução. Por fim, será apresentada a sua estrutura, com um breve esclarecimento das partes que o compõem.

## 1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

De acordo com o Ministério da Saúde (2020), foi descoberto em 2019 um novo agente do coronavírus e, com a disseminação mundial, a doença transmitida pelo vírus acabou se tornando uma pandemia. Mostaghimi, et al. (2020) afirma que, diante deste cenário, com o vírus em rápida propagação e a rápida expansão da situação, os equipamentos de proteção individual (EPIs) se tornaram produtos de carência no mercado, o que possibilitou ainda mais a colocação de profissionais de saúde e pacientes em maior risco de infecção.

A utilização de protetores faciais se tornou essencial para que os trabalhadores da área de saúde se protegessem durante o atendimento de pessoas contaminadas com o vírus (MACHADO, et al. 2020), já que a sua transmissão se dá, principalmente, por meio de gotículas de saliva, espirro, tosse e catarro (BRASIL, 2020).

Diante da escassez de infraestrutura e de equipamentos das instituições de saúde (FGV, 2020), e da elevada demanda por equipamentos de proteção hospitalares (BERTONI, 2020), fez-se necessária a fabricação de equipamentos de proteção individual, o que propulsionou a iniciativa de produção por parte de muitos usuários e universidades. Dados mostram que milhares de equipamento de proteção individual foram impressos em 3D em diversos locais do mundo, e que 60% dos projetos de impressão durante a pandemia correspondiam a confecção de EPIs, como as máscaras faciais (NOVAK JI, LOY J, 2020). Dentro destas confecções, encontram-se, também, os protetores faciais, denominados

dispositivos de proteção que atuam como uma barreira física para a proteção dos equipamentos de proteção individual (BRASIL, 2020).

Diante desse contexto, foi desenvolvido um projeto através de uma empresa que disponibiliza ferramentas como eletrônica, marcenaria e manufatura aditiva (impressão 3D), para confeccionar e fornecer protetores faciais para os profissionais da área de saúde dos hospitais do Distrito Federal, além de oferecer protetores a profissionais de diferentes áreas, em especial aos agentes penitenciários.

Localizada no Distrito Federal, a empresa busca desenvolver habilidades e competências de forma a atender à Indústria 4.0, e oferecer áreas para o desenvolvimento de projetos e geração de protótipos. A integração dos conceitos de Metodologias Ativas por Projeto e *makerspace*, desencadeou a principal proposta da empresa, que é a materialização de soluções, desde o problema até o protótipo.

A possibilidade da confecção dos protetores através da manufatura aditiva fez com que estes dispositivos de proteção passassem a ser obtidos através de impressoras 3D, e que o espaço da empresa se tornasse uma fábrica de produção digital, com caráter emergencial e temporário.

O planejamento da produção da fábrica, oriundo de uma demanda emergencial, foi realizado no mês de maio de 2020, baseado no fluxo produtivo necessário para a confecção dos protetores faciais. Por se tratar de um dispositivo para a área de saúde, a sua produção necessitou atender os padrões e restrições normativas da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, impostas durante a pandemia. Para realizar a fabricação, foi realizado um estudo em relação à capacidade maquinaria da fábrica e às restrições de recursos, atendendo ainda às regras e normas de segurança necessárias.

Situado no contexto de planejamento emergencial, o sistema de fabricação dos protetores pode ser submetido a diversas análises, a fim de

melhor compreender seu desempenho durante o período em que foi realizado e apontar melhorias no planejamento, garantindo a otimização do sistema.

A falta de planejamento em uma linha de produção pode ser responsável por gerar desperdícios e custos indesejados, má utilização dos recursos humanos e das estruturas disponíveis, além de realizar limitações na cadeia produtiva como um todo.

## **1.2. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA**

O problema em estudo busca compreender como otimizar o fluxo de produção, através da simulação computacional, de forma a maximizar a produção diária por turno com os recursos humanos, recursos maquinários, estrutura e insumos disponíveis, reduzindo possíveis gastos desnecessários.

## **1.3. OBJETIVOS**

### **1.3.1. Objetivo geral**

O objetivo da pesquisa é realizar a alocação otimizada dos recursos humanos da fábrica digital com o intuito de otimizar a linha de produção de protetores faciais, maximizando a quantidade produzida com os recursos disponíveis. O projeto deve indicar a alocação ideal dos membros da equipe dentro das atividades necessárias para a produção do protetor. Objetiva-se minimizar o tempo gasto nos processos produtivos e, conseqüentemente, maximizar a produção, evitando ociosidade dos funcionários da fábrica ou utilização de recursos desnecessários.

### **1.3.2. Objetivo específico**

Dentre os objetivos específicos do projeto, encontram-se:

- Desenvolver a simulação computacional do fluxo de produção da fábrica, com as restrições impostas, de forma a realizar a alocação otimizada dos recursos humanos e maximizar a produção;
- Identificar ociosidade de recursos;
- Identificar possíveis gargalos de produção;
- Desenvolver diferentes cenários do sistema de produção;
- Identificar custos de produção;
- Realizar a análise dos resultados obtidos com o planejamento mais atual da empresa, apontando as melhorias cabíveis na alocação dos recursos, redução de custos desnecessários e ganho no tempo de trabalho.

#### **1.4. JUSTIFICATIVA**

Realizar a otimização do fluxo de produção permite ao gestor identificar falhas no seu sistema de produção, bem como alocar os seus recursos disponíveis de forma a maximizar a produção. Desta forma, a otimização permite a eliminação de gastos e recursos desnecessários, reduzindo prejuízos e aumentando sua produtividade.

Diante do cenário em que a fábrica de protetores faciais surgiu, é de suma importância a produção acelerada dos produtos, tanto pela necessidade de proteção aos profissionais e pacientes, quanto pela escassez de protetores faciais no mercado devido a alta demanda decorrente da pandemia (BERTONI, 2020). A rápida disseminação do vírus tem agravado a situação e demandado cada vez mais equipamentos de proteção individual.

A motivação da pesquisa está em otimizar o fluxo de produção de protetores faciais de forma a aumentar a quantidade diária produzida para que os produtos possam ser entregues de forma mais rápida aos funcionários da área de saúde e aos demais funcionários atuantes na linha de frente do Distrito Federal. A análise do sistema permite apontar as melhorias cabíveis e efetuar alterações no seu planejamento, possibilitando uma produção acelerada dos protetores. Portanto, objetiva-se produzir a mesma quantidade em um espaço

de tempo menor, sem que isso gere uma necessidade de obtenção de recursos extras e conseqüentemente aumento nos gastos.

Além disso, o projeto de produção dos protetores faciais está sendo financiado, em parte, por recursos do governo, exigindo entrega e comprometimento com o dinheiro público. Desta forma, para a motivação da pesquisa encontra-se também a importância de uma análise dos custos do sistema, identificando a utilização de recursos desnecessários, e possíveis reduções de gastos com as operações.

## 1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está dividido em seis etapas principais (Figura 1) que serão brevemente elucidadas nesta seção.



*Figura 1 - Estrutura do trabalho*

Fonte: Autora (2020)

A introdução, como já apresentada, aborda de uma forma reduzida as explicações acerca do assunto principal, a contextualização do tema diante do cenário proposto, os objetivos (específicos e gerais) que se desejam alcançar ao término do trabalho e a justificativa para a realização da pesquisa.

A revisão bibliográfica tem como objetivo apresentar a literatura científica que aborda o tema e serve de base para realizar o projeto através da conceituação teórica. Apresenta os principais autores e temas que serão abordados no trabalho.

A metodologia busca informar os meios utilizados para realizar a pesquisa e para se alcançar os objetivos desejados, isto é, as técnicas e metodologias utilizadas. Busca informar como a pesquisa foi realizada, a sua abordagem e a

que tipo ela se enquadra, bem como o local de análise, período em que foi realizada e o número da amostra.

O desenvolvimento busca explicar de forma detalhada o funcionamento da fábrica e os seus processos do fluxo de produção. Esta etapa busca apresentar os dados obtidos e utilizados; além de mostrar de forma detalhada como a simulação foi realizada, os parâmetros e restrições impostas.

A seção resultados objetiva apresentar os resultados obtidos através das simulações do sistema realizadas, de forma a possibilitar uma análise comparativa com a situação mais atual da fábrica. Busca apresentar a implementação da pesquisa, os resultados alcançados com as suas devidas interpretações e os possíveis pontos de melhoria no sistema, através de análises textuais e gráficas.

Por fim, a conclusão busca trazer um apanhado geral da pesquisa e da sua aplicação, abordando a importância do tema, trazendo sugestões para trabalhos futuros. Objetiva também demonstrar o alcance, ou não, dos objetivos estabelecidos no início da pesquisa e a validação de toda a proposta mencionada.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A fundamentação teórica é considerada um dos pilares mais importantes para o desenvolvimento de uma pesquisa. Nesta seção serão abordados os principais conceitos utilizados como base para a realização do presente projeto, através de literaturas científicas. Os autores referentes a temas de simulação computacional serão abordados, bem como a temas relacionados à fabricação, à produção e ao gerenciamento de processos, para melhor compreensão do funcionamento de linhas produtivas, e da importância e utilização de softwares para a construção de modelagens.

### **2.1. PROTETORES FACIAIS**

Devido à forma de propagação do vírus sars-cov-2, a Organização Mundial da Saúde (2020) desenvolveu um guia a respeito da utilização de proteções individuais e em que situações as utilizar. A determinação incluiu a utilização de protetores faciais aos funcionários da área de saúde bem como outros equipamentos de proteção. Para serem utilizados, os protetores faciais devem atender a requisitos mínimos descritos no Art. 6º da norma ABNT NBR ISO 13688:2017.

Os protetores faciais são dispositivos de proteção comumente utilizados em hospitais para controle de infecção, que, em tempos da atual pandemia, objetivam a redução da possibilidade de contato com o vírus sars-cov-2. Os pacientes contaminados com o vírus tendem a lançar no ar micropartículas que podem contaminar os profissionais da área de saúde e, desta forma, os protetores faciais buscam impossibilitar este contato com os pacientes contaminados ou com suspeita de contágio. O protetor facial é utilizado para proteger membranas mucosas do nariz, bocas e olhos e, durante a pandemia de COVID, estes protetores estão sendo utilizados em conjunto com outros equipamentos de proteção, especialmente em procedimentos de alto risco (MOSTAGHIMI, et al. 2020).

A resolução RDC de nº 356 estabelecida pela ANVISA (2020) afirma que os protetores faciais devem ser confeccionados de forma que não possuam saliências, extremidade afiadas ou qualquer deformidade que possa gerar desconforto ao usuário, além de não poder apresentar qualquer risco de acidente. A norma afirma também que o dispositivo de proteção deve ser fixado ao usuário de forma que permaneça estável durante a sua utilização.

O dispositivo de segurança é composto por duas partes principais: o suporte e o protetor. Possui uma viseira, cujo material é geralmente feito de polietileno transparente, para ser resistente a impactos e à umidade, que é posicionada à frente do rosto do usuário através de uma estrutura que circunda a cabeça, denominada suporte (MACHADO, et al. 2020). O visor deve possuir dimensões mínimas de espessura 0,5 mm, largura 240 mm e altura 240 mm, e deve possuir uma faixa de fixação ajustável com largura mínima de 10 mm (BRASIL, 2020).

Os protetores faciais dificultam a contaminação do usuário e, por funcionarem como uma barreira física para a proteção de equipamentos de proteção individual, dificultam também a contaminação de máscaras como a N-95, aumentando a sua vida útil (GRSS/DIVISA/SVS/SES-DF, 2020).

## **2.2. IMPRESSÃO 3D (MANUFATURA ADITIVA)**

Por se tratar de uma evolução da prototipagem rápida (ALBERTI, E., SILVA, L.; D'OLIVEIRA, A., 2014), a manufatura aditiva, no que tange a fabricação, consiste na técnica de adição de camadas de materiais para a construção de uma peça. As informações para a sua criação são obtidas de forma computacional, através da modelagem de figuras geométricas resultando no modelo esperado. O processo de produção se dá de forma automatizada e ocorre de maneira mais rápida, quando comparado a demais processos produtivos. A manufatura aditiva permite, também, a fabricação de componentes de diferentes materiais, formas e princípios. (VOLPATO, 2017).

Ainda segundo Volpato (2017), a realização do processo de fabricação por manufatura aditiva consiste em um sequenciamento de etapas. Primeiramente, realiza-se o desenho da peça 3D de forma virtual (sistema CAD), que posteriormente é fatiado (através de um software computacional) para se obter as curvas de nível 2D, que funcionarão como as camadas da peça, onde será depositado ou não o material. As camadas são então depositadas, de forma empilhada, até atingir o topo, finalizando a construção da peça.

Sob esse contexto, as máquinas conhecidas como impressoras 3D são utilizadas para representar uma classe de equipamentos relacionados à prototipagem rápida. Estas máquinas são de fácil utilização e apresentam custo relativamente baixo, capazes de gerar protótipos com boas qualidades (RAULINO, 2011).

A impressão 3D, diante do cenário de COVID-19, promoveu uma alternativa para a produção de equipamentos e dispositivos de proteção individual, diante da sua rápida execução, baixo custo e possibilidade de criação de modelagens de equipamentos através de desenhos CAD, sem a necessidade de moldes e ferramentas (ARAUJO et al., 2020), o que permitiu que muitos usuários comesçassem a prototipar e produzir seus próprios equipamentos e dispositivos de segurança. Os suportes, componentes estes presentes nos protetores faciais, passaram a ser confeccionados, também, através da manufatura aditiva, o que permitiu a confecção dos protetores faciais através deste processo de fabricação (NOVAK JI, LOY J, 2020).

### **2.3. PROCESSO**

Por processo entende-se a sequência de tarefas ou atividades que apresentam mecanismos de execução bem estruturados e definidos, que objetivam a entrega de um produto ou serviço a um mercado ou cliente (DAVENPORT, 1994), sendo considerado parte fundamental no que tange a administração e operação de uma organização (HARRINGTON, 1993). Estas tarefas são, portanto, partes que compõe um sistema.

O processo consiste na transformação dos insumos, considerados entradas (inputs), em um produto, considerado resultado (outputs). Para realizar esta transformação é necessário seguir uma linha lógica, que irá agregar valor ao procedimento e gerar a saída desejada (Figura 2). Apesar das operações apresentarem começo, meio e fim (entrada, transformação e saída), os processos são considerados atividades contínuas e rotineiras, diferentemente de projetos, que apresentam prazo definido para a sua conclusão (GOMES, 2006).



*Figura 2 - Estrutura de um processo*

Fonte: Adaptado de GOMES (2006)

### **2.3.1. Gestão de processos**

Por gerenciamento de processos entende-se a ferramenta que busca realizar o entendimento dos processos de forma a realizar uma análise contínua e obter melhorias em seu desempenho para a organização. Busca-se analisar principalmente os processos que geram impactos sob o contexto da satisfação dos clientes e *stakeholders* (ROTONDARO, 2005).

Realizar a gestão de processos é realizar a otimização dos processos de forma a produzir mais, utilizando o mínimo de recursos necessários. Sua ideia principal gira em torno do desenvolvimento de uma organização que busca a eliminação de atividades que não agregam valor ao negócio (KUJANSIV E LONNQVIST, 2008). Desta forma, esta ferramenta auxilia a identificação e a

eliminação de tarefas indesejadas, além de auxiliar nas decisões acerca dos recursos humanos, tecnologia da informação e da organização do trabalho de uma empresa. Sua aplicação tem como foco a criação de valor pelo processo e objetiva a realização do controle de qualidade de seus insumos e produtos, mensurando os resultados, através de metas estabelecidas (LAURINDO E ROTONDARO, 2006).

Segundo Varvakis (1998), esta ferramenta aponta que os processos devem ser orientados ao cliente e seus requisitos. Para Porter (1999), estudar e compreender o gerenciamento de processos permite alcançar a sustentabilidade organizacional diante de cenários que apresentam alta competitividade. Diante desse cenário, a gestão de processos possibilita a melhoria nos processos empresariais através do apoio oriundo do seu entendimento e aplicação, mostrando ser uma importante ferramenta estratégica para as corporações.

### **2.3.2. Otimização de processos**

Considerada parte da gestão de processos, a otimização de processos é um conjunto de ações tomadas que visam diminuir os gastos e a utilização de recursos desnecessários, buscando realizar a análise do fluxo de atividades de forma a encontrar gargalos, erros ou desperdícios presentes. Para Furtado, Pradella e Kippe (2012), a otimização de processos busca melhorar os métodos de trabalho, alcançando os resultados desejados, porém, com a utilização de menos recursos e de forma mais eficaz, auxiliando na gestão de tempo, visando ganhos na produtividade e possibilitando entregas mais confiáveis.

Para realizar a otimização, é necessário que haja o conhecimento dos processos e que estes estejam mapeados, com as atividades e tarefas detalhadas e explícitas. Deve-se fazer o monitoramento dos seus resultados, mensurar e analisar os seus indicadores (FURTADO, PRADELLA E KIPPE 2012).

Segundo Casado, et al. (2017), após o mapeamento de processos, que permite o conhecimento atual da situação da linha de trabalho (AS IS), e após a

identificação e a definição de novas linhas de ações para os problemas atuais, é possível realizar a otimização dos processos, possibilitando implementações futuras (TO BE) dentro da cadeia de valor da organização.

A análise dos processos através da sua análise como um conjunto de interações entre suas unidades e correntes (e não mais como etapas isoladas), tem se mostrado eficaz e promissora no que tange as análises e objetivos esperados. Através das novas técnicas de resolução de problemas com a abordagem de otimização de processos, se tornou possível relacionar aspectos econômicos e operacionais (STINGHEN, 1998).

Realizar a otimização dos processos através da simulação tem se dado cada vez mais presente e de forma simplista (HUSAIN, 1986), se tornando uma abordagem mais presente em meios organizacionais. Isto tem se dado também devido à evolução de recursos computacionais e softwares, com programas que apresentam módulos de otimização para simular os processos (STINGHEN, 1998).

## **2.4. GARGALO**

Segundo Chase et al. (1995), gargalos, também conhecidos como pontos de estrangulamento ou restrições, são componentes que restringem e limitam o desempenho do sistema. Para Maroueli (2008), os gargalos são considerados redutores dos índices de produtividade de uma organização. Isto porque, os gargalos são pontos, dentro de uma linha de produção, que impossibilitam o alcance máximo da produção de acordo com os recursos disponíveis, devido a sua má alocação ou não utilização adequada das suas estruturas. Os gargalos limitam, dentro de um intervalo de tempo, a quantidade de produtos disponibilizados ao consumidor final e são considerados, portanto, pontos de ociosidade de uma ou mais partes do sistema.

Qualquer sistema está sujeito a restrições que impactam o seu processo produtivo, estes considerados como estrangulamentos (CARVALHO, 2004). Os gargalos podem estar relacionados à manufatura, aos setores em específico ou até mesmo ao atendimento ao cliente. Quando o gargalo é identificado no input

do sistema, isto gera maior ociosidade, já que as atividades seguintes ficam comprometidas. Porém, quanto mais próximo ao output (saída), mais prejudicial ao sistema o gargalo será, pois, nessa fase, a produção do item já foi iniciada, já ocorreram gastos com matéria prima e mão de obra, além da utilização de outros recursos (MAROUELI, 2008).

A identificação do gargalo nem sempre se dá de maneira fácil. Para realizar a sua identificação, é necessário conhecer bem o fluxo de processos do sistema e utilizar ferramentas para mensurar a capacidade de produção e a demanda de produção de um determinado produto. A melhor maneira para identificar possíveis gargalos é ir ao chão de fábrica e perguntar aos funcionários mais experientes, que podem vivenciar a situação na prática ou deter o conhecimento da gestão do sistema (COX E SPENCER, 2002). Em uma unidade fabril, a identificação de estrangulamentos se dá de forma mais fácil, por ser fisicamente visível nas estações e postos de trabalho (COURTOIS et al., 2007). Os pontos que apresentam estrangulamento não produzem em tempo integral e, devido a isso, a sua taxa de utilização não pode ser medida pelo seu próprio potencial (CARVALHO, 2004).

## **2.5. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL**

A simulação é uma ferramenta de destaque dentro da Pesquisa Operacional, sendo realizada através de um computador e utilizada para reproduzir um sistema ou parte dele (processo). Por ser capaz de analisar vários sistemas, diante de cenários diferentes e durante um longo período, a simulação é uma ferramenta importante para a tomada de decisão das organizações, auxiliando não apenas na otimização dos seus fluxos de produção, mas também na análise de riscos (HILLIER, 2010).

A simulação inicia-se com a modelagem de um sistema a ser investigado. O modelo de simulação é definido como um conjunto de equações pelas quais as variáveis utilizadas passam durante o tempo, bem como as regras de transformação de processos as quais são submetidas. Para realizar a implementação deste modelo, utiliza-se uma linguagem de programação, onde

seu resultado é executado várias vezes no computador de forma a objetivar as respostas de interesse (ZHIANG LIN, CARROLL E CARLEY, 2007).

Atualmente, a tecnologia avançada permite, através de programas computacionais, a construção de modelos onde é possível visualizar, na tela do computador, o funcionamento todo do sistema (ou parte dele) a ser analisado. Portanto, antes de executar alterações no sistema real, é possível realizar as alterações neste sistema, de forma virtual, possibilitando a interação e a observação do comportamento gerado com cada movimento e mudanças realizadas nos processos, evitando riscos e impactos negativos na produção oriundos destas alterações (PRADO, 2003).

## **2.6. LINHAS DE PRODUÇÃO**

Um sistema produtivo se constitui, em geral, por diversas etapas, deste a compra da matéria prima até a venda do produto. Há ainda etapas intermediárias como a manufatura, a embalagem, a estocagem e o controle de qualidade. (MAROUELI, 2008).

Atualmente, linhas de produção são comumente a área onde há mais aplicações de modelagem computacional. A incorporação de alguns elementos afeta a dinâmica atual dos processos e funcionamento do sistema como um todo, necessitando de uma análise para seus possíveis impactos sobre a produção. Um setor de produção considerado totalmente novo, pode ser planejado através da obtenção de seu melhor fluxo dentro dele, de acordo com as modelagens (PRADO, 2003).

Um setor de produção pode ser planejado verificando a existência de gargalos e obtendo seu melhor fluxo de produção dentro das restrições do sistema. Quando há a necessidade de modificações no fluxo de produção, é possível identificar, com a modelagem, onde serão formados os possíveis estrangulamentos dos processos. É possível ainda identificá-los em uma linha de produção atual, caso existam, e observar o seu impacto na produção final.

Após tentativas de melhoria do fluxo, é possível chegar ao melhor modelo que permita realizar as alterações e obter a realidade desejada (PRADO, 2003).

## **2.7. SOFTWARE ARENA**

O Arena é um software computacional utilizado para realizar simulações. A fim de realizar a construção de modelos, o software disponibiliza um ambiente de desenvolvimento através de metodologias de fluxograma (ROSSETTI, 2016). O Arena disponibiliza um conjunto de blocos que são utilizados para realizar uma aplicação real, funcionando como comandos de linguagens de programação previamente definidas (PRADO, 2003).

Segundo Prado (2003), o software apresenta ferramentas de entrada e saída, estas que são fundamentais para incorporar dados e realizar análises durante a simulação, tanto de forma gráfica como através de outros recursos disponíveis. O software funciona, de forma resumida, como estações de trabalho, onde há recursos necessários para a realização do processo, prestando serviço aos clientes (entidades) que se movem pelo sistema. É necessário definir os fluxos para as entidades que funcionarão como a lógica de programação do modelo. Além disso, o sistema deve ser dimensionado através de variáveis relacionadas ao tempo de espera do cliente na fila, quantidade de operadores ou atendentes etc.; estas que, para uma simulação, são dadas como variáveis randômicas (aleatórias).

Os dados necessários para realizar a simulação de um cenário desejado são colocados pelo usuário através do preenchimento dos blocos, que fornecem as informações sobre o funcionamento específico de cada estação de trabalho e que realizam o desenho do fluxo desejado (PRADO, 2003). Ao final da simulação, o software emite um relatório que permite uma busca detalhada sobre os recursos utilizados, tempo de fila, custos, resultado da simulação, tempo de ociosidade dos operadores, entre outros. (ROSSETTI, 2016)

O software também conta com uma animação gráfica, onde é possível a colocação de desenhos e símbolos para representar os caminhos percorridos

pelas entidades e as suas estações de trabalho ao longo do tempo. Estas informações são colocadas pelo usuário, a fim de realizar a simulação do cenário desejado. (PRADO, 2003).

### 3. METODOLOGIA

O projeto de pesquisa realizado é considerado prescritivo, onde a técnica de realização é de abordagem quantitativa. Isto porque a pesquisa objetiva indicar o melhor caminho e ações ideais para que os gestores possam realizar o planejamento do sistema de forma a alcançar os objetivos mencionados. Além disso, a realização da pesquisa se deu através da obtenção de respostas objetivas que podem ser traduzidas de forma numérica, com a possibilidade de transformação dos resultados em percentuais, possuindo fácil visualização em gráficos e tabelas.

A pesquisa foi realizada em uma fábrica digital de protetores faciais localizada no Distrito Federal. Os dados obtidos foram referentes ao projeto desenvolvido pela empresa, realizado durante a pandemia do vírus sars.cov.2 para a confecção de protetores faciais, cuja equipe contava com trinta funcionários e cuja produção ocorreu no período de abril de 2020 à maio de 2021. A presente pesquisa foi realizada no período de agosto de 2020 a maio de 2021.

Segundo ROSSETI (2016), para realizar a modelagem de simulação de um sistema, uma série de etapas devem ser seguidas, conforme a Figura 3. Faz-se necessária a utilização de uma metodologia de simulação baseada em resolução de um problema através da análise de sistemas, esta detalhada em seis principais fases.

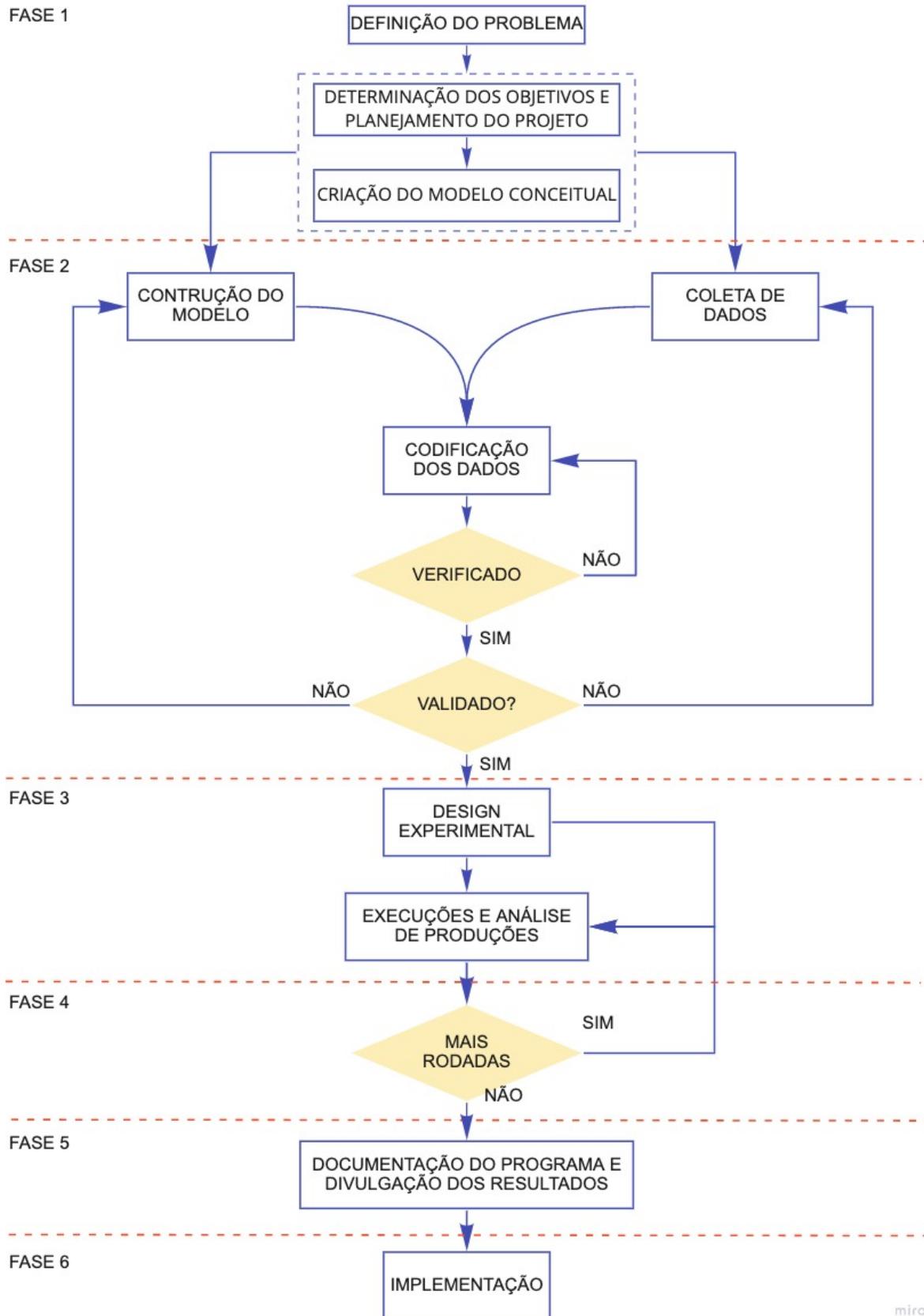


Figura 3 - Metodologia geral da simulação

Fonte: Adaptado de Rossetti (2016)

Desta forma, a metodologia utilizada para a realização da presente pesquisa segue os passos pontuados por Rossetti (2016) em seu livro *Simulation modeling and Arena*, com algumas adaptações, onde cada fase é detalhada nas próximas seções.

### **3.1. FASE 01**

Para a fase 01, Rossetti (2016) afirma que deve ser definido o problema, o sistema a ser analisado, as métricas de desempenho, a construção do modelo conceitual e realizar suposições de modelos de documentos.

O problema identificado, como já exposto na seção anterior, é referente à otimização do fluxo de produção da fábrica digital de *faceshields*. Com a definição do problema e os objetivos traçados, foi possível identificar o sistema que se desejava analisar e, desta forma, fez-se o estudo dos processos de produção da fábrica para melhor entender o seu comportamento e funcionamento, a fim de definir as métricas necessárias para a construção do modelo conceitual.

A partir da análise do sistema, os indicadores escolhidos para realizar a simulação foram:

- Tempo de execução de cada processo por cada operador;
- Taxa de insumos descartados e sua divisão em categorias;
- Tempo de deslocamento entre os processos;
- Custos dos operadores.

A técnica de mensuração utilizada para os indicadores foi a média dos dados obtidos.

### 3.2. FASE 02

A fase 2 engloba a tradução do modelo, modelagem de entrada, verificação e validação (ROSSETTI, 2016). Para tanto, nesta fase, é necessário que os dados tenham sido coletados.

Para obter o tempo de realização de cada processo, foram coletados os dados de tempo de execução dos operadores para cada atividade realizada. O tempo de operação foi coletado através de fichas preenchidas manualmente pelos próprios colaboradores, que continham dados como: hora do início da atividade, hora do término da atividade e quantidade de componentes executados, como mostra o exemplo da Figura 4. Além disso, as quantidades de componentes referente às categorias foram obtidas, também, através do preenchimento das fichas diante das operações realizada para obter a quantidade específica de visores, suportes e elásticos que eram destinados às categorias hospitalares, gerais e descarte. A fim de obter confiabilidade nos dados obtidos, fez-se o apanhado das fichas para cada processo referentes a 7 meses de produção.

Nº do lote: \_\_\_\_\_ Quant. Visores: \_\_\_\_\_ Data de lavagem: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_  
Início da lavagem: \_\_\_:\_\_\_ Final da lavagem: \_\_\_:\_\_\_ Colaborador: \_\_\_\_\_

**Controle de Uso de Material**

Data Manipulação					
Colaborador					
Uso Hospitalar					
Uso Geral					
Descartado					
Estoque					

Figura 4 - Exemplo de ficha para controle de produtividade e diferentes categorias

Fonte: Material interno da empresa (2020)

Os dados coletados nas fichas foram passados para planilhas do Excel onde, com as informações disponíveis, foi possível realizar seu tratamento e calcular o tempo de produtividade e, conseqüentemente, o tempo de operação de cada membro para cada processo com o auxílio de tabelas dinâmicas disponibilizadas pelo próprio programa. Foi possível também obter a taxa de

proporção das categorias para os suportes, visores e elásticos, diante da média geral dos dados passados para as planilhas: fez-se a razão entre cada categoria e o total de componentes para os processos selecionados. Desta forma, foi possível construir tabelas de capacitação (quais atividades cada operador podia realizar), tabelas de tempo de execução e tabelas das taxas das categorias. Os dados das tabelas foram cruzados de forma a unificar as informações.

O tempo de deslocamento entre os processos foi medido através da observação do funcionamento da fábrica, e fez-se a média dos tempos obtidos. Os dados referentes ao tempo de execução das impressoras 3D e da máquina de corte a laser foram obtidos com os próprios colaboradores e os custos de cada operador foram obtidos com os gestores da fábrica. Ambos os dados foram transpassados, também, para tabelas.

Em paralelo à obtenção dos dados, foi realizado o desenho geral da modelagem de forma simplificada do sistema no software Arena, a fim de identificar se haveria a necessidade de obtenção de mais dados e conhecimentos sobre os processos de produção. Os processos e recursos necessários para a montagem dos protetores faciais foram simulados e os dados obtidos foram usados como inputs do sistema.

Para simular a fábrica, fez-se o aquecimento prévio de cada turno de trabalho, realizando a validação do funcionamento do modelo. Ao realizar a verificação e obter respostas positivas ao desempenho e aos dados, deu-se segmento às próximas etapas.

### **3.3. FASE 03 E 04**

A fase 3 engloba as corridas preliminares e experimentos finais da modelagem e, na fase 4, é verificado se é preciso que haja mais simulações do sistema, para então dar prosseguimento às etapas finais. Desta forma, para a fase 3 e a fase 4 foram executados os ajustes finais da modelagem e a análise dos resultados.

O panorama geral da simulação foi desenvolvido, onde os dados coletados para inputs foram anotados para análises posteriores. Além disso, foi realizada a simulação de vários cenários do sistema, para não apenas permitir uma melhor compreensão do funcionamento da linha de produção, mas também realizar comparações e verificar o impacto das variáveis e restrições no sistema, identificando possíveis ajustes na linha de produção e gastos desnecessários.

A análise da produção e dos custos dos diferentes cenários foi realizada observando a necessidade de mais rodadas da simulação (fase 4 da Figura 3), a fim de garantir maior qualidade ao modelo, validando os resultados obtidos, e tornando-o, assim, mais robusto.

Quando o modelo não apresentou necessidade de novas simulações e os resultados desejados foram obtidos e alcançados, deu-se seguimento para a próxima fase.

### **3.4. FASE 05**

A fase 5 engloba a documentação, o manual do modelo e o manual do usuário. Após todas as simulações necessárias terem sido executadas, os dados foram documentados e analisados para que pudessem ser passados aos gestores da fábrica, disponibilizando as análises referentes à otimização de seus recursos e produção.

A comparação foi realizada com o cenário dos últimos 5 meses de projeto para indicar as possíveis melhorias e pontos a serem otimizados no sistema. Os dados dos cenários rodados e os resultados foram armazenados, a fim de que o cenário que melhor se adequasse à situação da fábrica pudesse ser escolhido, permitindo ao gestor o poder de decisão.

### **3.5. FASE 06**

A fase 06 consiste na implementação do modelo simulado no sistema em estudo. Desta forma, busca-se reproduzir, na realidade, o que foi realizado no

sistema de forma virtual, a fim de implementar os ajustes e obter os resultados desejados.

Como o projeto de produção dos protetores faciais foi encerrado em maio de 2021, não foi possível implementar os resultados obtidos, o que caracteriza a pesquisa apenas como prescritiva e não aplicada.

## 4. DESENVOLVIMENTO

Nesta seção do trabalho, será abordado a explicação dos processos e funcionamento da fábrica de protetores faciais, os dados utilizados para a simulação computacional, as restrições do sistema e a formulação da modelagem, com a determinação de suas características.

A compreensão de todo o processo produtivo da fábrica é parte fundamental para realizar a simulação do sistema, de forma a entender e representar da melhor maneira as suas características e comportamentos.

### 4.1. PRODUÇÃO

A equipe do projeto incluía trinta estudantes, em sua maioria realizando graduação em cursos de engenharia, que foram divididos em dois turnos de trabalho, matutino e vespertino. O espaço destinado à produção de protetores faciais foi montado, atendendo às normas de segurança requeridas.

Para realizar a confecção dos protetores faciais são necessários três principais insumos, que incluem filamentos, para a impressão dos suportes 3D, placas de PET, para serem confeccionados os visores, e elásticos, para prender o equipamento ao rosto do usuário de forma a deixá-lo fixo. No projeto de confecção os protetores, o filamento utilizado para as impressões 3D foi o filamento PLA e a placa utilizada para realizar os visores foi a placa PETG.

Com o planejamento da produção realizado ao longo do projeto, baseado na capacidade instalada de equipamentos, a empresa foi capaz de ajustar sua produção e adquirir os insumos necessários para a fabricação dos protetores faciais, de acordo com as especificações de materiais necessárias e das normas de segurança. Além disso, a fábrica disponibilizou dois modelos de *faceshields*, classificados como M1 e M2, que apresentavam formatos de suportes e visores diferentes. O segundo modelo foi a evolução do modelo um, que apresentou melhorias de mobilidade do produto e conforto aos usuários.

O gerenciamento do projeto foi implementado visando melhor atingir as metas de produção, onde as atividades necessárias para a confecção dos protetores foram estabelecidas e os recursos necessários ajustados no decorrer do projeto.

## 4.2. OS PROCESSOS

A produção de *faceshields*, executada pela fábrica digital, apresenta o sequenciamento de processos descrito na Figura 5. Este sequenciamento é fundamental para que os protetores faciais sejam confeccionados da melhor forma, garantindo qualidade ao produto e melhor gerenciamento do fluxo produtivo.

Os protetores faciais são compostos por três peças que são o suporte, o elástico e o visor. A fim de chegar ao produto final com a qualidade esperada, os processos devem ser seguidos, respeitando todo o sequenciamento necessário para a produção. Os principais fluxos relacionados à produção de *faceshields* compreendem as fases de suporte (impressão, conformidade e acabamento), e de visor (corte e lavagem). Por último, estes fluxos também incluem o corte de elástico e a montagem dos protetores.

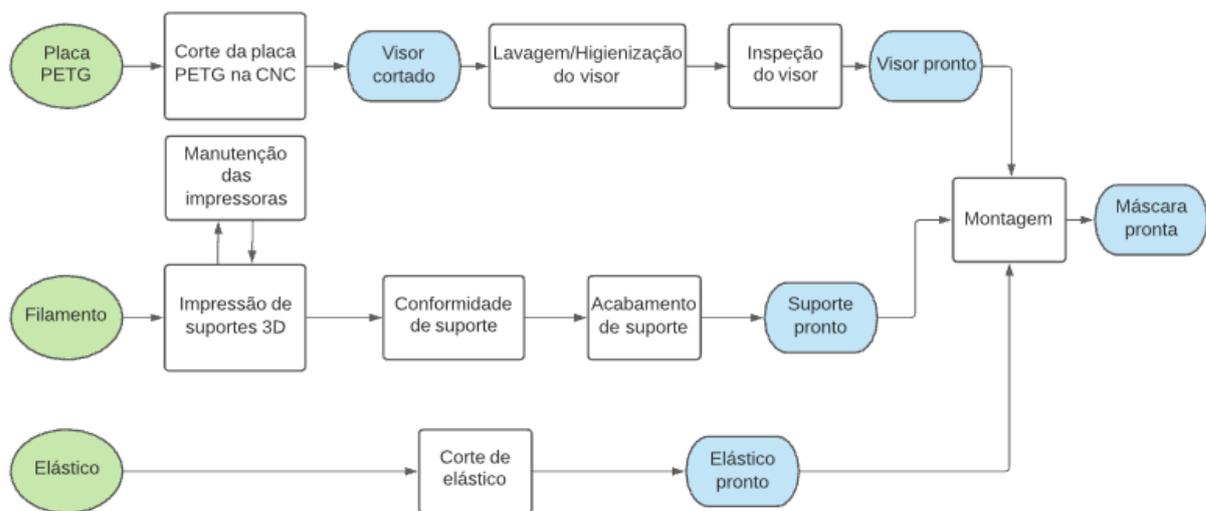


Figura 5 - Fluxo dos processos para a produção de protetores faciais

Fonte: Adaptado do material interno da empresa (2020)

O fluxo dos processos é dividido entre três macroprocessos gerais que podem ser realizados em paralelo (interdependentes entre si), que são processos relacionados ao visor, os processos de suporte e os processos relacionados ao elástico.

Dentro destes macroprocessos, há processos que devem ser sequenciados, isto é, um processo não pode ser iniciado sem que o anterior tenha sido concluído. Como exemplo deste sequenciamento, pode-se mencionar que a inspeção do visor não pode ser iniciada sem que os visores não tenham sido higienizados. Com o funcionamento da fábrica ao longo do tempo, é possível que haja estoques ao final de alguns processos, permitindo que ambas as atividades funcionem de forma simultânea, já que há quantidade suficiente de insumos, componentes e recursos para a sua realização.

Os círculos iniciais da Figura 5 representam os insumos necessários para que os processos seguintes possam ser executados, configurando as três linhas de macroprocessos mencionadas.

#### **4.2.1. Impressão de suporte**

Este processo consiste na impressão dos suportes pelas impressoras 3D através do filamento e configurações escolhidas. É selecionado o modelo de suporte desejado e, dessa forma, o arquivo contendo a peça fatiada é colocado na impressora, onde ocorre o processo. Para a modelagem da peça, é utilizado o software *Autodesk Fusion* e para realizar o seu fatiamento, é utilizado o software *Prusa Slicer*, onde é possível visualizar as camadas do objeto, a quantidade de filamento gasta e o tempo de impressão. O modelo de suporte apresentou modificações durante o projeto, sendo dividido entre M1 e M2, que apresentam tempos de impressão diferentes devido ao seu tamanho e configuração. Este processo é realizado em duas salas e em cada ambiente de impressão são alocados dois membros da equipe, responsáveis por monitorar o processo e retirar as peças finalizadas das impressoras.

#### **4.2.2. Conformidade do suporte**

Através da conformidade, espera-se que a peça apresente os níveis de qualidade previamente estabelecidos, onde há a definição de critérios que classificam a peça em três categorias de qualidade, denominadas como hospitalar, geral e descarte. Neste processo, para verificar o atendimento à qualidade e ao nível de tensão esperado, o suporte é sujeito, de forma manual, a testes de tensionamento, além de serem verificadas algumas deformidades na peça. Dessa forma, o suporte é então separado nas três categorias mencionadas.

Para serem destinados a utilização hospitalar, o suporte deve estar dentro da primeira categoria, considerada, entre as três, como a de melhor qualidade. Estes suportes passam no teste de tensionamento e apresentam boa estrutura, com nenhuma ou pouca deformidade.

Os suportes gerais são aqueles que apresentam algumas possíveis deformidades e, conseqüentemente, não apresentam as conformidades hospitalares desejadas, mas ainda são aprovados pelo teste de tensionamento, podendo então ser utilizados. Por fim, os suportes descartados são aqueles que não podem ser usados, seja por uma deformidade ou falha na impressão que impossibilite sua utilização, ou por um manuseio incorreto que possa ter ocasionado o rompimento da peça ou, por último, pela não aprovação aos testes expostos.

Os membros escalados para as salas de impressão são responsáveis por estas atividades, que são realizadas de forma individual.

#### **4.2.3. Acabamento do suporte**

Este processo consiste na retirada de rebarbas presentes nos suportes de categorias hospitalar e geral. Após o processo de impressão, é comum que haja, não apenas a presença de alguns “fiapos”, mas também leves deformidades na peça impressa, que devem ser retiradas através do auxílio de

algumas ferramentas (estiletas, alicates e espátulas). Este processo objetiva garantir uma melhor finalização das peças, de forma a deixá-las em um padrão esperado, além de manter a qualidade do produto. Esta atividade é realizada de forma individual. Durante este processo, os suportes, já então definidos como hospitalares e gerais, podem ser descartados ou mudados de categoria, a critério do operador. Um suporte hospitalar pode ser reclassificado como de categoria geral ou até mesmo descartado, caso apresente não conformidades que não foram observadas no processo anterior.

#### **4.2.4. Corte de visor**

Os cortes nas placas PETG para a confecção dos visores são realizados por uma cortadora à laser. A cortadora é configurada da forma desejada, com o modelo de visor definido. Esta atividade é realizada de forma individual, onde o operador realiza o *set up* da máquina e fiscaliza o processo, interrompendo-o na presença de erros de execução ou falhas na cortadora.

Ao final deste processo, há a separação dos visores em lotes que são posteriormente destinados à higienização e visores que são descartados devido a erros ocorridos durante o corte. Para o modelo de visor M1, os lotes cortados das placas apresentam 32 visores e, para o modelo de visor M2, os lotes cortados apresentam 24 visores. Esta diferença de quantidade ocorre porque o visor M2 apresenta maior área e, conseqüentemente, é possível cortar menos visores deste modelo em uma placa de mesmo tamanho.

#### **4.2.5. Higienização de visor**

Após o corte da placa, faz-se necessária a higienização de cada lote de visor cortado com o uso de detergente e esponja. Os visores devem ser bem lavados para retirar as possíveis contaminações presentes na película que os reveste. Esta atividade é realizada de forma individual e, neste processo, não há a separação dos visores em categorias.

#### **4.2.6. Conformidade de visor (inspeção)**

Da mesma forma para a conformidade de suporte, a conformidade de visor buscar analisar a qualidade do componente e classificá-lo de acordo com as categorias definidas. A atividade de inspeção dos visores verifica, portanto, possíveis imperfeições presentes nos mesmos.

Para realizar o processo, retira-se a película que reveste o visor e faz-se a análise de sua superfície. Neste processo, os visores são divididos, novamente, nas três categorias já mencionadas, que são a hospitalar, a geral e descarte. Para um visor ser considerado de categoria hospitalar, é necessário que ele esteja dentro dos padrões adotados pela empresa, não possuindo deformações, bolhas ou riscos no campo de visão. Portanto, se o visor apresentar alguma não conformidade, ele poderá ser colocado na categoria geral, caso ainda possa ser utilizado. Porém, poderá ser classificado como descartado, se a sua utilização não for possível. Esta atividade é realizada de forma individual.

#### **4.2.7. Corte de elástico**

Neste processo, com o auxílio de ferramentas, os elásticos são cortados com um tamanho padrão previamente definido, garantindo a padronização do produto. Além disso, é feito o controle de qualidade do material, eliminando os cortes que apresentam sujidade ou possíveis não conformidades. Os elásticos não são definidos entre categorias hospitalar e geral, onde apenas alguns pedaços não conformes são descartados. Desta forma, os elásticos cortados ficam disponibilizados em sacos herméticos, podendo ser utilizados tanto para a produção de protetores faciais quanto para a produção de protetores gerais. Esta atividade é realizada de forma individual.

#### **4.2.8. Montagem de protetores faciais (*faceshields*)**

Neste processo ocorre a montagem do produto final. Para se chegar a esta etapa do fluxo de produção, é necessário que os componentes dos

protetores faciais (visor, suporte e elástico) tenham passado por todos os seus respectivos processos e análises de qualidade para que se encontrem prontos para a montagem. No processo de montagem há subprocessos que devem ocorrer para que a execução seja realizada da forma correta, garantindo a qualidade esperada do produto.

Com os componentes já definidos e separados em categorias e o ambiente de trabalho preparado, é possível dar início ao processo de montagem. Os suportes e visores são, então, higienizados com álcool etílico 70%. Após a higienização de forma correta, são realizados os encaixes dos componentes, seguindo o sequenciamento necessário. Para tanto, primeiro deve-se encaixar o visor ao suporte e, em seguida, deve-se encaixar o elástico a esta estrutura, evitando que o elástico seja manuseado de forma excessiva até que chegue ao usuário final, pois não é possível realizar a sua higienização.

Paralelamente a estes processos, é realizado o corte de papel grau cirúrgico, que é utilizado para embalar os protetores e protegê-los. O rótulo do produto, contendo as informações sobre a sua descrição e utilização, deve ser adicionado à embalagem, na parte interna do papel. Ao final do processo, quando os protetores faciais já estão montados, estes são adicionados às caixas de papelão em lotes de 25 unidades, que é quantidade máxima que pode ser armazenada na caixa utilizada pela fábrica. Nos processos de montagem de protetores hospitalares, há a adição de sacos plásticos para embalar os lotes de protetores, enquanto na montagem geral não há a sua utilização.

#### **4.2.9. Outras atividades**

Além dos processos relacionados à confecção dos protetores faciais, há atividades realizadas em conjunto como o recebimento de materiais, organização e controle do estoque, montagem e fechamento de caixas, abastecimento dos locais de execução das atividades com os insumos necessários para a sua realização e entrega do produto ao cliente. Estas atividades são necessárias para a execução dos processos principais, mas não foram incluídas na simulação do fluxo de produção.

### **4.3. ESTRUTURA DA FÁBRICA E FLUXO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO**

O espaço da produção, localizada em um prédio, conta com dois andares. No primeiro andar se encontra a área de seção de corte das placas para a confecção dos visores, com uma cortadora à laser, e a sala de estoque, onde os insumos necessários para a produção são mantidos, insumos estes divididos em materiais de apoio, materiais de limpeza, equipamentos de proteção, manutenção, matéria prima, visores, papel grau cirúrgico e elásticos. Além disso, a sala de manutenção das impressoras localiza-se, também, no primeiro andar, e nesta sala ficam algumas impressoras 3D não utilizadas para a produção dos protetores.

O segundo andar conta com duas salas de impressão para realizar a impressão dos suportes e sua conformidade de impressão, e com uma sala de apoio, onde é realizada a gestão da equipe, controle de produtividade, controle de fichas, planejamento de compras e verificação das atividades. O segundo andar conta ainda com uma área com mesas de acabamento de suporte e uma sala de processamento, onde é realizado o corte dos elásticos, a inspeção dos visores e a montagem dos protetores faciais. Finalizando a composição do segundo andar, há uma copa, utilizada para a higienização dos visores, e uma sala com os produtos finais, onde as caixas finalizadas são armazenadas, e é realizado o controle das entregas.

A composição da estrutura da fábrica, bem como o fluxo de produção e funcionamento estão representados na figura 6.

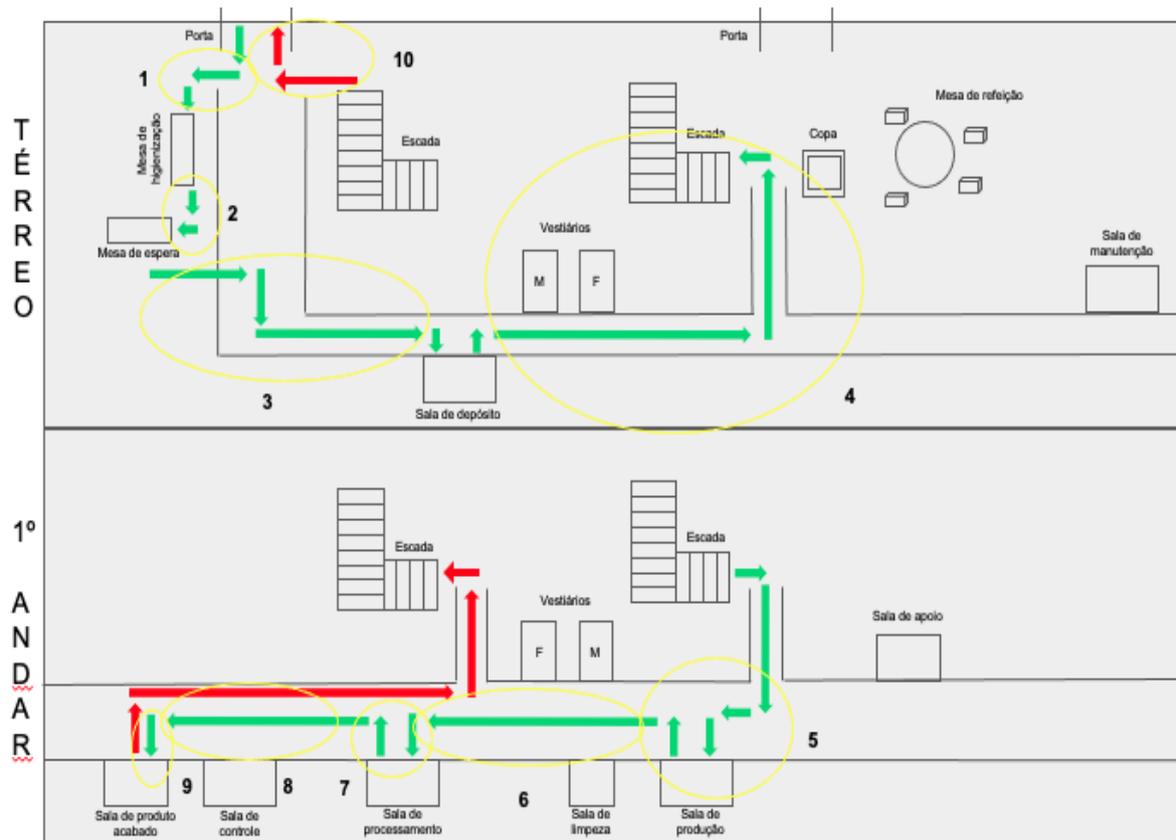


Figura 6 – Estrutura da fábrica e fluxo de produção

Fonte: Material interno da empresa (2020)

As setas verde e vermelha representam o fluxo de entrada e saída de materiais, respectivamente, e os processos mencionados anteriormente (seção 4.2) acontecem nos espaços já descritos. Por último, a composição estrutural da fábrica pode ser sintetizada pelos itens a seguir:

- 1 - Entrada de materiais no espaço produtivo da fábrica;
- 2 - Higienização do produto chegado e aguardo para sua movimentação;
- 3 – Corte da placa / Movimentação de material para o estoque;
- 4 - Transporte de matéria-prima para a sala de produção;
- 5 - Impressão do suporte;
- 6 – Higienização dos visores / Transporte da sala de produção para a sala de processamento;
- 7 – Processamento: acabamento do suporte, corte de elástico e montagem da máscara;
- 8 - Transporte de máscara embalada para a sala de estoque final;

- 9 - Rotulagem da caixa;
- 10 - Saída de produto pronto;

#### 4.4. DADOS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO

Para representar os dados utilizados, os processos foram representados de acordo com o Quadro 1.

Quadro 1 - Representação para os processos

IDENTIFICAÇÃO	PROCESSO
A	Corte de visor;
B	Lavagem de visor;
C	Inspeção de visor;
D	Impressão 3D de suportes;
E	Acabamento do suporte;
F	Corte de elástico;
G	Montagem de <i>faceshields</i> ;

Fonte: Autora (2020)

Para o presente projeto, os dados obtidos foram referentes ao protetor facial de modelo 2, este que foi confeccionado na fábrica entre os meses de outubro de 2020 à janeiro de 2021, e utilizado para realizar a simulação computacional. O processo de conformidade de suporte foi considerado como um subprocesso do processo de impressão (D) e não apresentou especificação própria.

##### 4.4.1. Custos e quantidade de recursos utilizados

A Tabela 1 representa a quantidade necessária de membros para realizar cada processo. Observa-se que apenas os processos de impressão 3D de suportes (letra D) e montagem de *faceshields* (letra G) requerem mais de um membro, de forma simultânea, para a sua realização.

*Tabela 1 - Quantidade de membros necessária por atividade*

<b>ATIVIDADE</b>	<b>QUANTIDADE DE MEMBROS NECESSÁRIA</b>
A	1
B	1
C	1
D	$\geq 2$ por sala
E	1
F	1
G	$\geq 3$

Fonte: Autora (2020)

Os recursos utilizados incluem 15 membros para o turno matutino e 15 membros para o turno vespertino, além de 49 impressoras 3D e uma cortadora à laser.

A equipe composta por 30 membros é formada por dois tipos de operadores. Os membros da equipe chamada de tipo A neste trabalho, operam nos dois turnos com uma carga horária de 8 horas. Por sua vez, os membros da equipe dita tipo B, operam somente no turno a que pertencem, com carga horária de 6 horas. Os primeiros são alunos formados, das áreas de engenharia, enquanto os demais são estagiários da fábrica. Os custos das horas dos tipos de operadores estão representados na Tabela 2. Os operadores tipo A compreendem um total de 4 membros e os operadores tipo B compreendem um total de 26 membros.

*Tabela 2 - Custo em hora dos operadores do tipo A e B*

<b>OPERADOR</b>	<b>CUSTO / HORA</b>
Tipo A	R\$ 20,00
Tipo B	R\$ 7,50

Fonte: Autora (2020)

#### 4.4.2. Tempos de operação das equipes e dos recursos para corte e impressão

A Tabela 3 mostra o tempo de operação de cada membro do turno da manhã em relação aos processos, bem como a capacitação da pessoa para tal, isto é, se o membro pode realizar aquela atividade ou não. Os espaços em branco mostram que o membro não é apto para realizar aquela atividade, não apresentando, assim, tempo de operação para o processo indicado.

*Tabela 3 - Capacitação e tempo de operação do turno matutino*

<b>MEMBRO</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
Membro 1				X		0.49	2,31
Membro 2		0.90	0.71	X	2.73	0.27	0.9
Membro 3		0.95	1.00		5.00	0.22	1.98
Membro 4		0.90	0.61		2.22	0.33	1.47
Membro 5		0.77	0.80		2.86		1.50
Membro 6		1.88	1.00		4.62		1.50
Membro 7		0.80	1.00		2.00		0.93
Membro 8	X						
Membro 9			1.00	X	6.00		1.50
Membro 10		0.75	0.71		2.40	0.70	1.61
Membro 11		0.90	0.42	X	2.86	0,66	1.50
Membro 12		1.16	0.61		3.00	0.70	1.13
Membro 13		0.90	1.00	X	2.22	0.23	5.45
Membro 14		0.92	0.38		2.73	0.38	0.92
Membro 15		1.29	0.38		2.40	0.32	1.50

Fonte: Autora (2020)

A Tabela 4 apresenta, para o turno da tarde, as informações de tempo de operação de cada membro em relação aos processos utilizados na simulação, bem como a capacitação para cada atividade.

Tabela 4 - Capacitação e tempo de operação do turno vespertino

<b>MEMBRO</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
Membro 16	X						
Membro 17		1.88	0.72		5	0.29	1.50
Membro 18		1.20	0.7		3.16	0.33	1.35
Membro 19		2	1	X	8.57	0.62	2.31
Membro 20		0.81	0.7		2.6	0.28	1.10
Membro 21		1.10	1		3.75		1.00
Membro 22		0.84	0.7	X	1.81	0.42	1.68
Membro 23		0.98	0.72		3.33	0.29	0.80
Membro 24			1	X	7		
Membro 25		1.26	0.72		3.75	0.36	1.37
Membro 26			1	X	7		1.50
Membro 27		0.9	1	X	2.6	0.32	1.50
Membro 28		1.20	1	X	2.72	0.44	1.50
Membro 29		1.40	0.7		7	0.46	1.05
Membro 30		0.8	1		1.80	0.28	1.50

Fonte: Autora (2020)

Os dados das Tabela 3 e Tabela 4 representam o tempo de operacionalizar uma peça em minutos. O X presente nos processos de corte de visor e impressão de suportes representam a capacitação do membro para aquela atividade, já que o tempo de execução destas atividades está relacionada à máquina e não ao operador em si.

Os recursos do tipo A são os membros 01, 08, 16 e 19, e os demais membros são considerados do tipo B.

Para o processo de corte da placa PETG e impressão 3D, não foram considerados os tempos de operação dos membros e sim o tempo de corte de uma placa e o tempo de impressão de uma peça. O tempo de corte de visor é apresentado na Tabela 5. Por sua vez, o tempo de impressão 3D de acordo com cada impressora está apresentado na Tabela 6.

*Tabela 5 - Tempo de operação da cortadora a laser por placa PETG*

<b>CORTADORA A LASER</b>	<b>TEMPO DE OPERAÇÃO (min)</b>
Cortadora 1	0.87

Fonte: Autora (2020)

A cortadora a laser é da marca Katto Laser, modelo 14/10, com área de corte de 1,40m x 1,0m. O corte de um visor leva em média 52 segundos. Para cada placa PETG é possível cortar 24 visores do modelo M2, o que totaliza um tempo médio de 20 minutos de operação por placa.

*Tabela 6 - Tempo de operação das impressoras 3D por suporte*

<b>IMPRESSORA</b>	<b>TEMPO DE OPERAÇÃO (min)</b>
Impressora 01 a 35	100
Impressora 36 a 41	127
Impressora 42	108
Impressora 43 a 49	115

Fonte: Autora (2020)

Os tempos de operação das impressoras apresentados na Tabela 6 são diferentes porque elas são de diferentes modelos. As impressoras de número 01 a 35 são do modelo Prusa MK3S, as de número 36 a 41 são do modelo Ender 5 Plus, a de número 42 é do modelo Prusa MK2S e as demais são do modelo Ender 3.

A diferença entre os modelos das impressoras faz com que, além do tempo de impressão dos suportes seja diferente, o percentual destinado a cada categoria devido à qualidade da impressão seja também diferente. As taxas das categorias foram calculadas através da média de todas as impressoras, gerando um único percentual em comum para simular o processo de impressão. As máquinas listadas são utilizadas em ambos os turnos e foram representadas da mesma forma na simulação.

### 4.4.3. Divisão de categorias

Para realizar a divisão das categorias, foram atribuídas as taxas equivalentes à cada operação. Estas taxas foram obtidas através das operações realizadas e o preenchimento das fichas com a quantidade de visores, suportes e elásticos que eram destinados às categorias hospitalares, gerais e descarte. A análise dos dados permite ter conhecimento das taxas equivalentes para cada operação, conforme a Tabela 7.

*Tabela 7 - Taxas (%) de cada categoria para os processos de inspeção*

<b>PROCESSO</b>	<b>HOSPITALAR</b>	<b>GERAL</b>	<b>DESCARTE</b>
Inspeção de visor	60%	30%	10%
Conformidade de suporte	82%	16%	2%
Corte de elástico	75%	20%	5%

Fonte: Autora (2020)

Como mencionado, para o processo de corte de elástico não há divisão de categorias. Porém, para a construção do modelo e funcionamento correto da modelagem, fez-se necessária a sua divisão, de forma a compor a produção hospitalar e geral. Desta forma, a taxa colocada foi referente à proporção das máscaras hospitalares e gerais já concluídas, visto que os elásticos abasteciam ambas as produções sem distinção.

### 4.4.4. Tempo de deslocamento

Através da estrutura da fábrica (Figura 6) é possível observar que os insumos se movem ao longo do sistema. Deste modo, os materiais de entrada se locomovem passando pelos processos, para então chegarem ao seu destino. Para realizar a simulação do sistema, é importante, então, que o tempo de deslocamento seja considerado, já que pode impactar de forma significativa o resultado.

Para a simulação deste projeto, foi considerado somente o tempo de deslocamento do processo de corte de visor para o processo de lavagem (Tabela 8) já que o primeiro processo é realizado no primeiro andar e o segundo processo é realizado no segundo andar da fábrica e, conseqüentemente, apresenta um valor mensurável. Os demais deslocamentos não foram capazes de ser mensurados por serem realizados em ambientes próximos ou no mesmo ambiente, ou seja, sem deslocamento de salas.

*Tabela 8 - Tempo de deslocamento entre os processos*

<b>PROCESSOS (TRANSIÇÃO)</b>	<b>TEMPO DE DESLOCAMENTO</b>
A - B	3 mim – 5 mim

Fonte: Autora (2020)

O deslocamento entre os processos é realizado pelos próprios membros, não necessitando de transportes específicos para a sua realização.

Por último, deve-se dizer que o turno da manhã compreende o período das 7h00 às 13h00 e o turno da tarde compreende o período das 13h00 às 19h00, totalizando uma jornada de 12 horas diárias.

#### **4.5. RESTRIÇÕES**

Para realizar a simulação da fábrica, é necessário que algumas restrições sejam satisfeitas. Dentre elas estão:

- Não pode haver choque de horário entre o turno da manhã e o turno da tarde. Portanto, os membros da manhã e da tarde devem realizar suas atividades somente no turno da manhã e da tarde, respectivamente, de forma a evitar o contato entre os alunos;
- O operador do tipo B não deve trabalhar mais do que seis horas diárias;
- O sequenciamento dos processos deve ser respeitado;
- A quantidade mínima de membros por processo deve ser mantida, não podendo haver alterações;
- Os lotes devem ser respeitados, com as quantidades atuais:

- Pacotes de 24 visores após o corte da placa;
- Caixas fechadas contendo 25 protetores faciais

#### 4.6. DESENVOLVIMENTO DA SIMULAÇÃO

Como mencionado, para realizar a simulação da produção de *faceshields*, foram considerados os modelos M2 dos visores e dos suportes, por serem os modelos mais atuais e de melhor qualidade confeccionados pela fábrica.

O fluxo de produção simulado incluiu os processos de: corte de visor, lavagem de visor, inspeção de visor, corte de elástico, impressão 3D de suportes, acabamento de suportes e montagem de *faceshields*. O processo de conformidade de suporte foi considerado um subprocesso e o processo de manutenção não foi incluso na modelagem.

Para realizar a simulação do sistema, é necessário fornecer dados (inputs) ao software para que este realize o processamento dos dados e forneça os resultados (outputs) desejados. Desta forma, as entradas e saídas da simulação são listadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Inputs e outputs do sistema

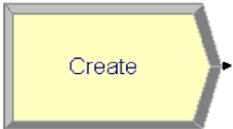
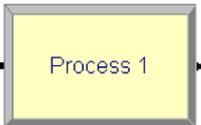
ENTRADA/SAÍDA	INFORMAÇÕES
INPUTS	⇒ Componentes necessários (filamento, elástico e placa PETG);
	⇒ 80 recursos (30 membros e 50 máquinas);
	⇒ Taxa de entrada de insumos (estoque);
	⇒ Tempo de operação das atividades por operador;
	⇒ Taxas de divisão por categorias;
	⇒ Tempo de deslocamento.
	⇒ Custo do operador por hora.
OUTPUTS	⇒ Quantidade de protetores faciais produzidos por categoria;
	⇒ Quantidade de componentes descartados;
	⇒ Tempo gasto por operador;
	⇒ Tempo ocioso;
	⇒ Custos finais.

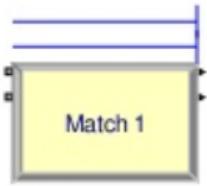
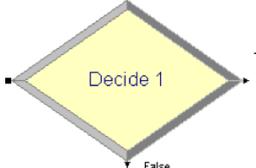
Fonte: Autora (2020)

Os dados de inputs foram colocados nos módulos fornecidos pelo software Arena, utilizados na simulação, que são *create*, *process*, *decide*, *batch*, *separate*, *match*, *set*, *enter*, *leave*, *resource*, *schedule* e *expression*. Com estes módulos, representa-se o fluxo, o funcionamento dos processos e do sistema como um todo. Os outputs foram obtidos através do bloco *dispose* e do relatório emitido pelo próprio software.

Cada bloco foi utilizado para compor uma parte do sistema e processar os dados da forma desejada. Assim, os blocos foram utilizados para as finalidades mencionadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Blocos do software Arena utilizados na simulação

BLOCOS	REPRESENTAÇÃO	UTILIZAÇÃO
<i>Create</i>		Utilizado para realizar a entrada dos insumos principais (filamento, elástico e placa PETG) para a fabricação dos protetores. Os dados de taxa de entrada dos insumos no sistema foram colocados neste bloco.
<i>Batch</i>		Utilizado para realizar a criação dos lotes desejados: 24 visores por pacote cortado e caixas com 25 protetores faciais cada.
<i>Separate</i>		Utilizado para dividir os lotes de visores que foram transformados em 1 (para atingir o tempo de processamento desejado), em 24 unidades.
<i>Process</i>		Utilizado para indicar os processos do sistema. Através das estações de trabalho criadas, foi possível selecionar os recursos ou sets que utilizados e colocar a expressão desejada;

BLOCOS	REPRESENTAÇÃO	UTILIZAÇÃO
<i>Match</i>		Utilizado para realizar a junção dos componentes principais. Desta forma, é necessário que haja pelo menos um suporte, um elástico cortado e um visor para que a montagem dos protetores seja executada. Um ou dois componentes por si só não são suficientes para dar continuidade à produção;
<i>Enter</i>		Utilizado para indicar a entrada dos lotes de visores cortados ao segundo andar da fábrica;
<i>Leave</i>		Utilizado para indicar a saída dos lotes de visores cortados do primeiro andar da fábrica e indicar o tempo de deslocamento para o segundo andar da fábrica;
<i>Decide</i>		Utilizado para indicar o percentual dos componentes destinados a cada categoria (hospitalar, geral e descarte);
<i>Dispose</i>		Utilizado para indicar as saídas do sistema, informando a quantidade de protetores faciais hospitalares e gerais produzidos ao final de cada turno, bem como a quantidade de componentes descartados durante a produção.
<i>Schedule</i>		Utilizado para controlar o tempo de entrada dos insumos e, conseqüentemente, o tempo de funcionamento dos processos seguintes, limitando sua operação em casos desejados;
<i>Resource</i>		Utilizado para listar todos os recursos humanos e maquinários do sistema. Este bloco fornece a opção de colocar o custo do operador por hora ocupada e hora ociosa;

BLOCOS	REPRESENTAÇÃO	UTILIZAÇÃO
Set		<p>Contém a divisão dos membros da fábrica por atividades. Os membros foram divididos em grupos aptos para realizar os processos. Exemplo: set de acabamento, set de montagem etc.;</p>
Expression		<p>Utilizado para informar as taxas de atendimento de cada operador para cada atividade, desde que seja que apto a realizar a atividade (Tabela 3 e Tabela 4). Os dados são colocados em tabelas e cruzados com as informações de recursos através da expressão: <code>processo(set_de_recursos_index);</code></p>

A caixa *process* (estação de trabalho) ao ser colocada em paralelo, é utilizada para fazer a representação das equipes. Ao ser acompanhada de um bloco *match* ao final, indica que é necessário que todos os processos em paralelo sejam executados para que os insumos possam seguir o restante do fluxo de produção. Para o processo de montagem, as caixas em paralelo representam os subprocessos necessários para a execução da montagem como um todo, sendo divididas em montagem 1, montagem 2 e montagem 3. Os recursos de um mesmo set de membros são utilizados para compor uma equipe de no mínimo três funcionários.

#### 4.6.1. Considerações sobre o modelo simulado

Ao realizar a simulação, algumas importantes considerações foram listadas, a respeito das características da modelagem construída:

- As simulações para cada turno foram realizadas separadamente, estas limitadas em 6 horas de funcionamento;
- Um aquecimento prévio de 30 horas no modelo foi realizado para cada turno, simulando uma semana de produção, a fim de permitir a execução

- das atividades do sistema de forma simultânea. Isto garante estoques de componentes entre os processos, tornando o modelo mais fiel à realidade;
- O tempo do processo de conformidade de suporte está incluso no tempo de impressão 3D, não sendo este considerado um processo a mais no sistema;
  - Não foram incorporadas ao modelo as taxas referentes às mudanças de categoria oriundas do processo de acabamento, já que apresentavam valores praticamente nulos: dificilmente um suporte considerado de categoria hospitalar era alterado para as demais categorias e vice-versa;
  - Diferentes cenários do sistema foram realizados para melhor compreensão do seu funcionamento e das restrições impostas;
  - Os processos de corte e impressão utilizaram tanto recursos humanos quanto recursos maquinários, enquanto os demais processos utilizaram somente recursos humanos;
  - Todas as restrições impostas foram respeitadas, sendo elas o tempo máximo de trabalho, o número mínimo de membros por atividade, a utilização de lotes e o sequenciamento correto dos processos;
  - O processo de manutenção (Figura 5), não foi implementado no modelo, pois não havia dados suficientes para a simulação de uma manutenção preventiva ou corretiva das impressoras 3D. Além disso, ao apresentar qualquer defeito durante a produção, a impressora era substituída por outra impressora em estoque, o que conseqüentemente não impactava de forma significativa a produção final.
  - Não foram associados tempos de execução diferentes entre processos de acabamento de suportes hospitalares e suportes gerais no modelo, visto que, apesar de não apresentarem o mesmo valor, a sua diferença não era relevante.
  - Para o tempo da simulação, não foram considerados as pausas para setup das máquinas nem o tempo de higienização dos ambientes e dos materiais.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, serão abordados os resultados para os cenários simulados, a identificação de possíveis gargalos nos processos, as análises dos resultados e a comparação com a realidade mais atual da fábrica, identificando possíveis pontos de melhoria. Busca-se realizar uma análise em termos de capacidade produtiva de protetores faciais do sistema através dos recursos disponíveis e identificar possíveis reduções de custos e gastos desnecessários.

### 5.1. CENÁRIOS

Para melhor compreensão do funcionamento da fábrica e do impacto das restrições no sistema, foram simulados 4 cenários principais:

- Cenário 01 – Simulação simples do sistema;
- Cenário 02 – Simulação com lotes e equipes;
- Cenário 03 – Simulação com lotes, equipes e categorias;
- Cenário 04 – Simulação com schedule de entrada de atributos;

Os quatro cenários listados têm como objetivo apresentar o comportamento da produção ao serem colocadas as restrições do sistema, ou seja, o impacto que as limitações têm sobre o resultado da quantidade produzida. Desta forma, busca-se compreender o impacto da utilização de lotes (visores e caixas), de equipes para a realização de algumas atividades, da divisão dos componentes utilizados em categorias com os descartes dos componentes e da restrição do funcionamento de alguns processos em tempo não integral (menor do que 6 horas), na produção final dos protetores.

#### 5.1.1. Cenário 01

Primeiramente foi realizada a simulação de forma simplificada do sistema de fabricação dos protetores faciais (Figura 7), apenas respeitando o fluxo de produção dos protetores. Para este cenário não foram consideradas, portanto,

as restrições de lotes, a quantidade mínima de operários para cada processo, as diferentes categorias dos componentes e protetores e o agendamento das atividades.

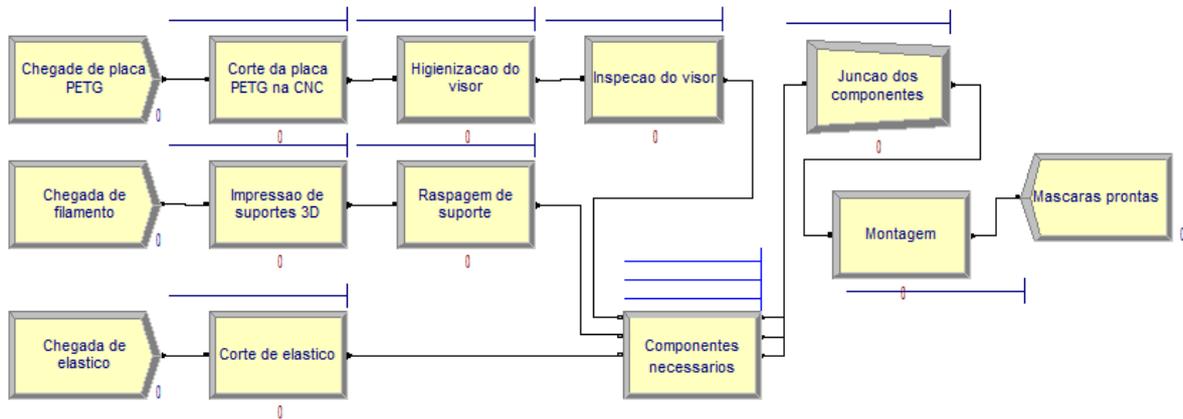


Figura 7 - Simulação simplificada da produção de faceshields (cenário 01)

Fonte: Software Arena (2021)

Ao rodar a simulação, o resultado obtido foi de 182 protetores faciais, tanto para o turno da manhã quanto para o turno da tarde, o que equivale a 7 caixas fechadas com sobra de 7 protetores, já que cada caixa possui lotes de 25 *faceshields*. O relatório emitido apresentou ociosidade de alguns recursos humanos, como por exemplo, os membros da montagem.

### 5.1.2. Cenário 02

Uma vez implantando o modelo inicial (cenário 01), foram incorporadas à simulação as restrições de lotes e a quantidade de operários necessários para cada atividade (Figura 8) conforme dados da Tabela 1. Para realizar a alocação de equipes para o processo de montagem, os blocos *process* foram colocados em paralelo e denominados como montagem 1, montagem 2 e montagem 3, para representar os subprocessos da montagem e para representar a necessidade de no mínimo três membros para a sua realização. As equipes e salas de impressão também foram colocados em blocos de *process* em paralelo para representar as duas salas de impressão 3D, uma com 25 impressoras e a outra com 24, necessitando de dois membros em cada uma delas para realizar

a sua operação, estes que foram colocados através do preenchimento dos blocos com os sets de recursos necessários.

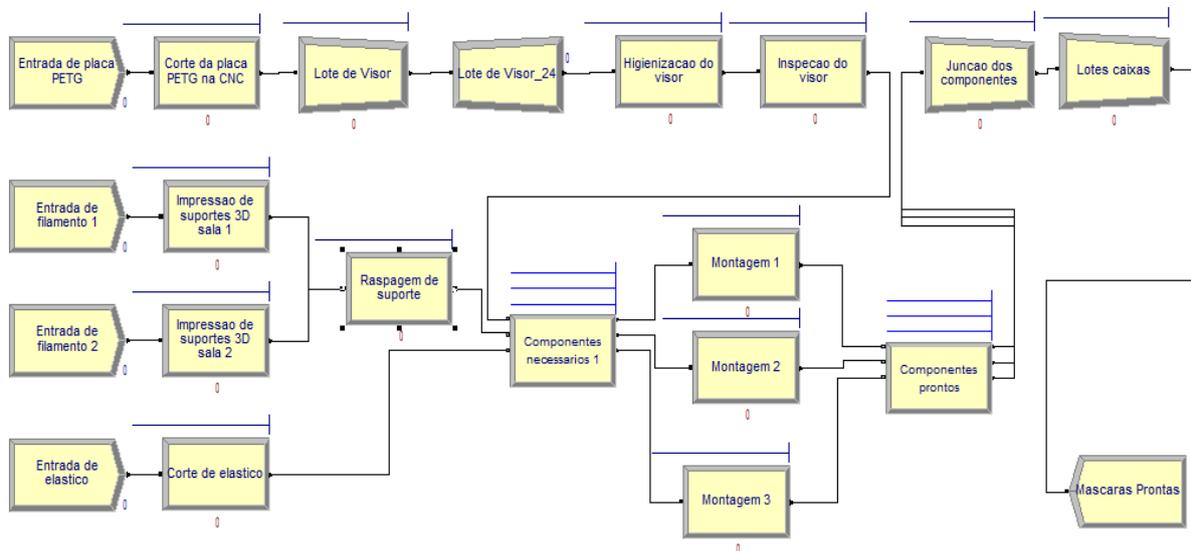


Figura 8 - Simulação da produção de protetores faciais com lotes e equipes (cenário 02)

Fonte: Software Arena (2021)

Ao rodar a simulação, os resultados obtidos foram de 177 protetores faciais para o turno da manhã e 178 protetores faciais para o turno da tarde, o que equivale a 7 caixas fechadas para cada turno, com sobra de 2 protetores para o primeiro e, 3 para o segundo. O resultado foi semelhante ao cenário 01 e, diante disso, já foi possível identificar possíveis gargalos.

### 5.1.3. Cenário 03

Mantendo-se as configurações do cenário 02, foi acrescida a restrição de categorias ao modelo, para a realização do cenário 03. Para simular as diferentes categorias, as taxas obtidas através da Tabela 7 foram utilizadas nos blocos denominados *decide*.

Ao final da simulação, foram contabilizadas as quantidades de protetores hospitalares e gerais que poderiam ser produzidas, para aquele turno, diante dos recursos disponíveis. Além disso, foi possível contabilizar a quantidade de

componentes desperdiçados, sendo este fator importante para realizar o controle de desperdício da produção e buscar sua otimização. A figura 09 representa a parte da simulação destinada à produção de protetores faciais da categoria geral.

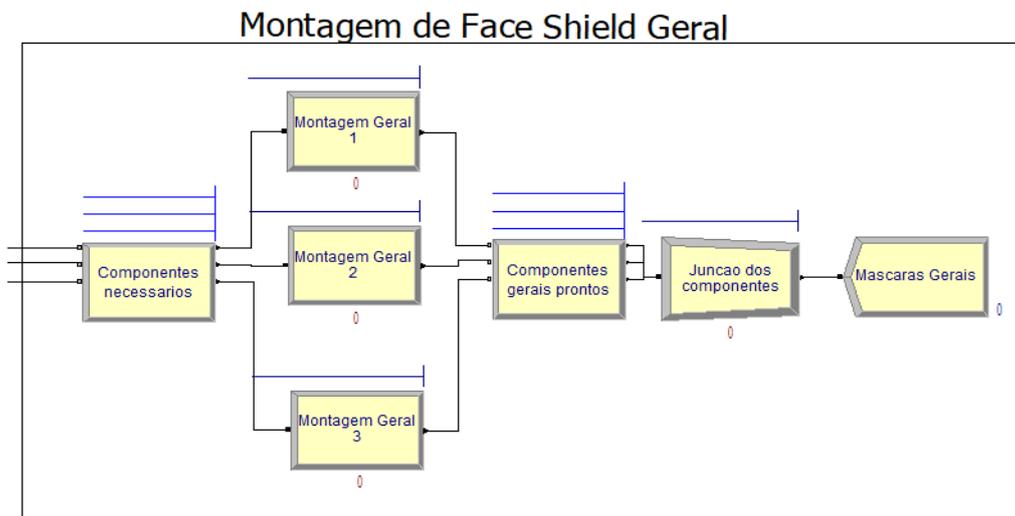


Figura 9 - Representação da simulação com categoria geral (cenário 03)

Fonte: Software Arena (2021)

A Figura 10 representa a parte da simulação destinada à produção de protetores faciais da categoria hospitalar.

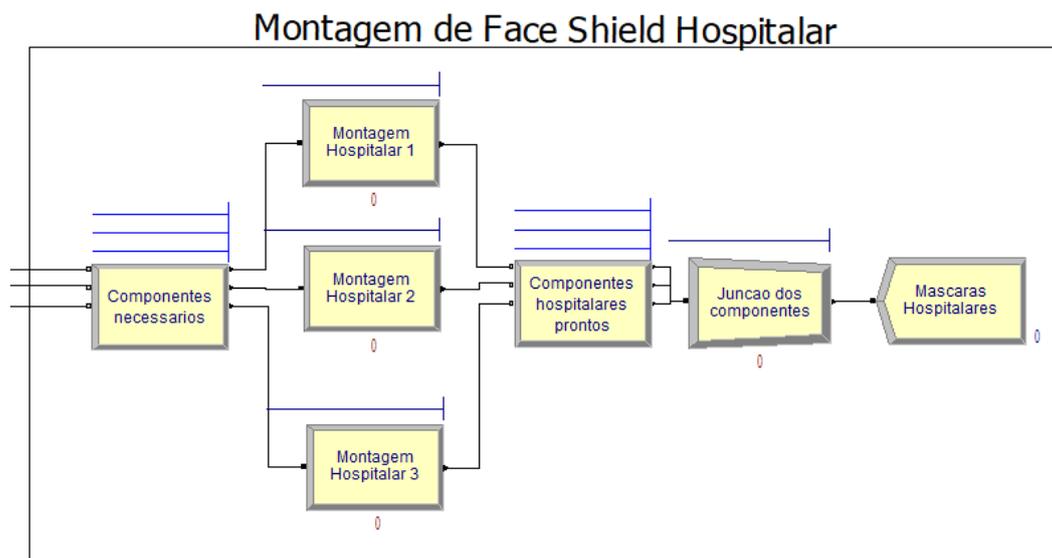


Figura 10 - Representação da simulação com categoria hospitalar (cenário 03)

Fonte: Software Arena (2021)

O resultado da simulação do cenário 03, incluindo a categoria hospitalar, geral e componentes descartados está representado na Tabela 9.

*Tabela 9 - Resultados por categoria e turno do cenário 03*

<b>TURNO</b>	<b>HOSPITALAR</b>	<b>GERAL</b>	<b>DESCARTE</b>
Manhã	140 protetores	35 protetores	52 componentes
Tarde	146 protetores	30 protetores	50 componentes

Fonte: Autora (2021)

De acordo com a tabela e os resultados obtidos, é possível notar que o turno da manhã apresentou um resultado total de 175 protetores faciais, sendo 5 caixas fechadas de protetores hospitalares, sobrando 15, e 1 caixa fechada de protetores gerais, com resto igual a 10. Por outro lado, o turno da tarde apresentou um resultado total de 176 protetores faciais, sendo 5 caixas fechadas de protetores hospitalares, sobrando 21, e 1 caixa fechada de protetores gerais, com resto igual a 5. As máscaras hospitalares podem ser utilizadas para fins gerais, porém, o contrário não é permitido. Desta forma, é possível produzir, para ambos os turnos, uma quantidade de 7 caixas fechadas (5 hospitalares e 2 gerais), através dos protetores que sobraram.

Em relação aos desperdícios, o turno da manhã apresentou 35 visores, 2 suportes e 12 elásticos descartados, totalizando 52 componentes. Por sua vez, o turno da tarde apresentou 34 visores, 2 suportes e 14 elásticos descartados, totalizando, também, 52 componentes.

É possível notar que, mesmo colocando as restrições de categorias hospitalar, geral e descartado, o resultado de produção de protetores faciais se manteve praticamente o mesmo, se comparado ao cenário 01 e 02.

#### **5.1.4. Cenário 04**

A simulação com *schedule* permite a possibilidade de agendar e programar a entrada dos materiais. Desta forma, é possível limitar uma

quantidade específica de insumos, dentro de um intervalo de tempo, permitindo que os recursos utilizados pelos processos seguintes, ao concluírem a execução da quantidade dos atributos de entrada, fiquem livres para executar demais funções. Ao deixar a simulação com entrada de atributos livre (sem *schedule*), os recursos das atividades seguintes estarão sempre executando os processos, visto que há uma constante chegada de materiais, devido ao constante funcionamento de todos os processos.

De acordo com a configuração mais recente, a fábrica funciona com turno de seis horas. Apesar disso, alguns processos não são realizados durante todo o turno, pois, por exemplo, os processos de corte de elástico e de visor são realizados em períodos de 150 e 240 minutos, respectivamente.

Para realizar o cenário 04, as configurações previamente estabelecidas no cenário 03 foram mantidas, sendo somente acrescentado o agendamento dos processos de corte de elástico e de visor. O resultado da simulação obtido ao inserir o *schedule* com os dados mencionados está representado na Tabela 10

*Tabela 10 – Resultados por categoria do cenário 04*

<b>TURNO</b>	<b>HOSPITALAR</b>	<b>GERAL</b>	<b>DESCARTE</b>
Manhã	151 protetores	22 protetores	39 componentes
Tarde	153 protetores	23 protetores	39 componentes

Fonte: Autora (2021)

De acordo com a tabela e os resultados obtidos, é possível notar que o turno da manhã apresentou um resultado total de 173 protetores faciais, sendo 6 caixas fechadas de protetores hospitalares, sobrando 1, e nenhuma caixa fechada de protetores gerais, sobrando 22. Por sua vez, o turno da tarde apresentou um resultado total de 176 protetores faciais, sendo 6 caixas fechadas de protetores hospitalares, sobrando 3, e nenhuma caixa fechada de protetores gerais, restando 23. Como mencionado, os protetores hospitalares podem ser utilizados para fins gerais, o que permite que a produção do turno vespertino tenha a produção de 7 caixas fechadas (6 hospitalares e 1 geral) com resto de

1. Mesmo com os ajustes, o turno da manhã apresentou somente 6 caixas fechadas devido a sua sobra ter sido de 23 protetores.

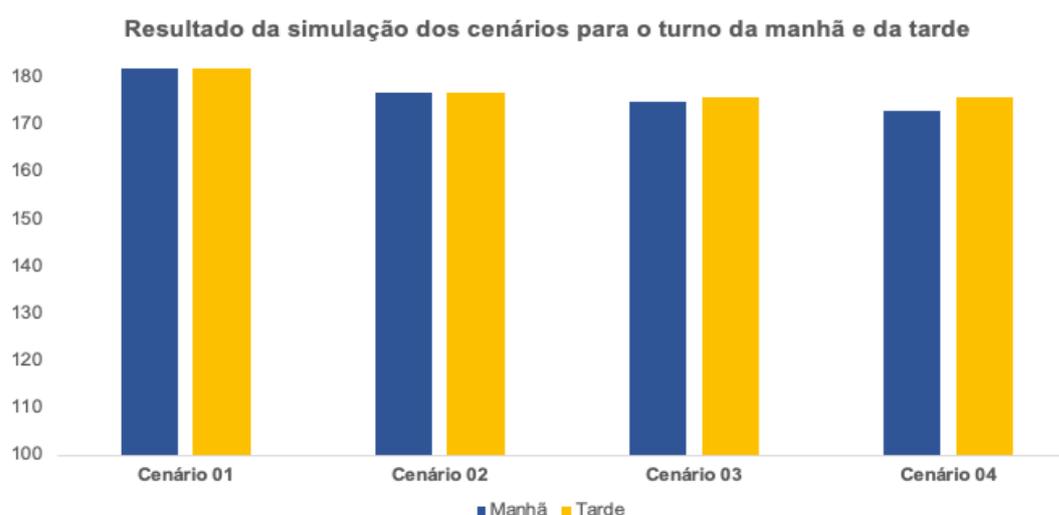
Em relação aos desperdícios, o turno da manhã apresentou 22 visores, 3 suportes e 14 elásticos descartados, totalizando 39 componentes. Já o turno da tarde apresentou 20 visores, 2 suportes e 17 elásticos descartados, totalizando 39 componentes, também.

Ao realizar o agendamento dos processos de corte de visor e corte de elástico, a quantidade desperdiçada foi a que apresentou maior diferença já que, com as restrições do tempo, menos operações são executadas e conseqüentemente menos componentes são descartados. Porém, o resultado apresentou a quantidade similar dos demais cenários, apenas alterando o percentual de protetores destinados a cada categoria.

### 5.1.5. Resultado dos cenários

A simulação dos cenários de 01 a 04 com os seus respectivos resultados estão representados no Gráfico 01.

Gráfico 1 - Resultado da simulação dos cenários 01 a 04 para o turno da manhã e da tarde



Fonte: Autora (2021)

Os resultados dos cenários foram equivalentes, mesmo com as restrições impostas e alterações de categorias, lotes e equipes. Analisando o gráfico 1, observa-se que a maior diferença ocorre nos cenários 01 e 04 para o turno da manhã, de 182 a 173, ou seja, de no máximo 5%. As diferenças, então, são pequenas alterações nos percentuais de produção final de cada categoria e quantidades de componentes desperdiçados. Isto mostra que é possível que haja gargalos no sistema que estejam limitando a produção.

## **5.2. GARGALOS IDENTIFICADOS**

Os gargalos podem ser identificados através de possíveis pontos de ociosidade no sistema, bem como pela formação de filas, indicando que o processo não consegue atender a quantidade de insumos que está sendo recebida. O software Arena, ao emitir o relatório final, permite ao usuário saber se alguns recursos apresentam ociosidade dentro do sistema.

Analisando a simulação realizada, é possível notar que não há formação considerável de filas nas estações de trabalho, indicando que o sistema é capaz de operacionalizar os insumos que recebe, através dos recursos disponíveis. Porém, ao analisar mais detalhadamente o modelo implantado, é possível notar pontos de ociosidade dos funcionários, implicando que estes não estão executando operações durante todo o turno de trabalho.

Dessa forma foi possível observar que há um gargalo de produção no processo de impressão dos suportes. Isto significa, que a fábrica possui uma capacidade produtiva maior do que o resultado obtido com os recursos humanos disponíveis, mas, o processo de impressão impede que este valor seja alcançado. A limitação de impressoras e o tempo que cada uma delas leva para imprimir um suporte restringe a produção. É possível notar que a quantidade de protetores faciais produzidos é referente a quantidade de suportes impressos dentro do prazo definido (360 minutos), onde outros processos apresentam uma quantidade de execução de insumos maior, dentro do mesmo intervalo de tempo. Pela quantidade de impressoras disponíveis e pelos resultados obtidos,

é possível concluir que a capacidade máxima produtiva está relacionada, portanto, à quantidade de suportes que conseguem ser impressos nos turnos.

Após a identificação do gargalo, foi possível simular o modelo de forma a entender o comportamento do sistema ao retirar este gargalo, isto é, de acordo com os recursos disponíveis, qual produção seria alcançada sem a limitação da impressão. Para isto, foi criada uma entrada de insumos diretamente ao bloco *decide* após o processo de impressão 3D e antes do processo de acabamento de suporte, garantindo que os recursos humanos ainda continuassem trabalhando no processo de impressão 3D (não os deixando livres para realizar outras operações), e de forma a enviar uma quantidade maior de suportes já impressos para o processo de acabamento, além dos suportes que eram recebidos do processo de impressão. Esta alteração objetivou a obtenção e compreensão da capacidade máxima produtiva da fábrica de acordo com a produtividade dos recursos humanos disponíveis e, dessa forma, os cenários 01 a 04 foram simulados novamente, com a retirada do gargalo impressão.

Os resultados para os 4 cenários dos turnos da manhã e da tarde estão expressos nas Tabelas 11 e 12, respectivamente.

*Tabela 11 – Resultados dos cenários 01 a 04 sem o gargalo da impressão para o turno da manhã*

<b>CENÁRIO</b>	<b>HOSPITALAR</b>	<b>GERAL</b>	<b>DESCARTE</b>	<b>TOTAL</b>
Cenário 01	-	-	-	<b>582</b>
Cenário 02	-	-	-	<b>440</b>
Cenário 03	351 protetores	84 protetores	28 componentes	<b>435</b>
Cenário 04	292 protetores	80 protetores	51 componentes	<b>372</b>

Fonte: Autora (2021)

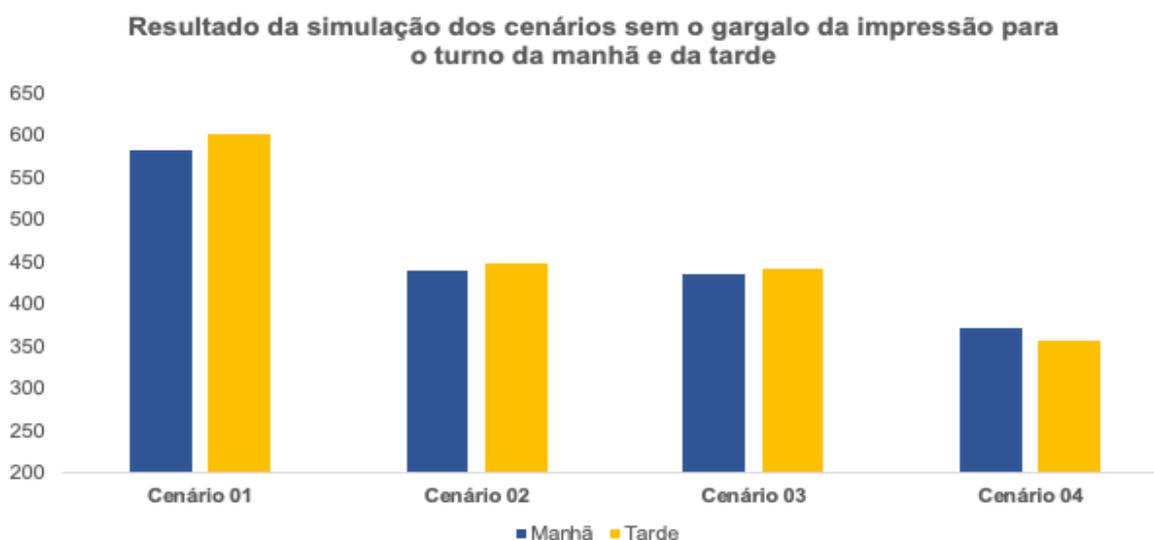
Tabela 12 - Resultados dos cenários 01 a 04 sem o gargalo da impressão para o turno da tarde

CENÁRIO	HOSPITALAR	GERAL	DESCARTE	TOTAL
Cenário 01	-	-	-	<b>602</b>
Cenário 02	-	-	-	<b>448</b>
Cenário 03	361 protetores	82 protetores	22 componentes	<b>443</b>
Cenário 04	268 protetores	88 protetores	51 componentes	<b>356</b>

Fonte: Autora (2021)

Para o turno da manhã, foi colocado um estoque de 400 suportes para a retirada do gargalo da impressão, já que este valor representa a melhor ocupação dos recursos disponíveis e a produção maximizada do sistema, sendo considerado o ponto ótimo do sistema. Desta forma, um aumento ou diminuição deste valor apresenta diminuição da produção final de protetores faciais. Já para o turno da tarde, foi colocado um estoque de 420 suportes para retirada do gargalo da impressão, pois o turno da tarde possui uma capacidade produtiva maior devido ao tempo de operação de seus recursos ser menor. O valor de estoque colocado representa a melhor ocupação destes recursos e a produção maximizada, sendo considerado, também, o valor ótimo para o sistema de acordo com a disponibilidade dos recursos humanos e maquinários.

Gráfico 2 - Resultado da simulação dos cenários 01 a 04 sem o gargalo da impressão para o turno da manhã e da tarde



Fonte: Autora (2021)

A simulação dos cenários de 01 a 04 com os seus respectivos resultados sem o gargalo da impressão estão representados no Gráfico 2.

Os cenários 01 e 02 não representam a realidade atual da fábrica e foram simulados somente para a compreensão do sistema e para observar o impacto das restrições colocadas, na produção final. Desta forma, com a retirada do gargalo, foi possível notar que o melhor cenário para a simulação do sistema da fábrica é o cenário 03, onde todas as restrições impostas são mantidas e há o funcionamento de todas as atividades em tempo integral.

Ao agendar o funcionamento de alguns processos (cenário 04), apesar de permitir que os recursos humanos fiquem disponíveis para realizar outras atividades após os prazos de 150 e 240 minutos para os processos de corte de elástico e visor, respectivamente, os resultados mostram que o cenário 03 apresenta maior valor em termos de produção. É possível notar que, para o turno da manhã, o resultado vai de 435 (cenário 03) para 372 (cenário 04) e, para o turno da tarde, vai de 443 (cenário 03) para 356 (cenário 04) protetores faciais, com o agendamento dos processos. As configurações do cenário 03 reduzem a ociosidade dos recursos e garantem estoques de insumos para os processos seguintes, o que permite uma maior produção com o decorrer do projeto, sendo este cenário utilizado para as análises futuras devido ao seu maior resultado de produção, ainda que o cenário 04 represente melhor o planejamento mais atual da fábrica.

### **5.3. SIMULAÇÃO COM TEMPO DE DESLOCAMENTO**

A simulação com o tempo de deslocamento foi realizada para verificar se há mudanças significativas no resultado da produção final do turno. Desta forma, fez-se a inserção do tempo de deslocamento no cenário 03 de ambos os turnos entre os processos de corte e higienização de visor (Figura 11).

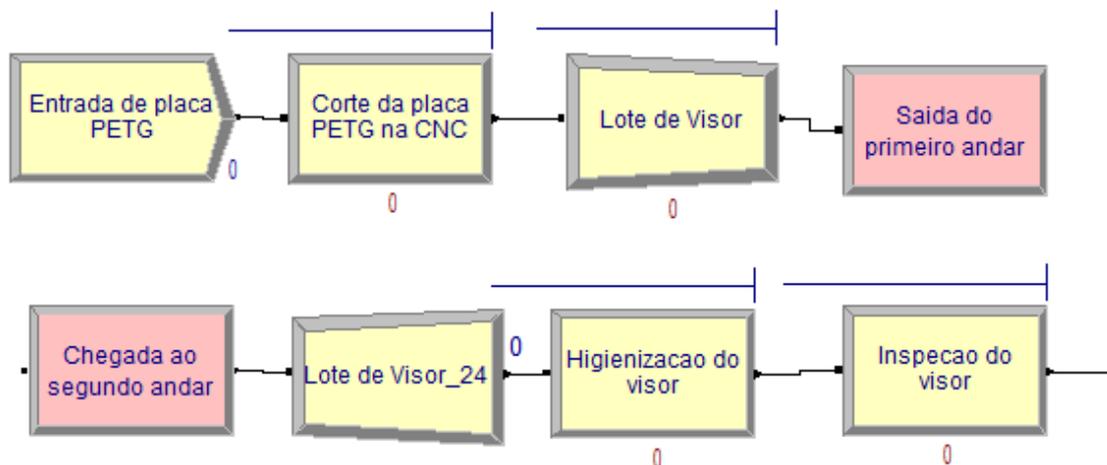


Figura 11 - Simulação com tempo de deslocamento entre os processos A e B

Fonte: Software Arena (2021).

Ao rodar a simulação, o resultado se manteve o mesmo se comparado aos modelos sem tempo de deslocamento. Isto porque o espaço da fábrica é pequeno e o tempo de deslocamento se mostrou não ser significativo para impactar a produção de cada turno.

#### 5.4. CUSTOS

Para a seção de custos, foram levados em consideração somente os custos dos recursos humanos, não incluindo, assim, os custos das impressoras, cortadora à laser e demais insumos.

Os custos da simulação para cada turno de 6 horas com a equipe completa (15 membros por turno) são apresentados na Tabela 13. Vale lembrar que, para cada turno, há 2 operadores do tipo A e 13 do tipo B.

Tabela 13 - Custos dos operadores por turno

TURNO	CUSTO OPERADOR A	CUSTO OPERADOR B	TOTAL DIÁRIO
Manhã	R\$240,00	R\$585,00	<b>R\$825,00</b>
Tarde	R\$240,00	R\$585,00	<b>R\$825,00</b>

Fonte: Autora (2021)

De acordo com os dados e informações obtidas, os gastos mensais com recursos humanos da fábrica, no que tange a produção, são em torno de R\$40.080,00, incluindo o turno integral diário dos funcionários do tipo A e tipo B. O valor representado na Tabela 13 é referente somente a uma jornada de 6 horas de trabalho. Considerando a produção diária de 250 protetores faciais, pode-se concluir que o custo de cada protetor é de R\$6,60 em relação à mão de obra, sem considerar os custos dos componentes e insumos necessários para a sua confecção.

O custo dos operadores é o mesmo para o tempo em que estes passam ocupados ou ociosos. O Gráfico 3 mostra o percentual dos custos para a simulação do cenário 03 do turno da tarde sem a retirada do gargalo da impressão.

*Gráfico 3 - Custos dos operadores ociosos e ocupados do cenário 03 do turno da tarde*



*Fonte: adaptado do software Arena (2021)*

Como mencionado, há presença de ociosidade por parte de alguns operadores e o gráfico representa esta informação. Os resultados obtidos mostram que 91% dos custos estão relacionados a custos de operadores executando as atividades, e 9% a custos de operadores ociosos no sistema.

Ao realizar a retirada do gargalo de impressão, na tentativa de reduzir o percentual ocioso do sistema, os resultados obtidos (Gráfico 4) mostram que 98% dos custos estão relacionados a operadores ocupados, e 2% a custos de operadores ociosos, mostrando um aumento de 7% taxa de ocupação dos recursos do sistema.

*Gráfico 4 - Custos dos operadores ociosos e ocupados do cenário 03 do turno da tarde sem o gargalo de impressão*



*Fonte: adaptado do software Arena (2021)*

Os gráficos 3 e 4 mostram que há de fato um gargalo no processo de impressão 3D, se comparado aos recursos humanos disponíveis.

#### **5.4.1. Corte de recursos humanos.**

Após a identificação de ociosidade no sistema, como uma outra alternativa para tentar reduzir o percentual ocioso, fez-se a simulação do cenário 03 para o turno da manhã e da tarde com a retirada de alguns recursos humanos, sem retirar o gargalo da impressão.

Como seria mais difícil ou até mesmo impeditivo haver corte dos operadores do tipo A, foi realizada a simulação do cenário 03 com a retirada apenas dos operadores do tipo B. Procurou-se realizar o corte dos recursos que apresentavam, em média, um tempo de execução dos processos (tempo de

atendimento das estações de trabalho) maior, ou seja, uma produtividade média menor. A retirada dos recursos humanos do modelo foi realizada de forma manual, verificando o comportamento do sistema com a retirada de cada recurso e definindo, assim, os cortes que impactariam de forma menos significativa na produção final. Os resultados obtidos para o turno da manhã e da tarde estão expressos nas Tabela 14 e Tabela 15, respectivamente.

*Tabela 14 – Resultados da produção e do custo do cenário 03 do turno da manhã com a redução de recursos humanos*

<b>EQUIPE</b>	<b>PRODUÇÃO</b>	<b>CUSTO DIÁRIO</b>
15 membros	175	R\$825,00
14 membros	175	R\$780,00
13 membros	175	R\$735,00
12 membros	175	R\$690,00
<b>11 membros</b>	<b>175</b>	<b>R\$645,00</b>
10 membros	168	R\$600,00
<b>9 membros</b>	<b>137</b>	<b>R\$555,00</b>
<b>8 membros</b>	<b>84</b>	<b>R\$510,00</b>

Fonte: Autora (2021)

Analisando os resultados da simulação com a retirada de alguns recursos humanos, é possível observar que a produção de 175 protetores faciais se manteve a mesma com a retirada de até 4 recursos para o turno da manhã. Houve, posteriormente, uma redução para 168 protetores com a retirada do quinto recurso. A retirada do sexto membro impactou em uma redução para 137 protetores (125 em termos de lotes, com 6 caixas fechadas). Desta forma, a produção máxima pode ser atingida mesmo com a retirada de 4 membros.

*Tabela 15 - Resultados da produção e do custo do cenário 03 do turno da tarde com a redução de recursos humanos*

<b>EQUIPE</b>	<b>PRODUÇÃO</b>	<b>CUSTO DIÁRIO</b>
15 membros	176	R\$825,00
14 membros	176	R\$780,00
13 membros	175	R\$735,00
12 membros	175	R\$690,00
11 membros	175	R\$645,00
<b>10 membros</b>	<b>175</b>	<b>R\$600,00</b>
<b>9 membros</b>	<b>125</b>	<b>R\$555,00</b>
<b>8 membros</b>	<b>81</b>	<b>R\$510,00</b>

Fonte: Autora (2021)

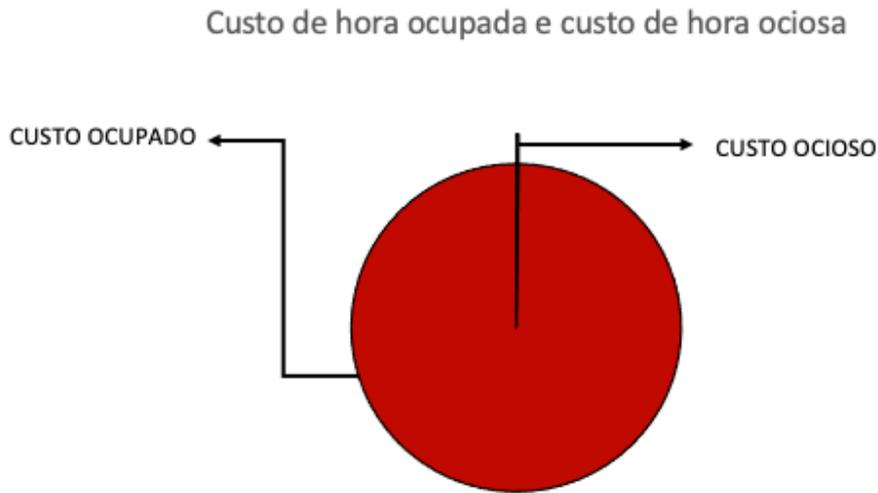
Da mesma forma, para o turno vespertino, a produção aproximada de 175 protetores faciais se manteve com a retirada de até 5 recursos. A retirada do sexto membro impactou em uma redução de produção para 125 protetores faciais. Desta forma, a produção máxima do turno vespertino ainda poderia ser atingida se até 5 membros fossem retirados do sistema.

Ao se objetivar uma produção de 125 máscaras, é possível notar que se pode realizar a retirada de 6 recursos humanos, tanto para o turno matutino quanto para o turno vespertino. A realidade com 8 membros para ambos os turnos não se aplica aos resultados desejados, já que apresenta uma produção inferior a 125 protetores faciais.

Vale ressaltar que os quatro membros principais responsáveis pelo processo de impressão 3D não foram cortados da simulação, pois a sua presença é fundamental para a configuração e o funcionamento do sistema, já que é considerado um processo crítico e poucos membros são capazes de realizá-lo.

A configuração das novas realidades com a retirada dos membros permite maior ocupação dos recursos humanos da fábrica. O Gráfico 5 mostra que o percentual de ociosidade no sistema, com as novas configurações, é praticamente nulo.

Gráfico 5 - Custos dos operadores ociosos e ocupados do cenário 03 com a retirada dos recursos humanos



Fonte: Adaptado do Software Arena (2021)

## 5.5. ANÁLISES E COMPARAÇÕES

Para as análises a seguir, foram considerados somente os últimos 5 meses de fabricação, visto que o projeto sofreu alterações em seus recursos e capacidade produtiva ao longo do tempo. No início do período de produção, por exemplo, o espaço contava com uma equipe e recursos maquinários reduzidos, acarretando uma produção menor.

Durante o período mencionado, na empresa em estudo, cada turno produziu diariamente uma quantidade de 5 a 6 caixas fechadas, o que equivale a uma produção entre 125 e 150 protetores faciais. Para efeitos de comparação, a quantidade utilizada será de 125 *faceshields*. Em geral, a produção do turno é destinada a uma categoria específica. Entretanto, há dias em que há produção mista de protetores hospitalares e gerais, o que também será permitido para as análises.

### **5.5.1. Cenário mais atual**

Diante do cenário atual da fábrica, de acordo com os recursos existentes, duas principais análises podem ser realizadas, estas relacionadas ao aumento da produtividade da fábrica e à redução de custos com cortes de recursos.

Uma primeira análise a ser feita é a respeito da limitação de recursos maquinários como a impressora, pois já foi possível concluir que há uma quantidade de recursos humanos superior à necessária, devido ao limite de produção e a existência de funcionários ociosos. Um equilíbrio a ser feito para o sistema poderia ser adquirir mais impressoras, não permitindo a existência de recursos humanos atuais ociosos, o que aumentaria a produção. Uma outra possibilidade seria reduzir os recursos humanos, buscando uma produção final com menos gastos.

Em um cenário em que não há a obtenção de novos recursos maquinários, é possível aumentar a produção do turno matutino para 175 protetores (40% a mais para uma produção atual de 125 protetores). Porém, alguns recursos humanos ainda se encontrariam ociosos devido à limitação produtiva, sendo possível um corte de 4 membros, sem alterar a produção mencionada. Os recursos do tipo A apresentam maior dificuldade de serem cortados, o que permite a retirada somente dos recursos B do sistema, corte este que impactaria em uma redução de R\$4.000,00 mensais (Tabela 16).

Neste mesmo cenário (sem aquisição maquinaria), é possível manter a produção atual de 125 protetores faciais para o turno da manhã, com possibilidade de corte de 6 recursos humanos. Desta forma, este corte impactaria em uma redução de R\$6.000,00 mensais (Tabela 16).

*Tabela 16 - Análise em relação aos cenários de melhor produção e melhor custo para o turno da manhã*

<b>CENÁRIO</b>	<b>EQUIPE</b>	<b>PRODUÇÃO POR TURNO</b>	<b>PRODUÇÃO MENSAL</b>	<b>CUSTO MENSAL</b>
X	15	125	2.750	R\$20.040,00
Y	11	175	3.850	R\$16.040,00
Z	9	125	2.750	R\$14.040,00

Fonte: Autora (2021)

O cenário X representa a realidade atual da fábrica sob a ótica mencionada. O cenário Y representa um aumento na produção de 50 protetores faciais e redução de 4 recursos humanos. Finalmente, o cenário Z representa a mesma quantidade de produção atual, 125 protetores, com redução de 6 recursos humanos.

A nova configuração da equipe do cenário Y está representada na Tabela 17, mostrando os membros restantes e as suas respectivas capacitações para os processos. Para o cenário Z, os membros 10 e 15 poderiam ser cortados, reduzindo a equipe de 11 para 9 membros.

*Tabela 17 - Configuração da nova equipe do turno da manhã para o cenário Y*

<b>MEMBRO</b>	<b>CAPACITAÇÃO</b>
Membro 1	D, F, G
Membro 2	B, C, D, E, F, G,
Membro 4	B, C, E, F, G
Membro 7	B, C, E, G
Membro 8	A
Membro 9	C, D, E
Membro 10	B, C, E, F, G
Membro 11	B, C, D, E, F, G
Membro 13	B, C, D, E, F, G
Membro 14	B, C, E, F, G
Membro 15	B, C, E, F, G

Fonte: Autora (2021)

Para o turno da tarde, diante do mesmo cenário, é possível aumentar a produção do turno matutino para 175 protetores (40% a mais para uma produção atual de 125 protetores), sendo 125 hospitalares e 50 gerais. Porém, alguns recursos humanos também se encontrariam ociosos devido à limitação produtiva, sendo possível um corte de 5 membros, sem alterar a produção mencionada. Este corte impactaria em uma redução de R\$5.000,00 mensais (Tabela 18).

Ainda assim, é possível manter a produção atual de 125 protetores faciais (100 hospitalares e 25 gerais) para o turno da manhã e possibilidade de corte de 6 recursos humanos, quantidade esta igual ao turno matutino. Desta forma, este corte impactaria em uma redução de R\$6.000,00 mensais (Tabela 18).

*Tabela 18 - Análise em relação aos cenários de melhor produção e melhor custo para o turno da tarde*

<b>CENÁRIO</b>	<b>EQUIPE</b>	<b>PRODUÇÃO POR TURNO</b>	<b>PRODUÇÃO MENSAL</b>	<b>CUSTO MENSAL</b>
X	15	125	2.750	R\$20.040,00
Y	10	175	3.850	R\$15.040,00
Z	9	125	2.750	R\$14.040,00

Fonte: Autora (2021)

Assim como para o turno da manhã, o cenário Y representa um aumento na produção de 50 protetores faciais, porém, com possível redução de 5 recursos humanos, enquanto o cenário Z representa a mesma quantidade de produção atual (125 protetores), com possível redução de 6 recursos humanos.

A nova configuração da equipe do cenário Y para o turno da tarde está representada na Tabela 19, mostrando os membros restantes e as suas respectivas capacitações para os processos. Para o cenário Z, o membro 20 seria cortado, reduzindo a equipe de 10 para 9 membros.

Tabela 19 - Configuração da nova equipe do turno da tarde para o cenário Y

<b>MEMBRO</b>	<b>CAPACITAÇÃO</b>
Membro 16	A
Membro 19	B, C, D, E, F, G
Membro 20	B, C, E, F, G
Membro 22	B, C, D, E, F, G
Membro 23	B, C, E, F, G
Membro 24	C, D, E
Membro 26	C, D, E
Membro 27	B, C, D, E, F, G
Membro 28	B, C, D, E, F, G
Membro 30	B, C, E, F, G

Fonte: Autora (2021)

Supondo que haja uma constância na produção e na equipe durante os 5 meses de projeto, a produção de protetores seria de, aproximadamente, 27.500 unidades. Sob esta ótica e os resultados obtidos, seria possível reduzir a equipe integral (turno matutino e vespertino), economizando um total mensal de R\$12.000,00 (R\$60.000,00 durante o período de 5 meses de projeto), mantendo a mesma produção diária de 250 protetores, ou elevar a produção para 350 e alcançar a mesma quantidade em 79 dias (aproximadamente 3 meses e meio de projeto). Isto possibilitaria a entrega mais rápida dos protetores, diminuindo o tempo de produção em 28,18%, e apresentando também uma redução mensal de R\$9.000,00 (devido aos recursos humanos excessivos já existentes), além de evitar gastos futuros. Esta análise está apresentada na Tabela 20..

Tabela 20 - Análise em relação aos cenários de melhor produção e melhor custo para os dois turnos

<b>CENÁRIO</b>	<b>EQUIPE</b>	<b>PRODUÇÃO DIÁRIA</b>	<b>PRODUÇÃO MENSAL</b>	<b>CUSTO MENSAL</b>	<b>TEMPO DE PRODUÇÃO</b>
X	30	250	5.500	R\$40.080,00	110 dias
Y	21	350	7.700	R\$31.080,00	79 dias
Z	18	250	5.500	R\$28.080,00	110 dias

Fonte: Autora (2021)

Tendo o cenário X como parâmetro (realidade atual da fábrica), o melhor cenário em termos de produção é o cenário Y, com o funcionamento de todas os processos em tempo integral e de forma simultânea (sem agendamento de atividades). Isto possibilita a formação de estoques de insumos para os turnos seguintes e maior produção, com uma produção diária de 350 *faceshields* (10 caixas hospitalares e 4 caixas gerais), uma equipe total de 21 membros (11 do turno matutino e 10 do turno vespertino) e gasto mensal com recursos humanos de R\$31.080,00, com tempo de produção reduzido de 110 dias para 79 (Tabela 20).

O melhor cenário em termos de custos, à curto prazo, é o cenário Z, também, com o funcionamento de todos os processos em tempo integral e de forma simultânea, com uma equipe total de 18 membros, com produção de protetores diária igual a 250 *faceshields* (8 caixas hospitalares e 2 gerais), representando a quantidade produzida, em média, pela fábrica, e um gasto mensal com recursos humanos de R\$28.080,00, além de ter um mesmo tempo de projeto de 5 meses (110 dias de produção).

O custo da unidade do protetor facial diante dos cenários apresentados, em relação à mão de obra, deixaria de ser de R\$6,60 e passaria para R\$3,56, com a produção diária de 350 protetores, e para R\$4,45, com a produção de 250 protetores. Este custo é relacionado a uma jornada de 6 horas por turno.

*Tabela 21 - Análise final em relação aos cenários de melhor produção e melhor custo para os dois turnos*

<b>CENÁRIO</b>	<b>CUSTO MENSAL</b>	<b>TEMPO DE PRODUÇÃO</b>	<b>TEMPO DE PROJETO</b>	<b>CUSTO TOTAL</b>
X	R\$40.080,00	110 dias	5 meses	R\$200.400,00
Y	R\$31.080,00	79 dias	4 meses	R\$124.320,00
Z	R\$28.080,00	110 dias	5 meses	R\$140.400,00

Fonte: Autora (2021)

Ambos os cenários impactam na redução da equipe e, conseqüentemente, na redução de gastos (Tabela 21). Para o cenário Y, a fábrica apresentaria redução de 37,96% de gastos (de R\$200.400,00 para R\$124.320,00) com redução de tempo de produção de 28,20%. Por sua vez, para o cenário Z, a fábrica apresentaria redução de gastos de 29,94% durante os 5 meses (de R\$200.400,00 para R\$140.400,00), sem redução de tempo de projeto. Desta forma, o cenário Z apresenta melhor redução de custos à curto prazo (mensal). Porém, ao realizar a projeção ao longo da produção total de 27.500 protetores, o cenário Y apresenta melhores configurações em relação à produção e à custos, sendo configurado como o melhor cenário.

### **5.5.2.Considerações sobre a análise**

Após a realização das análises e comparações, é importante ressaltar que a simulação do sistema de produção leva em consideração a análise em termos matemáticos e estatísticos, com os dados oriundos da produtividade dos operadores, descartando a análise de fatores humanos que impactam, também, a produção final de cada turno. Portanto, há fatores como condições de trabalho e questões ergonômicas que reduzem a produção final. O cansaço oriundo de algumas atividades mais exaustivas, bem como problemas com a postura dos operadores e dores oriundas do trabalho braçal e muitas vezes repetitivos, não foram considerados na simulação.

Além disso, a quantidade de impressoras 3D utilizada pela empresa foi variada ao longo da produção. Em um determinado período do projeto, a quantidade utilizada foi de 35 impressoras, quantidade esta que apresentaria, também, uma redução na produção máxima mencionada (175 protetores). O modelo buscou simular a utilização total dos equipamentos maquinários disponibilizados pela empresa (49 impressoras 3D e 1 cortadora à laser), para otimizar a produção e compreender a sua capacidade produtiva máxima.

A equipe configurada após o corte de operadores mencionado representa apenas a equipe disponível para operação, não incluindo, portanto, os membros necessários para realizar as demais atividades exercidas pela fábrica, como o

recebimento de materiais, a organização e controle do estoque, a montagem e o fechamento de caixas, o abastecimento dos locais de execução das atividades e a entrega do produto ao cliente, além da atividade de manutenção das impressoras que se encontra presente no fluxograma da produção, mas que não foi considerada na simulação pelas justificativas já mencionadas. A configuração estabelecida com as equipes de 18 e 21 membros representa, portanto, a equipe necessária para a produção dos dispositivos de proteção, e não para o funcionamento da fábrica como um todo.

Para ser possível realizar as atividades complementares, seria necessário manter alguns recursos a mais, o que impactaria em um aumento no custo final dos recursos humanos. Os custos apresentados nas análises não levam em consideração os membros necessários para as atividades que não se enquadram como diretamente ligadas à produção, e que seriam importantes para o funcionamento da fábrica. Além disso, vale mencionar que o custo dos operadores está expresso em termos de salário por hora, e não em termos de custos para o projeto (o que apresentaria o dobro do valor). Desta forma, os custos mencionados não representam de fato a realidade da fábrica, sendo apenas formas de elucidar a diferença dos resultados obtidos com as simulações e os impactos nos custos produtivos da fábrica.

## 6. CONCLUSÃO

Após a realização do projeto, foi possível concluir a importância da utilização da simulação computacional como ferramenta de apoio à gestão da produção. A flexibilização da construção de diferentes cenários de um sistema permite compreender o comportamento diante da realização de mudanças e determinar um melhor caminho, auxiliando na tomada de decisão. Permitir simular, de forma virtual, diminui a possibilidade de riscos e problemas de produção decorrentes das alterações que devem ser realizadas, possibilitando ao gestor a análise comportamental das variáveis do sistema. Além disso, é uma ferramenta importante para a identificação de gargalos e eliminação de desperdícios, seja de insumos ou de recursos humanos; melhorando e otimizando conseqüentemente o fluxo de produção.

A simulação permitiu a flexibilidade de escolhas do cenário desejado para o sistema em estudo, de acordo com as prioridades do gestor e da equipe. A simulação com o melhor resultado nem sempre será escolhida para a realidade da empresa, visto que esta talvez não se ajuste da melhor maneira às condições do sistema. É possível encontrar um equilíbrio que permita a melhoria no sistema, levando também em consideração fatores e análises pessoais dos gestores e da equipe.

É possível notar, ao término da pesquisa, que a alocação de recursos humanos da fábrica, dentro dos parâmetros estabelecidos, não se dava de forma ótima, o que dificultava a obtenção de uma produção maior, implicando em gastos desnecessários. Se fez necessário, portanto, uma melhor compreensão do funcionamento, da capacidade produtiva e um melhor planejamento para a otimização do sistema. A limitação dos recursos maquinários também dificultavam um alcance maior da produção, de acordo com os recursos humanos disponíveis.

As soluções encontradas foram satisfatórias e a simulação buscou mostrar, através do auxílio de gráficos e tabelas, uma melhor compreensão do

funcionamento do sistema, no que tange aos aspectos de produção (recursos e seus custos).

Vale lembrar que, devido ao prazo final do projeto de confecção dos protetores, não foi possível realizar a implementação dos resultados obtidos no sistema. Contudo, as análises da presente pesquisa podem ser utilizadas e ajustadas para a realidade das demais fábricas produtoras de faceshields, além de poderem ser ajustadas ao cenário atual de produção da fábrica analisada, ou utilizadas em contextos e implementações futuras. Isto ocorre porque a empresa continua operando, produzindo no ramo de manufatura aditiva, marcenaria e elétrica, contando com parcela dos recursos humanos do projeto.

O projeto de pesquisa permite, também, melhorias futuras com a incorporação de mais restrições e mais dados, tornando a simulação cada vez mais fidedigna com o cenário vivido pela fábrica durante o projeto. Além disso, a modelagem pode englobar as demais composições do sistema que não foram incorporadas a esta pesquisa, como as demais atividades realizadas, e pode englobar o estudo e a incorporação dos fatores humanos mencionados, permitindo realizar análises sobre a otimização do sistema como um todo, e não somente parte dele, além de apresentar resultados mais robustos de acordo com a empresa.

No mais, a pesquisa atingiu os objetivos planejados e buscou apresentar de forma clara as análises oriundas das simulações. Os resultados foram elucidados a fim mostrar os possíveis auxílios na tomada de decisão da melhor configuração do fluxo produtivo e da alocação de recursos que melhor se enquadram à realidade do sistema.

## REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ALBERTI, Eduardo André; SILVA, Leandro João da; D'OLIVEIRA, Ana Sofia C. M. Manufatura Aditiva: o papel da soldagem nesta janela de oportunidade. **Soldag. insp.**, São Paulo, V. 19, n. 2, p. 190-198, June 2014. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-92242014000200011&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-92242014000200011&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 14 de abril de 2021. <https://doi.org/10.1590/0104-9224/S11902.11>.

ARAUJO, B., LOISE, F., PEREIRA, P. BARBORA, T., TRAMONTANA, M., AFONSO F., GARCIA, E., BORBA, A. In-House Three-Dimensional Printing Workflow for Face Shield During COVID-19 Pandemic. **Educational Supplemente**, The Journal of Craniofacial Surgery, 2020.

BERTONI, Estêvão. **Por que a indústria hospitalar é tão dependente do exterior.** Disponível em: <https://www.nexojornal.com.br/expresso/2020/04/27/Por-que-a-ind%C3%B3stria-hospitalar-%C3%A9-t%C3%A3o-dependente-do-exterior>. Acesso em: 20 de dezembro de 2020.

CARVALHO, Dinis. **Teoria das restrições.** 2014. Disponível em <[http://pessoais.dps.uminho.pt/jdac/apontamentos/Cap09\\_TOC.pdf](http://pessoais.dps.uminho.pt/jdac/apontamentos/Cap09_TOC.pdf)> Acesso em 20 de dezembro de 2020.

CASADO, F. L., RIZZETTI, D. M., KRONABUER, E., FLORES, E. G., MACEDO, J. C., NEVES, R. F., KIENETZ, T. B. **Guia de mapeamento de processos.** 1. ed. Santa Maria, 2017.

CHASE, Richard B.; AQUILANO, Nicholas J. **Gestão da produção e das operações: perspectiva do ciclo de vida.** Lisboa, 1995.

COURTOIS, Alain; PILLET, Maurice; MARTIN-BONNFOUS, Chantal. Gestão da produção. **Rev. Lisboa: LIDEL**, 5 ed., 2007.

COX, Jeff; SPENCER, Michael, S. **Manual da Teoria das Restrições.** Porto Alegre: Bookman, 2002.

DALMARIS, P.; TSUI, E.; HALL, B.; SMITH, B. A framework for the improvement of knowledge-intensive business processes. **Business Process Management Journal**, v. 13, p. 279-305, 2007.

DAVENPORT, T. **Reengenharia de processos.** S. Paulo, Campus, 1994.

FGV. **Estudo mapeia infraestrutura e necessidades do SUS para enfrentar o Covid-19.** Disponível em: <http://www.cepesp.io/estudo-mapeia-infraestrutura-e-necessidades-do-sus-para-enfrentar-o-covid-19/>. Acesso em: 20 de dezembro de 2020.

FURTADO, J.C., PRADELLA, S., KIPPER, L.M. *Gestão de Processos. Da Teoria à Prática*. 1. ed. São Paulo, 2012.

GAZIEERO, C., CECCONELLO, I., **Simulação Computacional do Fluxo de Valor: uma proposta de Integração da Indústria 4.0 e Lean Production**. SCIENTIA CUM INDUSTRIA, V. 7, N. 2, PP. 52 — 67, UCS, 2019.

GOMES, C. **Organização e gestão por processos**. S. Paulo, Fundap, 2006.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à pesquisa operacional**. Tradução de Ariovaldo Griesi. 9. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

HUSAIN, A.; **Chemical Process Simulation**. McGraw-Hill, New Delhi, 1986.

KUJANSIVU, P.; LONNQVIST, A. Business process management as a tool for intellectual capital management. **Knowledge and Process Management**, v. 15, n. 3, p. 159-169, 2008.

LAURINDO, F. E ROTONDARO, R. **Gestão Integrada de processos e da TI**. S. Paulo, Atlas, 2006.

MACHADO, C., BRAATZ, A., FERNANDO, A., SILVEIRA, G., LARSEN, D., NASSIFFE, R., SENA, L. **Produção de protetores faciais para profissionais de saúde contra o coronavírus**. Instituto de extensão federal catarinense. Santa Catarina, 2020.

MARQUELI, C. A. **Gargalos de produção: o que são e por que devem ser eliminados?** São Paulo, 2008. Disponível em <<https://administradores.com.br/artigos/gargalos-de-producao-o-que-sao-e-por-que-devem-ser-eliminados>>. Acesso em: 28 de dezembro de 2020.

MOSTAGHIMI, A., ANTONINI, M.-J., PLANA, D., ANDERSON, P.D., BELLER, B., BOYER, E.W., FANNIN, A., FREAKE, J., OAKLEY, R., SINHA, M.S., SMITH, L., VAN, C., YANG, H., SORGER, P.K., LEBOEUF, N.R., YU, S.H., **Regulatory and safety considerations in deploying a locally fabricated, reusable, face shield in a hospital responding to the COVID-19 pandemic**, Med (2020), Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.medj.2020.06.003>.

NOVAK JI, LOY J. **A quantitative analysis of 3D printed face shields and masks during COVID-19**. Emerald Open Res 2020, 2:42 Disponível em: <https://doi.org/10.35241/emeraldopenres.13815.1>. Acesso em: 20 de dezembro de 2020.

NOVAK JI, LOY J: **A critical review of initial 3D printed products responding to COVID-19 health and supply chain challenges**. Emerald Open Res, 2020.

OSMAN, M. S., A computational optimization method for scheduling resource-constraint sequence-dependent changeovers on multi-machine production lines.

**Expert Systems with Applications**, Volume 168, American University of Sharjah, Shajah, United Arab Emirates, 2021.

PORTER, M. **Vantagem competitiva: criando e sustentando desempenho superior**. 4. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1999.

PRADO, Darci do Santos. **Usando o Arena em simulação**. 5. ed. Belo Horizonte: Nova Lima: FALCONI Editora, 2014.

PROJETO de Eficiência Energética nas Pequenas Indústrias de Cerâmica Vermelha do Brasil - ELLA. **Panorama da Indústria de Cerâmica Vermelha no Brasil**. Rio de Janeiro, jun. 2012.

RAULINO, Bruno Ribeiro. **Manufatura aditiva: desenvolvimento de uma máquina de prototipagem rápida baseada na tecnologia FDM (modelagem por fusão e deposição)**, 2011. x, 142 f., il. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecatrônica) Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

ROSSETTI, M. D. **Simulation modeling and Arena**. 2. ed. Nova Jersey: John Wiley & Sons, 2016.

ROTONDARO, Roberto G. **Gerenciamento por Processos**. In: DE CARVALHO, Marly M.; PALADINI, Edson P. (Org.) **Gestão da Qualidade: Teoria e Casos**. Rio de Janeiro, 2006.

SALGADO, C. C. R.; AIRES, R. F. F.; WALTER, F.; ARAÚJO, A. G. **Contribuições à melhoria de processos organizacionais: uma avaliação empírica sob a perspectiva de mapeamento de processos em uma unidade da universidade federal da Paraíba**, HOLOS, vol. 1, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte Natal, Brasil, 2013.

STINGHEN, A. O., **Análise de Flexibilidade e Operação de Processos Químicos**. Tese de Mestrado, UNICAMP, Campinas, 1992.

STINGHEN, A. O., **Estratégias de otimização de processos**. Tese de Doutorado, UNICAMP, Campinas, 2018.

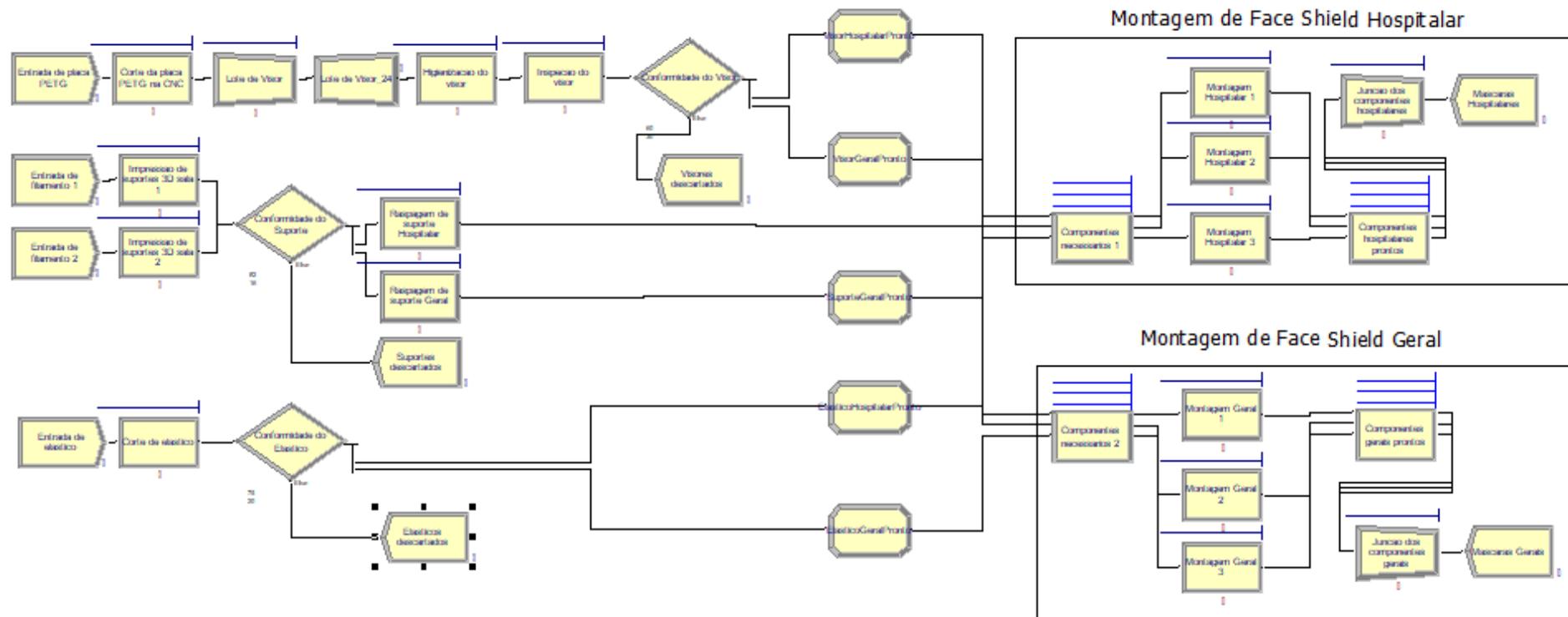
VARVAKIS, G. J. **Gerenciamento de Processos**. Apostila da disciplina Gerenciamento de Processos e Variável Ambiental – PPGEF UFSC, 1998.

VOLPATO, Neri, **Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D**. 1 edição digital, Editora Edgard Blucher Ltda, 2017.

ZHIANG LIN J. R. H; CARROLL, G. R.; CARLEY, K. M. Simulation Modeling in Organizational and Management Research. **Academy of Management Review**, v. 32, n. 4, p. 1229–1245, 2007.

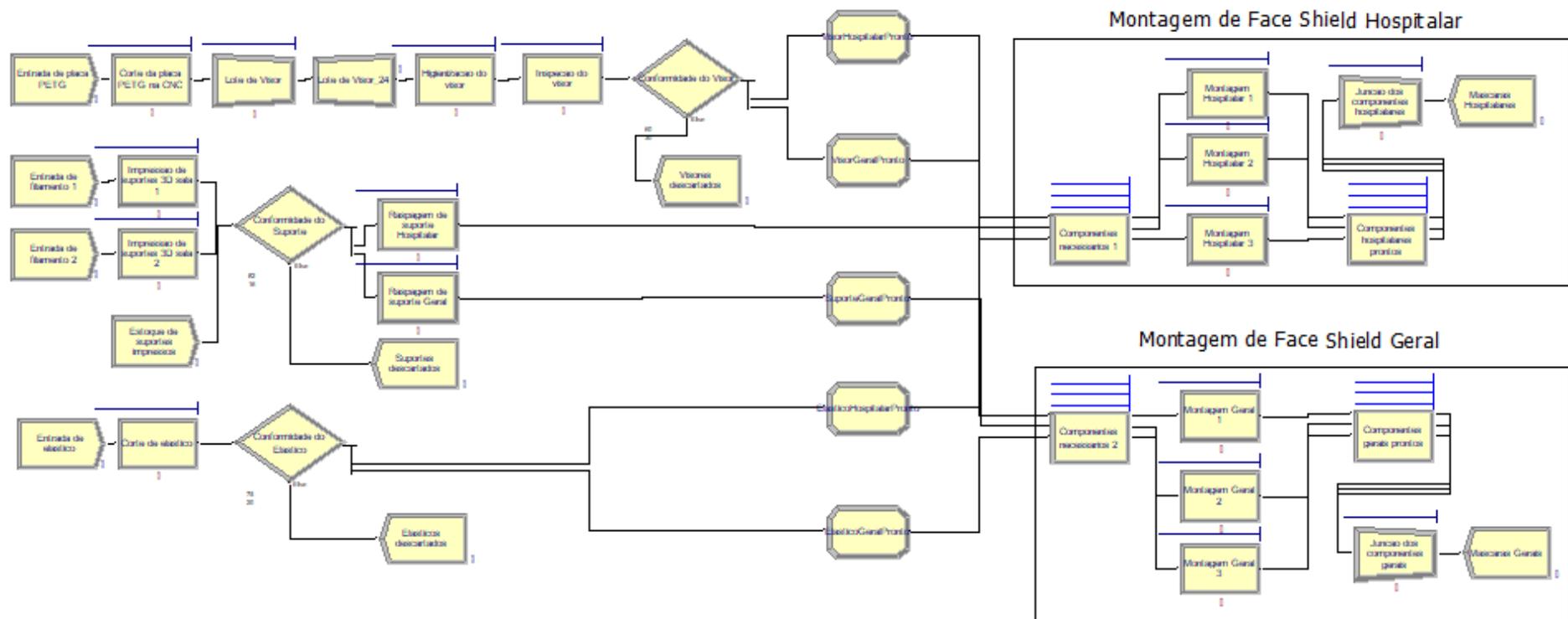
# APÊNDICES

## APÊNDICE A – SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 03 COM O GARGALO DE IMPRESSÃO



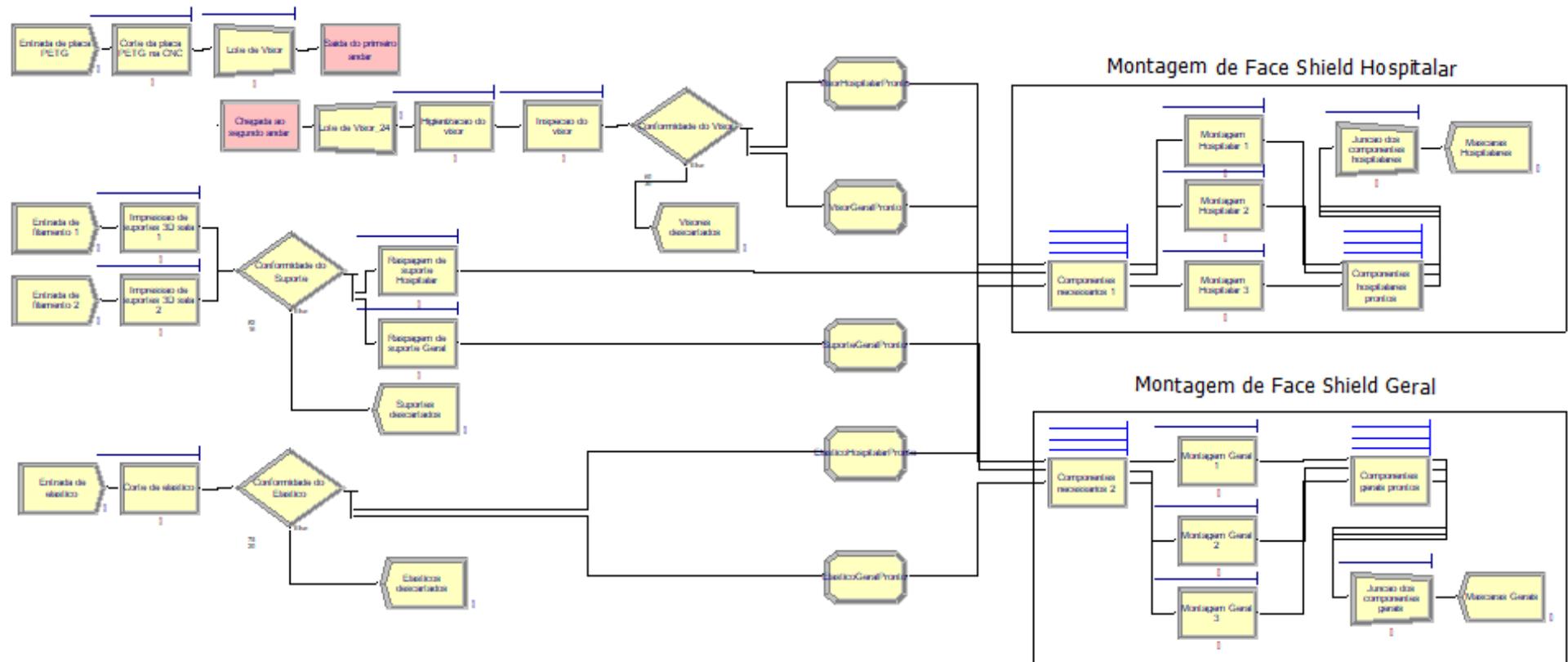
Fonte: Autora (2021)

## APÊNDICE B – SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 03 SEM O GARGALO DE IMPRESSÃO



Fonte: Autora (2021)

## APÊNDICE C – SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 03 SEM O GARGALO DE IMPRESSÃO E COM TEMPO DE DESLOCAMENTO



Fonte: Autora (2021)