

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

JEFERSON LUIS CORREIA

**ANÁLISE DE PRODUTIVIDADE EM UMA FUNDIÇÃO
À LUZ DO *LEAN MANUFACTURING* COM O SUPORTE DA
SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL POR EVENTOS DISCRETOS**

São Leopoldo

2021

JEFERSON LUIS CORREIA

**ANÁLISE DE PRODUTIVIDADE EM UMA FUNDIÇÃO
À LUZ DO *LEAN MANUFACTURING* COM O SUPORTE DA
SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL POR EVENTOS DISCRETOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção, pelo Curso de Engenharia de Produção da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS.

Orientador: Prof. Eng^o. Ms. Marcos Leandro Hoffmann Souza

São Leopoldo

2021

Dedico este trabalho a Deus e à minha família, que não mediram esforços e me deram tudo que foi preciso, carinho e compreensão, sendo que sem eles nada disso seria possível. Obrigado!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço aos meus pais, Adão e Vera, por sempre me incentivarem a seguir em frente e buscar o melhor.

Agradeço à minha esposa, Carla Anholetto, pelo suporte durante todo esse período, me inspirando e me incentivando a não desistir durante essa caminhada, muito obrigado.

Aos meus filhos, Antônia e Bento, os quais me deram forças e inspiração para seguir em frente.

Às minhas irmãs, Paola e Milena, pelo carinho.

Ao meu orientador, professor, Eng^o. Ms. Marcos Leandro Hoffmann Souza, eu deixo o meu reconhecimento por ter me auxiliado durante esta longa caminhada. Obrigado pela paciência.

À minha amiga Eroná por ter me apoiado durante esse processo.

Aos amigos, colegas de trabalho e à empresa Hidro Jet que me auxiliaram ao longo da minha formação.

Ao professor, Ms. Leandro Gauss, que transmitiu com entusiasmo e dedicação todo o seu conhecimento aos seus alunos, e que inspirou a construção deste trabalho a partir da disciplina de simulação por eventos discretos.

Agradeço a todos os demais professores e aos colegas da Unisinos que contribuíram ao longo da minha trajetória acadêmica.

Muito obrigado a todos!

“O conhecimento passou a ser o principal fator de produção e geração de riquezas.”

Bill Gates

RESUMO

O setor de fundição enfrenta a situação problemática da concorrência direta do mercado chinês que oferece produtos de baixo custo e capacidade fabril para altos volumes. Logo, as empresas que atuam no setor de fundição precisam buscar alternativas continuamente para reduzir custos; melhorar o desempenho; ter gestão eficiente dos produtos; produção enxuta; e elevar a produtividade para tornarem-se competitivas, diante das empresas chinesas, o que é uma tarefa complexa e requer a adoção de estratégias para modificar esse cenário, como ocorre também na empresa aqui analisada. Neste contexto, este estudo tem como objetivo identificar como elevar a produtividade na área de fusão de uma empresa de fundição à luz do *Lean Manufacturing* com suporte da simulação por eventos discretos. Para alcançar o objetivo foram utilizados: o método hipotético-dedutivo; a pesquisa aplicada quantitativa, o método de estudo de caso único e holístico; e a modelagem *hard* utilizando-se o método de simulação por eventos discretos. Para a coleta de dados foi utilizado o método de observação e a análise de dados se configurou como uma análise descritiva. Os resultados gerados por meio da aplicação combinada da simulação por eventos discretos em conjunto com as ferramentas do LM – *Kaizen* e VSM –, foram: redução na geração de lingotes; diminuição no tempo de fusão (Cenário 3 simulado) gerando aumento de produtividade; redução do volume de estoque necessário na macharia em virtude da alteração de *layout* na pintura de machos levando à redução do *lead time* conforme VSM futuro.

Palavras-Chave: Produção Enxuta. *Kaizen*. VSM. Simulação por Eventos Discretos. Área de Fusão.

ABSTRACT

The foundry sector faces the problematic situation of direct competition from the Chinese market that offers low-cost products and manufacturing capacity for high volumes. Therefore, companies operating in the foundry sector need to continually seek alternatives to reduce costs; improve performance; have efficient product management; lean production; and increase productivity to become competitive, compared to Chinese companies, which is a complex task and requires the adoption of strategies to change this scenario, as also occurs in the company analyzed here. In this context, this study aims to identify how to increase productivity in the fusion area of a foundry company in the light of Lean Manufacturing supported by discrete events simulation. To reach the objective, the following were used: the hypothetical-deductive method; quantitative applied research, the single and holistic case study method; and hard modeling using the discrete events simulation method. For data collection, the observation method was used and data analysis was configured as a descriptive analysis. The results generated through the combined application of discrete events simulation in conjunction with the LM tools – Kaizen and VSM – were: reduction in ingot generation; decrease in melting time (Scenario 3 simulated) generating increased productivity; reduction in the volume of stock needed in the mill due to the change of layout in the tap painting leading to a reduction in lead time according to future VSM.

Key words: Lean Production. Kaizen. VSM. Discrete Events Simulation. Fusion Area.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Método para a revisão sistemática da literatura.....	27
Figura 2 – Etapas da revisão sistemática da literatura.....	30
Figura 3 – Mapa conceitual	36
Figura 4 – Sistema Toyota e Produção.....	38
Figura 5 – Princípios do <i>Kaizen</i>	41
Figura 6 – Funcionamento do <i>Kaizen</i>	42
Figura 7 – Símbolos do VSM.....	45
Figura 8 – Etapas iniciais do VSM.....	46
Figura 9 – Perdas em um sistema de valor.....	48
Figura 10 – Etapas do projeto de simulação por eventos discretos	54
Figura 11 – Fluxograma do processo de fundição	63
Figura 12 – Diagrama do processo fabril de fusão.....	66
Figura 13 – Procedimentos metodológicos	69
Figura 14 – Fluxograma das etapas do método de trabalho	74
Figura 15 – Fluxograma das etapas da simulação por eventos discretos.....	76
Figura 16 – Imagem área da Matriz em Feliz/RS	83
Figura 17 – Imagem Unidade de Fundição em Porto Alegre/RS.....	84
Figura 18 – Princípios produtos da linha de eletroferragens	84
Figura 19 – Princípios produtos: linha automotiva.....	85
Figura 20 – Princípios produtos: linha eólica.....	85
Figura 21 – Válvulas.....	85
Figura 22 – Processo de fundição em areia verde	86
Figura 23 – Fluxograma do processo de fundição	87
Figura 24 – Fabricação de machos no sistema de moldagem <i>cold box</i>	88
Figura 25 – Máquina de moldar: Disa Matic 2110 MK3.....	89
Figura 26 – Jateamento	89
Figura 27 – Peças pós rebarbação (acabamento)	90
Figura 28 – Forno para o tratamento térmico.....	90
Figura 29 – Fluxograma da área de fusão	91
Figura 30 – Carregamento de matéria prima no cesto.....	92
Figura 31 – Carregamento da carga do cesto para o forno de fusão	92
Figura 32 – Carregamento do metal líquido na panela de nodularização	93

Figura 33 – Transporte do metal com talha até a Disa.....	93
Figura 34 – Processo de vazamento do metal líquido no molde	94
Figura 35 – Aplicações.....	95
Figura 36 – VSM Estado Atual	96
Figura 37 – Lingote: sobras de metal	100
Figura 38 – Material de retorno não compactado.....	101
Figura 39 – Equipamento quebrador de canal	102
Figura 40 – Utilização do quebrador de canal para material de retorno.....	102
Figura 41 – <i>Layout</i> macharia com pintura distante 224 m ida e volta	105
Figura 42 – <i>Layout</i> macharia após aproximar pintura	105
Figura 43 – Trajeto da talha até a Disa com panela de nodularização.....	108
Figura 44 – Simbologia da modelagem IDEF-SIM	110
Figura 45 – Modelo conceitual para o sistema de fusão	111
Figura 46 – Modelo ANYLOGIC®	122
Figura 47 – <i>Layout</i> atual.....	129
Figura 48 – <i>Layout</i> proposto.....	130
Figura 49 – VSM Estado Futuro	132

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Produção mundial de fundidos (milhões de toneladas)	24
Gráfico 2 – Quantidade de fundições no ano base de 2018	25
Gráfico 3 – Composição da matéria prima	107
Gráfico 4 – Dispersão dos tempos de cargas de sucata por cesto	112
Gráfico 5 – Dispersão para o tempo de cargas da sucata	113
Gráfico 6 – Tempo de fusão da sucata	114
Gráfico 7 – Histograma de tempo da carga do ferro gusa.....	115
Gráfico 8 – Tempo de fusão para ferro gusa.....	116
Gráfico 9 – Tempo de carga do material de retorno.....	117
Gráfico 10 – Tempo de fusão da carga do material de retorno	118
Gráfico 11 – Tempos de deslocamento.....	119
Gráfico 12 – Produção diária com <i>outliers</i>	120
Gráfico 13 – Produção diária sem <i>outliers</i>	120
Gráfico 14 – Produção diária da linha de fornos de fusão (kg)	123
Gráfico 15 – Resultados de produção reais <i>versus</i> resultados do modelo (kg)	124
Gráfico 16 – Comparativo entre os cenários	125
Gráfico 17 – Tempos médios em uma replicação aleatória: Cenário 4	126
Gráfico 18 – Tempos médios em uma replicação aleatória: Cenário 3.....	127
Gráfico 19 – Comparação cenários simulados.....	128
Gráfico 20 – Tonelagem de peças boas em 2020.....	134
Gráfico 21 – Tonelagem de peças boas: janeiro a maio de 2021	135
Gráfico 22 – Índice de produtividade em 2020	136
Gráfico 23 – Índice de produtividade: janeiro a maio de 2021.....	137

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Determinação dos critérios de inclusão e de exclusão	28
Quadro 2 – Estudos selecionados e incluídos.....	31
Quadro 3 – Práticas complementares da filosofia LM	39
Quadro 4 – Sete perdas verificadas no Sistema Toyota de Produção	47
Quadro 5 – Evolução da definição de produtividade	50
Quadro 6 – Termos utilizados na simulação por eventos discretos	53
Quadro 7 – Etapas do projeto de simulação por eventos discretos	56
Quadro 8 – <i>Softwares</i> de simulação computacional	60
Quadro 9 – Setores de uma indústria de fundição	65
Quadro 10 – Métodos científicos.....	70
Quadro 11 – Métodos de pesquisa	72
Quadro 12 – Características da distribuição triangular.....	79
Quadro 13 – Composição das variáveis controladas	80
Quadro 14 – Composição experimental dos cenários explorados	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produção brasileira de fundidos (mil ton./mês)	24
Tabela 2 – Resultados da RSL obtidas no <i>Google Acadêmico</i>	29
Tabela 3 – Principais características dos processos fabris	98
Tabela 4 – Indicador lingote (abril/2021)	100
Tabela 5 – Resultados do controle de lingote	101
Tabela 6 – Retorno do Investimento	103
Tabela 7 – Resultados da eliminação do pé de banho no forno.....	104
Tabela 8 – Resumo estatístico tempo de fusão da sucata	114
Tabela 9 – Resumo estatístico tempo de fusão da sucata	116
Tabela 10 – Resumo estatístico tempo de fusão do material de retorno	118
Tabela 11 – Resumo estatístico do tempo de deslocamento	121
Tabela 12 – Teste-z de hipóteses para a média	124
Tabela 13 – Resumo estatístico da produção diária nos cenários	126
Tabela 14 – Comparação dos cenários simulados.....	128
Tabela 15 – Principais características dos processos fabris	133
Tabela 16 – Indicador de performance de processo	137

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIFA	Associação Brasileira de Fundição
ABM	Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração
CQ	Círculo de Qualidade
CCQ	Círculos de Controle de Qualidade
CEO	<i>Chief Executive Officer</i>
CEP	Controle Estatístico do Processo
CNC	<i>Computer Numeric Control</i>
DISP	Disponível
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
E	Estoque
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
FIEMG	Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais
FMEA	<i>Failure Mode and Effects Analysis</i>
GQZD	Gestão da Qualidade Zero Defeito
hH	Hora homem
JIT	<i>Just-in-Time</i>
kg	Quilograma
LM	<i>Lean Manufacturing</i>
MES	<i>Manufacturing Execution Systems</i>
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i>
MFV	Mapeamento de Fluxo de Valor
MP	Matéria Prima
MRP	<i>Material Requirement Planning</i>
pç	Peça
PCP	Planejamento e Controle da Produção
PIB	Produto Interno Bruto
PWC	<i>Price Waterhouse Coopers</i>
QFD	<i>Quality Function Deployment</i>
RS	Rio Grande do Sul
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
SAP	<i>Software Applications and Products</i>
STP	Sistema Toyota de Produção

TI	Tecnologia da Informação
TRF	Troca Rápida de Ferramentas
T/C	Tempo de Ciclo
Ton.	Tonelada
TPS	<i>Toyota Production System</i>
T/r	Tempo de Troca
VSM	<i>Value Stream Mapping</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 TEMA	19
1.2 PROBLEMA	19
1.3 OBJETIVOS	22
1.3.1 Objetivo Geral	23
1.3.2 Objetivos Específicos	23
1.4 JUSTIFICATIVAS	23
1.4.1 Justificativa Empresarial	23
1.4.2 Justificativa Acadêmica	26
1.4.3 Justificativa para o Pesquisador	33
1.5 DELIMITAÇÕES.....	34
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	34
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	36
2.1 <i>LEAN MANUFACTURING</i> : ASPECTOS FUNDAMENTAIS	36
2.1.1 Conceitos e Caracterização do <i>Kaizen</i>	40
2.1.2 Conceitos e Etapas do VSM	44
2.1.3 Os 4P's da Toyota Motor e as Sete Perdas do STP	47
2.1.4 Conceitos e Medição da Produtividade	49
2.2 SIMULAÇÃO POR EVENTOS DISCRETOS.....	51
2.2.1 Etapas da Simulação por Eventos Discretos	53
2.2.2 Aplicações da Simulação por Eventos Discretos	58
2.2.3 Programas Utilizados na Simulação por Eventos Discretos	59
2.3 SETOR DE FUNDIÇÃO E SIMULAÇÃO POR EVENTOS DISCRETOS	61
2.3.1 Caracterização do Setor de Fundição	62
2.3.2 Aplicação da Simulação por Eventos Discretos no Setor de Fundição	67
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	69
3.1 MÉTODO CIENTÍFICO	69
3.2 MÉTODOS DE PESQUISA	70
3.3 MÉTODO DE TRABALHO	73
3.3.1 Etapas da Simulação por Eventos Discretos	75
3.3.2 Parâmetros para a Construção do Modelo Computacional	78
3.3.3 Cenários Propostos	80

3.4 TÉCNICAS DE COLETA DE DADOS	81
3.5 TÉCNICAS DE ANÁLISE DE DADOS	82
4 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA E SITUAÇÃO ATUAL	83
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA.....	83
4.2 SITUAÇÃO ATUAL	86
4.2.1 Processos da Área de Fusão	91
5 APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS KAIZEN E VSM DO LM E A SIMULAÇÃO.	95
5.1 VSM ESTADO ATUAL	95
5.2 APLICAÇÃO DO KAIZEN: AÇÕES E RESULTADOS	99
5.2.1 Controle do Lingote	99
5.2.2 Aquisição do Equipamento Quebrador de Canal	101
5.2.3 Eliminação do Pé de Banho no Forno	103
5.2.4 Adequação de <i>Layout</i>.....	104
5.2.5 Cronograma de Manutenção Preventiva e Redução de Estoques.....	105
5.3 CONSTRUÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL.....	106
5.3.1 Sistema Analisado.....	107
5.3.2 Definição do Problema.....	108
5.3.3 Definição dos Objetivos.....	109
5.3.4 Formulação e Planejamento do Modelo Conceitual.....	110
5.3.5 Coleta e Modelagem dos Dados de Entrada	112
5.3.5.1 Carga da Sucata	112
5.3.5.2 Fusão da Sucata	113
5.3.5.3 Carga Ferro Gusa	115
5.3.5.4 Fusão do Ferro Gusa	115
5.3.5.5 Carga de Material de Retorno.....	117
5.3.5.6 Fusão do Material de Retorno	117
5.3.5.7 Aquecimento Final e Transporte Disa	119
5.3.6 Desenvolvimento do Modelo Computacional.....	121
5.3.7 Verificação e Validação do Modelo Computacional.....	123
5.3.8 Experimentação e Análise de Cenários.....	125
5.3.9 Análise dos Resultados do Modelo Computacional	127
5.3.10 Apresentação e Implementação do Modelo Proposto	130
5.4 VSM ESTADO FUTURO.....	130
5.5 INDICADORES DE PRODUTIVIDADE E RESULTADOS.....	133

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	139
6.1 CONTRIBUIÇÕES GERENCIAIS E ACADÊMICAS	141
6.2 LIMITAÇÕES.....	141
6.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS E BENEFÍCIOS	142
REFERÊNCIAS	144
GLOSSÁRIO	154
APÊNDICE A – PROTOCOLO: REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	156
APÊNDICE B – CRONOGRAMA DO <i>KAIZEN</i>	157
ANEXO A – TERMO DE CONFIDENCIALIDADE: COLETA DE DADOS	158

1 INTRODUÇÃO

O mercado se apresenta gradativamente exigente e competitivo, tornando incerta a continuidade das empresas, sem que existam investimentos em novas tecnologias e adoção de estratégias com o intuito de reduzir os desperdícios nos sistemas produtivos (PIAIA, 2019).

A diminuição dos desperdícios nos processos fabris tem se concretizado como ações antecedentes e necessárias que todos os gestores deverão buscar diante do cenário de customização em massa e da elevada competitividade. A redução das perdas e dos desperdícios e, também, a elevação de ganhos em produtividade tem se configurado como os principais objetivos das empresas industriais (VILELA et al., 2020).

Muitas empresas vêm crescendo de forma desordenada sem o emprego eficiente de metodologias e de ferramentas de gerenciamento industrial. Contudo, ao longo dos anos, observa-se o interesse das organizações na busca por uma gestão empresarial, principalmente, no setor industrial que ofereça resultados contínuos (PIAIA, 2019). A busca por competitividade a fim de atender as aspirações dos clientes, tem gerado a necessidade da implantação de processos produtivos organizados e eficientes (OLIVEIRA, 2008a).

Desse modo, os processos de produção devem evoluir constantemente para atender os desafios e as mudanças da sociedade, sendo que as empresas deverão desenvolver conceitos e aplicar as ferramentas para a fabricação de bens de consumo, no intuito de reduzir os desperdícios e diminuir os custos industriais (MUNIZ et al., 2020).

Assim sendo, as indústrias empenham-se perenemente em desenvolver processos de produção flexíveis preparados para atender as mudanças constantes do mercado (PIAIA, 2019). Neste intuito, surgiu a filosofia *Lean Manufacturing* (LM) com as finalidades de reprimir a variabilidade; reduzir os tempos de produção; melhorar os fluxos produtivos; e eliminar os desperdícios.

Um dos principais objetivos da filosofia LM compreende o estabelecimento de um sistema de elevada qualidade, no intuito de permitir que os produtos sejam fabricados conforme as demandas dos clientes com menor ou nenhum desperdício (PIAIA, 2019).

Neste sentido, a aplicação dos conceitos de manufatura enxuta tem contribuído tanto para o desenvolvimento de processos mais econômicos, como para oferecer um atendimento personalizado ao cliente, pois nas indústrias os custos são elevados e os recursos escassos, sendo assim é preciso ser eficiente nas operações continuamente (OLIVEIRA, 2008a). Na literatura poucos estudos estão sendo inseridos em indústrias fora do ramo de montagem, sendo que as indústrias que apresentam alto valor agregado em seus processos têm demonstrado maior aderência à filosofia LM (MACEDO et al., 2014).

Os sistemas de produção são fatigantes em projetar, controlar e analisar, resultando na dificuldade da modelagem destes sistemas. Estas dificuldades derivam das características peculiares aos sistemas de produção, tais como: complexidade; processos não lineares; comportamento dinâmico; como também, as dificuldades na coleta de dados, os quais por vezes incertos e incompatíveis com a real situação dos processos fabris (WARTH, 2019).

Neste sentido, devido a tais dificuldades, a simulação computacional tem sido largamente utilizada pelas empresas nas análises de sistemas de manufatura como um suporte à filosofia LM. Como esclarece Oliveira (2008b), a simulação computacional concede a visualização dos resultados de uma modificação sem, todavia, alterar a realidade do sistema de produção e sem a necessidade de interromper o fluxo produtivo.

Diante do exposto, com a realização desse estudo espera-se obter a compreensão da aplicação da simulação computacional por eventos discretos na manufatura, na busca da integração e como um suporte aos conceitos da filosofia LM. A aplicação da simulação computacional por eventos discretos, neste estudo, tem por finalidade analisar os possíveis cenários a fim de contribuir com a redução das perdas e dos desperdícios; elevar a produtividade; bem como para solucionar os problemas existentes, em especial, na área de fusão de uma empresa de fundição.

Cabe destacar que, a utilização da simulação computacional por eventos discretos no setor fabril, já é uma realidade e é considerada como uma vantagem competitiva para as organizações industriais, que precisam estar atentas às práticas de mercado, assim como, nas opções a serem adotadas no futuro apoiando a filosofia de gestão do LM (FRANCO; OIAN, 2019).

Casalinho, Schramm e Silva (2011) complementam destacando que, no intuito de reduzir as dificuldades de implementação e/ou manutenção da filosofia LM,

a utilização do método de simulação computacional de produção se configura para a indústria como uma maneira de oferecer suporte à tomada de decisão.

Diante do exposto, a simulação computacional por eventos discretos aplicada na manufatura como suporte à aplicação da filosofia LM, se apresenta como uma possível solução, capaz de auxiliar as empresas a se tornarem mais competitivas? Na sequência é apresentado o tema definido para o desenvolvimento deste estudo.

1.1 TEMA

O tema para o desenvolvimento deste estudo consiste na produtividade da área de fusão de uma empresa de fundição à luz da filosofia LM com suporte da simulação por eventos discretos. Na sequência é descrita a contextualização do problema e o respectivo questionamento que deverá ser respondido com a realização do estudo.

1.2 PROBLEMA

As indústrias pertencentes ao setor de fundição apresentam um papel importante para o desenvolvimento da economia brasileira. De acordo com a Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração (ABM) (2021), a indústria de fundição fatura anualmente, em torno de US\$ 7 bilhões no Brasil e as empresas em sua maioria são familiares.

A fundição compreende um processo fabril versátil e é muito empregado em processos industriais, porque propicia a aquisição das peças que variam entre pequenas e grandes escalas, e configura mínimas limitações de formatos e de complexidade (CASOTTI; DEL BEL FILHO; CASTRO, 2011).

Para este estudo é enfatizada a célula de manufatura da área de fusão de uma empresa de fundição, que se caracteriza como um importante fundamento da fundição, compreendendo a etapa em que ocorre a fusão do metal, ou seja, é a etapa de preparação do metal líquido a ser vazado na cavidade do molde; e está diretamente atrelada à qualidade da peça fundida (EVANGELISTA; SILVA, 2020; RUCHERT, 2018; OLIVEIRA, 2010).

Por sua vez, o setor de fundição está presente em várias regiões do Brasil, sendo responsável pela produção desde peças mais simples até aquelas peças que demandam mais tecnologia em seu processo de fabricação (TONAKI, 2006).

No entanto, conforme divulgação da Associação Brasileira de Fundição (ABIFA) (2020a), a crise provocada pela pandemia do Coronavírus (Covid-19), no final do ano de 2019 e que se perpetuou em 2020, provocou uma redução de 15,7% na produção de fundidos entre os meses de janeiro e maio de 2020, quando comparado ao mesmo período de 2019.

De acordo com o levantamento realizado pela *Price Waterhouse Coopers* (PWC) (2020), na 23ª Pesquisa Anual Global com os *Chief Executive Officer* (CEO's) para o setor de produção industrial, 74% dos pesquisados apontaram a busca pela eficiência operacional como uma das formas para alavancar o crescimento das receitas nas indústrias para os próximos doze meses, inclusive as empresas do setor de fundição.

Para melhor entender, Porter (1999) ressalta que muitas empresas se destacam das demais devido à capacidade de alcançar maior aproveitamento dos recursos disponíveis em comparação às demais.

Neste sentido, o mercado está em constante movimento e isso exige rápida adaptação das indústrias, para que possam aproveitar as novas possibilidades e as oportunidades de negócios e pode tornar-se um problema se as empresas não despertarem para a realização de investimentos em inovações tecnológicas já disponíveis no mercado.

O desenvolvimento continuado e a relevância dos sistemas de produção, com a finalidade de otimização dos processos fabris, têm propiciado às empresas fabris a realizar investimentos em inovações tecnológicas e novos métodos para elevar a competitividade (GOECKS; TELLES; GOMES, 2018).

Kach et al. (2014a) ressaltam que, a competitividade das empresas do setor fabril poderá ser impactada pelos seguintes fatores: alto tempo do processo de fabricação (*lead time*); preços finais dos produtos; e pela qualidade desses produtos. Neste cenário de competitividade entre as empresas do mesmo segmento, existe uma demanda de evolução contínua tanto no processo gerencial como no processo produtivo e, também, nos investimentos em tecnologia.

Diante deste contexto, no setor de fundição ênfase deste estudo, em função da concorrência oriunda das empresas fabris chinesas, que possuem como principal

característica, produtos de baixo custo e com capacidade fabril para fornecer altos volumes, os gestores das empresas deste setor buscam compensar esta diferença, seja em redução de custos, seja no aumento da sua capacidade de produção. Assim sendo, as organizações do setor de fundição necessitam reduzir os seus custos e devem elevar a produtividade e a filosofia LM tem contribuído neste processo de focalizar os desperdícios, possibilitando que a empresa se torne mais competitiva.

Para atender a demanda do mercado, reduzir custos fabris e aprimorar o controle dos processos, as empresas estão buscando a implementação dos conceitos da filosofia LM, que visa à eliminação das atividades que não agregam valor ao produto e que tornam os processos mais eficientes e flexíveis. Percebe-se que as implementações das ferramentas do LM têm auxiliado no desempenho dos processos, mas surgiram métodos computacionais que podem oferecer um suporte para que isso ocorra de maneira mais assertiva.

Shingo (2007) complementa afirmando que, o princípio da redução dos custos no setor fabril compreende um dos conceitos básicos oriundos do Sistema Toyota de Produção, que tem por finalidade a melhoria contínua sendo imprescindível para a evolução dos negócios da empresa. O autor ressalta que, a sobrevivência das empresas depende, portanto, da redução dos custos, o que demanda a eliminação completa das perdas e dos desperdícios; e da manutenção deste processo de forma continuada. Dentre os principais desperdícios estão: os tempos de espera; a produção em excesso; os retrabalhos; o estoque; dentre outros (SHINGO, 2007).

Segundo Oliveira (2008a), a filosofia LM vem sendo expressivamente empregada em alguns setores industriais, como exemplo, no setor automobilístico nas linhas de montagem de componentes e tem oferecido benefícios à implementação da estrutura de produção, mediante o suporte do método de simulação computacional. O autor complementa informando que, o uso da simulação computacional nos processos fabris tem por finalidade oferecer soluções que possam ser implementadas contribuindo para a diminuição dos custos e para redução de desperdícios nas empresas (OLIVEIRA, 2008a).

Para citar um exemplo, o estudo que foi desenvolvido por Gaziero e Cecconello (2019) propôs a integração da Indústria 4.0 e a filosofia LM operacionalizada pela ferramenta do Mapeamento de Fluxo de Valor (MFV) em inglês *Value Stream Mapping* (VSM); e pelo método de simulação computacional em uma linha de pintura líquida de uma empresa fabricante de móveis de madeira em

MDF. Os resultados do estudo indicaram um crescimento de 19% na produtividade e, também, uma agregação de valor e melhor utilização dos recursos.

Assim sendo, uma das alternativas de inovação tecnológica para auxiliar as empresas compreende a simulação computacional por eventos discretos que tem sido cada vez mais aplicada em diversos segmentos, incluindo as indústrias devido à sua capacidade de reproduzir os processos fabris sem a necessidade de interferir no sistema real (FRANCO; OIAN, 2019). Desse modo, a simulação computacional por eventos discretos possibilita a análise de diversos cenários para oferecer suporte à tomada de decisão e se torna uma opção de integração à filosofia LM (GENARI; CECCONELLO, 2020).

Porém é preciso compreender como esse processo é aplicado para que ofereça reais benefícios às empresas, como por exemplo, aquelas pertencentes ao setor de fundição, ênfase deste estudo. Casalinho, Schramm e Silva (2011) acrescentam que, a utilização dos métodos de simulação computacional está ganhando cada vez mais espaço no ambiente das indústrias, pois representam economia de tempo e de custos quando comparados às tentativas de visualização do processo fabril em um sistema real.

É preciso destacar também que, a validação do método da simulação computacional está associada à redução dos custos e à diminuição dos desperdícios, devido à variabilidade dos itens, margens estreitas, e busca a melhora da rentabilidade para propiciar que a empresa seja mais competitiva e eficiente. Além disso, como as empresas não tem como parar os seus processos fabris para a realização de testes e de experimentos, a simulação computacional por eventos discretos tem sido utilizada como um suporte para a criação de cenários em tempo real sem a necessidade da realização de paradas nas células de manufatura.

Diante do exposto surge o seguinte questionamento: **Como elevar a produtividade na área de fusão de uma empresa de fundição à luz do LM com o suporte da simulação por eventos discretos?** Na próxima seção são definidos os objetivos propostos que deverão ser alcançados com a elaboração da pesquisa.

1.3 OBJETIVOS

Nesta seção é determinado o objetivo geral e, também, são definidos os objetivos específicos para o desenvolvimento deste estudo.

1.3.1 Objetivo Geral

Para responder ao questionamento proposto, o estudo tem por objetivo geral identificar como elevar a produtividade na área de fusão de uma empresa de fundição à luz do LM com o suporte da simulação por eventos discretos.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para atender ao objetivo geral proposto são desenvolvidos os seguintes objetivos específicos:

- a) identificar os principais desperdícios existentes no ambiente analisado, aplicando-se o VSM Estado Atual;
- b) propor ações quanto à redução dos desperdícios utilizando-se o *Kaizen*;
- c) avaliar os possíveis cenários para a obtenção de ganhos de produtividade na área de fusão utilizando o método da simulação por eventos discretos;
- d) elaborar o desenho do VSM Estado Futuro.

Na próxima seção são descritas as justificativas que norteiam a realização deste estudo, detalhando a justificativa empresarial; a justificativa acadêmica; e as motivações para o pesquisador realizar o estudo.

1.4 JUSTIFICATIVAS

Para este estudo as justificativas se apresentam baseadas em três enfoques: empresarial; acadêmico; e a importância da realização do tema de pesquisa para o pesquisador, como detalhado nos próximos itens.

1.4.1 Justificativa Empresarial

A realização deste estudo se justifica em termos empresariais, pois existe a oportunidade de ampliar os níveis de produção nas células de manufatura, no intuito de melhorar e agilizar as tarefas operacionais, para tornar as empresas mais competitivas, reduzindo os custos fabris; elevando a capacidade produtiva; e, conseqüentemente, aumentando os resultados financeiros.

Para este estudo foi considerado o setor de fundição que segundo dados divulgados pela ABIFA (2020b), a produção brasileira de peças fundidas aumentou

pelo terceiro ano consecutivo, com uma produção de 2,28 milhões de toneladas no ano de 2019, sendo que o crescimento ficou em 8,8% quando comparado ao ano de 2016; 6,5% em relação ao ano de 2017; e 0,8% em relação ao ano de 2018, como demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Produção brasileira de fundidos (mil ton./mês)

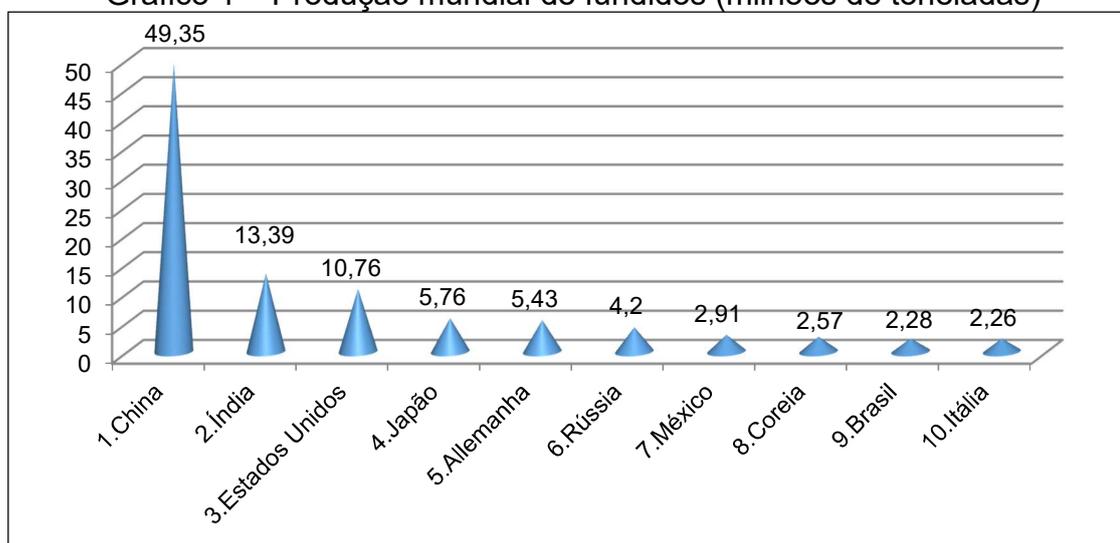
Itens	2019 (A)	2018 (B)	2017 (C)	2016 (D)	A/B (%)	A/C (%)	A/D (%)
Ferro	1.838	1.829	1.778	1.774	0,5	3,33	3,6
Aço	259	243	187	164	6,6	38,9	57,9
Não ferrosos ¹	192	199	183	165	(3,7)	4,7	16,2
Total	2.289	2.272	2.148	2.103	0,8	6,5	8,8

Fonte: ABIFA (2020b).

Nota: 1. Os dados relativos ao alumínio estão inseridos no item de não ferrosos.

No Gráfico 1 consta a produção mundial de fundidos dos dez países maiores produtores, divulgada pela Revista *Modern Casting*, considerando o ano base de 2018 (ABIFA, 2020b).

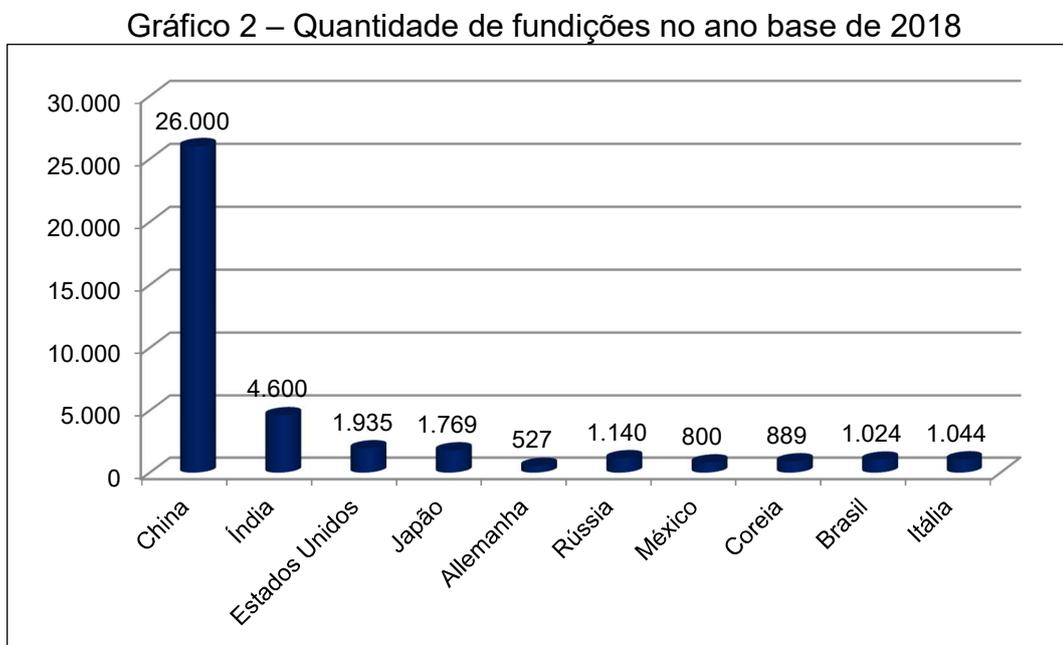
Gráfico 1 – Produção mundial de fundidos (milhões de toneladas)



Fonte: ABIFA (2020b).

Verifica-se no Gráfico 1 que no ano de 2018, o Brasil ocupava a 9ª colocação entre os produtores mundiais de fundidos, atrás dos países da China, Índia, Estados Unidos, Japão, Alemanha, Rússia, México e Coreia, ficando à frente apenas da Itália.

O Gráfico 2 apresenta a quantidade de fundições dos maiores produtores de fundidos distribuídos pelo mundo com destaque para a China, divulgada pela Revista *Modern Casting*, no ano base de 2018 (ABIFA, 2020b).



Fonte: ABIFA (2020b).

De acordo com os dados demonstrados no Gráfico 2, o país que possuía a maior quantidade de fundições era a China, considerando-se o ano de 2018, totalizando 26.000 fundições; enquanto o Brasil apresentava em torno de 1.024 fundições no mesmo período.

Conforme a ABIFA (2020c), nos meses de janeiro a maio de 2020, a maior parte da produção brasileira de fundidos foi consumida pelo mercado interno, totalizando 716.949 toneladas, participando em 87,5% em relação ao total da produção.

As exportações que, normalmente representavam entre 15% a 16% do volume nacional de fundidos, reduziram para 12% naquele período. Porém, os números do mês de julho 2020 consolidaram uma retomada gradual na produção do setor de fundidos no Brasil, mesmo que ainda a pandemia do Coronavírus esteja presente no contexto mundial (ABIFA, 2020c).

O estudo também se justifica em termos empresariais, pois poderá servir de modelo para a aplicação em outras empresas que pertencem aos demais segmentos industriais.

1.4.2 Justificativa Acadêmica

A importância acadêmica deste estudo é motivada em contribuir para a ampliação dos conhecimentos sobre a filosofia LM, com destaque às ferramentas do VSM e do *Kaizen* e com o suporte do método da simulação computacional por eventos discretos em uma célula de manufatura, tornando-se um estudo útil para os profissionais que atuam na engenharia de produção.

No contexto da engenharia da produção, são exigidos cada vez mais conhecimentos de gestão geral das empresas e os profissionais desta área terão que ser multidisciplinares. No entendimento de Trevisan e Sampaio (2017), os engenheiros de produção deverão apresentar características multidisciplinares para atuarem nas várias áreas da empresa, inserindo neste contexto, a gestão de indústria; a realização de projetos; e o desenvolvimento de pesquisas nesta área. Para que isso ocorra, esses profissionais terão que conhecer as inovações tecnológicas, como é o caso, por exemplo, do método da simulação computacional aplicada na manufatura, que já é uma realidade e apresenta ênfase neste estudo como um método de suporte à filosofia LM.

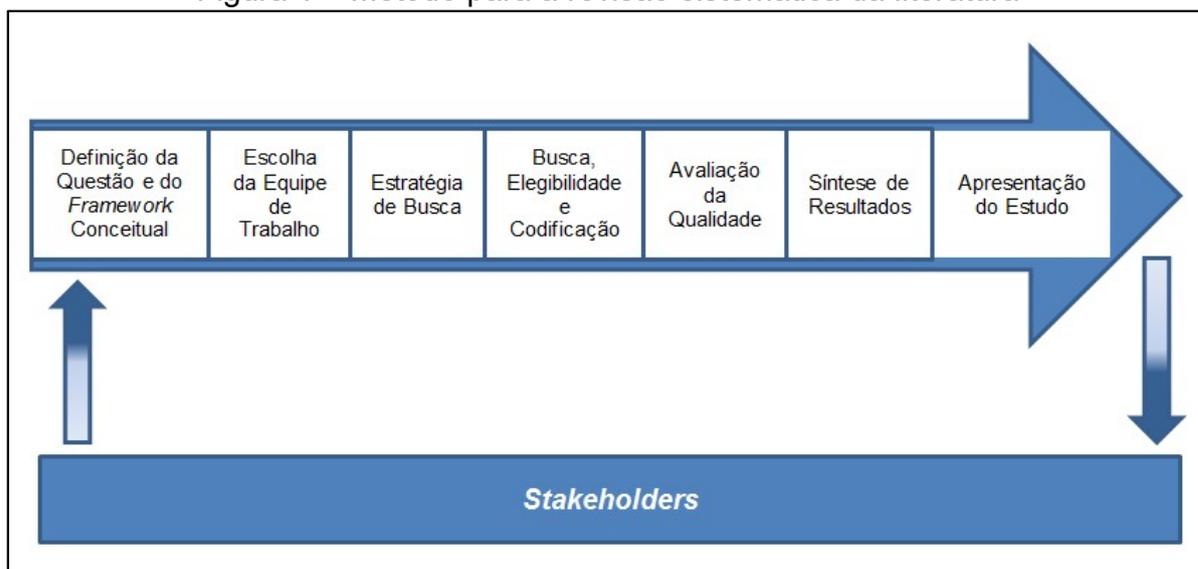
Acrescenta-se que, este estudo se diferencia dos demais trabalhos acadêmicos já desenvolvidos. Isso é explicado, porque o estudo tem a finalidade de avaliar os possíveis cenários para contribuir com a redução das perdas e dos desperdícios; elevar a produtividade; bem como para solucionar os problemas existentes na célula de manufatura da área de fusão de uma empresa de fundição.

Neste estudo, para justificar a sua relevância acadêmica foi desenvolvida uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) e, também, foi criado um protocolo completo que se encontra no Apêndice A. Para a elaboração da RSL foram consideradas as etapas do método desenvolvido por Morandi e Camargo (2015), apresentadas na Figura 1.

Como identificado na Figura 1, a primeira etapa do método de Morandi e Camargo (2015) corresponde à definição da questão da pesquisa e do *framework* conceitual.

Para o presente estudo, a questão de pesquisa está enfatizada em: como elevar a produtividade na área de fusão de uma empresa de fundição à luz do LM com o suporte do método da simulação por eventos discretos.

Figura 1 – Método para a revisão sistemática da literatura



Fonte: Adaptado pelo autor com base em Morandi e Camargo (2015).

Neste estudo, para a etapa do desenvolvimento do *framework* conceitual foi definida a amplitude da revisão sistemática de literatura sendo classificada como uma revisão agregativa.

Segundo Morandi e Camargo (2015), a revisão agregativa tem por finalidade a busca da relação e/ou conexão existente entre dois ou mais aspectos de um fenômeno, sem se preocupar com os objetivos, as motivações e as metodologias dos estudos primários que são produzidos nos resultados.

Na segunda etapa do método é realizada a escolha da equipe de trabalho como identificado na Figura 1. Morandi e Camargo (2015) ressaltam que, mesmo que se tenha a possibilidade de realizar a revisão sistemática da literatura pelo pesquisador unicamente, normalmente tal metodologia é concretizada por uma equipe de pesquisadores.

Para este estudo, ao considerar a etapa da escolha da equipe de trabalho, tal etapa não cabe aqui, pois o estudo trata-se de um trabalho de conclusão de curso que foi desenvolvido apenas pelo pesquisador e teve o apoio de orientação acadêmica.

A terceira etapa indicada na Figura 1 compreende a estratégia de busca. De acordo com Morandi e Camargo (2015), na estratégia de busca parte-se da questão a ser investigada na revisão de literatura e conforme o *framework* conceitual, e devem ser respondidos os seguintes questionamentos: o que se pretende buscar (termo de busca); onde deverá ser realizada a busca (fonte de pesquisa); como

minimizar o possível viés do tema; quais os estudos deverão ser considerados (critérios de inclusão e exclusão); e qual deverá ser a extensão da busca (estratégia exaustiva e estratégia de saturação).

Para o desenvolvimento deste estudo, os materiais teóricos foram obtidos em artigos científicos indexados às revistas acadêmicas; artigos científicos divulgados em simpósios, encontros e congressos; trabalhos de conclusão de curso, teses de doutorado e dissertações de mestrado; livros digitais; dados estatísticos divulgados por órgãos oficiais; dentre outros.

Na busca dos materiais teóricos foram considerados os materiais nos idiomas tanto na língua portuguesa como também na língua inglesa que representassem relação à temática deste estudo.

A estratégia de busca considerada para o estudo foi a estratégia do tipo exaustiva. No Quadro 1 estão detalhados os critérios que foram determinantes para a inclusão e a exclusão dos estudos.

Quadro 1 – Determinação dos critérios de inclusão e de exclusão

Crítérios	Descrição
Inclusão	Materiais sobre a temática em estudo.
	Artigos científicos indexados às revistas acadêmicas.
	Artigos publicados e apresentados em simpósios, encontros de engenharia da produção, congressos, anais e <i>workshops</i> .
	Trabalhos de conclusão de curso e monografias.
	Dissertações de mestrado e teses de doutorado.
	Idiomas: inglês e português.
	Período de publicação: 2005 a 2020.
Exclusão	Estudos que não abordassem a temática em estudo.
	Pesquisa em outros idiomas diferentes do português e do inglês.
	Resenhas de artigos e livros.
	Artigos não acadêmicos.
	Artigos que abordavam a aplicação de tecnologias facilitadoras da Indústria 4.0 diferente da simulação computacional.
	Artigos científicos repetidos.
	Artigos publicados antes do ano de 2004.

Fonte: Elaborado pelo autor.

No entendimento de Morandi e Camargo (2015), a estratégia de busca do tipo exaustiva objetiva a localização de uma maior quantidade aceitável de estudos que

sejam importantes sendo sugeridas para as revisões classificadas como agregativas.

Ao definir a estratégia de busca para a pesquisa e os critérios de inclusão e exclusão, detalhados no Quadro 1, a etapa seguinte consistiu em realizar a busca do material, mediante o uso da ferramenta de busca do *Google Acadêmico*, que resultou na obtenção dos materiais nas seguintes fontes de pesquisa:

- a) revistas acadêmicas de produção, de engenharia da produção e de pesquisa operacional;
- b) revistas acadêmicas de instituições acadêmicas em geral;
- c) anais, eventos e simpósios de pesquisa operacional, de gestão e tecnologia e de engenharia de produção;
- d) encontros nacionais e congressos de engenharia de produção e de engenharia mecânica;
- e) monografias, trabalhos de conclusão de curso de graduação e de pós-graduação, dissertações de mestrado e teses de doutorado, e outros.

Acrescenta-se que, foram consultados também, livros digitais na biblioteca virtual da instituição e os dados relacionados ao setor de fundição foram obtidos nos *sites* oficiais de pesquisa tais como: ABIFA; ABM; Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (FIEMG); e PWC.

Os resultados obtidos com a busca estão detalhados na Tabela 2, indicando a ferramenta de pesquisa; os termos de busca; o idioma; o índice de busca; os resultados; os títulos selecionados; e os resumos selecionados.

Tabela 2 – Resultados da RSL obtidas no *Google Acadêmico*

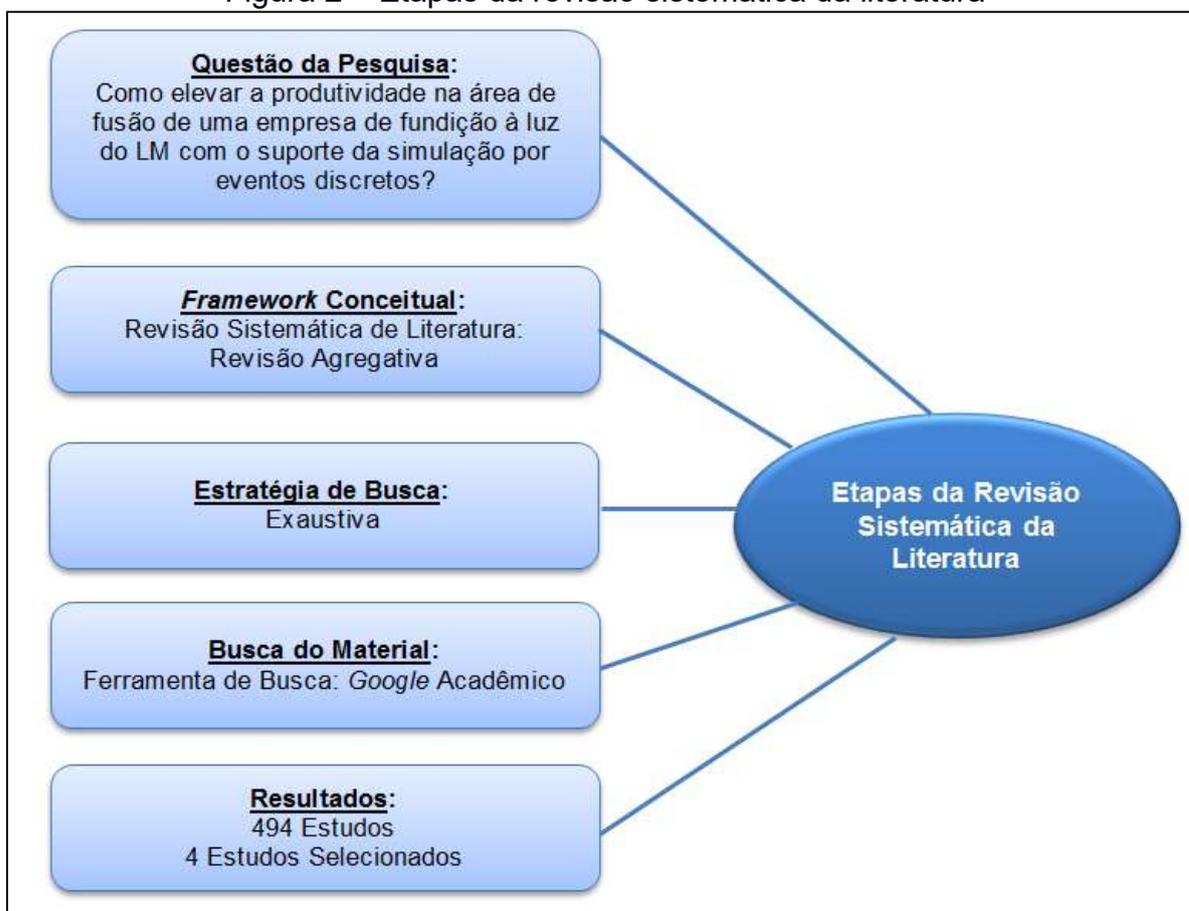
Ferramenta de Pesquisa: <i>Google Acadêmico</i>					
Termos de busca	Idioma	Índice de busca	Resultados	Títulos selecionados	Resumos selecionados
Simulação a eventos discretos; <i>Lean Manufacturing</i>	Português	Título	439	102	36
<i>Discrete Events Simulation;</i> <i>Lean Manufacturing</i>	Inglês	Título	55	10	6

Fonte: Elaborada pelo autor.

Conforme resultados apresentados na Tabela 2, utilizando a ferramenta de busca do *Google Acadêmico* foram obtidos um total de 439 estudos que abordassem os termos de busca de simulação por eventos discretos e LM, escritos no idioma em português e 55 estudos no idioma em inglês, totalizando 494 estudos. Deste total foram selecionados 112 títulos e 42 resumos, os quais foram lidos. Após a leitura dos estudos selecionados foi verificado que quatro estudos estavam mais relacionados com a temática em análise.

Na Figura 2 consta uma síntese das etapas que foram desenvolvidas para a realização da revisão sistemática de literatura, no intuito de oferecer o embasamento teórico sobre a temática estudada.

Figura 2 – Etapas da revisão sistemática da literatura



Fonte: Elaborada pelo autor.

No Quadro 2 estão listados os quatro estudos que apresentam a simulação computacional por eventos discretos como um método de suporte à aplicação dos conceitos da filosofia LM.

Quadro 2 – Estudos selecionados e incluídos

Autor(es)/ Ano	Título	Resumo
Grimard, Standridge e Marvel (2005)	<i>Validation of the re-design of a manufacturing work cell using simulation</i>	Foi realizada a validação do projeto da célula de trabalho por meio da simulação computacional por eventos discretos, empregando-se o ambiente de simulação computacional com o uso do <i>software</i> AUTOMOD. Os autores indicaram os resultados possíveis de serem obtidos no projeto de sistemas de montagem e de calibração de injetores.
Standridge e Marvel (2006)	<i>Why lean needs simulation</i>	Foi apresentada uma justificativa para a utilização da simulação computacional por eventos discretos em projetos de LM, com destaque às falhas em um projeto LM e, também, indicaram como a simulação computacional por eventos discretos auxilia na superação de tais falhas.
Setti, Caten e Possenti (2009)	Aplicação da manufatura enxuta em uma empresa de fundição de pequeno porte: um estudo de caso do setor de fusão.	O estudo teve como objetivo a implementação da filosofia do LM, em uma empresa de pequeno porte que atua no setor de fundição, utilizando a ferramenta de mapeamento de fluxo de valor. Os resultados obtidos mostraram que, o equipamento de fusão se apresentou como determinante da capacidade fabril de uma fundição e foi observada a eficiência com o uso do referido equipamento; foram adotadas as ligas como famílias estabelecendo-se um ritmo contínuo de produção, mediante mensuração adequada; e o tempo de processamento das cargas foi diminuído de 133 minutos para 87 minutos.
Genari e Ceconello (2020)	A simulação computacional como ferramenta de suporte a aplicação dos conceitos do <i>Lean Manufacturing</i>	Proposta do desenvolvimento de soluções enxutas, mediante a verificação dos processos que agregam ou não valor à empresa. Foi realizado um levantamento de dados por meio da cronoanálise de etapas, criando-se um mapeamento de fluxo de valor e empregou-se a simulação computacional por eventos discretos. Os resultados indicaram uma elevação de 33% na capacidade produtiva, agregando valor nos processos e ocorreu a realocação de um operador.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como verificado no Quadro 2, o estudo de Grimard, Standridge e Marvel (2005) contribuiu para demonstrar que a simulação tem sido necessária para validar a operação de uma variedade de células de manufatura comuns na era de manufatura enxuta (LM). Para Grimard, Standridge e Marvel (2005), no estudo desenvolvido, a validação auxiliou para minimizar o tempo necessário para a célula atingir os recursos de produção no nível de rendimento necessário. O rastreamento realizado mostrou que a sequência de tarefas do trabalhador apresentou-se consistente com o princípio do fluxo de uma peça e foi identificada a quantidade de peças manuseadas pelo operário em um ciclo na área de trabalho.

No estudo de Standridge e Marvel (2006) foi verificado que os estudos de caso baseados na indústria mostraram que a simulação auxilia no entendimento do processo enxuto para superar as suas deficiências diante das seguintes questões: são produzidos vários tipos de peças; as peças são enviadas nos dias em que não são produzidas; algumas operações são realizadas fora do local; o cliente devolve os contêineres que precisam ser reutilizados pelo sistema de produção; existência de um tempo de inatividade significativo ou qualquer outra interrupção significativa em qualquer operação fabril; o processo fabril é interrompido pela falta de matéria prima; e o espaço de armazenamento de estoque é altamente restrito.

Desse modo, no estudo de Standridge e Marvel (2006) foi verificado que a simulação fornece um método para incluir as variações aleatória e estrutural em modelos, identificando pelo menos uma solução para os problemas e/ou questionamentos do sistema de produção antes da implementação, examinando uma variedade de alternativas, e avaliando os efeitos da interação dos componentes desse sistema.

No estudo de Setti, Caten e Possenti (2009), os principais resultados da implementação da filosofia LM com a aplicação do MFV foram: o equipamento de fusão determinou a capacidade fabril da fundição, observando-se a obtenção máxima de eficiência do referido equipamento; foram utilizadas as ligas como famílias, estabelecendo-se um ritmo fabril contínuo de fabricação e com a realização do monitoramento adequado, reduzindo o tempo de processamento das cargas.

Por sua vez, no estudo desenvolvido por Genari e Cecconello (2020), o uso da filosofia LM em conjunto com a simulação computacional por eventos discretos nos processos fabris, indicaram várias opções para a tomada de decisões, porque mostraram os dados referentes aos gargalos de produção; as etapas fabris que apresentavam os maiores desperdícios, assim permitindo identificar de maneira mais assertiva onde deveriam ser realizados os investimentos.

Como se verifica, os estudos apresentados no Quadro 2 buscaram avaliar a aplicação do método da simulação computacional como um suporte de aplicação aos projetos da filosofia LM. Em função disso, os pacotes de simulação computacional (*softwares* comerciais) têm apresentado ainda mais benefícios quando utilizados nos processos fabris e, também, têm propiciado a redução nos custos de aquisição.

Desse modo, tal cenário incentiva o uso da simulação computacional nos projetos da filosofia LM, principalmente, nas células de manufatura das empresas auxiliando também no processo de tomada de decisão.

Diante do exposto, a proposta deste trabalho é benéfica para a academia, pois contribuirá para a aplicação e a evolução do tema em questão, buscando o aprimoramento da célula de manufatura da área de fusão em uma empresa de fundição, para a redução dos desperdícios e diminuição dos custos industriais com o objetivo de obter ganhos elevando a produtividade. Acrescenta-se ainda que, o estudo poderá servir de modelo de aplicação para outros segmentos industriais.

1.4.3 Justificativa para o Pesquisador

O estudo se justifica para o pesquisador, pois pretende-se utilizar os conhecimentos teóricos adquiridos ao longo do desenvolvimento do curso de graduação, para a aplicação prática, mediante escolha de uma unidade fabril de uma empresa pertencente ao segmento de fundição, local atual de sua atuação, o que facilitará a obtenção das informações, mediante o termo de confidencialidade para a coleta de informações da empresa que se encontra no Anexo A.

Além disso, o estudo auxiliará na verificação das falhas existentes na célula de manufatura, em especial, na área de fusão, com a possibilidade de indicar melhorias para o processo em questão.

A realização do estudo também se justifica, pois se apresenta como uma oportunidade de aprimoramento acadêmico e profissional, pois acredita-se que ao entrar neste processo de pesquisa acadêmica mediante consulta de material e, posterior, aplicação prática, é possível obter o aprofundamento dos conhecimentos relacionados à simulação computacional por eventos discreto, bem como a obtenção de conhecimentos das tendências do tema deste estudo, que apresenta relevância para os profissionais de engenharia da produção; para as empresas que atuam no setor de fundição; e, também, para a comunidade em geral.

1.5 DELIMITAÇÕES

A delimitação do tema consiste na análise de produtividade em uma empresa de fundição a luz do LM, com ênfase nas ferramentas do VSM e *Kaizen* e com suporte da simulação computacional por eventos discretos.

O objeto de estudo compreende uma empresa que pertence ao segmento de fundição, com ênfase na área de fusão de uma unidade fabril localizada em Porto Alegre no Estado do Rio Grande do Sul.

Para este estudo foi analisada apenas a área de fusão com a proposta de testagem do modelo de simulação computacional por eventos discretos, cujo estudo foi desenvolvido nos meses de março a junho de 2021.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O estudo está esquematizado em seis capítulos. No capítulo um consta a parte inicial com a contextualização e a definição do tema; o problema e a questão da pesquisa; a determinação dos objetivos (geral e específicos); as justificativas para a realização do estudo (empresarial; acadêmica; e para o pesquisador); e as respectivas delimitações do estudo.

No capítulo dois consta a fundamentação teórica contemplando os aspectos fundamentais da filosofia LM onde é oferecida maior ênfase aos conceitos e caracterização do *Kaizen* e os conceitos e as etapas do VSM. Ainda no capítulo dois são mostrados os 4P's da Toyota Motor e as sete perdas do Sistema Toyota de Produção; os conceitos e a medição da produtividade; as etapas; as aplicações e os programas utilizados no método de simulação por eventos discretos; a caracterização do setor de fundição; e a aplicação da simulação computacional por eventos discretos no setor de fundição.

No capítulo três são apresentados os procedimentos metodológicos para o desenvolvimento do estudo como um todo, com as definições do método científico; os métodos de pesquisa; e o método de trabalho indicando as etapas da simulação por eventos discretos, os parâmetros adotados para a construção do modelo computacional e os cenários propostos; detalhando também as técnicas de coleta de dados; e as técnicas de análise dos dados. No capítulo quatro são apresentadas a

caracterização da empresa analisada e a situação atual da Unidade de Fundição de Porto Alegre/RS pertencente à Hidro Jet.

No capítulo cinco é realizada a aplicação prática das ferramentas LM, com ênfase na elaboração do desenho do VSM Estado Atual e com a aplicação do *Kaizen* detalhando as ações de melhorias desenvolvidas e os resultados obtidos. Ainda no capítulo cinco são detalhadas as etapas da construção do modelo computacional com base nas etapas e nos procedimentos adotados por Gregório e Lozada (2019) e, também, é elaborado o desenho do VSM Estado Futuro e, por último são apresentados os indicadores de produtividade e os respectivos resultados.

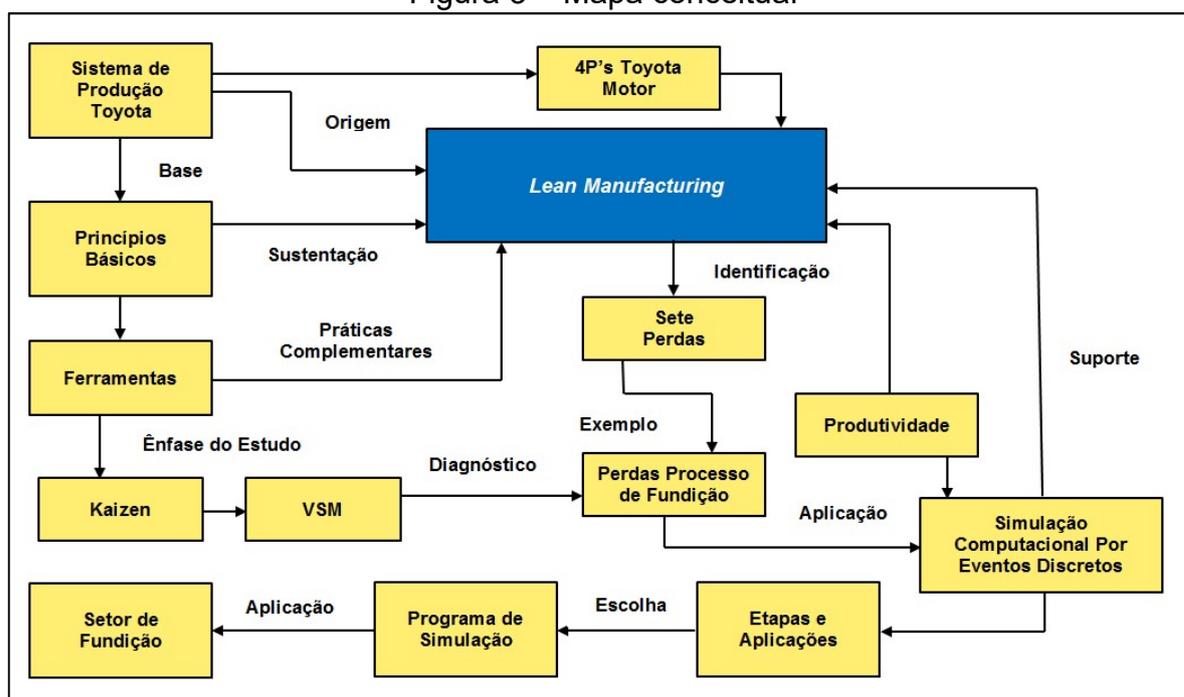
No capítulo seis são descritas as considerações finais com a indicação também das contribuições gerenciais e acadêmicas, descritas as limitações e as sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros e os benefícios.

Nas partes finais do estudo estão listadas as referências utilizadas ao longo do estudo, e optou-se em disponibilizar um glossário dos termos técnicos que são mais utilizados na Unidade de Fundição da empresa Hidro Jet, e para complementar o estudo foram disponibilizados dois apêndices e um anexo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo é desenvolvida a fundamentação teórica que serviu como embasamento teórico para responder ao problema de pesquisa e alcançar os objetivos propostos neste estudo, como identificado no mapa conceitual ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Mapa conceitual



Fonte: Elaborada pelo autor.

2.1 LEAN MANUFACTURING: ASPECTOS FUNDAMENTAIS

Ao final da Segunda Guerra Mundial, o Japão se apresentava devastado e com poucos recursos, fazendo com que o governo do Japão incentivasse a população na redução de desperdícios. Em função disso, a empresa Toyota Motor criou o Sistema Toyota de Produção (STP) (*Toyota Production System – TPS*), que fora desenvolvido por Eiji Toyoda e Taiichi Ohno (SACOMANO; SÁTYRO, 2018a).

É preciso compreender que, no setor industrial, historicamente, a aplicação do Sistema Toyota de Produção que passou a ser conhecida como LM ou ainda manufatura enxuta, notadamente a partir da década de 1980, trouxe melhorias significativas, tais como, a elevação da produção; a redução de desperdícios; a

melhoria contínua; e tantas outras melhorias nos processos fabris (FLORENCIO; CAMPA; SATO, 2017).

Na concepção de Liker (2007), a empresa Toyota Motor despertou a atenção do cenário industrial mundial, principalmente, a partir da década de 1980, quando foi identificado que havia algo de diferenciado na qualidade e na eficiência dos produtos japoneses. O autor acrescenta que, os veículos que eram fabricados na referida montadora apresentavam duração maior quando comparados com os automóveis americanos, requerendo menos manutenção, e apresentavam surpreendente consistência nos processos fabris e nos produtos prontos (LIKER, 2007).

Em termos conceituais, como descreve Monden (2015), o Sistema Toyota de Produção compreende um método considerado fundamental para a fabricação dos produtos, porque é uma ferramenta competente para a concretização do objetivo principal das empresas que é o lucro. Para o autor, o objetivo principal do Sistema Toyota de Produção está enfatizado na elevação dos lucros e/ou dos fluxos de caixa operacionais, mediante a redução dos custos ou dos desembolsos monetários realizando a eliminação completa dos desperdícios, como exemplos: o excesso de estoques; mão de obra ociosa; dentre outros (MONDEN, 2015).

Sacomano e Sátyro (2018a) acrescentam que, o Sistema Toyota de Produção se baseia nos seguintes princípios básicos:

- a) redução dos desperdícios ao mínimo;
- b) eliminação das perdas;
- c) fabricar somente o que agrega valor aos produtos;
- d) preocupação contínua com a qualidade, desde o projeto inicial até o produto final;
- e) desempenho adequado do processo de manufatura;
- f) produção conforme demanda de clientes (produção puxada);
- g) padronização;
- h) redução dos estoques;
- i) parcerias entre os fornecedores e os fabricantes;
- j) redução do ciclo de desenvolvimento do produto;
- k) automação industrial.

Na Figura 4 está apresentado o diagrama da 'Casa do Sistema Toyota de Produção' que se tornou um dos símbolos mais facilmente reconhecíveis na indústria moderna, como afirma Liker (2007).

Figura 4 – Sistema Toyota e Produção



Fonte: Liker (2007, p. 51).

Como verificado na Figura 4, na parte superior do diagrama da Casa do Sistema Toyota de Produção estão demonstrados os princípios fundamentais que são as metas de melhor qualidade, menor custo, menor *lead time*, mais segurança e moral alto, que correspondem ao telhado, que ocorrem devido à redução do fluxo de produção pela eliminação das perdas.

É possível verificar também na Figura 4 que, existem duas colunas externas que correspondem: de um lado ao *just-in-time*, que se caracteriza como a mais visível e mais popularizada do Sistema Toyota de Produção; e do outro lado está a automação que consiste essencialmente em não deixar que um defeito avance para a próxima estação de trabalho, sendo necessário não liberar as pessoas, das máquinas, ou seja, a automação com um toque humano (LIKER, 2007).

Ainda conforme identificado na Figura 4, no centro do diagrama da Casa do Sistema Toyota de Produção estão situadas as pessoas e a equipe de trabalho

incluindo os processos que envolvem os recursos humanos e a filosofia de melhoria contínua com as respectivas ferramentas. Na parte inferior estão listados os vários processos; o nivelamento da produção, que consiste em nivelar a programação de produção nos quesitos de volume e de variedade; os processos estáveis e padronizados; o gerenciamento visual; e a filosofia do modelo Toyota (LIKER, 2007).

Por sua vez, a filosofia LM, como ressalta Liker (2007), com as suas respectivas ferramentas, é conceituada como o processo de desenvolver melhorias para atingir a meta enxuta, ou seja, reduzir os desperdícios que possam adicionar custos e que não agreguem valor ao produto.

No Quadro 3 estão listadas as principais práticas complementares para a formação da filosofia LM, indicando as definições de algumas ferramentas que são utilizadas pelas empresas para oferecer suporte à referida filosofia.

Quadro 3 – Práticas complementares da filosofia LM

(continua)	
Ferramentas	Descrição
<i>Just-in-Time (JIT)</i>	Produzir as unidades necessárias nas quantidades necessárias dentro do tempo necessário.
<i>Kaizen</i>	Pequenas melhorias que ocorrem continuamente na empresa por meio da participação de todos, utilizando os círculos de controle de qualidade e de sistemas de sugestões.
<i>Poka-Yoke</i>	Dispositivo introduzido na máquina ou na linha de produção que previne produtos defeituosos, agindo como um dispositivo à prova de erros.
Gestão da Qualidade Zero Defeito (GQZD)	Definido como o desenvolvimento, o projeto e a fabricação de produtos que irão satisfazer as necessidades e as demandas dos consumidores ao menor custo possível.
<i>Layout Celular</i>	A essência do <i>layout</i> celular é o agrupamento de uma família de peças em um fluxo linear, usualmente em forma de 'U'. Geralmente conferem a flexibilidade para se aumentar ou diminuir o número de trabalhadores necessários para se adaptar às mudanças de demandas.
Fluxo Contínuo/Unitário	Introdução de cada unidade à linha, equilibrada pela finalização de outra unidade de produto acabado, conforme encomendado pelas operações dentro de um <i>takt time</i> (tempo e produção).
<i>Takt Time</i>	Consiste na produção e disponibilização de cada unidade de produto em conformidade com o seu próprio intervalo de tempo dentro do qual uma unidade do produto possa ser comercializada em média. É considerado um fator primordial para que haja sincronização da produção.

(continuação)	
Ferramentas	Descrição
Sistema <i>Kanban</i>	Sistema que gerencia o JIT e compreende um sistema de informações para o controle que permite puxar a produção em cada processo fabril.
Troca Rápida de Ferramentas (TRF)	Técnica que viabiliza a redução dos tempos de <i>setup</i> (preparação da ferramenta). Para que ocorra a redução desse tempo, deve-se planejar a conversão do <i>setup</i> interno que são as atividades de preparação com a máquina parada, em <i>setup</i> externo que compreendem as atividades de preparação quando a máquina estiver em funcionamento.
Círculos de Controle de Qualidade (CCQ)	Consiste em pequenos grupos compostos por trabalhadores que estudam espontânea e continuamente os conceitos e as técnicas de controle de qualidade no intuito de oferecer as soluções para os problemas em seu local de trabalho.
Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) ou em inglês <i>Value Stream Mapping (VSM)</i>	Identifica todas as atividades agregadoras de valor, e, também, as atividades não agregadoras, desde que a entrega da matéria prima pelo fornecedor até ser transformada em produto acabado para a entrega final aos clientes.

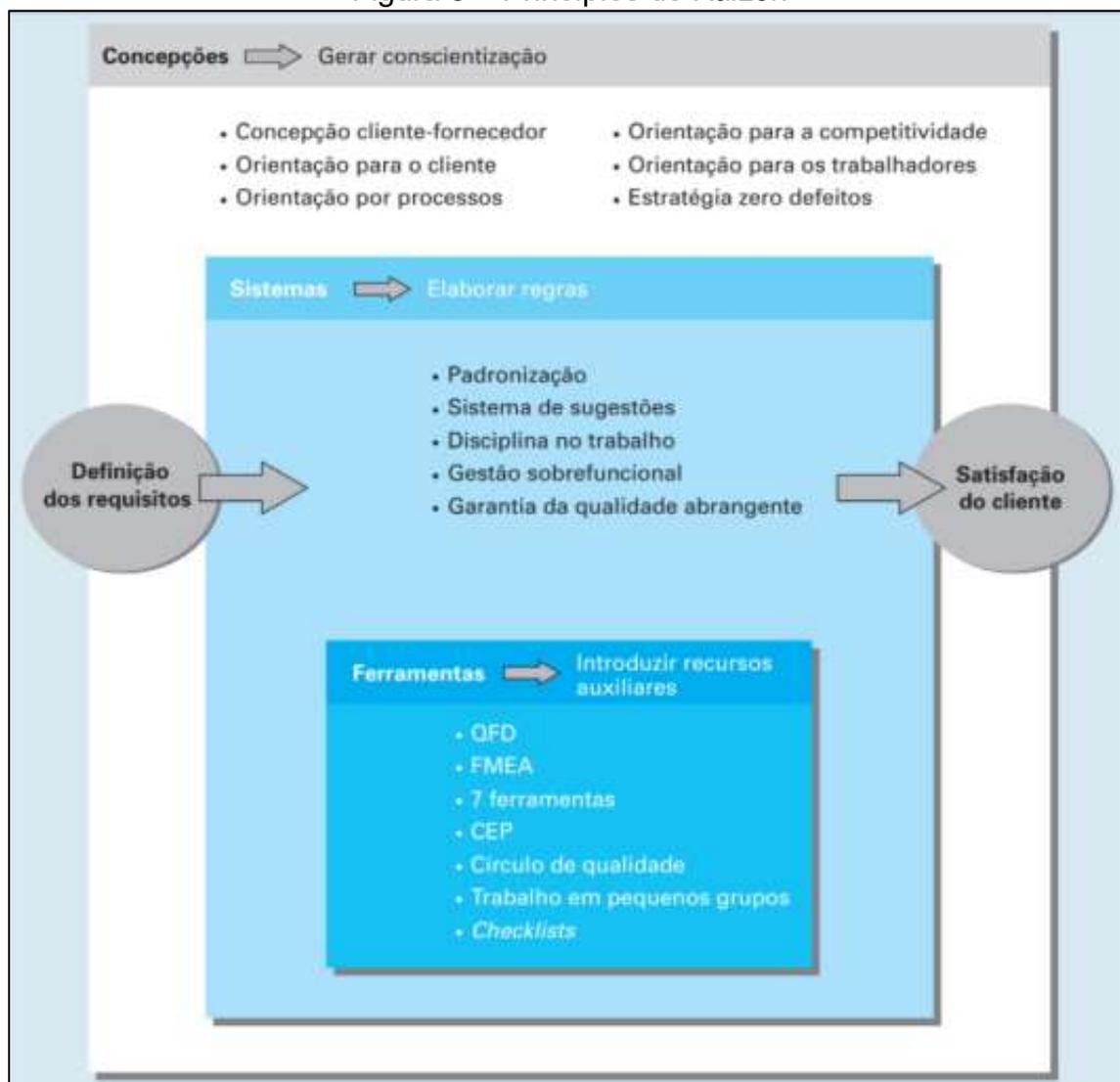
Fonte: Elaborado pelo autor com base em Lima et al. (2016, p. 370).

Ao considerar as várias ferramentas listadas no Quadro 3, para este estudo são enfatizadas as ferramentas do *Kaizen* e do VSM, as quais já são utilizadas na unidade fabril da empresa de fundição em análise neste estudo, cujas ferramentas estão abordadas nos dois próximos itens.

2.1.1 Conceitos e Caracterização do *Kaizen*

Segundo Ortiz (2010), o *Kaizen* é um termo de origem japonesa, direcionado para a melhoria contínua envolvendo todos os funcionários de uma organização que se concentram na busca de melhorias para os processos, sendo parte integrante da produção enxuta. Para o autor, o *Kaizen* oferece ênfase ao desenvolvimento de uma cultura direcionada ao processo e voltada para o aprimoramento da maneira como a empresa opera (ORTIZ, 2010).

Kirchner, Kaufmann e Schmid (2008) indicam que a introdução do *Kaizen* é iniciada com a determinação dos conceitos adequados para depois escolher os sistemas para sua respectiva implantação. Para isso são utilizadas algumas ferramentas apropriadas, como mostrado na Figura 5.

Figura 5 – Princípios do *Kaizen*

Fonte: Kirchner, Kaufmann e Schmid (2008, p. 114).

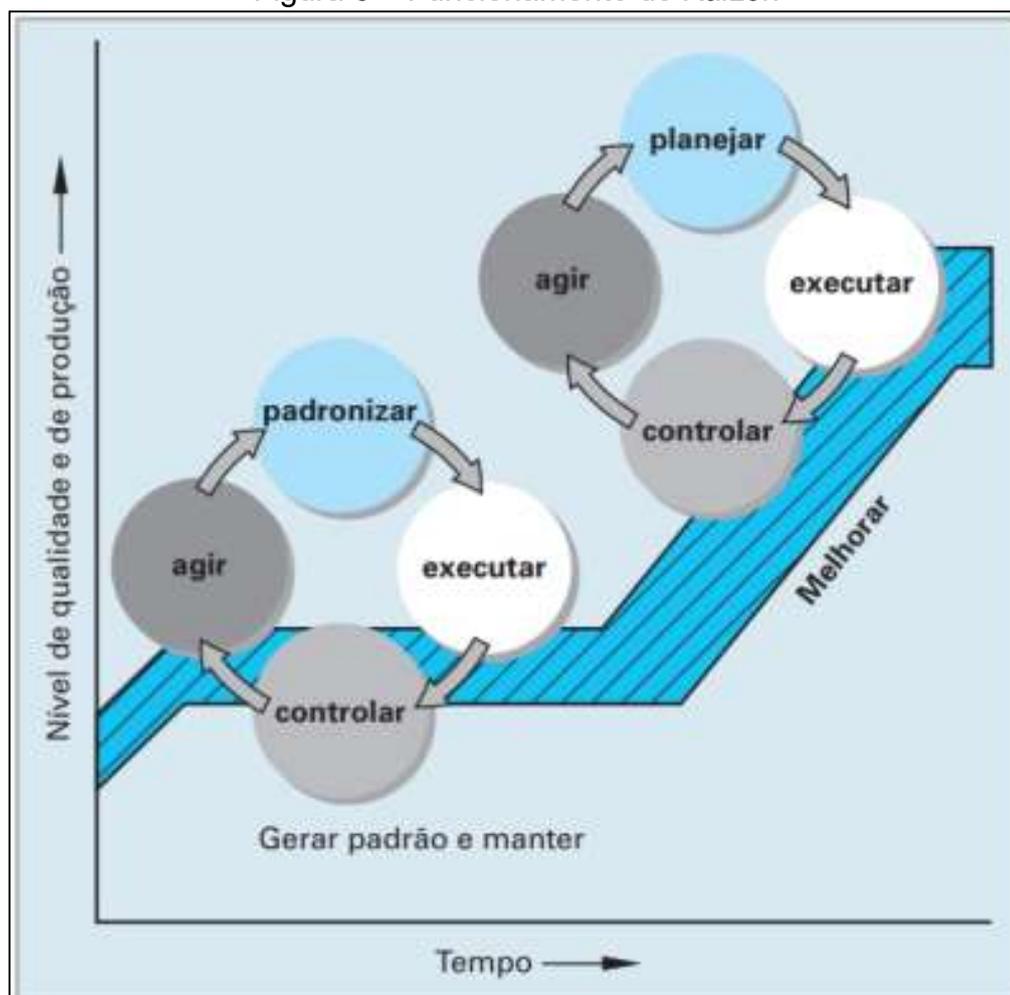
Como explicam Kirchner, Kaufmann e Schmid (2008), no *Kaizen* é preciso levar em consideração que os processos de trabalho modificados e melhorados se apresentam inseguros e com desvios em seu início. Dessa forma, os autores indicam que tais processos devem ser materializados e fixados com o auxílio dos padrões, os quais deverão ser sustentados por um tempo utilizando-se as instruções de trabalho e de processos (KIRCHNER; KAUFMANN; SCHMID, 2008).

Os princípios do *Kaizen*, como identificados na Figura 5 são: concepção cliente-fornecedor; orientação para o cliente; orientação por processos; orientação para a competitividade; orientação para os trabalhadores; e a estratégia zero defeitos. De acordo com Kirchner; Kaufmann; Schmid (2008); as principais ferramentas empregadas normalmente para o funcionamento do *Kaizen* são:

- a) *Quality Function Deployment* (QFD): Desenvolvimento da Função Qualidade;
- b) *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA): Análise de Modos de Falha e Efeitos;
- c) sete ferramentas: fluxograma; análise de Pareto; diagrama de Ishikawa; diagrama de evolução; diagrama em árvore; histograma; diagrama de dispersão e diagrama em matriz;
- d) Controle Estatístico do Processo (CEP): *Statistical Process Control*;
- e) Círculo de Qualidade (CQ);
- f) trabalho em pequenos grupos
- g) *checklists*: lista de itens a serem verificados.

Na Figura 6 consta o funcionamento do *Kaizen* citado por Kirchner, Kaufmann e Schmid (2008).

Figura 6 – Funcionamento do *Kaizen*



Fonte: Kirchner, Kaufmann e Schmid (2008, p. 114).

Como identificado na Figura 6 é utilizado para o funcionamento do *Kaizen* o ciclo SDCA, com as etapas de padronizar, executar, controlar e agir. A etapa de padronizar consiste em manter os objetivos m3dicos; na etapa seguinte o executor compreende as instru33es do trabalho e do processo que devem ser implementadas; na etapa controlar 3 verificado o alcance dos objetivos tra3ados, e na etapa de agir busca-se melhorar at3 obter o padr3o desejado. Ao atingir o novo padr3o, s3o planejadas novas melhorias e, com a ajuda do ciclo PDCA, tais melhorias poder3o ser efetivadas como mostrado na Figura 6 (KIRCHNER; KAUFMANN; SCHMID, 2008).

O *Kaizen* 3 empregado para a melhoria cont3nua considerando-se um fluxo de valor ou ainda um processo individual, com a finalidade de gerar mais valor, por3m reduzindo os desperd3cios. O *Kaizen* busca a melhora dos processos fabris, dos produtos e/ou servi3os de maneira cont3nua, se apresentando mais eficiente mediante o uso de menos recursos e agregando valor na concep33o dos clientes (SILVA, 2016).

Corr3a e Corr3a (2017) acrescentam que as atividades do *Kaizen* s3o geridas em diversas formas e com as mais variadas finalidades. No entanto, os autores entendem que, a finalidade central consiste no fato que as atividades s3o orientadas para os times de trabalho que, por meio do intensivo comprometimento das pessoas, fazem sugest3es, an3lises, propostas e se as altera33es sugeridas forem aceitas s3o implementadas de maneira cont3nua considerando-se os seguintes fatores: os processos; os fluxos de trabalho; o arranjo f3sico; o m3todo e a divis3o do trabalho; os equipamentos e as instala33es; e outros (CORR3A, CORR3A, 2017).

De acordo com Chaves, Mendes e Leite (2017), as empresas normalmente implantam o *Kaizen* por interm3dio de *Workshops Kaizen*, tamb3m denominados de Projetos *Kaizen* ou ainda Eventos *Kaizen*. Para os autores, os Eventos *Kaizen* compreendem as melhorias de curto prazo que s3o desenvolvidas para aprimorar um processo fabril por meio do *Kaizen*. Tais Eventos se caracterizam por baixo custo e apresentam 3nfase no trabalho em equipe e os esfor3os efetivados pela equipe de trabalho abrangem as diversas ferramentas da qualidade: 5S; 5W2H; dentre outras (CHAVES; MENDES; LEITE, 2017).

As principais etapas para a realiza33o dos Eventos *Kaizen* s3o: elaborar o programa e a prepara33o do Evento; escolher os l3deres, os co-l3deres e os membros do time de trabalho; treinar os participantes sobre o *Kaizen*; realizar a

coleta de dados e a análise de dados; decidir quais as melhorias serão implantadas; executar a semana *Kaizen*, mediante a implantação das melhorias sendo que todos os dias são implantadas as melhorias e padronizadas; verificar os resultados alcançados; apresentar os resultados obtidos para os demais membros da organização e; manter os resultados alcançados (CHAVES; MENDES; LEITE, 2017).

2.1.2 Conceitos e Etapas do VSM

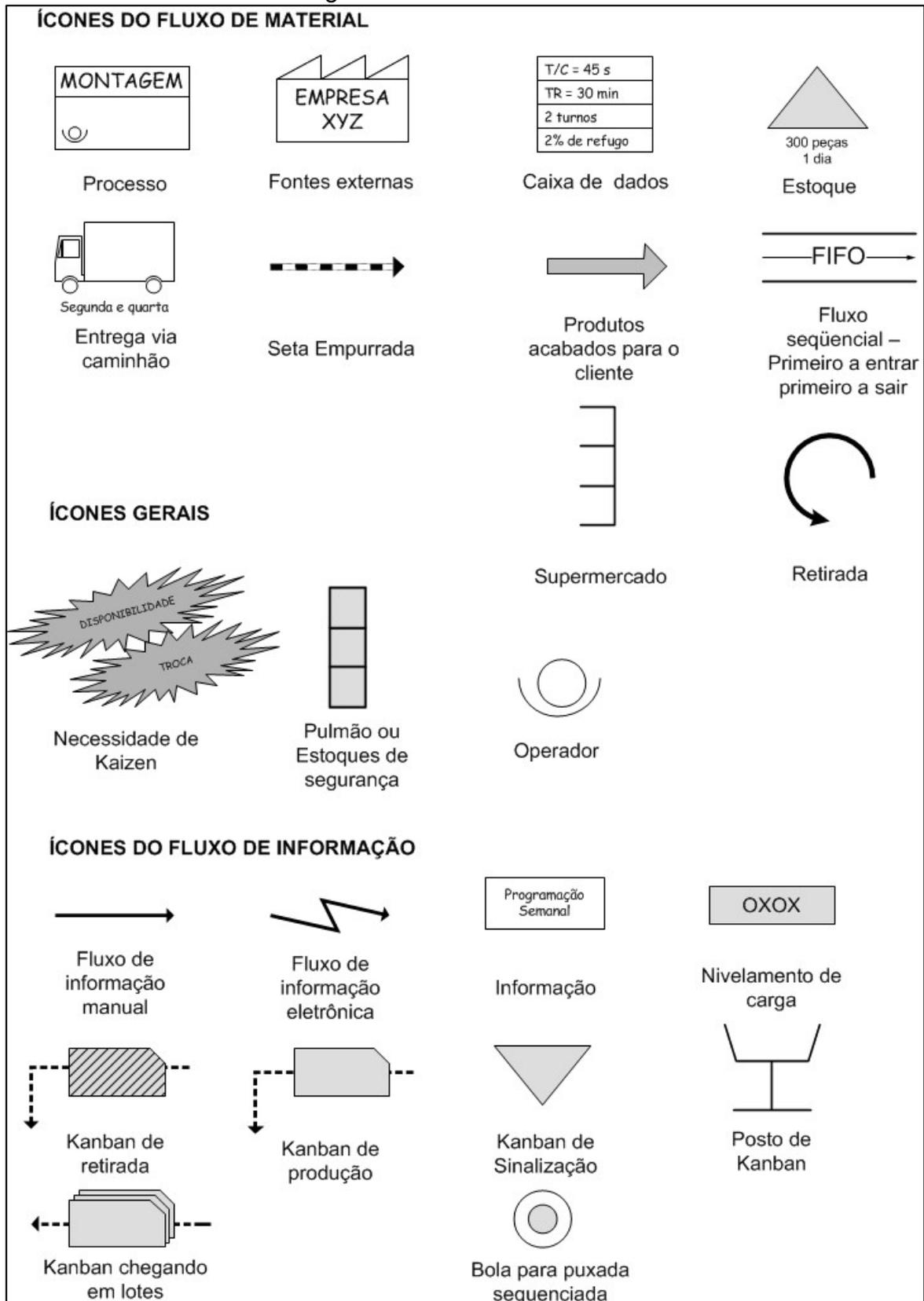
O VSM conforme explicam Kach et al. (2014b) tem como função inicial verificar o tempo de processo de cada célula produtiva, bem como o espaço percorrido; os obstáculos de fabricação e os desperdícios de tempo e de material.

Lima et al. (2016) acrescentam que, o VSM compreende uma análise delineada dos materiais e das informações que circulam por meio dos diversos níveis de uma estrutura fabril, e apresenta como finalidades a identificação das fontes dos desperdícios e a proposição de um estado futuro almejado que norteará a implementação da filosofia LM (LIMA et al., 2016).

A codificação utilizada no VSM, como esclarecem Kach et al. (2014b), acaba por substituir os extensos relatórios, pois a definição dos processos ocorre por meio de figuras representativas, as quais identificarão os principais pontos tais como: o transporte dos insumos e/ou produtos; a identificação do *Kankan*; os mercados; os estoques; os sistemas de informação tanto manuais como os eletrônicos; os clientes; a forma de solicitação; as pessoas (operadores); as células ou os postos de trabalho; a descrição dos resultados conforme cronograma; o inventário; o *Kaizen*; as tabelas de dados; o *Kankan* de sinal e tantos outros processos.

Para realizar o mapeamento dos fluxos e para que se tenha uma boa compreensão do VSM são utilizados os ícones e os símbolos que são padronizados para que se possa mapear os estados – atual (VSM Estado Atual) e futuro (VSM Estado Futuro) –, sendo que tais ícones são classificados em três categorias: ícones do fluxo de material; ícones gerais; e os ícones do fluxo de informação, conforme detalhamento apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Símbolos do VSM



Fonte: Lima et al. (2016, p. 372).

Para elaborar o VSM, Kach et al. (2014b) recomendam considerar um determinado componente ou um conjunto, família de peças, desde a entrada das matérias primas até a saída do produto pronto na expedição. A análise deverá ser imparcial, para verificar de maneira categórica todas as variáveis que poderão incrementar os custos ao produto. A Figura 8 mostra as etapas iniciais do VSM.



Fonte: Elaborada pelo autor com base em Kach et al. (2014b, p. 7).

Como se observa na Figura 8, inicialmente é desenhado o estado atual e as setas entre o estado atual e o estado futuro apresentam duplo sentido, porque a elaboração dos referidos estados compreendem os esforços sobrepostos. O desenho do estado futuro tem como meta a projeção e a introdução de um fluxo enxuto de valor e a sua base é o mapa do desenho do estado atual que indicará a realidade que deverá ser melhorada, o que implica na importância da confiabilidade das informações coletadas no setor fabril. A etapa seguinte consiste na realização do plano de trabalho e a sua respectiva implementação (KACH et al. 2014b).

Ganga et al. (2019) sintetizam que, o VSM tem por finalidade a visualização do fluxo do processo fabril facilitando a verificação dos desperdícios e as suas possíveis causas. Além disso, permite a unificação do fluxo das informações com o fluxo dos materiais para delinear a família de produtos, levando em conta o início do processo com a entrada das matérias primas dos fornecedores até a finalização do processo com a entrega do produto pronto aos clientes. Para os autores, o VSM se configura como uma ferramenta fundamental para visualizar os desperdícios no LM.

2.1.3 Os 4P's da Toyota Motor e as Sete Perdas do STP

Ao conhecer as práticas complementares da filosofia LM, Florencio, Campa e Sato (2017) indicam que, na referida filosofia são utilizados os 4P's da Toyota Motor, que se configuram como quatro pensamentos dentro da empresa, para auxiliar o sistema fabril: (1º) filosofia (*philosophy*) que consiste em agregar valor aos clientes; (2º) processos (*process*) para a obtenção de resultados positivos quando são reduzidos os custos e aprimorada a qualidade; (3º) as pessoas e os parceiros da empresa (*people and partners*) devem estar em desenvolvimento contínuo para resolver os problemas; e (4º) solução dos problemas (*problem solving*) que devem ser solucionados na raiz e na busca contínua de inovação.

Para complementar os 4P's, Liker (2007) ressalta que, no Sistema Toyota de Produção foram identificados os sete grandes tipos de perdas que não agregam valor nos processos administrativos e/ou fabris, os quais estão listados no Quadro 4.

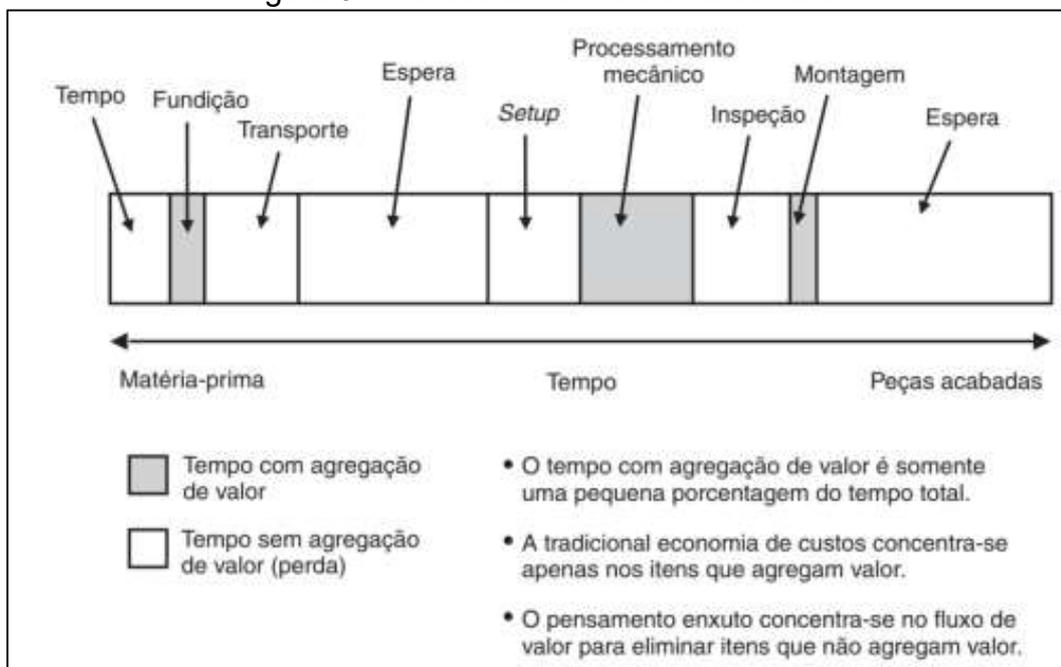
Quadro 4 – Sete perdas verificadas no Sistema Toyota de Produção

Perdas	Descrição
Superprodução	A produção de itens sem demanda, gerando perda com excesso de pessoal e estoques e; custos de transporte.
Espera (tempo sem trabalho)	Os funcionários que apenas vigiam uma máquina automática ou ficam esperando pelo próximo passo no processamento, ferramenta, suprimento, peça, e outros, ou que simplesmente não têm trabalho para fazer devido à falta de estoque, atrasos no processo, interrupção do funcionamento de equipamentos e gargalos de capacidade fabril.
Transporte e/ou movimentação desnecessários	Movimento de estoques em processo por longas distâncias, criação de transporte ineficiente, movimentação de materiais, peças e produtos acabados, dentro ou fora do estoque ou entre os processos.
Superprocessamento ou processamento incorreto	Etapas fabris desnecessárias de peças; processamento ineficiente com ferramenta e projeto de baixa qualidade do produto causam movimentos desnecessários e geram defeitos; perdas quando se oferecem produtos com qualidade superior à que é requerida.
Excesso de estoque	Excesso de matéria prima, de estoque em processo ou de produtos acabados, causando <i>lead times</i> (tempo de espera) mais longos, obsolescência, produtos danificados, custos de transporte e de armazenagem; atrasos; estoque extra, oculta problemas; falta de balanceamento de produção; atrasos de fornecedores; equipamentos em conserto e longo tempo de <i>setup</i> (preparação da ferramenta).
Movimento desnecessário	Qualquer movimento inútil que os funcionários realizam durante o trabalho, tais como: procurar, pegar ou empilhar peças, ferramentas, e outros e; caminhar também é considerado uma perda.
Defeitos	Produção de peças defeituosas ou correção; consertar ou retrabalhar, descartar ou substituir a produção e inspecionar, significam perdas de manuseio, tempo e esforço.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Liker (2007, p. 47-48).

Na Figura 9 consta um exemplo de perda por meio do desenho da linha de tempo, dos processos de fundição, de processamento mecânico e de montagem.

Figura 9 – Perdas em um sistema de valor



Fonte: Liker (2007, p. 49).

Como verificado na Figura 9, foram apresentados os processos de transformação de modo bem simples e foi ilustrado de tal maneira que o valor agregado mal pode ser reconhecido, ou seja, o tempo com a agregação de valor é apenas uma pequena parcela do tempo total; a tradicional economia dos custos está concentrada apenas nos itens que agregam valor incluindo os processos de fundição, de processamento mecânico e de montagem; enquanto que, o pensamento enxuto está enfatizado no fluxo de valor para a eliminação daqueles itens que não agregam valor ao produto.

A produção enxuta, a automação industrial e a utilização intensiva da Tecnologia da Informação (TI), têm oportunizado ganhos significativos para a indústria mundial em geral (SACOMANO; SÁTYRO, 2018b).

Para complementar os 4P's da Toyota Motor e as setes perdas identificadas no Sistema Toyota de Produção, no próximo item são apresentados os principais conceitos de produtividade e os respectivos indicadores utilizados, normalmente, pelos gestores das empresas para mensurar a produtividade.

2.1.4 Conceitos e Medição da Produtividade

Os estudos de temas referentes à produtividade tem ocupado destaque nas agendas estratégicas das organizações, desde a produção em massa, e diversos são os modelos, processos e técnicas que estão sendo criados com a finalidade de aprimorar os níveis de desempenho das empresas (KING; LIMA; COSTA, 2014).

De acordo com Costa Neto et al. (2012), a produtividade tem sido utilizada com vários significados, porém não se tem um consenso de seus conceitos de maneira formal e, por vezes, existe certa confusão com as palavras 'desempenho e produção' em relação aos conceitos de produtividade. O registro mais antigo sobre o uso do termo 'produtividade' foi registado por Quesnay no *Journal de L'Agruculture* em torno de 250 anos, e passou a ser disseminado vinculando-se ao ato de administrar os sistemas produtivos e financeiros.

No entendimento de King, Lima e Costa (2014), os conceitos de produtividade foram inseridos e criados nas empresas com os objetivos de avaliação e de aprimoramento do desempenho das empresas. Em sua origem, a produtividade era calculada considerando-se a relação entre o resultado da produção e a quantidade de funcionários, cuja equação perdurou por longo tempo representando o indicador de produtividade das empresas.

Outros indicadores surgiram ao longo dos anos levando-se em conta os resultados da produção em relação ao uso de outros recursos tais como energia elétrica, matéria prima, insumos, dentre outros; Até os dias atuais tal métrica tem sido utilizada, como exemplo, na criação de índices comparativos entre os países, como é o caso da produtividade do trabalho, conforme a relação do Produto Interno Bruto (PIB) e o número de trabalhadores (KING; LIMA; COSTA, 2014).

No conceito econômico conforme King, Lima e Costa (2014), a produtividade é definida como um indicador para identificar se os recursos foram utilizados de maneira correta para a geração de resultados esperados pelos gestores da empresa.

Nas palavras de Francischini (2015), considerando-se uma visualização mais aprofundada, a produtividade compreende a relação que existe entre os resultados e a efetivação dos esforços. Para o autor, tal definição apresenta uma aplicação prática, de tal forma que é preciso verificar a referida definição sob os diversos

ângulos, mas levando-se em conta a situação e/ou o contexto em que será avaliado (FRANCISCHINI, 2015).

Costa Neto et al. (2012) traçaram uma linha do tempo para identificar as principais definições de produtividade ao longo da história, considerando-se o período a partir do ano de 1789, como detalhado no Quadro 5.

Quadro 5 – Evolução da definição de produtividade

Autoria	Definição de Produtividade
Silva (1789)	A produtividade compreende uma característica ou uma condição do que se produz no ambiente fabril.
<i>Japan Productivity Centre</i> (1958)	A produtividade consiste nas tarefas efetuadas pelo homem com a utilização de materiais, capital e tecnologia. Normalmente, a produtividade se configura como pessoal, ou ainda, é uma ação que deve ser aprimorada continuamente nas pessoas e no redor.
Chew (1988)	A produtividade é o resultado das unidades de saída em relação à transformação das unidades de entrada.
Sink, et al. (1989)	A produtividade compreende a saída atual em relação aos recursos que são esperados para a utilização.
Fischer (1990)	A produtividade é igual à receita total em relação aos custos mais a meta de lucro estipulada pela empresa.
Aspèn, et al. (1991)	A produtividade compreende o valor adicional em relação à entrada dos fatores de produção.
Hill (1993)	A produtividade é calculada pela relação entre o que será produzido e o que será preciso para produzir. Desse modo, a produtividade mensura a relação entre a saída envolvendo os produtos e os serviços em relação às entradas incluindo a mão de obra (trabalho); capital; matéria prima; dentre outros recursos.
Christopher, et al. (1993)	A produtividade se configura como a saída pelas horas de trabalho, compreendendo o fator principal que define a qualidade de vida de uma determinada população.
Koss, et al. (1993)	A produtividade é a qualidade da geração de algo que ofereça elevados resultados e, conseqüentemente gere renda fartamente.
Bernolak (1997)	A produtividade é a quantidade de bens que são produzidos com os recursos empregados. Os recursos são: recursos físicos e/ou humanos incluindo as pessoas que fabricam os produtos ou oferecem serviços; e os recursos materiais são os recursos utilizados na fabricação de produtos ou na prestação de serviços.
Kaplan, et al. (1988)	A produtividade é o comparativo das entradas físicas de uma empresa e as saídas físicas dessa indústria.
Jackson, et al. (1999)	A produtividade é igual a eficácia <i>versus</i> a eficiência em relação ao tempo de valor adicionado e o tempo total.
AIDarrab (2000)	A produtividade é a saída em relação à entrada envolvendo a qualidade, eficiência e a utilização.
Moseng, et al. (2001)	Produtividade é a aptidão de satisfazer as demandas do mercado por produtos e serviços consumindo o mínimo de recursos.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Costa et al. (2012, p. 85-86).

Ao considerar as definições de produtividade apresentadas no Quadro 5, Costa et al. (2012) esclarecem que, a produtividade compreende um indicador multidimensional que se configura como a relação entre o resultado atingido e os recursos que são empregados de um processo, que é influenciada de maneira direta pela qualidade, bem como pelos quesitos legais de uma empresa. Se acompanhado e avaliado de maneira adequada, o indicador de produtividade possibilita à empresa crescimentos reais tanto a médio prazo como em longo prazo.

King, Lima e Costa (2014) sintetizam que, a produtividade se caracteriza como uma das principais maneiras de mensurar a geração de riquezas em uma sociedade. Para os autores, os aumentos de produtividade representam não somente os acréscimos ao valor adicionado na comparação com os recursos empregados nos processos fabris, mas envolve também as expansões e as diversificações de mercado (KING; LIMA; COSTA, 2014).

Costa et al. (2012) acrescentam que a produtividade não deverá somente ser adequadamente medida, mas sim, deverá ser avaliada e deverão ser realizadas ações corretivas e preventivas de maneira cíclica e continuada, para elevar a produtividade.

Para mensurar a produtividade é preciso um suporte de tecnologias que possam auxiliar neste processo. Como explicam Trevisan e Sampaio (2017), com os avanços tecnológicos e mediante as pesquisas desenvolvidas no setor fabril, métodos computacionais têm sido disponibilizados no mercado para realizar a simulação computacional por eventos discretos dos processos fabris do início ao fim, na busca de incrementos de produtividade, é o que trata a próxima seção.

2.2 SIMULAÇÃO POR EVENTOS DISCRETOS

Conforme esclarecem Loder e Bender (2007), a simulação computacional admite o estudo, considerando-se um ambiente virtual, dos comportamentos estático e dinâmico que abrange determinada situação problemática e, portanto, permite a avaliação das respostas do sistema perante determinadas condições que possam acontecer no mundo real.

Para Campos, Dantas e Menezes (2016), a simulação computacional é um processo de experimentação dos modelos reais para a determinação de como esse responderá às mudanças em sua estrutura, seu ambiente ou suas condições de

contorno. Para os autores, a simulação poderá gerar os resultados adequados para a validação de desempenho e para suportar as incertezas; desenvolver as visualizações dinâmicas dos níveis de estoques, do *lead time*, o uso de maquinário para as várias representações de estado futuro, dentre outras aplicações.

A origem da simulação por eventos discretos ocorreu ao final da década de 1950 e apresenta o monitoramento da evolução do desenvolvimento computacional (ALEXANDRE et al., 2018). No entendimento de Hillier e Liberman (2013), a simulação por eventos discretos é aquela em que as modificações no estado do sistema acontecem de maneira instantânea em pontos aleatórios no tempo. Biscotto (2008) complementa mencionando que, a simulação de sistemas por eventos discretos consiste no estudo dos sistemas empregando modelos computacionais em que as variáveis de estado se modificam somente em instantes discretos de tempo.

Leal et al. (2013 *apud* CHWIF; MEDINA, 2010) ressaltam que, o uso da simulação computacional por eventos discretos permite estudar as dinâmicas e os efeitos de um determinado processo, inúmeros cenários podem ser criados e suas respostas averiguadas, no intuito de tomar a melhor decisão acerca de uma determinada restrição. Conforme os autores, a vantagem é que por meio da simulação computacional por eventos discretos consegue-se simular os modelos computacionais com o mesmo comportamento do processo real.

Casalinho, Schramm e Silva (2011) ressaltam que, a simulação por eventos discretos tem sido o método mais utilizado para examinar, modelar, avaliar e aprimorar os sistemas de manufatura. Alexandre et al. (2018) acrescentam que a utilização da simulação por eventos discretos tem sido o método computacional utilizada na área da Pesquisa Operacional durante os últimos quarenta anos.

Banks *et al.* (2005) complementam indicando que, nos modelos de simulação por eventos discretos, a análise é realizada por meio de métodos numéricos, pois são utilizados os procedimentos computacionais. Além disso, os modelos de simulação por eventos discretos são executados ao invés de resolvidos. O que significa dizer que, o histórico artificial do sistema é gerado; as observações são coletadas para serem analisadas; e depois são obtidas as estimativas referentes às medidas de desempenho do sistema, e os conteúdos gerados neste histórico variam de modelo a modelo, conforme os objetivos definidos para o estudo.

No Quadro 6 estão listados os termos utilizados na simulação computacional por eventos discretos de acordo com Biscotto (2008) e Banks et al. (2005).

Quadro 6 – Termos utilizados na simulação por eventos discretos

Termologias	Definição
Sistema	Conjunto de entidades que interagem ao longo do tempo para obter os resultados comuns.
Modelo	Representação abstrata de um sistema, geralmente contendo relações estruturais, lógicas e matemáticas que descrevem o sistema.
Estado de Sistema	Coleção de variáveis que contêm todas as informações necessárias para descrever o sistema em um determinado instante.
Entidade	Qualquer objeto ou componente do sistema que exija representação explícita no modelo.
Atributos	As propriedades de uma entidade, ou seja, características da entidade que influem de alguma forma no sistema.
Fila	Coleção permanente ou temporária de entidades associadas e ordenadas de forma lógica.
Evento	Ocorrência instantânea que altera o estado do sistema.
Aviso de Evento	Registro que carrega as informações necessárias para a ocorrência futura de um evento.
Fila de Eventos	Lista de avisos de eventos ordenada de forma lógica contendo registros da sequência dos eventos futuros.
Atividade	Intervalo de tempo de comprimento conhecido a partir do momento em que é iniciada. Sua duração pode ser definida de forma determinística, em termos de distribuição estatística, em função de atributos de variáveis e entidades ou em função do estado do sistema no instante do seu início.
Tempo de Espera	Intervalo de tempo de comprimento desconhecido até o momento em que termina. Ao contrário da atividade, a sua duração não é determinada, mas depende das condições apresentadas pelo sistema em seu decorrer.
<i>Clock</i>	Variável que representa o próprio tempo simulado.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Biscotto (2008); Banks et al. (2005).

Como verificado no Quadro 6 os principais termos que são normalmente utilizados para compor os projetos de simulação por eventos discretos são o sistema; os atributos; a fila; o evento; o aviso de evento; a fila de eventos; a atividade; o tempo de espera; e *clock* (tempo simulado). No próximo item são descritas as etapas utilizadas na simulação computacional por eventos discretos.

2.2.1 Etapas da Simulação por Eventos Discretos

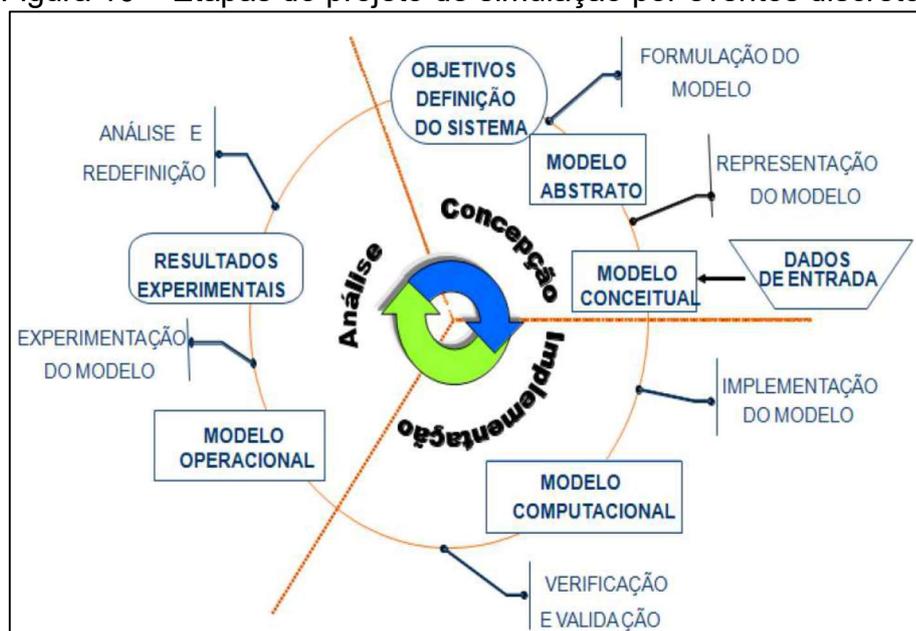
No entendimento de Chwif et al. (2015), a visão geral para determinar um modelo de simulação computacional inicia com a chegada da entidade ao sistema, se for necessário está aguarda em uma fila, realiza uma determinada atividade

(pode ou não utilizar recursos), e em seguida sai do sistema. Costa et al. (2009) complementam que, a simulação computacional é a representação virtual de um sistema do ambiente real por meio da aplicação de um modelo, o que torna possível avaliar o sistema sem que seja necessária à sua construção na realidade, e, também, possibilita realizar alterações em tal sistema, bem como averiguar os resultados dessas mudanças, sem precisar alterar o sistema antecipadamente.

Conforme Casalinho, Schramm e Silva (2011), os ambientes de simulação por eventos discretos normalmente são compostos por mecanismos de interface entre o operador e a máquina; e com a base de dados que, em conjunto, propiciam para que o processo de decisão aconteça de maneira transparente e independente do grau de expertise do usuário. Portanto, novos usuários que sejam conhecedores dos problemas que deverão ser resolvidos, poderão ser habilitados facilmente para o uso de ambientes de apoio às decisões.

Biscotto (2008) e Banks et al. (2005) ressaltam que, no modelo de simulação por eventos discretos, os sistemas são modelados conforme o estado ao longo do tempo, das entidades que passam pelo sistema; das entidades que representam os recursos; e das atividades e eventos que permitem as suas mudanças de estado. Para Chwif e Medina (2010), o modelo para a condução de projetos de simulação computacional por eventos discretos pode apresentar três etapas: a concepção; a implementação; e a análise, cujas etapas estão representadas na Figura 10.

Figura 10 – Etapas do projeto de simulação por eventos discretos



Fonte: Chwif e Medina (2010, p. 56).

Como identificado na Figura 10, a primeira etapa do projeto de simulação computacional por eventos discretos compreende a concepção do modelo conceitual. Conforme Chwif e Medina (2010) esta etapa se apresenta como o aspecto mais relevante do estudo de simulação computacional por eventos discretos, porque todos os dados que serão coletados por meio do sistema real permitirão que o modelo conceitual seja alimentado por tais dados, sendo desenvolvidas as seguintes fases: a formulação do modelo com a determinação dos objetivos e a definição do sistema; a representação do modelo abrangendo o modelo abstrato; o modelo conceitual; e os dados de entrada.

Costa et al (2009) complementam afirmando que, na etapa de concepção, a equipe do projeto de simulação é a responsável pela definição dos objetivos e do escopo do estudo. Em seguida, o modelo conceitual é desenvolvido com a finalidade de simular o sistema existente, o que facilita a constituição do modelo computacional de simulação por eventos discretos.

A segunda etapa do projeto de simulação computacional por eventos discretos refere-se à implementação do modelo, sendo que por intermédio da conversão do modelo conceitual é obtido o modelo computacional, utilizando-se assim, um simulador e/ou algum tipo de linguagem de simulação; e depois da construção do modelo computacional, o processo deverá passar pelas fases de verificação e validação, para depois entrar na terceira fase que consiste na análise, sendo que é realizada a experimentação do modelo (modelo operacional); e ocorre também a deliberação do projeto experimental (resultados dos experimentos) na terceira fase (CHWIF; MEDINA, 2010).

Costa et al. (2009) colaboram explicando que, na etapa de implementação, o modelo conceitual passa a ser convertido ao modelo computacional, por intermédio da programação em um simulador. Os autores alertam que, um dos pontos significativos no estudo de simulação computacional compreende a escolha adequada do *software* que será empregado no estudo. Na etapa de análise, depois que o modelo tenha sido verificado e validado, estará apto para o recebimento dos experimentos, conforme os limites de validação definidos (COSTA et al., 2009).

No entendimento de Gregório e Lozada (2019) existem nove etapas para a realização da simulação computacional por eventos discretos, as quais estão listadas no Quadro 7.

Quadro 7 – Etapas do projeto de simulação por eventos discretos

Etapas	Descrição
Definição do problema e dos objetivos	Definição do problema existente no sistema real a ser solucionado e dos objetivos do projeto de simulação. Geralmente, o problema é definido pelo cliente e precisa ser claro para toda a equipe envolvida.
Formulação e planejamento do modelo conceitual	Construção do modelo conceitual do projeto, que compreende a representação abstrata do sistema real. Depois da formulação, é necessário definir também a abrangência, as hipóteses e o grau de especificação do modelo, ou seja, planejar o modelo.
Coleta de dados	Identificação e coleta dos dados necessários, os quais dependem do sistema e do problema definido.
Desenvolvimento do modelo computacional	Desenvolvimento de um modelo computacional que represente o modelo conceitual. É importante que a organização utilize ferramentas adequadas, que suportem bem o modelo e os testes necessários.
Verificação	Análise que verifica se o modelo computacional representa satisfatoriamente o modelo conceitual.
Validação	Aprovação do modelo computacional, caso esteja adequado. Caso não esteja, alterações são necessárias, e, portanto, retorna-se à fase de desenvolvimento do modelo.
Experimentação	Realização de testes no modelo computacional de acordo com os cenários predeterminados.
Análise dos resultados e apresentação	Exame dos resultados da experimentação e apresentação aos tomadores de decisões.
Implementação	Implantação da decisão tomada. É importante que os resultados da implementação sejam acompanhados pela equipe.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Gregório e Lozada (2019, p. 71-72).

Como verificado no Quadro 7, a primeira etapa de um projeto de simulação compreende a definição do problema que, segundo Gregório e Lozada (2019), consiste na definição do que não se tenha desempenho aceitável no sistema, e que exige que sejam efetivados ajustes ou ainda que poderão ser incrementados como uma estratégia de melhoria contínua.

Na primeira etapa são definidos também os objetivos que, conforme Gregório e Lozada (2019) compreendem o que se pretende atingir em relação ao problema identificado no sistema fabril. As autoras entendem que, os objetivos dos projetos de simulação computacional em sua maioria estão atrelados à verificação dos pontos que proporcionem melhorias. As melhorias pretendidas podem estar relacionadas aos ganhos de produtividade; à diminuição dos custos; à elevação da capacidade de produção; à redução dos desperdícios e do tempo de produção (GREGÓRIO; LOZADA, 2019).

Na segunda etapa ocorrem a formulação e o planejamento do modelo conceitual. Como explicam Gregório e Lozada (2019), o planejamento do plano do modelo conceitual de simulação deverá prever qual a finalidade do modelo e o estabelecimento do grau de especificação, bem como as suposições que irão conduzir as análises e as premissas; e o desenvolvimento do modelo conceitual dependerá também do entendimento do sistema e dos dados disponibilizados.

Robinson et al. (2011) acrescentam que, o modelo conceitual é uma descrição do modelo que se deseja construir, independentemente do *software* de simulação que se utilizará. Um modelo conceitual poderá orientar a etapa de coleta de dados, de forma a definir os pontos de coleta, além de agilizar o processo de elaboração do modelo computacional.

A terceira etapa compreende a coleta de dados e como ressaltam Gregório e Lozada (2019), os processos de modelagem e de simulação ajudam aos gestores para a tomada de decisões, porém, a assertividade desses processos dependerá essencialmente da seleção apropriada dos dados que serão coletados e, posteriormente, analisados para a construção do modelo computacional.

A quarta etapa consiste no desenvolvimento do modelo computacional sendo que Gregório e Lozada (2019) alertam que, os programas de simulação apresentam diversas aplicações às empresas dos mais variados segmentos, e por intermédio desses programas torna-se oportuna a avaliação das probabilidades de mudanças e de melhorias nos sistemas organizacionais. Para as autoras existem várias ferramentas computacionais que são aplicadas nos projetos de modelagem e de simulação, como é o caso, por exemplo, do *software* ANYLOGIC®, escolhido para este estudo (GREGÓRIO; LOZADA, 2019).

A quinta etapa compreende a verificação do modelo computacional e a sexta etapa consiste na validação do modelo computacional criado. Segundo Gregório e Lozada (2019), para identificar se um modelo computacional é apropriado deve-se realizar as etapas de verificação e de validação, as quais têm por finalidade verificar os potenciais problemas evidenciados entre o modelo conceitual e o modelo computacional, e tais situações podem estar atreladas aos erros de modelagem computacional ou ainda referente à representação imprópria do sistema real.

A sétima etapa está relacionada com a experimentação e neste caso são realizados os testes no modelo computacional criado, considerando-se os cenários que foram determinados previamente. Como explicam Gregório e Lozada (2019)

existem várias probabilidades de análises dos cenários e de questionamentos. No que diz respeito à experimentação, as autoras entendem que, a aplicação da simulação por eventos discretos é definida considerando-se os problemas da empresa, os quais conduzem à determinação dos objetivos do projeto de simulação.

Ainda conforme Gregório e Lozada (2019), as empresas percebem que existem vantagens ponderáveis para a realização de testes por intermédio da reprodução do sistema fabril em tempo real em um ambiente que tenha controle, por exemplo, em uma célula de manufatura ou ainda a realização de testes nos laboratórios da empresa quando for o caso.

Na oitava etapa é realizada a análise dos resultados que foram obtidos com as experimentações, e posteriormente, é realizada a apresentação para os gestores tomadores das decisões. E na etapa nove é implementado o modelo computacional criado mediante monitoramento da equipe (GREGÓRIO; LOZADA, 2019). No próximo item são apresentadas as aplicações da simulação por eventos discretos.

2.2.2 Aplicações da Simulação por Eventos Discretos

Nas palavras de Carvalho Junior et al. (2018), a simulação computacional está sendo empregada em diversos ramos da indústria, com a finalidade de solucionar os problemas estruturais das empresas ou de instituições; e, também, poderá ser utilizada na avaliação de todo o tipo de processo tais como: nas operações logísticas em portos e nos aeroportos; nas instituições financeiras; nas centrais de atendimento; nos hospitais; no modelo de trânsito e transporte, e outros

Conforme citado por Oliveira (2008b), os estudos de simulação computacional por eventos discretos têm sido empregados em vários setores tais como: na simulação dos processos da indústria de manufatura; na simulação dos sistemas públicos (instituições financeiras); nos sistemas de transporte incluindo a logística e o transporte de passageiros; na mineração; no setor da siderurgia; dentre outros.

Casalinho, Schramm e Silva (2011) adicionam que na simulação computacional por eventos discretos, tem-se, por exemplo, um sistema de filas, em que o estado do sistema se configura como o número de clientes no sistema. Law e Kelton (2000) complementam indicando que os eventos discretos que modificam o estado de tempo se apresentam como a chegada e a saída do cliente devido à finalização do serviço. Na maioria dos casos em que é aplicada a simulação

computacional, na prática, é utilizada a simulação por eventos discretos, sendo este empregado para a tomada de decisões.

Gregório e Lozada (2019) entendem que, as principais aplicações da simulação computacional na área da engenharia são: a determinação da capacidade fabril; as projeções dos tempos de atendimento, dos tempos de produção e do volume dos estoques; as previsões do uso dos recursos; o desenho do fluxo dos materiais; a representação do fluxo de pessoas; e o dimensionamento de filas.

Nas palavras de Queiroz e Miranda (2013), existe a possibilidade da integração da simulação computacional e o VSM, ou seja, a simulação computacional quando integrada ao VSM permite que vários mapas do estado futuro possam ser elaborados e analisados, para que assim seja possível decidir pela implementação daquele que se apresenta com mais vantagens para a empresa.

No estudo desenvolvido por Santos et al. (2014) foi identificado que a utilização integrada do VSM e da simulação por eventos discretos possibilitou a geração de um mapa do estado atual dinâmico e que representou o melhor sistema real analisado. Na sequência são detalhados os principais programas (*softwares*) que são empregados na simulação computacional por eventos discretos.

2.2.3 Programas Utilizados na Simulação por Eventos Discretos

De acordo com Trevisan e Sampaio (2017), os métodos de predição que são mais empregados nas empresas do setor industrial são efetuados por intermédio de *softwares* de modelagem e por meio de *softwares* de simulação industrial e de simulação de processos.

Guimarães (2015) acrescenta que, a utilização crescente da simulação computacional por eventos discretos nos sistemas de manufatura obrigou as empresas especializadas em informática a criarem e disponibilizarem no mercado uma variedade ampla de *softwares* com diversas características e custos.

Gregório e Lozada (2019) citam que as principais ferramentas computacionais que estão disponíveis no mercado da informática para a aplicação organizacional são: *Flexsim*; *Arena*; *Promodel*; *Powersim*; *Extend*; *Stella*; *ANYLOGIC®*; *Analytica*; *Argo*; *Discoversim*; *DPL*; *Oracle Crystal Ball*; *Polaris*; *Proof Animation*; *SAS Simulation Studio*; e *Slim*. No Quadro 8 estão listados alguns desses *softwares* e as empresas responsáveis pelo seu desenvolvimento e/ou pela sua comercialização.

Quadro 8 – *Softwares* de simulação computacional

Software	Empresa Fabricante
Flexsim	Flexsim Software Products
Arena	Systems Modeling Corporation — Rockwell Software
Promodel	Promodel Corporation
Powersim	Powersim AS
Extend	Extend Software
Stella	High Performance System Incorporation
ANYLOGIC®	The AnyLogic Company

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Gregório e Lozada (2019, p. 148-129).

Como esclarecem Gregório e Lozada (2019), existem diversos *softwares* que são utilizados na simulação computacional os quais estão disponíveis no mercado da informática como apresentados no Quadro 8. No entanto, as autoras alertam que, para a seleção de um desses *softwares*, é preciso que as empresas avaliem de maneira criteriosa as funcionalidades que oferece; o investimento que será necessário para a sua aquisição, dentre outros critérios que deverão ser levados em consideração (GREGÓRIO; LOZADA, 2019).

Para este estudo optou-se pela aplicação do *software* ANYLOGIC® que, segundo Fernandes (2008) compreende um pacote de simulação computacional de caráter genérico que é aplicado nos domínios de processos de negócios; na manufatura; na logística; nas cadeias de suprimentos; no tráfego; na dinâmica social, dentre outras aplicações.

Na concepção de Pegas (2017), o *software* ANYLOGIC® compreende um ambiente de programação e de simulação que permite distintas técnicas que poderão ser empregadas de maneira simultânea. Por meio de uma linguagem de programação, o *software* ANYLOGIC® possibilita ao usuário três principais abordagens:

- a) sistemas dinâmicos: que geralmente são empregados para modelar as partes contínuas com as equações diferenciais;
- b) simulação por eventos discretos: para a programação dos eventos em uma programação discreta;
- c) programação baseada em agentes: que oferece a possibilidade de criação e de manipulação de agentes.

Com a aplicação do *software* ANYLOGIC® torna-se possível realizar a modelagem de todos os processos que estão envolvidos em um dado sistema. Como por exemplo, desde uma linha de produção fabril até os sistemas socioeconômicos; e efetuar a simulação de diferentes comportamentos das variações de governo desses sistemas (ANYLOGIC BRASIL, 2020).

Desse modo, o *software* ANYLOGIC® gerará as informações que o gestor necessita para fundamentar as suas decisões tais como: as alterações nos processos operacionais e/ou nas políticas da empresa; as modificações nos *layouts* dos sistemas físicos; a aquisição de recursos; dentre outros. Além disso, o *software* ANYLOGIC® apresenta elevada flexibilidade permitindo que os usuários reproduzam, com o nível de detalhes desejados, as complexidades e as peculiaridades de qualquer sistema operacional (ANYLOGIC BRASIL, 2020).

Desse modo, o *software* ANYLOGIC® promove a verificação e a análise das situações problemáticas e, também, testa as proposições de soluções, bem como as possibilidades e as previsões, passando a oferecer benefícios ao setor de engenharia da produção e aos gestores da produção para a tomada de decisão (TREVISAN; SAMPAIO, 2017).

Ainda conforme explicam os autores o método da simulação computacional por eventos discretos oferece suporte aos conceitos da filosofia LM que, em conjunto com os modelos matemáticos propicia a integração com os usuários, por exemplo, utilizando-se o *software* ANYLOGIC® (TREVISAN; SAMPAIO, 2017).

Para complementar as seções deste capítulo, na sequência são apresentadas as principais características do setor de fundição e, também, o uso da simulação computacional por eventos no setor de fundição, ênfase deste estudo.

2.3 SETOR DE FUNDIÇÃO E SIMULAÇÃO POR EVENTOS DISCRETOS

Nesta seção são apresentadas, inicialmente, as principais características do setor de fundição indicado os seus conceitos; as etapas do processo de fundição; e os principais números do setor de fundição. Na sequência são demonstrados os estudos de aplicação da simulação computacional por eventos discretos, especificamente para o setor de fundição.

2.3.1 Caracterização do Setor de Fundição

No cenário atual, o aumento da produtividade, a redução de custos e a diminuição de desperdícios no processo fabril têm sido a ambição da maioria das empresas que atuam no setor industrial, para que possam se tornar ainda mais competitivas, incluindo neste contexto o setor de fundição.

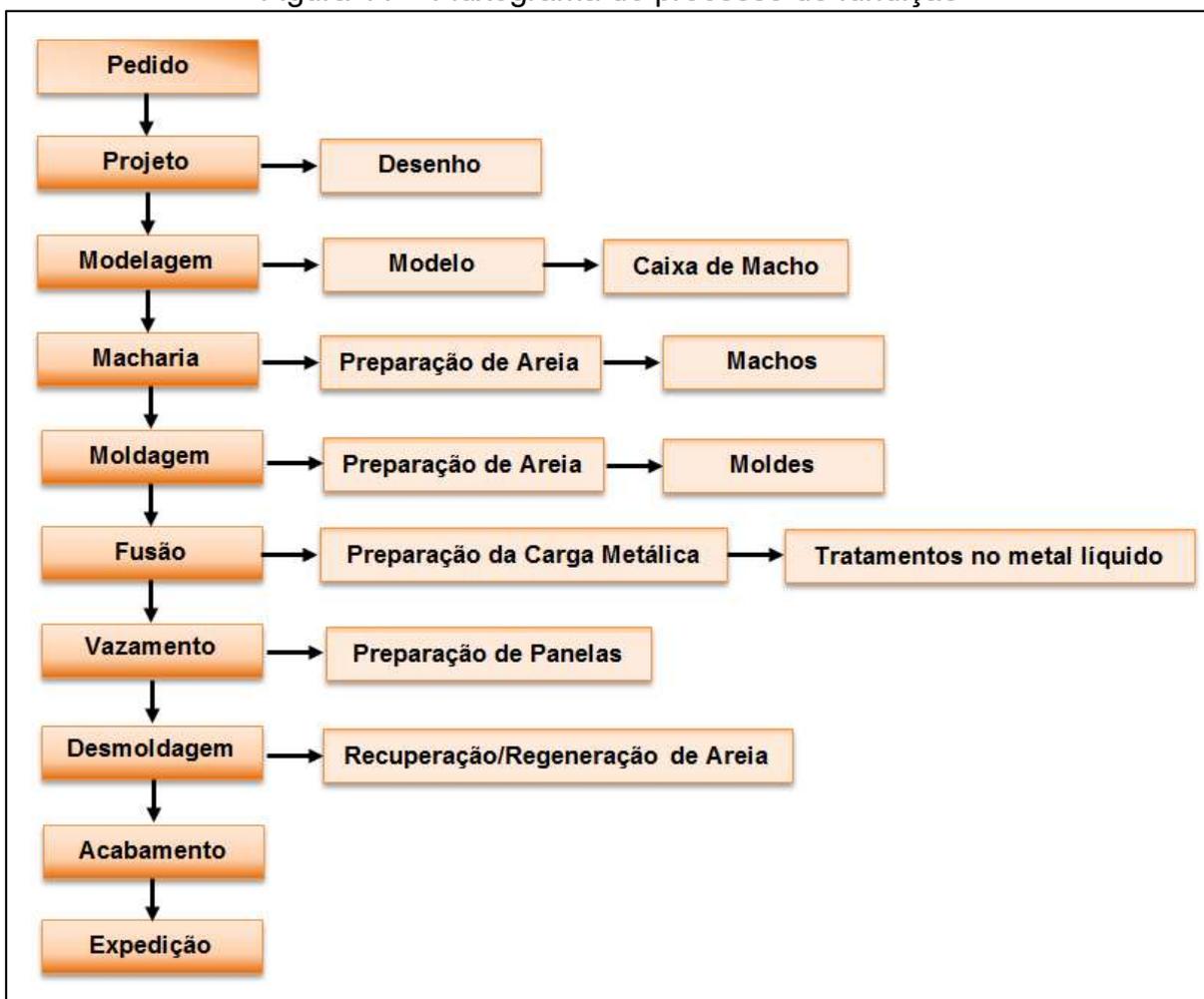
A indústria de fundição possui um papel importante no desenvolvimento de sistemas produtivos como também de novas tecnologias. A concorrência atual em que as indústrias brasileiras de fundição estão inseridas exige um esforço constante na busca pela melhoria contínua; otimização de seus processos; e redução de custos. Além disso, avaliar as possíveis melhorias em cada processo e estar atento aos movimentos do seu mercado de atuação fornece um diferencial para as empresas frente à concorrência.

Fagundes (2010) explica que, o produto fabricado no setor de fundição se constitui como básico, pois está presente na maioria das cadeias produtivas, como por exemplo, nas indústrias fabricantes de máquinas e de equipamentos, que são, geralmente dependentes de peças provenientes do setor de fundição para a composição dos produtos, o que sinaliza a importância do referido setor para o desenvolvimento industrial de uma nação.

Lima (2011) ressalta que, o setor de fundição consiste no conjunto de indústrias que empregam o processo de fundição para a fabricação das peças metálicas, por meio da fusão de ferro, do aço ou dos metais não ferrosos, utilizando alumínio, zinco, cobre, e outros, os quais são derretidos. Em seguida são vazados deixados para solidificar nos moldes, de maneira que o formato da cavidade dos moldes determinem as formas dos objetos pretendidos.

De acordo com a Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (FIEMG) (2016), a fundição compreende o processo fabril de peças que representa a trajetória mais curta entre a matéria prima metálica e as peças acabadas, em condições de utilização; e a obtenção de uma peça fundida segue as etapas apresentadas no fluxograma ilustrado na Figura 11.

Figura 11 – Fluxograma do processo de fundição



Fonte: Adaptado pelo autor com base em FIEMG (2016, p. 25).

Fagundes (2010) acrescenta que, o processo de fundição é considerado o processo mais mutável dentre os processos de conformação de metais, em função da extensa diversidade das propriedades metalúrgicas, bem como devido aos seus formatos e dimensões, os quais poderão ser ajustados às peças fundidas, que por vezes, poderá se constituir como um método mais simples e econômico; e/ou até mesmo, como o método exclusivo considerado como tecnicamente mais viável para a concretização de determinada forma sólida.

Lima (2011) afirma que, as peças conformadas diretamente a partir do metal líquido se distinguem do processo de fundição dos demais processos de conformação de metais, devido à versatilidade na fabricação dos diferentes tipos de peças, incluindo aquelas peças de maior complexidade, as quais não seriam possíveis de serem fabricadas se não fosse por intermédio do processo de fundição.

Conforme a FIEMG (2016), o processo de fundição para a fabricação de peças compreende, basicamente, o enchimento com metal líquido na cavidade de um molde em que as dimensões e as formas equivalem às das peças a serem obtidas. Depois dos processos de solidificação e de resfriamento são obtidas as peças com formas e dimensões, normalmente, quase definitivas, pois, em várias situações, as peças são usinadas antes de estarem em condições de utilização.

Na concepção de Fagundes (2010), o processo de fundição compreende a fusão de um metal que, em seu estado líquido, é vazado na quantidade adequada para o preenchimento de um molde e que, ao ser solidificado, origina uma peça com o formato almejado. Fagundes (2010) complementa que, as areias de fundição compreendem os materiais que são empregados para confeccionar os moldes e os machos para o setor de fundição e, normalmente, são classificadas em dois grupos genéricos, que são: as areias à verde e as areias que estão ligadas quimicamente.

Para um melhor entendimento das alternativas para o gerenciamento dos resíduos provenientes da areia de fundição, é imprescindível a prévia compreensão sobre os seguintes aspectos: os tipos de areia que existem; a composição da areia que é utilizada; a caracterização da areia após a submissão ao processo de fundição; as leis ambientais que são aplicáveis; e as normas específicas para esse tipo de resíduo gerado no setor de fundição (FAGUNDES, 2010).

No Quadro 9 estão demonstrados os setores que compõem normalmente uma indústria do segmento de fundição, indicando as principais características de cada setor, conforme a FIEMG (2016). Como identificado, no Quadro 9, o segmento de fundição é composto pelos setores de:

- a) preparação de areias;
- b) moldagem;
- c) macharia;
- d) fusão;
- e) separação das caixas;
- f) acabamento;
- g) usinagem;
- h) expedição.

Para este estudo foi realizada uma análise em específico na área de fusão de uma empresa de fundição.

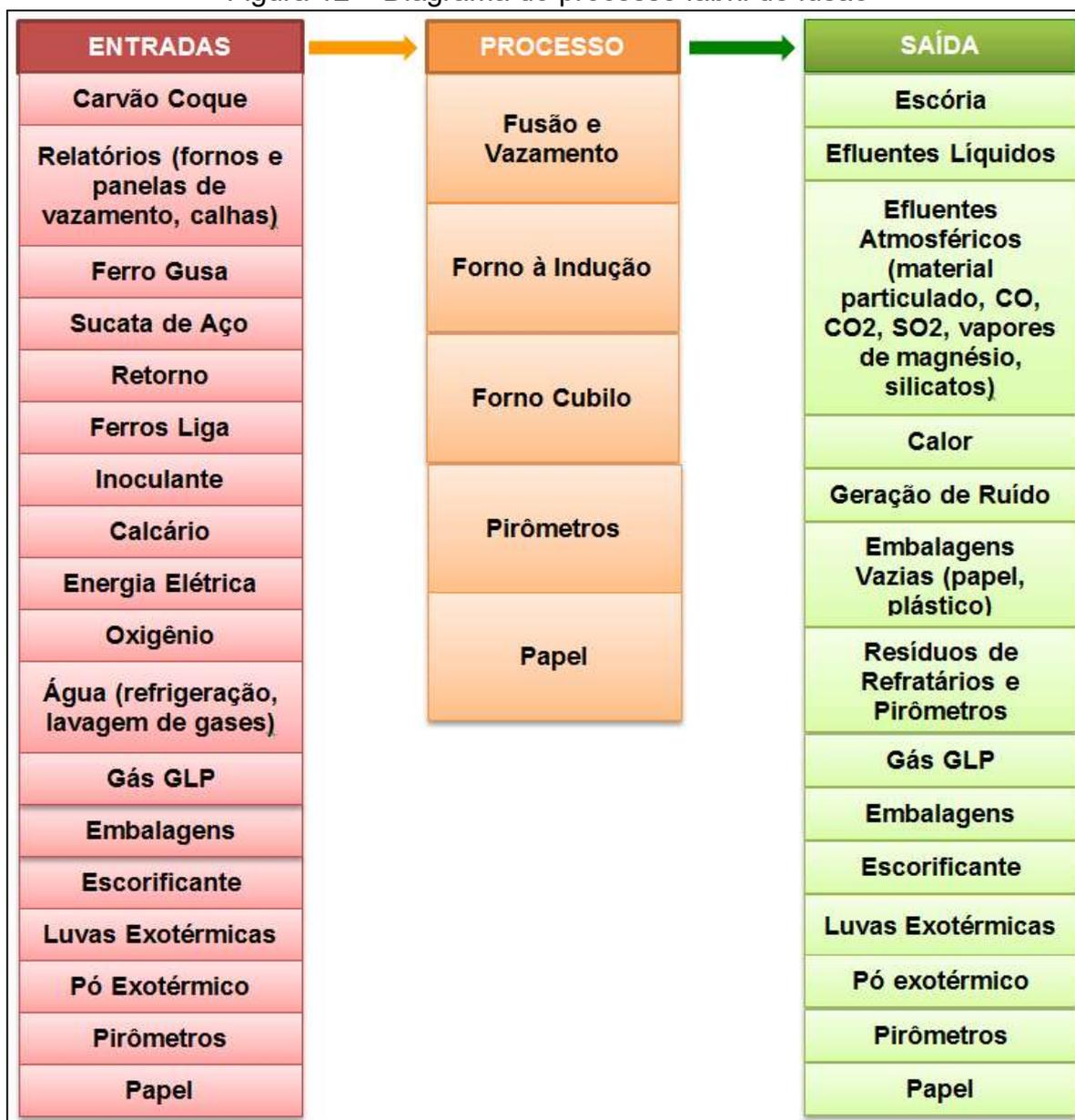
Quadro 9 – Setores de uma indústria de fundição

Setor	Descrição
Preparação de Areias	Diferentes tipos de areias de fundição são utilizados na confecção dos moldes e machos, sendo que cada processo de areia apresenta características próprias. Uma grande divisão compreende as areias com aglomerantes argilosos e as areias com ligantes químicos. Além disso, as areias são divididas em processos de cura a frio, de cura por gasagem e de cura térmica. Cada processo apresenta características e limitações próprias de uso que diferem quanto à liga da peça, forma e tamanho das peças e moldes, produtividade, colapsibilidade, utilização em moldes ou machos, dentre outros.
Moldagem	Para a confecção de um molde/macho, na moldagem manual com areia sintética todo o trabalho é realizado pelo moldador, sendo necessária mão de obra qualificada e treinada. Uma compactação exagerada não significa necessariamente que favorecerá a qualidade da peça, podendo em alguns casos criar condições para o aparecimento de defeitos nas peças.
Macharia	A confecção dos machos é realizada com areias com ligantes químicos, na sua maioria resinas. O tipo de resina a ser empregada deverá ser compatível com a liga da peça, bem como a forma e peso da mesma.
Fusão	Seguindo as orientações do pedido da peça e do projeto elaborado, é realizado o cálculo de carga, ou seja, a verificação da quantidade de cada matéria prima que será utilizada para fabricar o ferro fundido na classe requerida. Os materiais utilizados são retorno (peças quebradas ou refugadas e canais), ferro gusa, sucata de aço e elementos de liga. Para a realização do cálculo de carga é necessário saber a composição química de cada componente da carga (carbono, silício, manganês, fósforo, enxofre, dentre outros), a composição química desejada para a peça que será fabricada, as perdas e os ganhos de elementos por fusão: normalmente nos fornos à indução os elementos carbono, silício e manganês sofrem perdas, sem ganhos; e no forno à cubilô os elementos silício e manganês sofrem perda e o enxofre sofre ganho quando utilizado o carvão coque como combustível.
Separação das Caixas	Com a desmoldagem ocorre a quebra dos moldes, que consiste na separação das caixas de moldar da areia de fundição e das peças fundidas em bruto. As caixas de moldar são encaminhadas para a estocagem até serem novamente utilizadas para a confecção de outros moldes.
Acabamento, Usinagem e Expedição	As peças retiradas dos moldes são encaminhadas ao setor de acabamento onde serão jateadas, limpas e separadas dos canais e massalotes. Caso as peças necessitem, serão encaminhadas para o setor de usinagem para obterem a sua forma final antes de serem enviadas aos clientes. Em alguns casos as peças ainda podem receber algum tipo final de tratamento, como pintura por exemplo. Após a realização dos controles finais em laboratório, com a verificação da qualidade dimensional, mecânica, metalográfica e química as peças são enviadas ao cliente final, encerrando o ciclo de produção destas peças na fundição por meio do setor de expedição.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em FIEMG (2016, p. 35-43).

A ênfase deste estudo compreende o processo fabril de fusão, assim sendo, na Figura 12 é ilustrado o diagrama do processo fabril de fusão, com o delineamento das entradas do processo que são os fatores para dar início ao processo fabril; as etapas do processo fabril propriamente dito; e as saídas deste processo fabril.

Figura 12 – Diagrama do processo fabril de fusão



Fonte: Adaptado pelo autor com base em FIEMG (2016, p. 48).

Para melhor conhecer o setor de fundição, Lima (2011) salienta que a representatividade do Brasil em relação à produção de fundidos, em termos mundiais tem evoluído. No cenário mundial tem ocorrido a transferência da fabricação de fundidos aos países em desenvolvimento, notadamente em função

dos baixos custos da mão-de-obra e devido às regras que são menos rigorosas quanto ao controle ambiental vigentes. Assim sendo, o fabricante brasileiro tem realizado investimentos nas exportações, o que denota uma motivação para a melhoria contínua em qualidade e nos processos fabris.

Em termos de dados estatísticos, o estudo *Modern Casting*, publicado no mês de dezembro de 2018 indicou que o Brasil ocupava a 10^a posição no *ranking* dos maiores produtores de fundidos, cuja produção é liderada pela China que apresenta 26 mil empresas, as quais responderam por mais de 50% do total mundial mediante produção de 49,4 milhões de toneladas em 2018. No Brasil, aproximadamente 81% da produção pertence aos fundidos em ferro; 11% em aço; e 8% em não ferrosos (HUNOFF, 2020).

De acordo com HUNOFF (2020), depois do crescimento de 3% no ano de 2019 em relação ao ano de 2018, a indústria brasileira de fundição estava projetando dobrar este índice no ano e 2020. O setor de fundição tinha a pretensão de superar a marca de 2,5 milhões de toneladas, sendo que deste total aproximadamente 80% seriam direcionados ao mercado interno, para a realização de obras de infraestruturas pública e privada, destacando-se as obras de saneamento, rodovias e ferrovias.

Para corroborar com o cenário apresentado, Lima (2011) ressalta que, a importância e a representatividade do setor de fundição brasileiro, nos cenários nacional e internacional, justificam as preocupações com os aspectos produtivos, ambientais e energéticos das fundições, necessitando da aplicação contínua de inovações tecnológicas. No próximo item é apresentada a aplicação da simulação computacional por eventos discretos, especificamente no setor de fundição.

2.3.2 Aplicação da Simulação por Eventos Discretos no Setor de Fundição

Conforme Pinho et al. (2012), os métodos de otimização em conjunto com o método de simulação computacional por eventos discretos têm sido empregados nas diversas aplicações da manufatura. No estudo de Montevechi et al. (2014), foram testados 64 cenários para a célula no modelo de simulação computacional por eventos discretos, sendo estes impossíveis de serem praticados sem o apoio da simulação computacional. Os resultados da combinação da aplicação da simulação computacional por eventos discretos propiciaram aos gestores tomar decisões para

a identificação da ordenação dos cenários mais importantes para elevar a produção, entre os 64 cenários possíveis, o que evitou o processo de tentativas e erros.

Pereira et al. (2010) desenvolveram um estudo com o objetivo de identificar por intermédio da simulação computacional as taxas de uso dos recursos durante o projeto de uma linha de fundição de blocos de motores automotivos. Os resultados mostraram que a visualização e a geração de dados de saída para as diferentes configurações e usos dos recursos na fábrica permitiram a verificação de uma solução que atendessem as metas conflitantes da empresa analisada.

No estudo de Kach et al. (2014a) foram verificados os ganhos das empresas do setor de fundição mediante uso do *software* de simulação computacional, cujo método de análise reduziu os custos de planejamento, de projeto, de processo e de produção, indicando resultados de maneira antecipada no planejamento. A visualização dos resultados facilitou e agilizou a tomada de decisões dos gestores e, também, oportunizou um diferencial competitivo às empresas que buscam a manutenção e a prospecção de mercado.

O estudo de Oliveira et al. (2014) mostrou que três empresas do setor de fundição pesquisadas aplicaram a simulação computacional objetivando a conquista em conjunto com os clientes de maior credibilidade e geração de melhores resultados, sendo que a aplicação do *software* auxiliou de maneira efetiva no processo de tomada de decisões; e agregou confiança à equipe técnica no andamento dos projetos e dos processos em discussão.

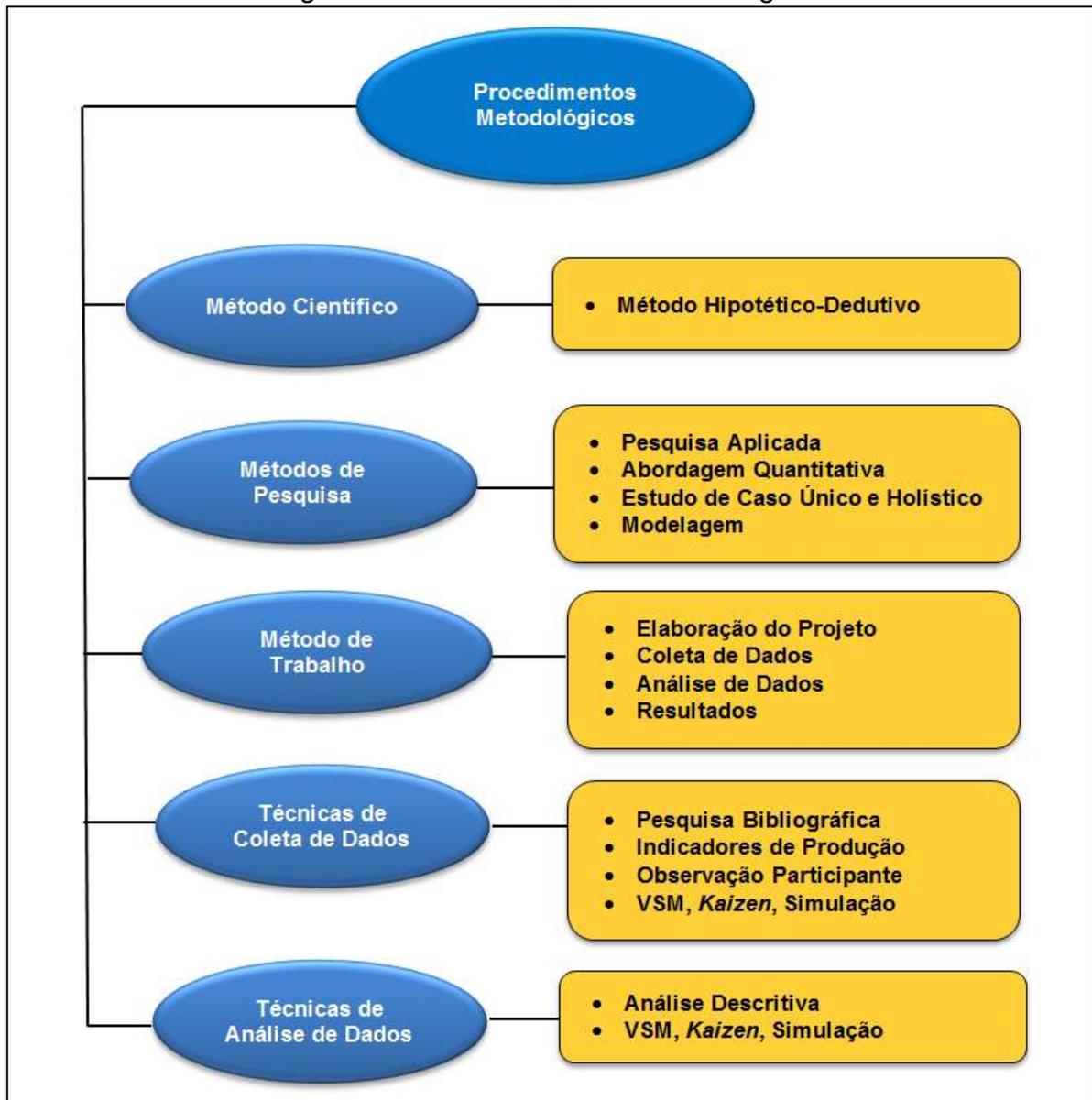
Diante do exposto, pretende-se demonstrar com a utilização do *software* escolhido, que a simulação computacional por eventos discretos, poderá se apresentar como um método útil para a realização da análise estratégica das atividades operacionais da área de fusão de uma unidade fabril de uma empresa de fundição. Neste sentido, espera-se que os resultados possam ser utilizados na tomada de decisões pelos gestores da referida empresa.

No próximo capítulo são detalhados os procedimentos metodológicos adotados para o desenvolvimento do estudo, indicando o método de científico, o método de pesquisa, o método de trabalho, a técnica de coleta de dados e a técnica de análise de dados utilizados.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Na Figura 13 consta uma síntese dos procedimentos metodológicos adotados para o desenvolvimento deste estudo, os quais estão detalhados na sequência deste capítulo.

Figura 13 – Procedimentos metodológicos



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.1 MÉTODO CIENTÍFICO

O método científico consiste na perspectiva ou premissa em relação ao conhecimento construído como esclarecem Dresch, Lacerda e Antunes Júnior

(2015). Para os autores, o método científico é classificado em: indutivo; dedutivo; hipotético-dedutivo, como apresentado no Quadro 10.

Quadro 10 – Métodos científicos

Método	Definição
Indutivo	Está fundamentado nas premissas e na inferência de uma ideia considerando-se os dados que foram previamente constatados e/ou observados, normalmente esse método é aplicado nas pesquisas em gestão.
Dedutivo	Neste tipo de método o pesquisador considera as leis e as teorias para a proposição de elementos que servirão para a explicação ou previsão de certos fenômenos. Como principal aplicação deste método tem-se na área de gestão, como exemplo, a construção de modelos conceituais.
Hipotético-dedutivo	É caracterizado considerando-se os conhecimentos prévios com a identificação de um problema para a proposição e a testagem de hipóteses, as quais poderão oferecer previsões e possíveis explicações ao fenômeno. Como aplicação tem-se: as pesquisas em gestão, a partir do momento em que o problema que será investigado tenha relação, por exemplo, com a mensuração da qualidade de um produto e/ou uma prestação de serviço.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015).

Ao considerar as definições apresentadas no Quadro 10, para o desenvolvimento deste estudo foi considerada a aplicação do método hipotético-dedutivo, pois foram levados em conta os conhecimentos adquiridos e os dados coletados para identificar a situação problemática existente na área de fusão de uma unidade fabril de uma empresa de fundição.

O método hipotético-dedutivo apresenta como característica principal, o uso de conhecimentos prévios, para a identificação de um problema, para a proposição e testagem de hipóteses que poderão resultar em previsões e explicações dos motivos que geraram a situação problemática (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR; 2015). Na sequência são detalhados os métodos de pesquisa utilizados para a elaboração do estudo como um todo.

3.2 MÉTODOS DE PESQUISA

A pesquisa é definida como uma investigação sistemática que tem por finalidade principal se apresentar como a elaboração ou o aprimoramento das

teorias, sendo que em alguns casos se apresenta como uma resolução dos problemas (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR; 2015). Ainda conforme os mesmos autores, a pesquisa quando apresenta caráter teórico é definida como pesquisa básica, porém quando se caracteriza de ordem prática é denominada de pesquisa aplicada (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR; 2015).

O presente estudo é caracterizado como uma pesquisa aplicada, pois foi realizada uma aplicação prática na empresa, objeto de estudo, propiciando novos conhecimentos sobre o fenômeno estudado.

A pesquisa quanto à abordagem se classifica em dois tipos segundo Roesch (2013): pesquisa qualitativa e pesquisa quantitativa. Para a autora, a pesquisa qualitativa é mais adequada para a verificação formativa, para que se possa melhorar a adequação de um plano ou de um programa; nos casos de propostas de planos; seleção de metas de um programa; construção de um projeto de intervenção. A autora alerta que a pesquisa qualitativa não é a mais apropriada para a avaliação de resultados dos programas ou dos planos (ROESCH, 2013).

Por sua vez, a abordagem de pesquisa quantitativa, conforme indica Roesch (2013) é utilizada quando o propósito do projeto implica em mensurar as relações entre as variáveis, considerando-se a associação ou causa-efeito dessas variáveis, para a avaliação dos resultados de algum sistema ou até mesmo de projetos.

O estudo se apresenta como uma pesquisa de caráter quantitativo, pois foi realizada a simulação computacional por eventos discretos por meio de um programa de *software*, para analisar quais os possíveis cenários que poderiam contribuir para reduzir as perdas e os desperdícios; para elevar a produtividade; e para solucionar os problemas existentes na área de fusão da unidade fabril de uma empresa de fundição.

Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015) acrescentam que, os métodos de pesquisa estão relacionados com as demais questões que deverão ser consideradas pelo pesquisador para a definição das estratégias de pesquisa. Para os autores, os métodos de pesquisas são classificados em: estudo de caso; pesquisa-ação; *survey*; e modelagem, como apresentado no Quadro 11.

Quadro 11 – Métodos de pesquisa

Métodos	Definições
Estudo de Caso	Está relacionado à realização de uma pesquisa empírica que tem a finalidade de buscar uma melhor compreensão de um fenômeno contemporâneo, geralmente considerado complexo, que ocorre no contexto real, portanto é empregado para a investigação de problemas complexos dentro de um contexto, além disso, assegura que as investigações e a compreensão do problema sejam realizadas em profundidade.
Pesquisa-Ação	A pesquisa-ação tem o intuito de resolução ou de explicação dos problemas encontrados em certo sistema, bem como a produção de conhecimentos tanto para questões práticas como para as questões teóricas.
<i>Survey</i>	Caracteriza-se por ampliar os conhecimentos em áreas específicas, sendo que a investigação é realizada por intermédio da coleta de dados com o objetivo de avaliação do comportamento das pessoas e dos ambientes em que elas estão inseridas, mediante a coleta e a análise dos dados, o pesquisador poderá obter as conclusões sobre o fenômeno ou a população estudada.
Modelagem	Apresenta como finalidade apoiar os pesquisadores para a melhor compreensão dos problemas, pois os modelos se caracterizam como representações simplificadas da realidade e possibilitam o entendimento do ambiente que está sendo analisado.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015)

Ao considerar os métodos exibidos no Quadro 11, para alcançar os objetivos propostos neste estudo foram utilizados dois métodos de pesquisa: o método de estudo de caso e o método de modelagem. O método de estudo de caso, segundo Yin (2015) se caracteriza como um método que envolve a lógica do projeto a ser realizado bem como as técnicas de coleta de dados que serão utilizadas e quais as abordagens que são empregadas para a realização da análise dos dados obtidos.

Gil (2018) complementa afirmando que, o método de estudo de caso compreende um tipo de pesquisa mais aprofundado e abrangente sobre um e/ou poucos casos, propiciando uma ampliação e um detalhamento de conhecimentos.

Acrescenta-se também, para este estudo a caracterização de um estudo de caso único sendo classificado como estudo de caso holístico, sendo que foi avaliada a área de fusão da Unidade de Fundação da empresa Hidro Jet, localizada em Porto Alegre/RS.

De acordo com Martins (2008), a estratégia de pesquisa do estudo de caso único se torna apropriada e é selecionada quando se pretende responder as questões 'como' e 'por que', o que permite o aprofundamento dos conhecimentos em relação ao objeto de pesquisa a ser avaliado. Yin (2015) complementa que o

estudo de caso do tipo holístico é realizado quando se pretende realizar a avaliação de uma unidade única de análise.

Para o método de pesquisa de modelagem neste estudo foi utilizada uma adaptação do modelo proposto por Gregório e Lozada (2019), cujo detalhamento se encontra na seção do método de trabalho (3.3). Como explicam Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015), a conceituação de modelagem é ampla e pode ser utilizada de maneira abrangente. A metodologia de pesquisa de modelagem é classificada em duas abordagens: a modelagem *hard* e a modelagem *soft* sendo que tais abordagens não se excluem entre si e poderão ser complementares.

Neste estudo foi empregada a modelagem do tipo *hard* e; segundo Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015), dentre as principais técnicas da abordagem *hard*, que são aplicadas na área de gestão e na engenharia da produção estão: a programação linear; a simulação computacional; heurísticas; e a teoria das filas, que são costumeiramente usadas para otimizar os sistemas.

Para este estudo foi utilizado o método da simulação computacional por eventos discretos para oferecer suporte às ferramentas do *Kaizen* e do VSM pertencentes à filosofia LM empregando-se o *software* ANYLOGIC®. A escolha do *software* ANYLOGIC® foi motivada em função de ser uma ferramenta didática, que apresenta uma interface intuitiva e uma biblioteca que disponibiliza os diversos tipos de negócios e de processos.

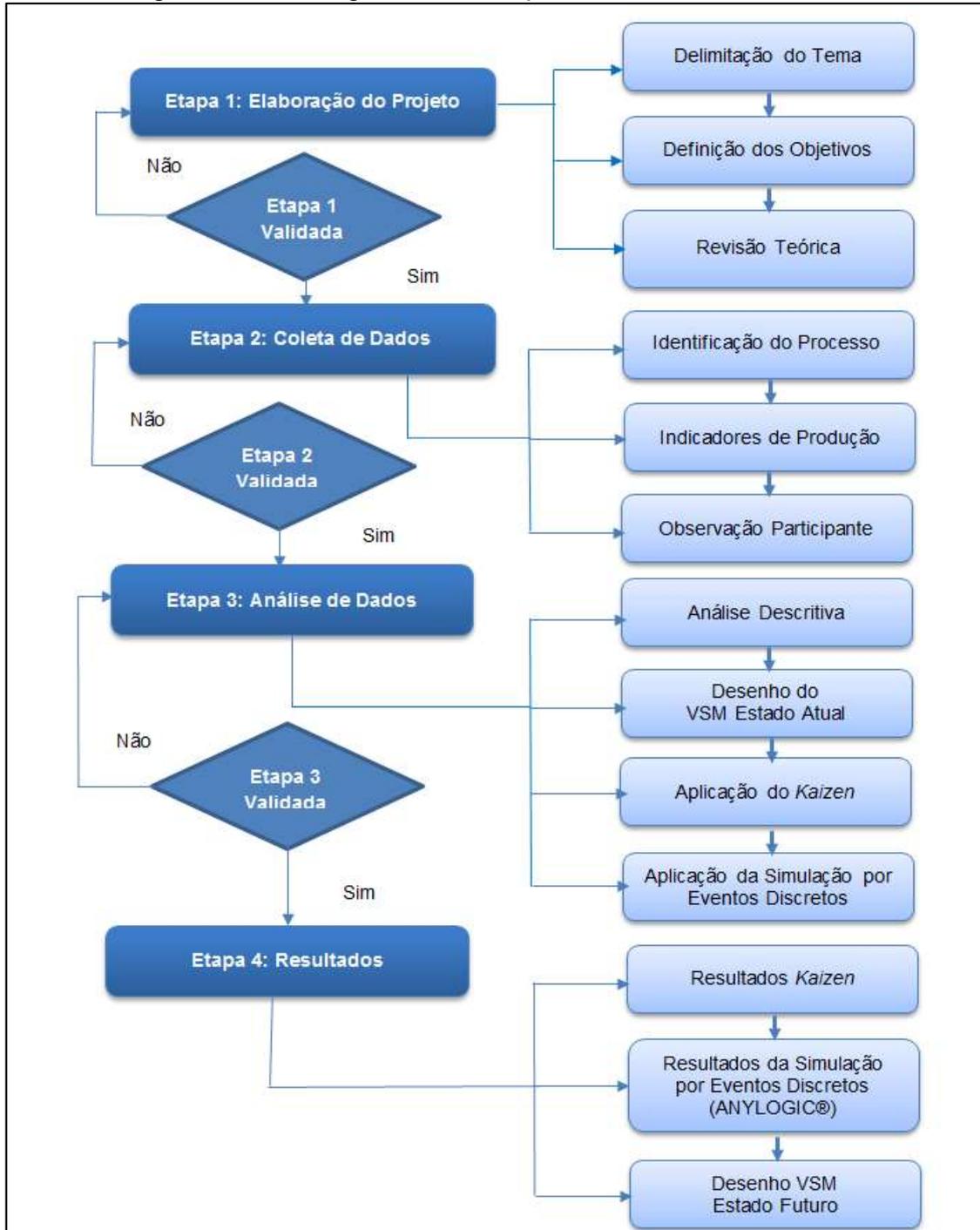
No entendimento de Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015), a utilização da simulação computacional nas pesquisas possibilita que o pesquisador descubra as respostas mediante um custo relativamente menor, com elevada segurança e, também, rapidez quando comparado às experimentações em um contexto real. Em síntese para este estudo foram utilizados os seguintes métodos de pesquisa: pesquisa aplicada; pesquisa com abordagem quantitativa; método de estudo de caso classificado como único e holístico; e o método de modelagem empregando-se o método de simulação computacional por eventos discretos. Na próxima seção são descritas as etapas do método de trabalho para a realização deste estudo.

3.3 MÉTODO DE TRABALHO

No método de trabalho são determinadas as etapas lógicas que o pesquisador seguirá para alcançar os objetivos da pesquisa (DRESCH; LACERDA;

ANTUNES JÚNIOR; 2015). Na Figura 14 está representado o fluxograma das etapas do método de trabalho para este estudo.

Figura 14 – Fluxograma das etapas do método de trabalho



Fonte: Elaborada pelo autor.

Como identificado na Figura 14, na etapa 1 deste estudo foi elaborado o projeto com a finalidade de delimitar o tema e definir os objetivos do estudo e com tais definições foi desenvolvida a revisão teórica para oferecer todo o embasamento

teórico para o estudo; e para auxiliar na aplicação prática das ferramentas do *Kaizen* e do VSM pertencentes à filosofia LM mediante o suporte do método da simulação computacional por eventos discretos.

Na etapa 2 foi iniciada a coleta de dados para a identificação do processo da área de fusão; foram coletados os indicadores de produção e realizada a coleta das informações por meio da observação participante como está detalhado no item 3.4 para que se pudesse construir o modelo computacional. Para a etapa 3, que se refere à análise de dados, foi elaborado o desenho do VSM Estado Atual; realizadas as ações de melhoria aplicando-se o *Kaizen* e utilizado o método da simulação por eventos discretos cujas etapas estão detalhadas no subitem 3.3.1; e foi utilizada a técnica de análise de dados do tipo descritiva, como detalhado na seção 3.5.

A etapa 4 do estudo contemplou os resultados que foram obtidos por intermédio da aplicação do *Kaizen*; realização da simulação por eventos discretos utilizando-se um *software* cujas etapas estão descritas no item 3.3.1; e foi elaborado o desenho do VSM Estado Futuro.

3.3.1 Etapas da Simulação por Eventos Discretos

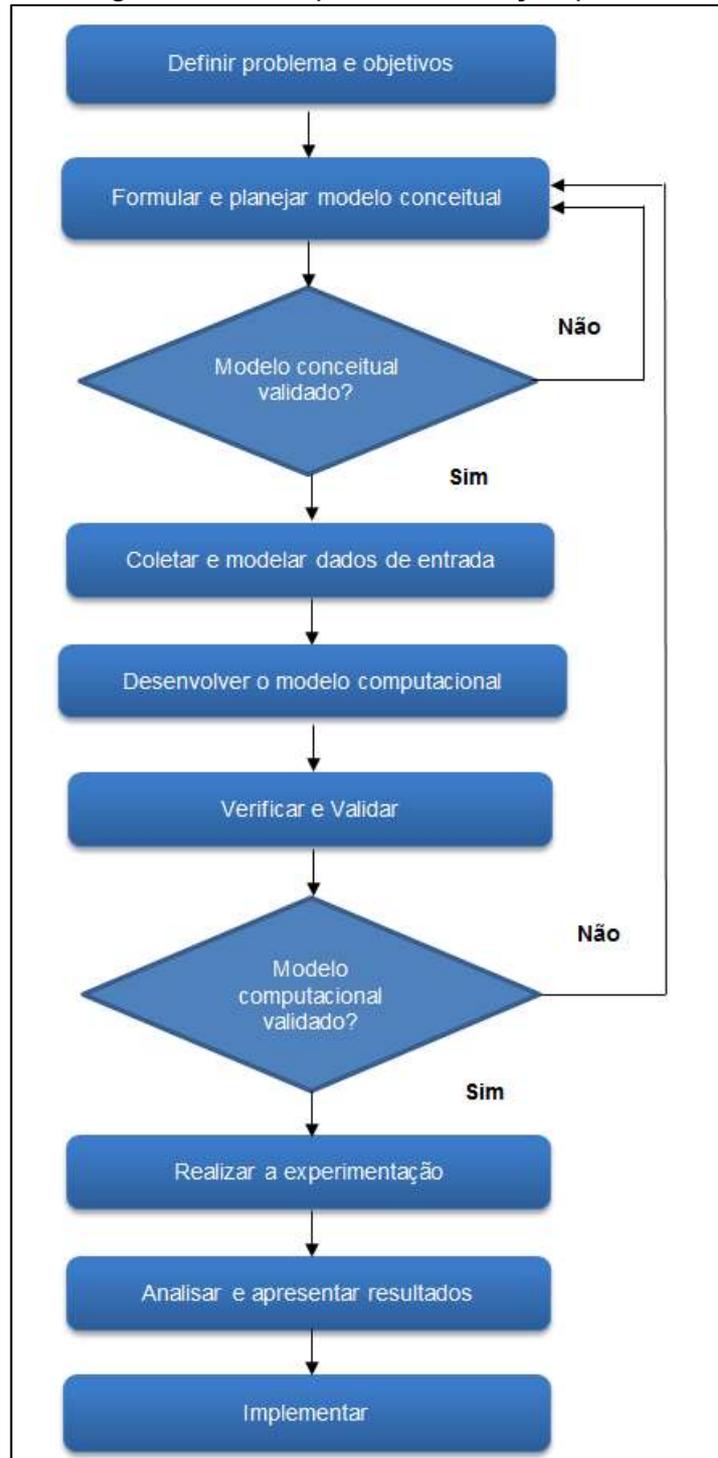
No conceito de simulação computacional por eventos discretos, o sistema é um grupo de objetos ou de processos que estão interligados em alguma interação ou interdependência, para a realização de algum objetivo (CHWIF et al., 2015).

No sistema fluem as entidades que são um objeto de interesse. As entidades podem, ou não, ter características específicas, denominadas de atributos. Em um sistema existem as atividades, também denominadas de funções, que são os componentes que contribuem para o alcance do objetivo. As atividades para serem realizadas, consomem certa quantidade de tempo e podem transformar as entidades. Muitas atividades necessitam de elementos para a sua realização, que se denominam de recursos. Outros conceitos importantes do sistema são o estado e o evento. O estado é definido como a coleção de variáveis necessárias para descrever o sistema em um dado instante. Já, o evento é definido como uma ocorrência instantânea que muda o estado do sistema (CHWIF et al., 2015).

Para a construção do modelo computacional proposto neste estudo utilizou-se as etapas de modelagem indicadas por Gregório e Lozada (2019), as quais foram utilizadas para a realização da simulação por eventos discretos, sendo que o

pesquisador realizou algumas adaptações para atender aos objetivos propostos. Na Figura 15 consta o fluxograma com as etapas do método de simulação por eventos discretos com base na metodologia de Gregório e Lozada (2019) sendo que foi utilizado o *software* ANYLOGIC®; e o detalhamento teórico das etapas das referidas autoras, foi apresentado no capítulo 2, em sua seção 2.2.1.

Figura 15 – Fluxograma das etapas da simulação por eventos discretos



Fonte: Elaborada pelo autor com base em Gregório e Lozada (2019).

Como identificado no fluxograma ilustrado na Figura 15, as etapas do método de trabalho para este estudo são as descritas na sequência:

1. **identificar o sistema e definir problema e os objetivos:** a primeira etapa do método de trabalho compreendeu a identificação do sistema avaliado, sendo que para este estudo foi considerado o processo fabril de fusão e para complementar a primeira etapa foi definido o problema existente no sistema real a ser solucionado já citado na seção 1.2; e, também foram definidos os objetivos (geral e específicos) do projeto de simulação, já detalhados na seção 1.3;
2. **formular e planejar o modelo conceitual:** construção do modelo conceitual do projeto que se refere à representação abstrata do sistema real; a definição das hipóteses e o grau de especificação do modelo mediante o seu planejamento;
3. **validação do modelo conceitual:** realização da validação do modelo conceitual, se validado segue o fluxo das etapas, caso contrário retorna para a etapa anterior para ajustes;
4. **coletar e modelar os dados de entrada:** identificação dos dados necessários e sua coleta, levando-se em consideração o sistema e o problema e em seguida realização da modelagem dos dados de entrada;
5. **desenvolver o modelo computacional:** desenvolvimento do modelo computacional para representar o modelo conceitual mediante o uso do *software* escolhido;
6. **verificar o modelo computacional:** analisar se o modelo computacional atende de maneira satisfatória o modelo conceitual;
7. **validar o modelo computacional:** se o modelo computacional estiver em acordo ao modelo conceitual é aprovado. Porém, se isso não ocorrer, é reiniciada a etapa de formulação e planejamento do modelo conceitual;
8. **experimentar e analisar os cenários:** realizar os testes no modelo computacional conforme os cenários predeterminados, os quais estão detalhados nos Quadros 13 e 14 apresentados na seção 3.3.2;
9. **analisar os resultados:** examinar os resultados obtidos na experimentação;
10. **apresentar os resultados:** apresentar o projeto aos tomadores de decisões;

11. **implementar**: implementar a decisão tomada sob a condição da autorização dos gestores da empresa.

Desse modo, na Figura 15 foram identificadas as etapas para a composição do método de trabalho elaborado para a condução do estudo aqui proposto, cujas etapas estão detalhadas no capítulo 5, em sua seção 5.3. No próximo item são descritos os parâmetros necessários para a construção do modelo computacional.

3.3.2 Parâmetros para a Construção do Modelo Computacional

De acordo com Gregório e Lozada (2019), nos casos de modelagem e de simulação por eventos discretos, os parâmetros que podem ser utilizados são: as datas de experimentação; os eventos; a identificação de cenários; dentre outros.

Para o modelo computacional deste estudo, os parâmetros para a definição dos cenários simulados e para a determinação do número de replicações foram:

- a) verificação com o especialista do processo na Unidade de Fundição da empresa, o qual confirmou que o comportamento e o resultado do modelo computacional criado eram coerentes com o sistema real;
- b) comparação estatística pelo método das médias mediante o uso do Teste-z, onde foram utilizadas trinta (30) replicações e para o número de replicações foi utilizada a Equação 1 detalhada na sequência.

O Teste-z apresenta como objetivo a verificação se o modelo computacional pode representar ou não o sistema real, e se está enfatizado na média dos resultados. O Teste-z é empregado também para a verificação da hipótese de não existir a diferença nas médias das distribuições reais e modeladas (SANTOS, 1999).

Neste estudo para a determinação dos tempos foram utilizados: os registros de produção do período de janeiro de 2019 a julho de 2020; foi verificado o tamanho da amostra com a utilização da Equação 1; e foi adotado o nível de confiança de 95%. Conforme ensinamentos de Levine, Stephan e Szabat (2017), o tamanho da amostra mínimo é dado mediante o emprego da Equação 1 apresentada na sequência:

$$n = \left(\frac{Z_{\alpha/2} \cdot \sigma}{E} \right)^2 \quad (1)$$

onde:

n = número de indivíduos na amostra;

$Z_{\alpha/2}$ = valor crítico que corresponde ao grau de confiança desejado;

σ = desvio-padrão populacional da variável estudada;

E = margem de erro ou erro máximo de estimativa.

No que se refere à distribuição dos dados adotou-se a distribuição triangular, sendo que se optou por esta abordagem para que os valores aleatórios sorteados estivessem dentro do intervalo dos dados coletados. Gauss (2020) ressalta que, a distribuição triangular é uma distribuição de probabilidade estatística, utilizada quando se tem poucos dados e conhecendo os valores mínimos, médios e os valores máximos torna-se possível determinar uma boa probabilidade para o evento.

De acordo com Rosa (2017), a distribuição triangular se caracteriza em três parâmetros: o valor mínimo, o valor máximo e o valor mais provável. Para o autor, a distribuição triangular é utilizada comumente como uma ferramenta de auxílio na modelagem quando o pesquisador apresenta uma percepção dos valores mínimo e máximo, como ocorre na distribuição uniforme e, quando tem conhecimento da estimativa para a concretização do valor mais plausível (ROSA, 2017). O Quadro 12 apresenta o resumo das principais características da distribuição triangular.

Quadro 12 – Características da distribuição triangular

Crítérios	Características
Parâmetros	min max ($min < max$) $moda$ ($min \leq moda \leq max$)
Notação	<i>Triangular</i> ($min, max, moda$)
Domínio	Contínuo = $min \leq x \leq max$
Valor esperado	$\frac{min + max + moda}{3}$
Variância	$\frac{min^2 + max^2 + moda^2 - minmax - minmode - maxmode}{18}$
Significados	min : valor mínimo da distribuição max : valor máximo da distribuição $moda$: é o valor que mais ocorre

Fonte: Adaptado pelo autor com base em Rosa (2017, p. 66).

3.3.3 Cenários Propostos

Para a verificação do comportamento da capacidade produtiva frente às alterações das variáveis controladas no sistema de fusão foram propostos cenários alternativos. Os cenários foram gerados pelas composições das variáveis controladas como indicadas no Quadro 13.

Quadro 13 – Composição das variáveis controladas

Variáveis Controladas	Composição
Pé de Banho	Com pé de banho (A) x Sem pé de banho (B).
Material de Retorno	Carga não compactada (A) x Carga Compactada (B).
Distância da Disa	54 metros até a Disa (A) x 7 metros até a Disa (B).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como se observa no Quadro 13 está representada a composição das três variáveis controladas – pé de banho, material de retorno e distância da Disa – as quais juntamente com a composição fizeram parte dos cenários simulados.

No Quadro 14 é representada a composição experimental dos cenários explorados no estudo, considerando-se as informações destacadas do Quadro 13.

Quadro 14 – Composição experimental dos cenários explorados

Cenário	Pé de Banho	Carga Retorno	Distância da Disa
1 (Base)	A	A	A
2	B	A	A
3	B	B	A
4	B	B	B

Fonte: Elaborado pelo autor.

Verifica-se no Quadro 14, os cenários explorados para a simulação computacional por eventos discretos, sendo que tais cenários foram identificados mediante a aplicação do *Kaizen*, onde o cenário base apresenta a situação atual, ou seja, o Cenário 1; e os demais cenários como sendo os possíveis cenários futuros: Cenários 2, 3 e 4.

Na próxima seção estão apresentadas as técnicas de coleta de dados que foram necessárias para realizar a coleta dos dados para o desenvolvimento do estudo como um todo.

3.4 TÉCNICAS DE COLETA DE DADOS

As técnicas de coleta dos dados são imprescindíveis para a garantia da efetivação dos métodos de pesquisa e do método definido pelo investigador (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR; 2015). Para os autores, as técnicas de coleta de dados são classificadas em: documental; bibliográfica; entrevista; grupo focal; questionários; e observação direta.

Para este estudo, a parte inicial de coleta de dados contou com o uso da técnica de pesquisa bibliográfica para a realização da fundamentação teórica que ofereceu o embasamento teórico para o estudo e embasou a realização prática do trabalho. Além disso, foi utilizado também o método para a revisão sistemática da literatura classificada como uma revisão agregativa considerando-se as etapas indicadas por Morandi e Camargo (2015), para a obtenção a coleta de estudos que abordassem a simulação computacional por eventos discretos como um método de suporte à aplicação dos conceitos da filosofia LM, já detalhado no item 1.4.2.

Em seguida, para a aplicação prática deste estudo foi necessário coletar os indicadores de produção referentes à área de fusão, os quais foram coletados, mensurados e monitorados pelo pesquisador, no período entre os dias 05 a 20 de abril de 2021, no horário entre 07h30min às 17 horas, dentre eles tem-se:

- a) indicadores para a elaboração dos desenhos do VSM Estado Atual e do VSM Estado Futuro considerando-se os processos das peças de liga de ferro fundido nodular ('N2'): tempo de ciclo; tempo de troca (*setup*); *lead time*; quantidade de operadores; e disponibilidade dos equipamentos (%);
- b) dados para a aplicação do *Kaizen*: indicador de lingote; *payback* (retorno) do quebrador de canal; capacidade de forno de fusão (kg); ferro líquido (kg); e estoques (dias);
- c) dados para a construção do modelo computacional: indicador de performance do processo (2017 a 2020); composição da matéria prima (%); tempos de deslocamento (Disa); tempos de aquecimento final; peso fusão (janeiro de 2019 a julho de 2020), cujos dados foram considerados para os diferentes cenários estabelecidos;
- d) os dados de entrada coletados e modelados foram: os tempos de cargas de sucata por cesto, de ferro gusa e de material de retorno; e os tempos

de fusão da sucata, de ferro gusa e do material de retorno, cujo detalhamento se encontra no item 5.3.5 e está ilustrado na Figura 45.

Para a coleta de dados foram elaboradas também planilhas das informações utilizando-se como suporte o editor de planilhas do *Microsoft Excel*, cujos dados foram obtidos mediante o uso da técnica de observação participante realizada pelo pesquisador na área de fusão da Unidade de Fundição de Porto Alegre/RS.

Na próxima seção estão descritas as técnicas de análise de dados que foram utilizadas para avaliar todas as informações e os dados e os resultados que foram obtidos ao longo do desenvolvimento deste estudo.

3.5 TÉCNICAS DE ANÁLISE DE DADOS

As técnicas de análise dos dados são indispensáveis para que se possa garantir a realização dos métodos de pesquisa e do método de trabalho determinados pelo pesquisador (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR; 2015). Ainda conforme os autores, as técnicas de análise de dados se classificam em: análise de conteúdo; análise de discurso; análise descritiva e análise estatística multivariada.

Para realizar a análise de dados foi utilizada a técnica de análise descritiva dos resultados obtidos com o uso das ferramentas do LM, no caso, mediante a aplicação prática do *Kaizen* e a elaboração dos desenhos do VSM Estado Atual e do VSM Estado Futuro; gráficos e planilhas utilizando-se o *Microsoft Excel* e, também, os dados provenientes da realização da simulação computacional por eventos discretos, cujos dados foram representados por figuras, gráficos, quadros e tabelas e demonstrados no capítulo 5.

De acordo com Reis e Reis (2002), a análise descritiva compreende o processo do estudo dos dados que foram coletados para a organização, o resumo e a descrição dos fatores relevantes de um conjunto de características que foram percebidas ou comparadas considerando-se a relação entre dois ou mais conjuntos. Para as autoras, as ferramentas descritivas que são utilizadas compreendem gráficos, tabelas, medidas de síntese como porcentagens, índices e médias, dentre outros (REIS; REIS, 2002). No próximo capítulo são apresentadas as principais características da empresa e, também, a situação atual dos processos fabris que estão relacionados à área de fusão da Unidade de Fundição da empresa analisada.

4 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA E SITUAÇÃO ATUAL

Neste capítulo é apresentada a empresa Hidro Jet com as suas principais características como fundação e localização, e, também, são descritos os principais aspectos referentes à Unidade de Fundição de Porto Alegre/RS, objeto deste estudo, tais como: a localização; as imagens dos principais produtos; um breve relato de processos e dos equipamentos utilizados; e a capacidade fabril atual.

Na sequência são detalhados os fluxos atuais das operações e dos materiais da Unidade de Fundição, considerando-se o processo de uma liga de ferro fundido com as respectivas etapas do processo fabril e, posterior, análise.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

A empresa aqui analisada foi fundada no ano de 1980, no município de Caxias do Sul, no Estado do Rio Grande do Sul (RS). Atualmente, a Hidro Jet apresenta a sua Matriz na cidade de Feliz/RS, como verificado na Figura 16.

Figura 16 – Imagem aérea da Matriz em Feliz/RS



Fonte: Imagem cedida pela empresa (2021).

A empresa Hidro Jet projeta atualmente soluções globais para atender as necessidades e as demandas dos seus clientes. O objeto de estudo compreende a Unidade de Fundição que está localizada em Porto Alegre, na capital do Rio Grande do Sul, como ilustrada na Figura 17.

Figura 17 – Imagem Unidade de Fundição em Porto Alegre/RS



Fonte: Imagem cedida pela empresa (2021).

Na sistemática atual a Hidro Jet opera nos segmentos de eletroferragens; automotivo; linha eólica; mineração; agricultura; e hidráulica; bem como fornece diversos tipos de válvulas, atendendo as demandas específicas dos clientes e com alto grau de exigência. Nas Figuras 18, 19, 20 e 21 estão demonstrados os principais produtos fabricados na Unidade de Fundição em Porto Alegre/RS.

Figura 18 – Principais produtos da linha de eletroferragens



Fonte: Imagens cedidas pela empresa (2021).

Figura 19 – Principias produtos: linha automotiva



Fonte: Imagens cedidas pela empresa (2021).

Figura 20 – Principias produtos: linha eólica



Fonte: Imagens cedidas pela empresa (2021).

Figura 21 – Válvulas

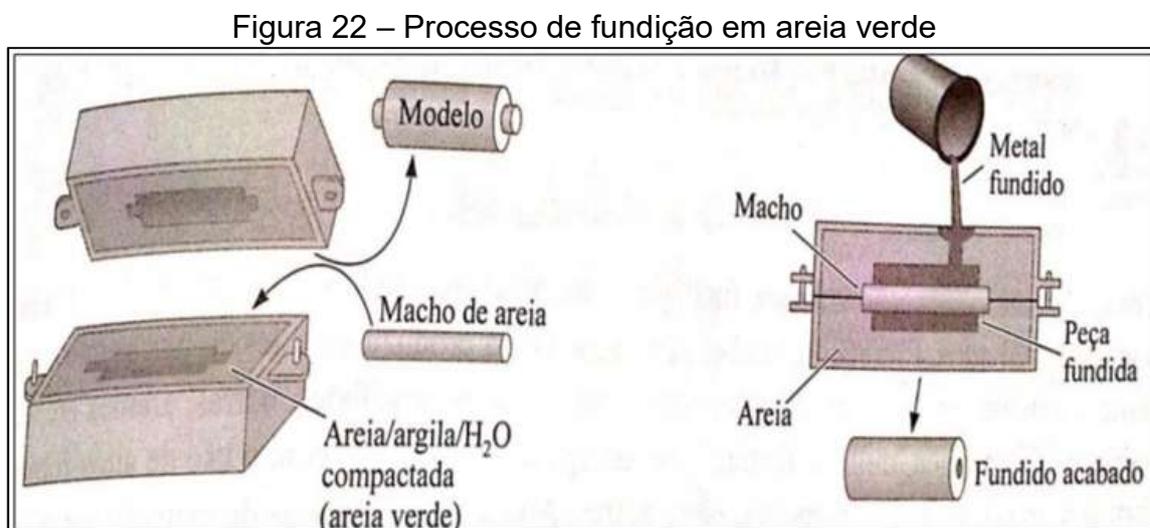


Fonte: Imagens cedidas pela empresa (2021).

A Unidade de Fundição, situada em Porto Alegre/RS, objeto do estudo opera com o processo em areia verde; e para o seu sistema de moldagem é utilizado o equipamento Disa Matic 2110 MK3 e, também, conta com uma infraestrutura completa desde o sistema de areia; equipamentos para a produção de machos com sistema de moldagem *cold box* e macharia *shel*; laboratórios mecânico e metalúrgico; tratamento térmico; jateamento; e rebarbação. A referida Unidade apresenta uma capacidade nominal de mais de 9.000 toneladas/ano, onde todas as etapas do processo de produção são auditadas, propiciando valor agregado com qualidade aos projetos para os seus clientes.

4.2 SITUAÇÃO ATUAL

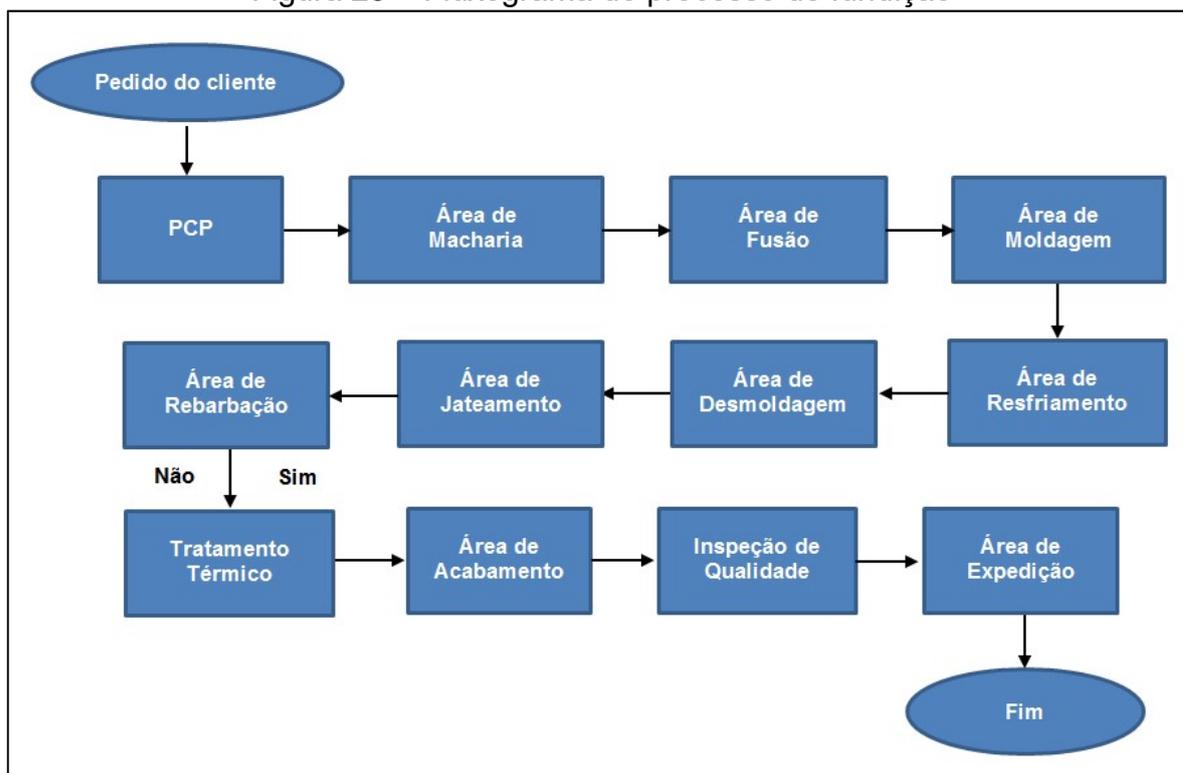
Para um melhor entendimento do fluxo de valor atual é realizada a descrição dos processos fabris de fundição, sendo que é apresentada uma liga de ferro fundido nodular denominada 'N2'. Esta peça é produzida a partir do processo de fundição em areia verde, como exemplificado na Figura 22.



Fonte: Askeland e Phulé (2008, p. 265).

A peça escolhida foi acompanhada em todas as etapas de produção, começando pelo recebimento da solicitação do cliente; passando pelas etapas de aquisição de insumos; de manufatura; de inspeção de qualidade até ao momento da entrega do produto pronto ao cliente. Desse modo foi elaborado o fluxograma das etapas do processo de fundição, como apresentado na Figura 23.

Figura 23 – Fluxograma do processo de fundição



Fonte: Elaborada pelo autor.

Como identificado na Figura 23, o fluxo das informações e o fluxo de materiais iniciam quando o cliente emite o pedido por meio das ordens de compra semanalmente, solicitando a fabricação das peças com a definição do prazo de entrega, que oscila entre 30 ou 45 dias, conforme a necessidade de demanda.

O pedido do cliente é realizado de forma eletrônica, sendo direcionado ao setor do Planejamento e Controle da Produção (PCP), que organiza a produção e realiza a programação conforme a capacidade produtiva da fábrica. A programação da produção tem como objetivo equilibrar a linha de produção de acordo com a liga 'N2' de cada item agrupando os mesmos em sequência, levando em consideração a capacidade do forno e do processo de moldagem. As ordens de produção são emitidas ao setor de moldagem, o qual determina o ritmo da linha de produção.

A segunda operação fabril ocorre na área de macharia mediante confecção dos 'machos', os quais têm a finalidade de formar os vazios, os furos e as reentrâncias na peça fundida. Portanto, o termo 'macho', no setor de fundição, é utilizado para a obtenção das formas na peça fundida, com a finalidade de reduzir as operações, como por exemplo, o tempo no processo de usinagem.

Na Figura 24 está exemplificada a fabricação de machos considerando o sistema de moldagem *cold box*.

Figura 24 – Fabricação de machos no sistema de moldagem *cold box*



Fonte: Imagem cedida pela empresa (2021).

A área de macharia trabalha com o estoque de machos, como forma de garantir a demanda exigida pela área de moldagem e pela área de fusão que é o responsável pela transformação da sucata, do ferro gusa e o do material de retorno em ferro líquido; e na sequência ocorre o processo de vazamento dos moldes na área de moldagem.

A área de moldagem utiliza como principais insumos a areia virgem (sílica); a bentonita que é um elemento de liga que permite estruturar os moldes; e o pó de carvão, o qual proporciona um melhor acabamento superficial à peça fundida.

O estoque de machos é acondicionado próximo às sopradoras de machos, porém devido à necessidade de passar pelo processo de pintura, os mesmos são transportados mediante o uso de empilhadeira por uma distância de 224 metros, entre a ida e a volta ao setor de pintura. O processo de pintura de machos ocorre mediante a aplicação de uma cobertura de tinta (específica) na superfície do macho para oferecer maior resistência e melhor acabamento ao mesmo, durante o processo de vazamento.

Estes machos são utilizados no equipamento de moldar os moldes, sendo que a empresa utiliza na sistemática atual o equipamento denominado Disa Matic 2110 MK3, como demonstrado na Figura 25, sendo que foi abreviado como Disa, termo que é mais utilizado na empresa pelos operadores.

Figura 25 – Máquina de moldar: Disa Matic 2110 MK3



Fonte: Imagem cedida pela empresa (2021).

Na sequência das etapas fabris, os fornos de fusão são os próximos a integrar o processo de fundição, disponibilizando o ferro líquido para o equipamento de moldar, realizando-se a moldagem com o emprego do equipamento Disa já exibido na Figura 25.

Após o vazamento do ferro líquido nos moldes, a peça segue pela área de resfriamento até a área de desmoldagem, passando pela área de jateamento que compreende o processo de limpeza das peças por intermédio da projeção de material abrasivo (esfera de aço) na superfície para uma adequada limpeza após o processo de fundição, como exemplificado na Figura 26.

Figura 26 – Jateamento



Fonte: Imagem cedida pela empresa (2021).

Após a finalização do processo de jateamento as peças seguem para a área de rebarbação, como mostra a Figura 27.

Figura 27 – Peças pós rebarbação (acabamento)



Fonte: Imagem cedida pela empresa (2021).

Acrescenta-se que, alguns itens específicos sofrem o processo de tratamento térmico depois do processo de rebarbação, devido às especificações de cada cliente. Na Figura 28 é apresentado o forno onde é realizado o processo de tratamento térmico que se configura como o fim do processo de fundição na Unidade de Fundição de Porto Alegre/RS.

Figura 28 – Forno para o tratamento térmico



Fonte: Imagem cedida pela empresa (2021).

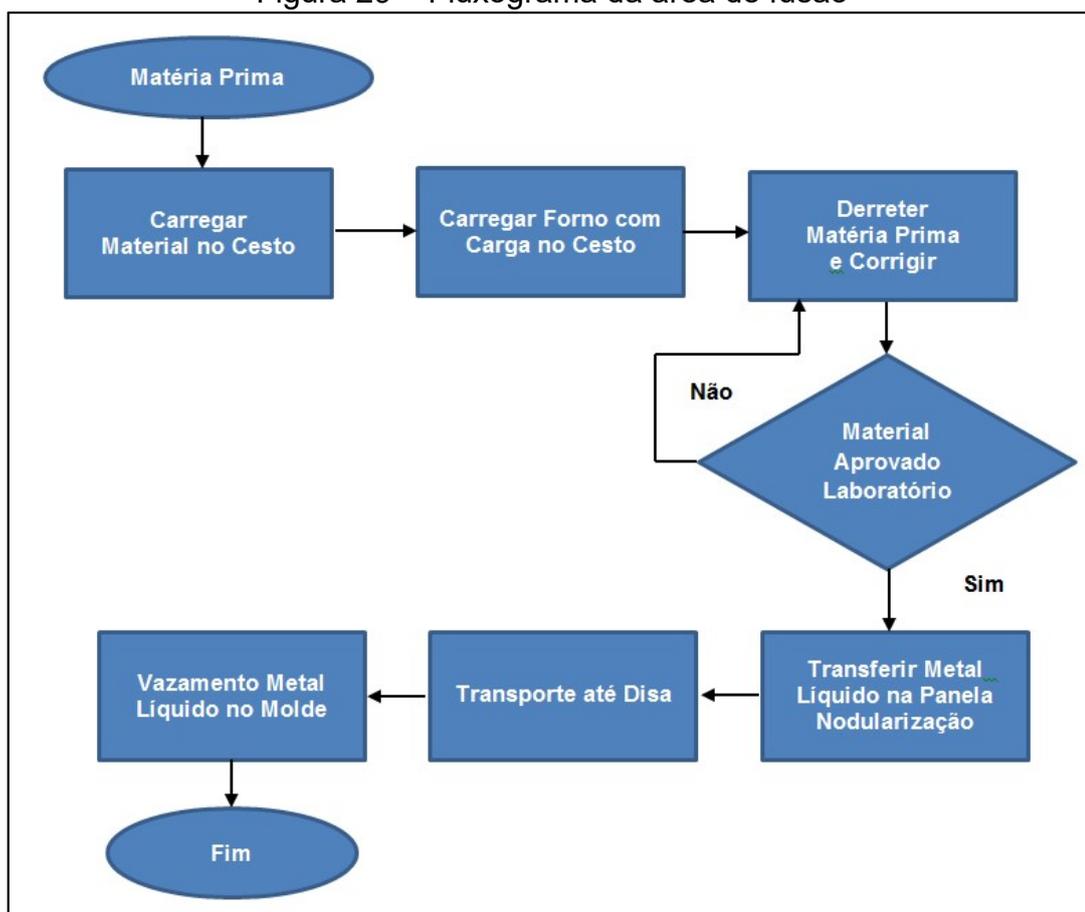
Normalmente, as peças entre a área de rebarbação e o processo de expedição, permanecem acumuladas gerando um estoque em torno de 70 toneladas de peças. Isso é explicado devido ao gargalo verificado na área de rebarbação, pois são operações manuais e que necessitam de mão de obra continuamente, mas muitas vezes apresenta atrasos devido à falta de colaboradores (absenteísmo) e, também, em virtude da rotatividade de pessoal para a função.

Depois dos processos de acabamento e de inspeção de qualidade, as peças são encaminhadas para a área de expedição, para posterior envio até a Matriz, na cidade de Feliz/RS, onde são realizados os processos fabris de usinagem e de galvanização a fogo, antes de serem entregues ao cliente. Para este estudo foi analisada apenas uma parte do processo de fundição, ou seja, foi enfatizada a área de fusão como detalhado na sequência.

4.2.1 Processos da Área de Fusão

Para uma melhor compreensão da situação atual da área de fusão foi elaborado um fluxograma dos seus processos, como apresentado na Figura 29.

Figura 29 – Fluxograma da área de fusão



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como ilustrado na Figura 29, na área de fusão, o processo inicia com a entrada da matéria prima. Na etapa seguinte ocorre o carregamento dessa matéria prima no cesto, como ilustrado na Figura 30.

Figura 30 – Carregamento de matéria prima no cesto



Fonte: Imagem cedida pela empresa (2021).

A etapa seguinte consiste em carregar a matéria prima do cesto para o forno de fusão, como demonstrado na Figura 31, para que ocorra o derretimento da matéria prima. Após o derretimento do material, se aprovado pelo laboratório é encaminhado para a próxima etapa.

Figura 31 – Carregamento da carga do cesto para o forno de fusão



Fonte: Imagem cedida pela empresa (2021).

Nos casos em que o material não estiver em conformidade é encaminhado para ser corrigido, sendo que na correção são adicionados elementos de liga e em alguns casos, mas raramente descarta-se para sucata. Após a correção retorna para ser avaliado no laboratório e se aprovado segue para a etapa seguinte.

Os fornos de fusão trabalham com estoques de matéria prima (sucata e ferro gusa) para atender 30 dias de demanda, ocupando um grande espaço dentro da fábrica, devido à necessidade de estar em um ambiente seco, garantindo a qualidade e a segurança aos operadores dos fornos. Além da sucata e do ferro

gusa, outros elementos de liga se fazem necessários para a fabricação das peças em ferro fundido tais como: ferro silício, grafite granulado, cobre, manganês, dentre outros. Estes insumos também são mantidos em estoque, em média por 10 dias, devido aos prazos de entrega estipulados pelos clientes.

Com a finalização da etapa do carregamento no cesto no forno de fusão, material dissolvido e aprovado pelo laboratório é realizado o carregamento do metal líquido para a panela de modularização, como demonstrado na Figura 32.

Figura 32 – Carregamento do metal líquido na panela de nodularização



Fonte: Imagem cedida pela empresa (2021).

Após o carregamento do metal líquido para a panela de modularização é realizado o transporte desse material utilizando-se uma talha até o equipamento Disa, como ilustrado na Figura 33.

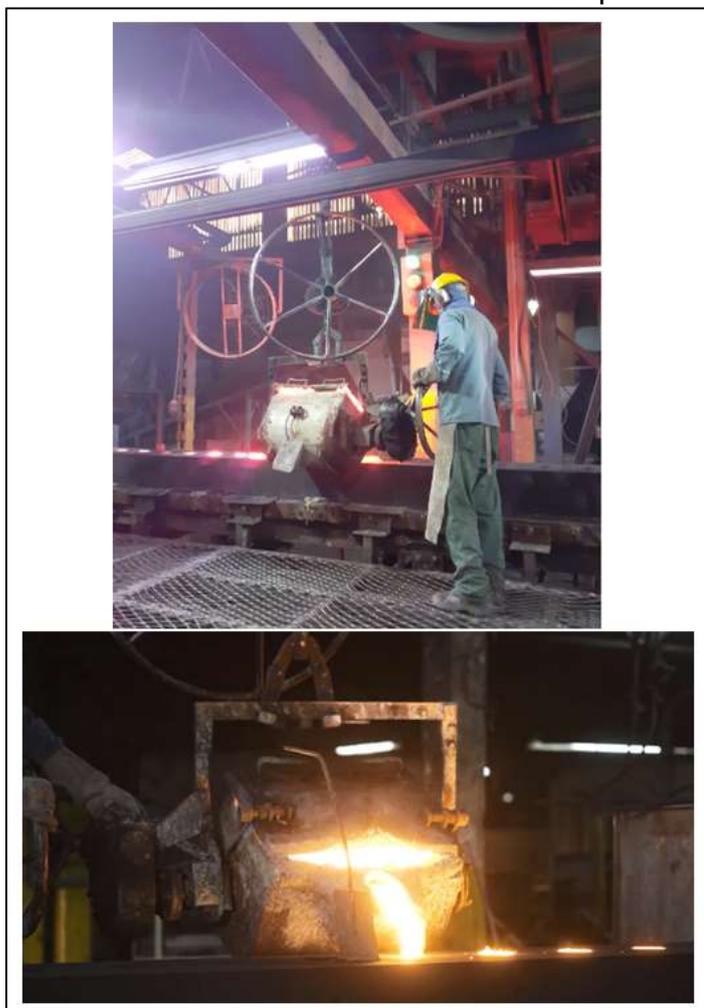
Figura 33 – Transporte do metal com talha até a Disa



Fonte: Imagem cedida pela empresa (2021).

Com a chegada da carga do metal líquido no equipamento Disa é realizada a etapa de vazamento dos moldes, como exibido nas imagens da Figura 34.

Figura 34 – Processo de vazamento do metal líquido no molde



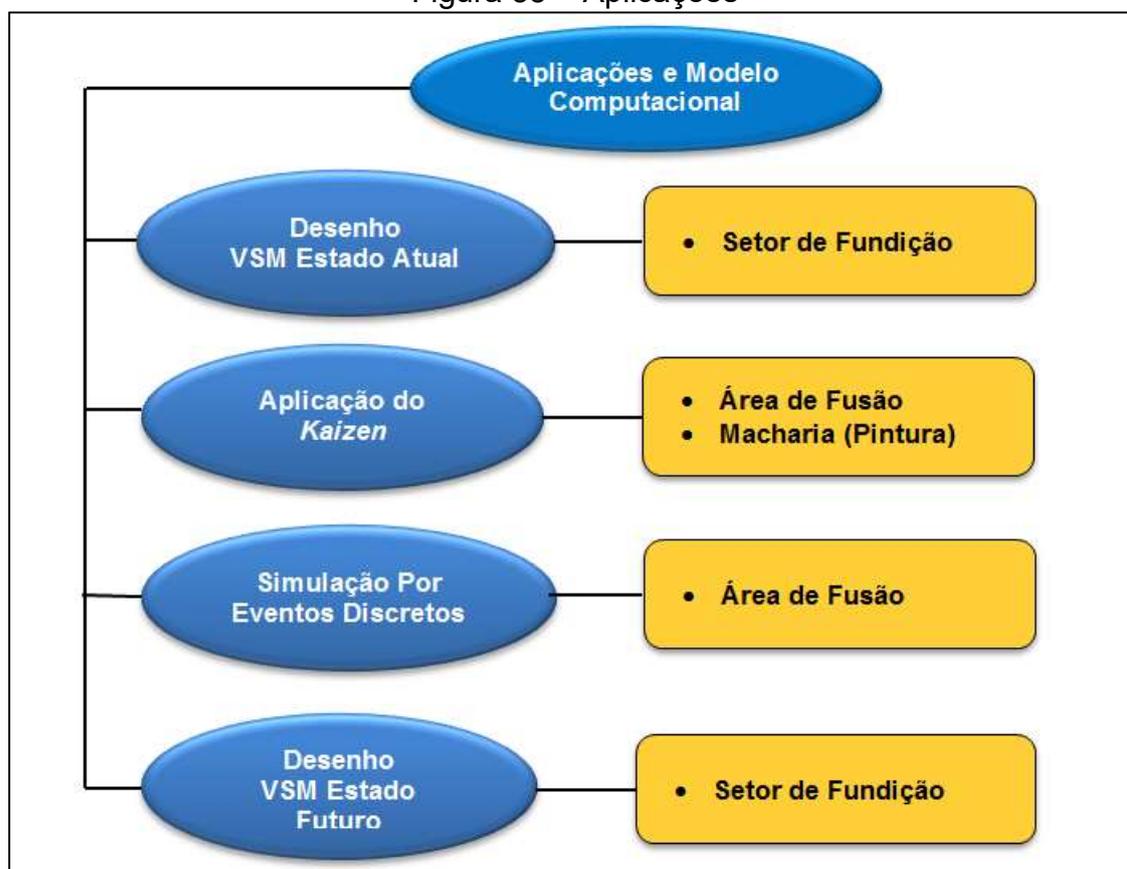
Fonte: Imagens cedidas pela empresa (2021).

No próximo capítulo é detalhada a aplicação prática das ferramentas da filosofia LM, com ênfase no VSM e no *Kaizen* e; também são apresentadas as etapas da construção do modelo computacional utilizando-se a simulação por eventos discretos como um suporte às referidas ferramentas do LM.

5 APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS KAIZEN E VSM DO LM E A SIMULAÇÃO

Neste capítulo é detalhada a aplicação prática das ferramentas da filosofia LM na Unidade de Fundição de Porto Alegre/RS, sendo que para este estudo foram aplicadas duas ferramentas: o VSM e o *Kaizen* e são apresentadas as etapas do método da simulação por eventos discretos como suporte às referidas ferramentas, como demonstra a Figura 35.

Figura 35 – Aplicações

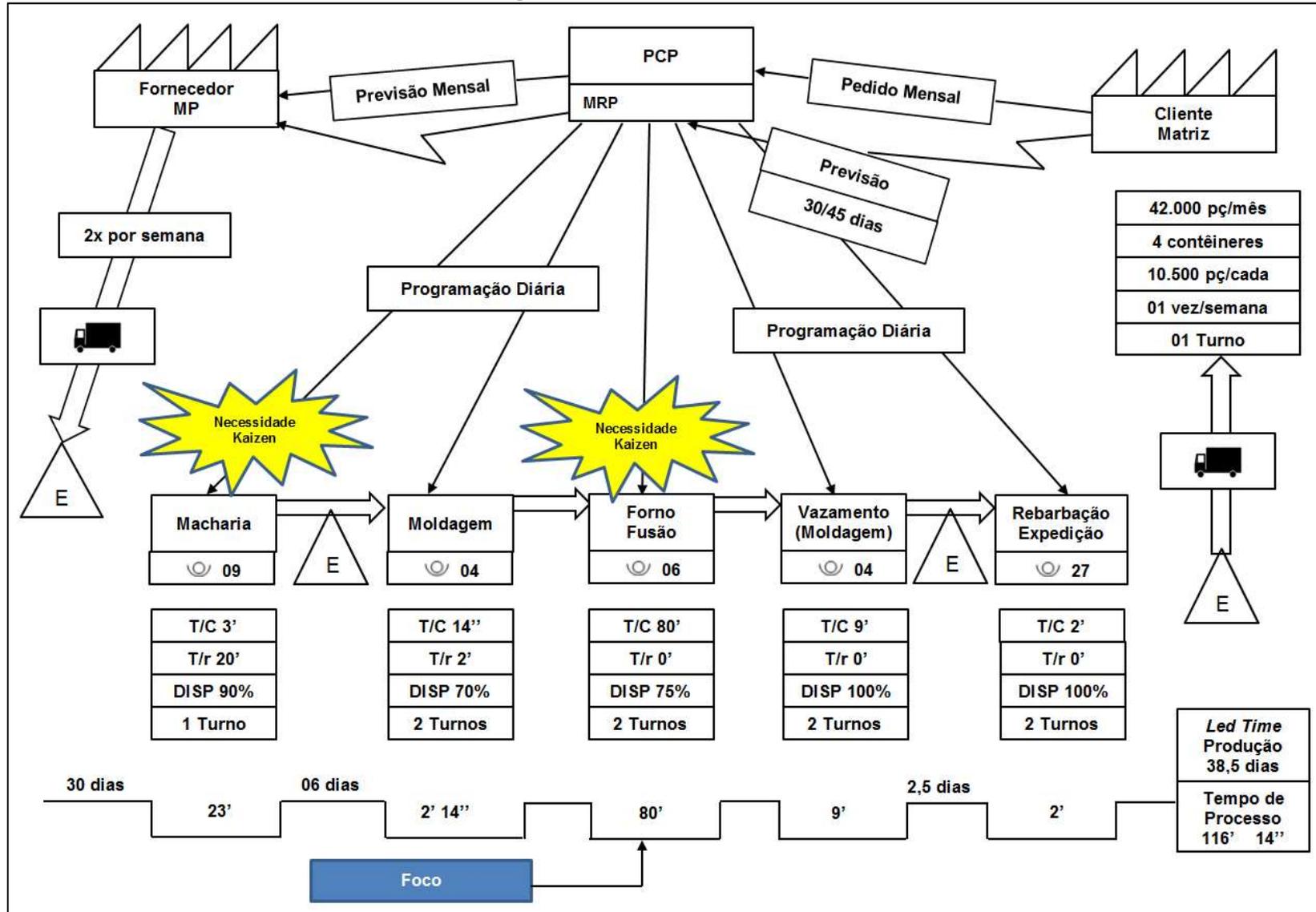


Fonte: Elaborada pelo autor.

5.1 VSM ESTADO ATUAL

Com a realização da análise dos processos fabris das peças de liga de ferro fundido nodular ('N2'), mediante o fluxo de informações e o fluxo de materiais já detalhados no capítulo 4, foi possível elaborar o desenho do VSM Estado Atual, como demonstrado na Figura 36.

Figura 36 – VSM Estado Atual



Fonte: Elaborada pelo autor.

Para uma melhor compreensão do VSM Estado Atual apresentado na Figura 36 faz-se necessário colocar o significado de algumas siglas e abreviaturas, como listadas na sequência:

- a) fornecedor MP: fornecedor de matéria prima;
- b) PCP: Planejamento e Controle da Produção;
- c) MRP: do inglês *Material Requirement Planning* (Planejamento das Necessidades de Materiais);
- d) 2 x por semana: duas vezes por semana;
- e) T/C: tempo de ciclo do equipamento: tempo para processar uma peça, ou seja, é a diferença de tempo entre as peças ou as atividades que saem do mesmo processo;
- f) T/r: tempo de troca (*setup* = configuração): período de tempo para realizar o *setup* de uma máquina ou linha de produção;
- g) DISP: é o período real em que a máquina e/ou equipamento fica disponível para a produção;
- h) E: estoque;
- i) pç; peça;
- j) *lead time* (tempo de espera): compreende o período entre o início de uma atividade fabril, portanto indica o tempo entre o processo do pedido do cliente até a entrega do produto pronto ao cliente.

Como verificado no desenho do VSM Estado Atual mostrado na Figura 36, conseguiu-se obter uma ideia geral de como se comporta o fluxo de informações e o fluxo de materiais desde a chegada da matéria prima no setor de fundição da empresa analisada até a entrega do produto acabado ao cliente

No VSM Estado Atual, a previsão das compras de matéria prima é realizada mensalmente pelo PCP e o recebimento externo (fornecedor) dessa matéria prima ocorre duas vezes por semana, e quando recebida é encaminhada para o estoque da empresa.

O pedido é solicitado pelo cliente mensalmente com a previsão de entrega que oscila entre 30 a 45 dias, cujos procedimentos são realizados via sistema informatizado. O PCP realiza a programação diária para os processos fabris da macharia, fusão, moldagem e rebarbação, a fim de garantir o cronograma de entrega aos clientes.

Como detalhado anteriormente, na sistemática atual da Unidade de Fundição da Hidro Jet os processos fabris desenvolvidos na referida Unidade são: macharia; fusão; moldagem; resfriamento; desmoldagem; jateamento; rebarbação; tratamento térmico ou não; acabamento; inspeção de qualidade; e apoio da área de expedição.

A Tabela 3 demonstra as principais características do processo, em que por intermédio do estudo destes dados buscou-se ações para melhorar o desempenho na entrega de ferro líquido para o equipamento Disa.

Tabela 3 – Principais características dos processos fabris

Itens	Macharia	Moldagem	Forno Fusão	Vazamento (Moldagem)	Rebarbação Expedição
Operadores	09	04	06	04	27
T/C	3'	14''	80'	9'	2'
T/r	20'	2'	0'	0'	0'
DISP	90%	70%	75%	100%	100%
Turno	1	2	2	2	2

Fonte: Elaborada pelo autor.

Ao observar o desenho do VSM Estado Atual da Unidade de Fundição é possível identificar um *lead time* total de produção de 38,5 dias com um tempo de processo total de 116' 14". Com o tempo de processo total observado, a empresa não está atendendo à demanda total do cliente em tempo hábil. Na sistemática corrente de fabricação, a entrega ao cliente está em aproximadamente 42.000 peças/mês em quatro contêineres com 10.500 peças cada, uma vez por semana em um turno.

Com o auxílio do desenho do VSM Estado Atual, já identificado na Figura 36 e mediante a análise dos fluxos de informações e de materiais foi possível identificar os principais desperdícios e as situações problemáticas que estão ocorrendo na área de fusão da Unidade de Fundição, os quais estão listados a seguir:

- a) falta de controle dos lingotes, pois apresenta uma sobra de ferro no vazamento, representando na sistemática atual 2,4% sobre o ferro líquido;
- b) espera no forno de fusão devido ao material de retorno não estar picado, assim o mesmo não encaixa perfeitamente no forno, elevando o tempo de fusão e os gastos com energia elétrica;
- c) pé de banho, material que fica no fundo do forno imaginando-se que este

metal acelera o tempo de fusão da carga seguinte devido a já estar derretido. A capacidade do forno se configura em 2.000 kg, porém ficam 200 kg no forno de fusão considerado como uma sobra para ganhar tempo no derretimento da nova carga;

- d) o transporte das peças dos machos mediante o uso de empilhadeira por uma distância de 224 metros entre o trajeto de ida e de volta para o setor da pintura;
- e) falta de manutenção preventiva nos fornos de fusão;
- f) existência de estoque de matéria prima e de machos para oferecer garantias às demandas dos clientes.

Ao observar os desperdícios e as situações problemáticas apresentadas na sistemática atual da Unidade de Fundição de Porto Alegre/RS, pode-se afirmar que vem ao encontro do que está previsto na filosofia LM. O que remete a construção de um modelo computacional que possa auxiliar na melhoria dos eventos identificados.

A meta passa a ser a busca pelo aumento da produtividade da fábrica por meio das aplicações das ferramentas do *Kaizen* e do VSM pertencentes à filosofia LM e contando com o suporte da simulação por eventos discretos como detalhado nas próximas seções.

5.2 APLICAÇÃO DO *KAIZEN*: AÇÕES E RESULTADOS

Para complementar a construção do modelo computacional e conforme os resultados obtidos, optou-se em realizar ações de melhorias aplicando-se o *Kaizen*, no intuito de reduzir os desperdícios e as situações problemáticas listadas no capítulo 4. As ações desenvolvidas e os resultados obtidos estão detalhados na sequência; e o cronograma das ações de melhoria com a aplicação do *Kaizen* encontra-se no Apêndice B.

5.2.1 Controle do Lingote

Um dos problemas existentes no processo fabril de fusão se caracteriza pela falta de controle dos lingotes, o que implica na sobra de ferro no processo fabril de vazamento, e que representa na situação atual, um indicador de 2,4% sobre o ferro líquido, é o que mostra a Figura 37.

Figura 37 – Lingote: sobras de metal



Fonte: Imagens cedidas pela empresa (2021).

Com a realização da ação de melhoria que se caracterizou pelo controle do lingote observou-se uma redução no indicador que estava em 2,4% passando para 1,56%. Na Tabela 4 está detalhado o resultado do indicador lingote referente ao mês de abril de 2021, após a aplicação da ação de melhoria desenvolvida com a utilização do *Kaizen*.

Tabela 4 – Indicador lingote (abril/2021)

Turno	Soma Programado Kg	Soma Realizado Kg	Média % Programado x Real	Soma Lingote Kg	Média % Lingote
1	336.729,21	3,52	89,66%	4.213,27	1,62%
2	336.546,34	4,97	75,45%	3.656,82	1,49%
Total Geral	673.275,55	556.898,49	82,56%	7.870,09	1,56%

Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Tabela 5 são demonstrados os resultados do controle de lingote após a aplicação do *Kaizen*, indicando os meses e os anos analisados; a quantidade de ferro líquido em quilo; a quantidade de lingote na sistemática atual; a quantidade de lingote após a melhoria e a diferença dos resultados.

Tabela 5 – Resultados do controle de lingote

Mês	Ano	Ferro Líquido (kg)	Lingote 2,4 % (kg)	Lingote 1,56% (kg)	Diferença (kg)
Novembro	2020	973.889,00	23.373,34	15.192,67	8.180,67
Dezembro	2020	556.898,00	13.365,55	8.687,61	4.677,94
Janeiro	2021	931.607,00	22.358,57	14.533,07	7.825,50
Fevereiro	2021	887.259,00	21.294,22	13.841,24	7.452,98
Março	2021	1.099.881,00	26.397,14	17.158,14	9.239,00
Total		4.449.534,00	106.788,82	69.412,73	37.376,09

Fonte: Elaborada pelo autor.

Verifica-se na Tabela 5 que, a ação de melhoria com a aplicação do *Kaizen* representou uma diferença em torno de 37.376,09 kg de ferro a mais para o sistema em cinco meses, considerando-se como período de análise, os meses de novembro e dezembro de 2020 e os meses de janeiro a março de 2021.

5.2.2 Aquisição do Equipamento Quebrador de Canal

A segunda oportunidade de melhoria evidenciada no estudo foi a verificação da existência da espera no forno de fusão devido ao material de retorno não estar picado e/ou compactado, o que prejudica o encaixe perfeito no forno de fusão acarretando na elevação do tempo do processo de fusão e gerando gastos com energia elétrica. A Figura 38 ilustra a situação no Cenário 1 base, onde o material de retorno não está picado e/ou compactado, sendo que o canal inteiro dificulta o manuseio e eleva o tempo de fusão.

Figura 38 – Material de retorno não compactado



Fonte: Imagem cedida pela empresa (2021).

Para eliminar o referido problema foi adquirido o equipamento denominado quebrador de canal, no mês de abril de 2021, como ilustrado na Figura 39, para picar e/ou compactar o material de retorno obtendo-se uma carga mais compacta, como mostrado na Figura 40, o que permite a redução do tempo de fusão e, conseqüentemente, os gastos com energia elétrica.

Figura 39 – Equipamento quebrador de canal



Fonte: Imagem cedida pela empresa (2021).

Figura 40 – Utilização do quebrador de canal para material de retorno



Fonte: Imagens cedidas pela empresa (2021).

Na Tabela 6 está demonstrado o retorno do investimento referente à aquisição do equipamento quebrador de canal.

Tabela 6 – Retorno do Investimento

Itens	Valores
Investimento	R\$ 425.000,00
Valor médio energia elétrica com impostos, no período de junho a agosto de 2020.	R\$ 534.660,66
Fusão representa 70% do custo de energia elétrica das fundições	$R\$ 534.660,66 \times 0,7 = R\$ 374.262,46$
Redução na conta de energia elétrica com a adição do equipamento adquirido	8%
Valor redução de energia elétrica mensal	$R\$ 374.262,46 \times 0,08 = R\$ 29.940,96$
Valor redução de energia elétrica anual	$R\$ 29.940,96 \times 12 \text{ meses} = R\$ 359.280,30$
Payback (retorno)	$R\$ 425.000,00 \div R\$ 29.940,96 = 14,195 \text{ meses}$

Considerando-se apenas o ganho em energia elétrica.

Fonte: Elaborada pelo autor.

O quebrador de canal foi adquirido e instalado no mês de abril de 2021, porém ainda se faz necessário alguns ajustes quanto ao descarregamento do material de retorno picado e, também, no que se refere ao envio da areia que sai do material para o sistema. Após estas ações para que o sistema rode a pleno durante os dois turnos de produção, a estimativa é que o equipamento esteja operando com a sua capacidade plena no mês de julho de 2021.

Contando a partir desta data, o retorno do investimento está previsto para ser finalizado em setembro de 2022. Além da redução nos gastos com energia elétrica é esperada a redução no tempo de fusão, assim como a diminuição na geração de escória devido a areia que fica no material de retorno sem a passagem pelo quebrador de canal.

5.2.3 Eliminação do Pé de Banho no Forno

Na situação atual da área de fusão outro problema verificado consiste no pé de banho, ou seja, é deixado um material no fundo do forno para acelerar o tempo de fusão da carga seguinte, pois tal material já se encontra derretido.

Após a realização dos trabalhos da aplicação do *Kaizen* levantou-se a possibilidade da retirada do pé de banho nos cadinhos (fornos) da fusão. Para isso foram realizados alguns testes para a retirada de tempo, no intuito de avaliar o impacto de não trabalhar com o pé de banho no tempo total de fusão. Esta ação foi

implementada no mês de março de 2021. Na Tabela 7 são apresentados os resultados obtidos com a ação de melhoria desenvolvida com a aplicação do *Kaizen*.

Tabela 7 – Resultados da eliminação do pé de banho no forno

Itens	Com Pé de Banho (kg)	Sem Pé de Banho (kg)
Capacidade de Forno (kg)	2.000,00	2.000,00
Capacidade Forno/Dia (quantidade)	26	26
Ferro Líquido (kg)	1.800,00	2.000,00
Ferro Líquido/Dia (kg)	46.800,00	52.000,00
Ferro Líquido/Mês (kg)	936.000,00	1.040.000,00
Diferença/Mês (kg)	1.040.000,00 - 936.000,00 =	104.000,00
Diferença Ferro Líquido	-	10%

Fonte: Elaborada pelo autor.

Com os resultados obtidos evidenciou-se que o tempo de fusão apresentou um pequeno aumento, porém menos significativo se levado em consideração o ganho em ferro líquido/mês que passou de 936 toneladas para 1.040 toneladas gerando um aumento de 10% na produção, como identificado na Tabela 7.

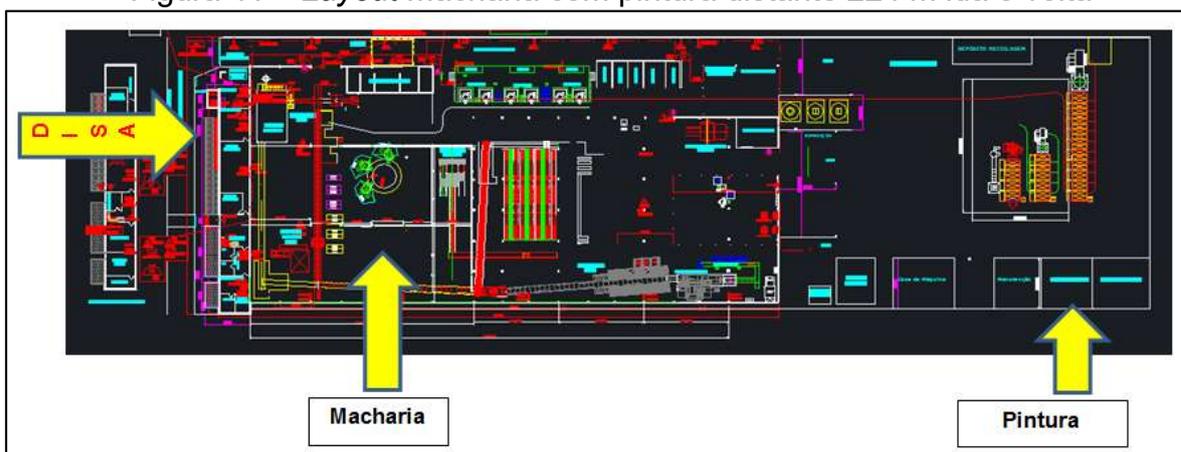
5.2.4 Adequação de *Layout*

Na sistemática atual é realizada a movimentação das peças ‘machos’ utilizando-se o equipamento de empilhadeira, a qual percorre uma trajetória de 224 metros para que seja realizada a entrega das referidas peças do setor de macharia para o setor de pintura.

A ação de melhoria implementada foi a realização da aproximação do setor de pintura com o equipamento da sopradora de machos, o que permitiu a redução da movimentação de peças em 224 metros para 8 metros em direção ao equipamento de moldar moldes (Disa).

Na Figura 41 é demonstrado o *layout* da macharia antes da melhoria, com a pintura distante em 224 metros ida e volta; e a Figura 42 apresenta o *layout* da macharia após a aproximação com a pintura com a aplicação do *Kaizen*.

Figura 41 – *Layout* macharia com pintura distante 224 m ida e volta



Fonte: Imagem cedida pela empresa (2021).

Figura 42 – *Layout* macharia após aproximar pintura



Fonte: Imagem cedida pela empresa (2021).

5.2.5 Cronograma de Manutenção Preventiva e Redução de Estoques

Na situação atual não é realizada a manutenção preventiva nos fornos da área de fusão. A ação de melhoria sugerida compreende a definição de um cronograma trimestral de manutenção preventiva para todos os fornos da área de fusão. A ação de melhoria citada está prevista para ocorrer em 30 e junho de 2021 mediante organização da agenda com o setor fabril.

Na sistemática atual existe um volume de estoque de matéria prima de sucata e de peças na área de macharia ('machos') para atender as demandas dos clientes e para permitir a entrega das peças no prazo combinado com os clientes.

A ação de melhoria proposta consiste em reduzir os estoques de sucata dos atuais 30 dias para 15 dias, e, também, reduzir os estoques da área macharia de 6

dias para 03 dias. A ação de melhoria indicada está prevista para ocorrer em 31 de julho de 2021.

Os avanços do estudo até aqui que podem ser evidenciados, consiste no desenho do VSM Estado Atual que permitiu o entendimento do fluxo do processo de fundição. Além disso, foi possível a identificação das etapas que agregam ou retiram valor ao produto, o que oportunizou a proposição de melhorias com o auxílio da aplicação do *Kaizen* determinando os possíveis cenários a serem validados por meio da simulação por eventos discretos.

Uma das limitações identificadas por meio do desenho do VSM Estado Atual e pela aplicação do *Kaizen* foi que a área de fusão se configura como uma restrição (gargalo) no processo da fundição, devido ao elevado tempo entre os processos de carregar e derreter a matéria prima no forno de fusão.

Neste sentido, o uso da simulação por eventos discretos permite estudar as dinâmicas e os efeitos de um determinado processo, inúmeros cenários podem ser criados e as suas respostas averiguadas, no intuito de tomar a melhor decisão acerca da restrição encontrada. Então, na próxima seção é detalhada a construção do modelo computacional utilizando-se a simulação por eventos discretos, para avaliar os possíveis cenários como o objetivo de determinar qual o melhor cenário para desenvolver ações necessárias na busca pelos melhores resultados.

5.3 CONSTRUÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL

O modelo de simulação computacional por eventos discretos, aqui construído, se torna qualificado, pois representa o sistema atual e o futuro da área de fusão em conjunto com os resultados obtidos mediante a elaboração do desenho do VSM Estado Atual, já ilustrado na Figura 36, para a identificação da atividades que agregam ou não valor ao processo e foi realizada a aplicação do *Kaizen* para que no VSM Estado Futuro, os desperdícios fossem identificados de maneira mais assertiva e segura, o que auxiliará na tomada de decisões na Unidade de Fundição analisada.

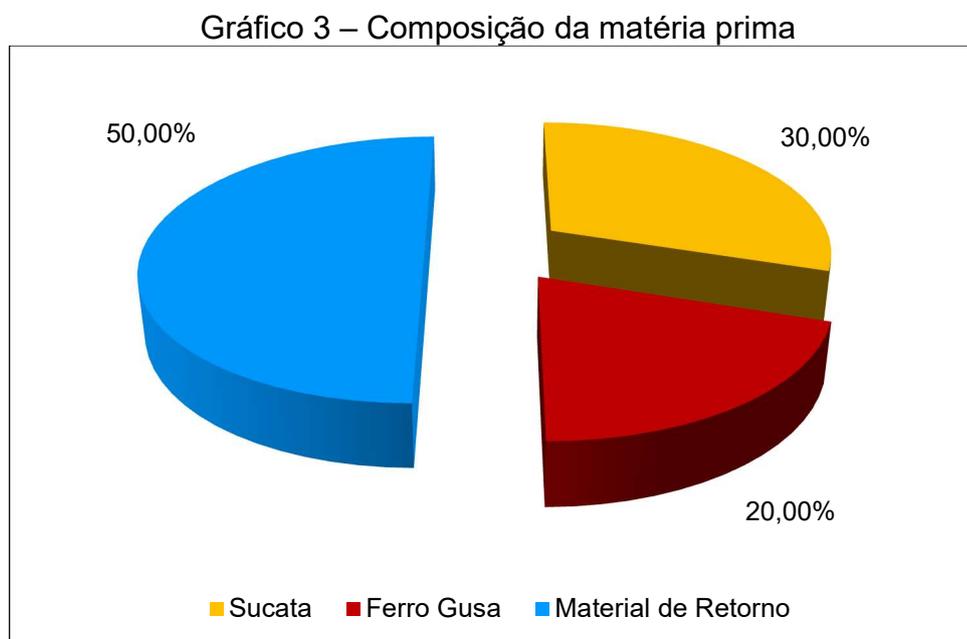
Neste sentido, esta seção tem como objetivo a construção do modelo computacional com as suas respectivas etapas, indicando primeiramente as principais características do sistema analisado para situar o contexto do estudo.

Após a apresentação das características do sistema analisado são detalhadas na sequência as demais etapas que foram realizadas para a construção do modelo

computacional, são elas: definir o problema e os objetivos; formular e planejar o modelo conceitual e validar; coletar e modelar os dados de entrada; desenvolver o modelo computacional; verificar e validar o modelo computacional; experimentar e analisar os cenários; analisar os resultados do modelo computacional; apresentar o modelo computacional que foi criado e; implementar o modelo computacional criado.

5.3.1 Sistema Analisado

O sistema analisado neste estudo compreende o processo fabril de fusão que apresenta em seu início a chegada das matérias primas, que são entregues pelo fornecedor, conforme a composição demonstrada no Gráfico 3.



O primeiro produto a entrar no forno de fusão é a sucata representando 30% da matéria prima. A sucata é alimentada por cestas de 200 kg seguindo pelo processo de fusão e este processo é repetido até que se alcance 600 kg de sucata fundida. Em seguida, os 400 kg de ferro gusa são inseridos no forno de fusão e o material é incorporado e derretido. O ferro gusa compreende em torno de 20% em relação à matéria prima como verificado no Gráfico 3. Após este passo ocorre a carga e a fusão do material de retorno, em duas etapas de 500 kg, o que equivale a 50% da matéria prima.

O material de retorno, caso não esteja compactado dispense de um tempo de fusão maior, e depois do seu derretimento é iniciado o aquecimento final e na sequência a panela é transportada por uma talha (como ilustrado na Figura 43) mediante uma distância de 54 metros e o produto é disponibilizado na máquina de moldagem em areia, Disa, finalizando o sistema de moldagem.

Figura 43 – Trajeto da talha até a Disa com panela de nodularização



Fonte: Imagem cedida pela empresa (2021).

O processo de fusão possui uma diretiva operacional denominada 'pé de banho'. Esta diretiva dispõe que se mantenha no forno de fusão 20% da massa fundida, com o objetivo de minimizar o tempo total de fusão.

5.3.2 Definição do Problema

A simulação computacional por eventos discretos auxilia nas tomadas de decisões indicadas e, também, atua em conjunto com a aplicação do *Kaizen*, já detalhada na seção 5.2. Muitas vezes para se testar algum cenário, por exemplo, aumento de produção, é necessário interromper a produção, o que exige tempo e gera custos devido à parada na linha a ser testada.

A fim de evitar as paradas na área de fusão, desprender tempo e recursos, e, portanto, ser mais assertivo nas tomadas de ação, foi utilizado método da simulação computacional por eventos discretos como uma forma de otimizar os resultados. Para isso foram testados os cenários para auxiliar na execução e na aplicação do *Kaizen*, sem interromper o processo fabril da área de fusão, ou seja, a aplicação do *Kaizen* e a modelagem da simulação computacional foram trabalhados ao mesmo tempo e/ou conjunto evitando paradas no processo fabril da área de fusão.

Para tanto, foram considerados os tempos de fusão e as paradas atuais do equipamento, os quais têm por finalidade determinar o ritmo da fábrica na Unidade de Fundição analisada. Neste sentido, a construção do modelo computacional irá responder ao seguinte questionamento: Como elevar a produtividade na área de fusão de uma empresa de fundição à luz do LM com o suporte da simulação por eventos discretos? (descrita também na seção 1.2).

5.3.3 Definição dos Objetivos

Como já citado no item 1.3.1, o objetivo geral do estudo consiste em identificar como elevar a produtividade na área de fusão de uma empresa de fundição à luz do LM com o suporte da simulação por eventos discretos.

Para alcançar o objetivo geral proposto foram definidos os objetivos específicos no item 1.3.2. Desse modo, para alcançar tais objetivos, inicialmente foram identificados os principais desperdícios existentes no ambiente analisado, desenhando-se o VSM Estado Atual, já apresentado na seção 5.1. Em seguida foram propostas as ações quanto à redução dos desperdícios utilizando-se o *Kaizen* conforme demonstrado na seção 5.2.

Na sequência foi realizada a avaliação dos possíveis cenários para a obtenção de ganhos de produtividade na área de fusão com o emprego da simulação por eventos discretos e com a realização da simulação computacional foi possível elaborar o desenho do VSM Estado Futuro.

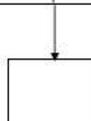
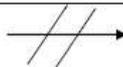
Neste sentido, a simulação computacional por eventos discretos para este trabalho foi utilizada com o intuito de estudar o comportamento do sistema de fusão com a finalidade de verificar e elevar a capacidade de entrega de ferro líquido, reduzindo-se as paradas do equipamento de moldagem (Disa), na linha de vazamento devido à falta de ferro líquido por parte do processo fabril da fusão.

5.3.4 Formulação e Planejamento do Modelo Conceitual

Para a construção de modelos conceituais é necessária uma metodologia de mapeamento de processos capaz de representar as relações dos componentes do sistema. Neste trabalho optou-se por utilizar a modelagem IDEF-SIM que foi desenvolvida especificamente para a finalidade da modelagem de simulação por eventos discretos, considerando-se o estudo elaborado por Leal, Almeida e Montevechi (2008).

Os elementos, a simbologia e a técnica da modelagem IDEF-SIM estão apresentados na Figura 44, os quais foram utilizados para a elaboração do modelo conceitual deste estudo com base em Leal, Almeida e Montevechi (2008).

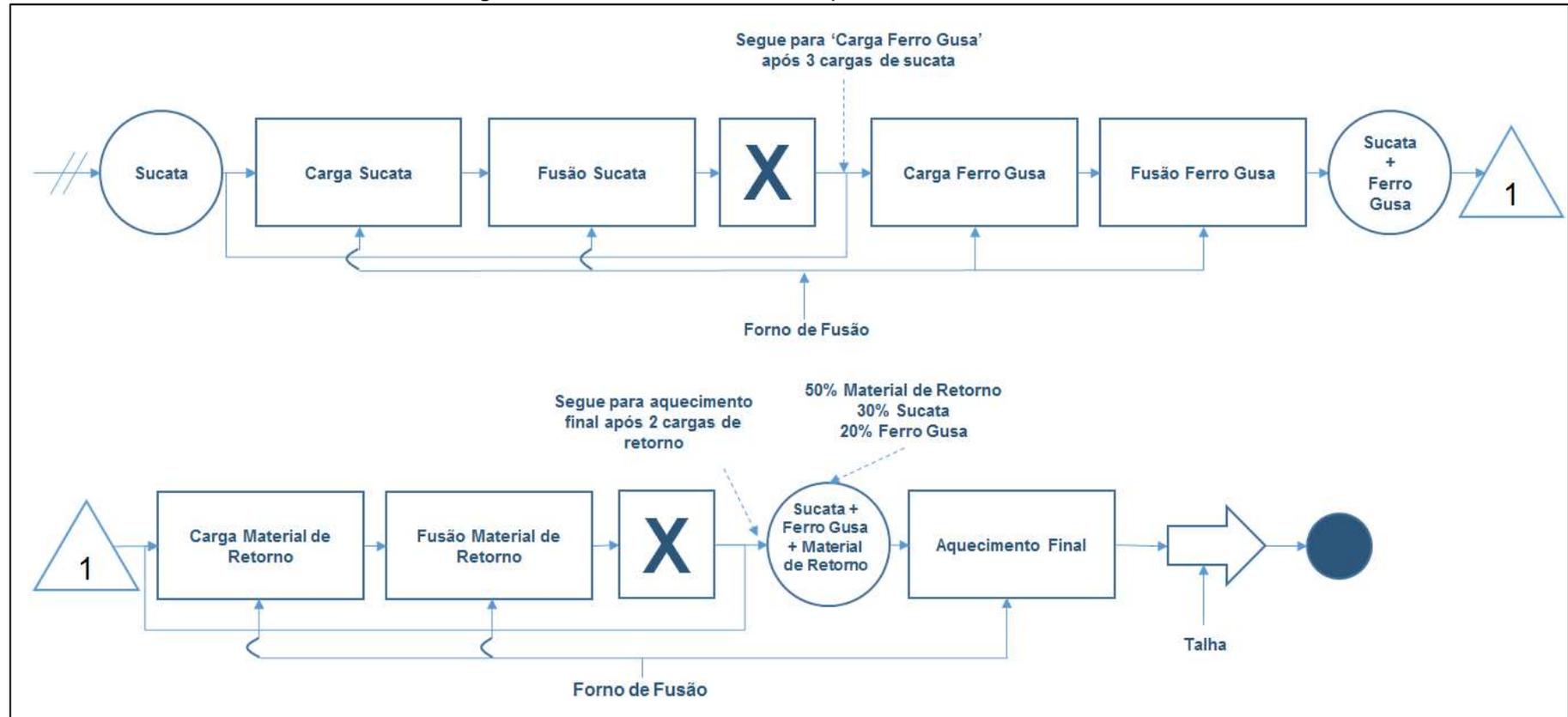
Figura 44 – Simbologia da modelagem IDEF-SIM

Elementos	Simbologia	Técnica de origem	
Entidade		IDEF3 (modo descrição das transições)	
Funções		IDEF0	
Fluxo da entidade		IDEF0 e IDEF3	
Recursos		IDEF0	
Controles		IDEF0	
Regras para fluxos paralelos e/ou alternativos	 &	Regra E	IDEF3
	 X	Regra OU	
	 O	Regra E/OU	
Movimentação		Fluxograma	
Informação explicativa		IDEF0 e IDEF3	
Fluxo de entrada no sistema modelado			
Ponto final do sistema			
Conexão com outra figura			

Fonte: Leal, Almeida e Montevechi (2008, p. 2.507).

Ao aplicar a modelagem apresentada na Figura 44, para o sistema de fusão foi possível alcançar e desenvolver o modelo conceitual para o presente trabalho, conforme detalhado na Figura 45.

Figura 45 – Modelo conceitual para o sistema de fusão



Fonte: Elaborada pelo autor.

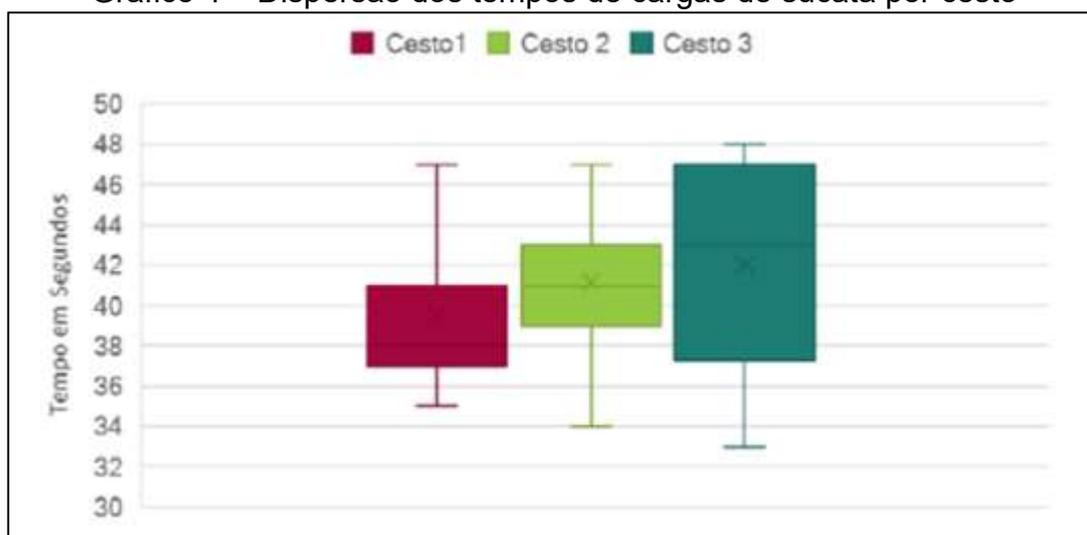
5.3.5 Coleta e Modelagem dos Dados de Entrada

Para a construção do modelo computacional, os dados de entrada coletados e modelados foram: a carga e a fusão da sucata; a carga e a fusão do ferro gusa; a carga e a fusão do material de retorno; e foram considerados também o aquecimento final e o transporte das peças até o equipamento Disa, como detalhado nos próximos subitens.

5.3.5.1 Carga da Sucata

Neste estudo foram analisados 1.260 registros para a etapa de carga da sucata e ao segmentar os dados da carga de sucata em suas etapas foi obtida a seguinte distribuição de tempos para cada cesto, como demonstrado no Gráfico 4.

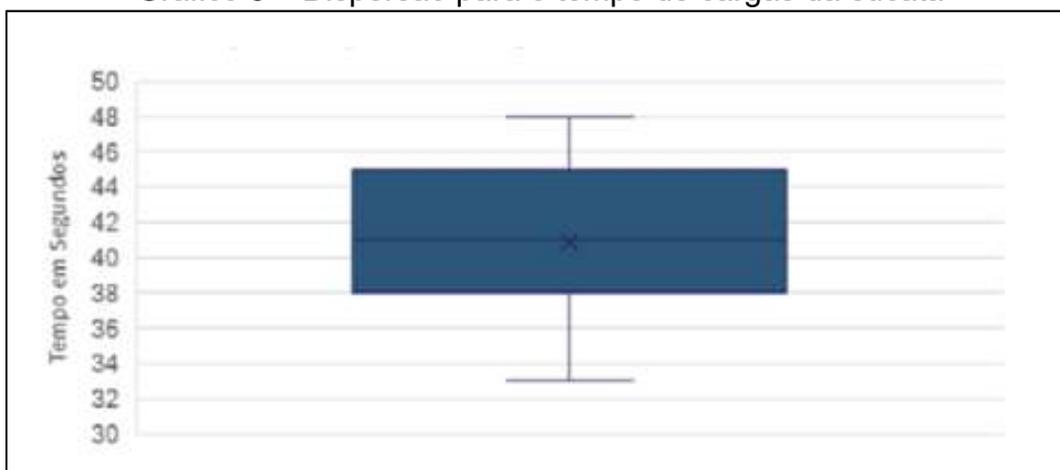
Gráfico 4 – Dispersão dos tempos de cargas de sucata por cesto



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como verificado no Gráfico 4, embora exista uma tendência de aumento na mediana, devido à baixa representatividade dos tempos deste processo perante os seguintes, optou-se por modelar os tempos de carga como somente uma distribuição, como mostrado no Gráfico 5.

Gráfico 5 – Dispersão para o tempo de cargas da sucata



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a averiguação da qualidade da amostra identificou-se o tamanho mínimo necessário considerando-se as seguintes premissas e foi aplicada a Equação 1, já detalhada no item 3.3.2:

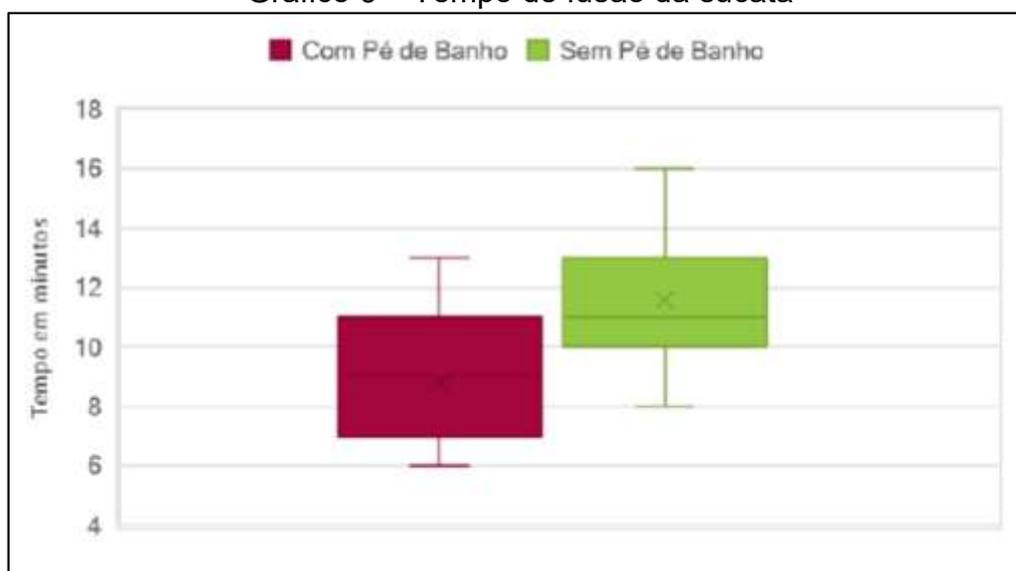
- a) foi assumido que o desvio padrão amostral é igual ao populacional;
- b) nível de confiança de 95%;
- c) erro máximo aceitável de 2 segundos.

Ao aplicar a Equação 1 foi possível a obtenção de 16 registros como amostra mínima, validando a amostragem realizada. Por estratégia de modelagem optou-se pela utilização da distribuição triangular de probabilidades, de forma que a distribuição de tempos passa a ser representada pelos valores de mediana, mínimo e máximo da distribuição, triangular, ou seja: 33 segundos (valor mínimo); 41 segundos valor de mediana; e 48 segundos valor máximo da distribuição.

5.3.5.2 Fusão da Sucata

Ao considerar os 1.260 registros e segmentando-os nas visualizações dos cenários, com pé de banho e sem pé de banho, foi possível encontrar as distribuições indicadas no Gráfico 6.

Gráfico 6 – Tempo de fusão da sucata



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 8 consta o resumo estatístico para o tempo de fusão da sucata, apresentando o tempo em minutos, com o pé de banho e sem o pé de banho.

Tabela 8 – Resumo estatístico tempo de fusão da sucata

Tempo em Minutos	Com o Pé de Banho	Sem o Pé de Banho
Mínimo	6,0	8,0
Média	8,8	11,6
Moda	9,0	11,0
Mediana	9,0	11,0
Desvio Padrão	2,0	2,0
Máximo	13,0	16,0
Registros	315	315

Fonte: Elaborada pelo autor.

Para a aplicação da Equação 1 foram consideradas as premissas listadas na sequência:

- foi assumido que o desvio padrão amostral é igual ao populacional;
- nível de confiança de 95%;
- erro máximo aceitável de 30 segundos.

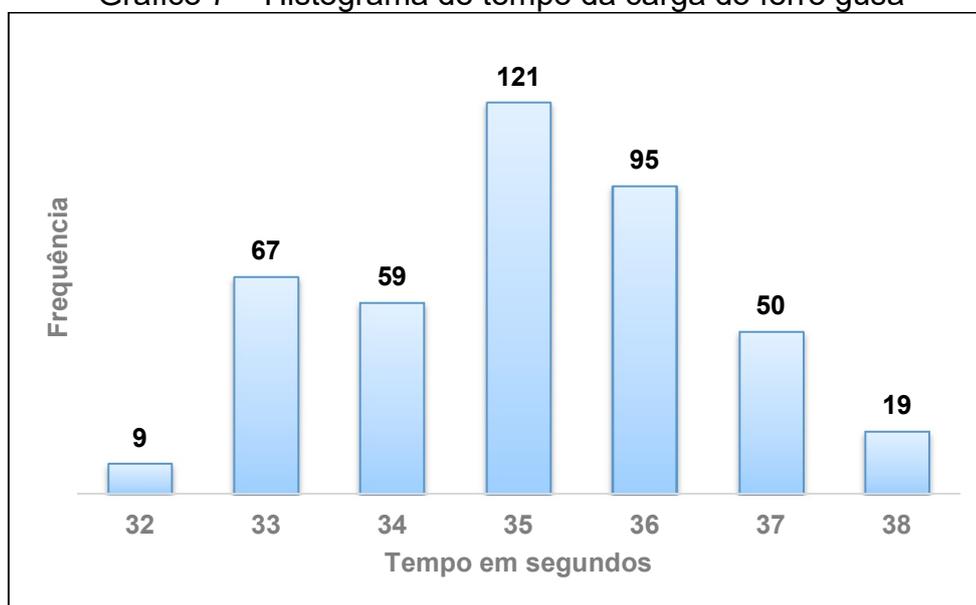
Com a realização do cálculo utilizando-se a Equação 1 foram obtidos os valores de 62 e 65 registros mínimos para os cenários com pé de banho e sem pé de banho, respectivamente. Portanto, foi aceita a amostra para os tempos de fusão

da sucata. Para cada cenário, foram admitidas as distribuições triangulares com os valores de moda, mínimo e máximo.

5.3.5.3 Carga Ferro Gusa

O tempo de carga do ferro gusa não apresenta muito variabilidade, e analisando os dados coletados, observa-se a distribuição de tempos de carga do ferro gusa, como ilustrado no Gráfico 7.

Gráfico 7 – Histograma de tempo da carga do ferro gusa



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com a aplicação da Equação 1, apresentada no item 3.3.2, foi verificada a necessidade de somente 3 registros para que se alcançasse uma confiabilidade de 95% e com um erro aceitável de 2 segundos. Para a distribuição triangular obteve-se o resultado de 32 segundos como valor mínimo; 35 segundos como moda; e 38 segundos como valor máximo.

5.3.5.4 Fusão do Ferro Gusa

Para a fusão do ferro gusa, têm-se as seguintes distribuições de tempos, como ilustrado no Gráfico 8.

Gráfico 8 – Tempo de fusão para ferro gusa



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 9 está contemplado o resumo estatístico do tempo de fusão do ferro gusa para cada cenário, considerando-se o tempo em minutos, com o pé de banho e sem o pé de banho.

Tabela 9 – Resumo estatístico tempo de fusão da sucata

Tempo em Minutos	Com o Pé de Banho	Sem o Pé de Banho
Mínimo	12,0	15,0
Média	18,8	21,2
Moda	17,0	22,0
Mediana	18,0	22,0
Desvio Padrão	4,5	3,8
Máximo	29,0	29,0
Registros	105	105

Fonte: Elaborada pelo autor.

O cálculo foi realizado aplicando-se Equação 1 e foram consideradas as seguintes premissas:

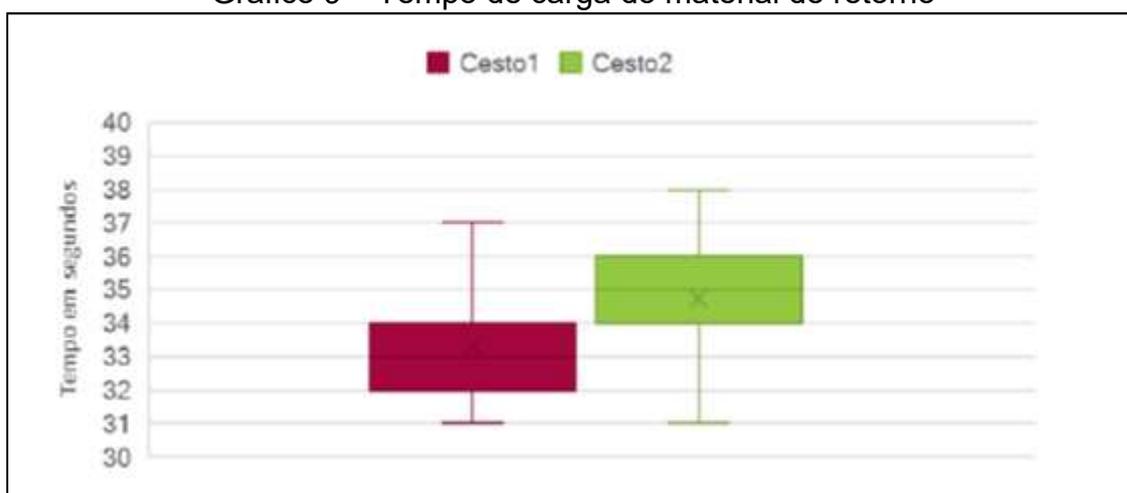
- d) assumido que o desvio padrão amostral é igual ao populacional;
- e) nível de confiança de 95%;
- f) erro máximo aceitável de 1 minuto.

Ao efetuar o cálculo da Equação 1 foram obtidos os valores de 79 e 57 registros mínimos para os cenários com pé de banho e sem pé de banho respectivamente. Portanto, foi aceita a amostra para os tempos de fusão. A distribuição triangular apresenta os parâmetros dos valores mínimos, moda e máximo.

5.3.5.5 Carga de Material de Retorno

Para a carga de material de retorno foi considerada uma amostra de 840 registos segmentados para as etapas de carga de cada cesto, observando-se que a mediana da segunda etapa de carga é maior quando comparada à mediana da primeira etapa de carga, como demonstrado no Gráfico 9.

Gráfico 9 – Tempo de carga do material de retorno



Fonte: Elaborado pelo autor.

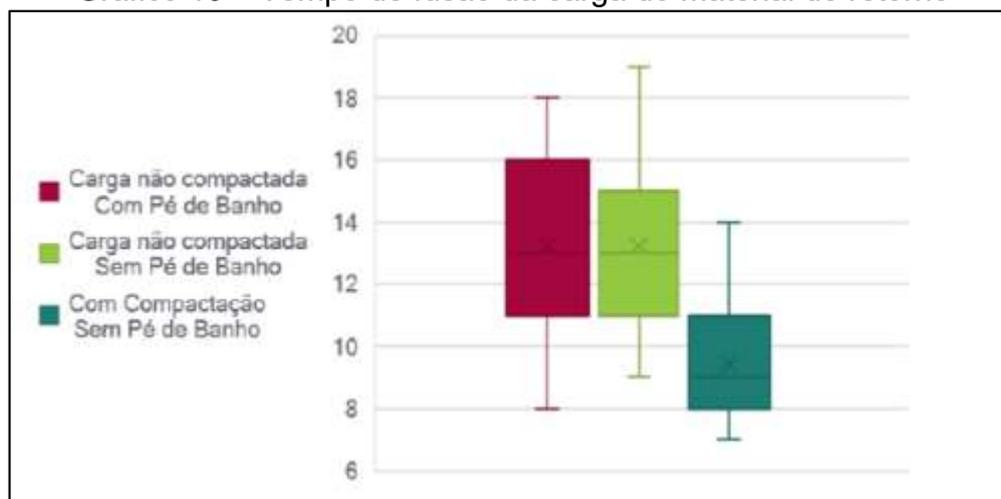
Como no processo de carga de sucata, existe a indicação que a média de carga do material de retorno na primeira etapa de fusão seja menor se comparada à segunda etapa, porém devido à dimensão dos tempos de carga, frente aos tempos de fusão, foi considerada somente uma distribuição.

Desse modo, para este processo é considerada a distribuição triangular com o valor mínimo de 31 segundos; a moda de 34 segundos; e o valor máximo de 38 segundos.

5.3.5.6 Fusão do Material de Retorno

Para a fusão do material de retorno, também denominada de carga de retorno, tem-se o tempo de fusão da carga de retorno como mostrado no Gráfico 10.

Gráfico 10 – Tempo de fusão da carga do material de retorno



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 10 mostra o resumo estatístico do tempo de fusão da carga do material de retorno indicando o tempo em minutos; e os cenários das cargas não compactadas com o pé de banho e sem o pé de banho; e a carga compactada sem pé de banho.

Tabela 10 – Resumo estatístico tempo de fusão do material de retorno

Tempo em Minutos	Carga Não Compactada Com o Pé de Banho	Carga Não Compactada Sem o Pé de Banho	Carga Compactada Sem Pé de Banho
Mínimo	8,0	9,0	7,0
Média	13,2	13,2	9,4
Moda	11,0	11,0	8,0
Mediana	13,0	13,0	9,0
Desvio Padrão	2,8	2,4	1,6
Máximo	18,0	19,0	14,0
Registros	210	210	210

Fonte: Elaborada pelo autor.

Para efetivar a aplicação da Equação 1 optou-se em considerar as seguintes premissas:

- g) assumido que o desvio padrão amostral é igual ao populacional;
- h) nível de confiança de 95%;
- i) erro máximo aceitável de 30 segundos.

Com a aplicação da Equação 1 foram obtidos os valores de 122, 92 e 38 registros mínimos para os cenários de cargas não compactadas com pé de banho,

cargas não compactadas sem pé de banho e cargas compactadas sem pé de banho, respectivamente. Portanto, aceitou-se a amostra para os tempos de fusão; e para cada cenário, as distribuições são triangulares.

5.3.5.7 Aquecimento Final e Transporte Disa

O aquecimento final compreende a última etapa do forno de fusão. Para esta etapa foi adotada, como premissa uma distribuição triangular com valores mínimos de 10 minutos, com moda 12 minutos e valor máximo de 20 minutos. Estes dados foram validados pelos especialistas do processo da empresa em estudo.

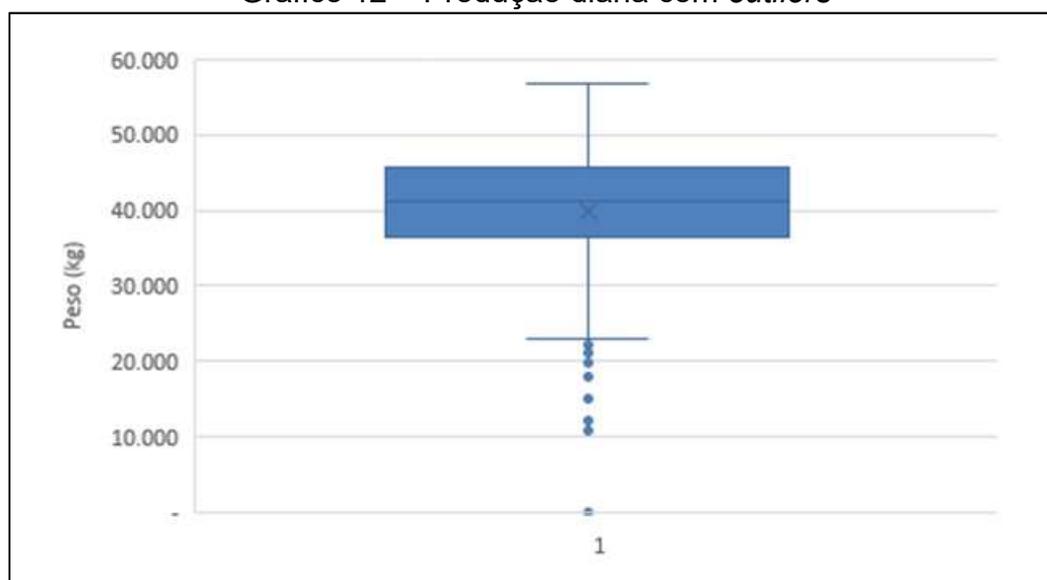
O transporte das peças até o equipamento Disa consiste no último processo que é realizado no setor de fundição. Os tempos de deslocamento variam de acordo com os cenários de distância entre a localização do equipamento Disa até aos fornos de fusão, como detalhado no Gráfico 11.

Gráfico 11 – Tempos de deslocamento

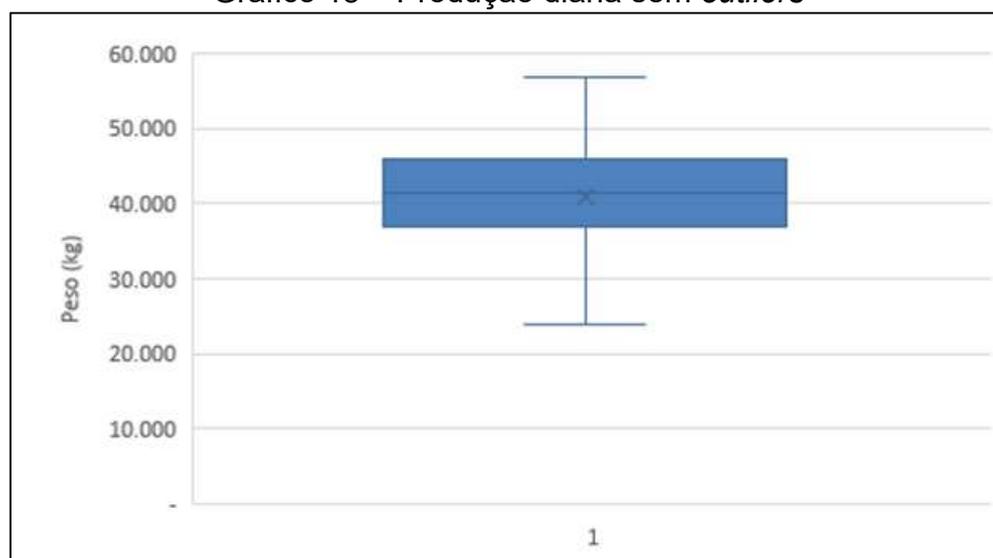


Fonte: Elaborado pelo autor.

No Gráfico 12 é representada a produção diária com *outliers* e no Gráfico 13 está apresentada a produção diária sem *outliers*.

Gráfico 12 – Produção diária com *outliers*

Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 13 – Produção diária sem *outliers*

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como identificado no Gráfico 13 pode-se verificar que não se obteve mudança significativa nas médias com a remoção dos *outliers*. Desse modo, ao remover os *outliers* obteve-se o resumo estatístico dos tempos de deslocamento, como mostrado na Tabela 11.

Tabela 11 – Resumo estatístico do tempo de deslocamento

Tempo em Minutos	Disa a 54 m	Disa a 7 m
Mínimo	23,0	3,0
Média	31,2	5,2
Moda	31,0	5,0
Mediana	34,0	5,0
Desvio Padrão	3,3	1,1
Máximo	38,0	8,0
Registros	105	107

Fonte: Elaborada pelo autor.

Para os tempos de deslocamento também foi utilizada a distribuição triangular para modelar os *inputs* (entradas de processo) do modelo, com os parâmetros de valor mínimo, moda e valor máximo.

5.3.6 Desenvolvimento do Modelo Computacional

O modelo computacional foi construído com a utilização do *software* ANYLOGIC® na versão de estudante. A entidade modelada foi a panela do forno de fusão tendo como recursos do sistema dois fornos e uma talha.

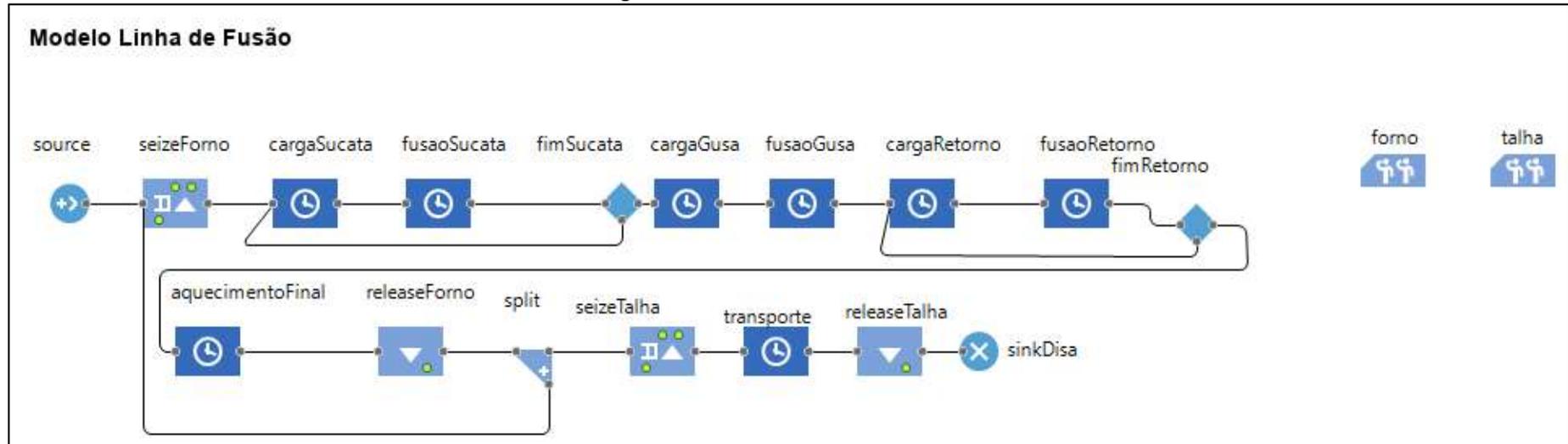
A simulação computacional por eventos discretos foi realizada por 18 horas contínuas e com a disponibilidade de recursos de 100%. Na Figura 46 consta uma imagem do modelo desenvolvido.

A medida de eficiência operacional estudada foi a quantidade de carga que a linha de fusão consegue disponibilizar para o equipamento Disa, aqui denominado 'Produção Diária [kg]'.

Para a determinação do número de replicações, foi considerada a Equação 1, já indicada anteriormente, determinando-se as seguintes premissas:

- erro máximo admitido de 500 kg;
- desvio padrão amostral admitido ser igual ao populacional;
- nível de significância de 95%, alcançando assim o número de 14 replicações. Como já estavam disponíveis 30 replicações para o cálculo do desvio padrão, adotou-se este valor para a quantidade de replicações neste modelo computacional.

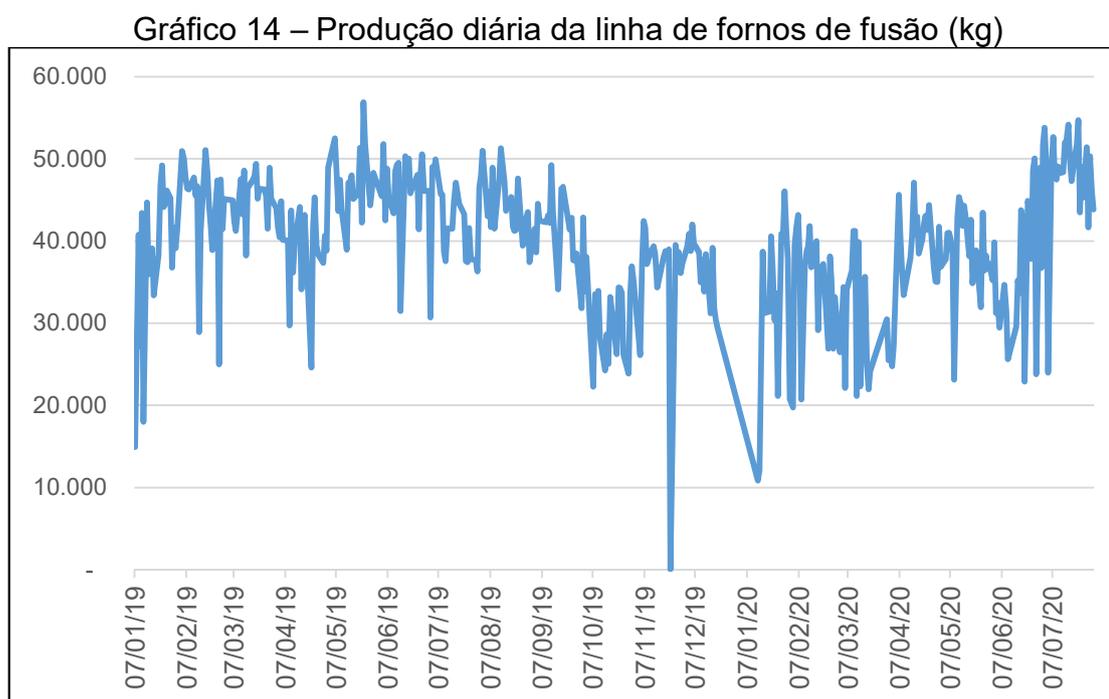
Figura 46 – Modelo ANYLOGIC®



Fonte: Elaborada pelo autor.

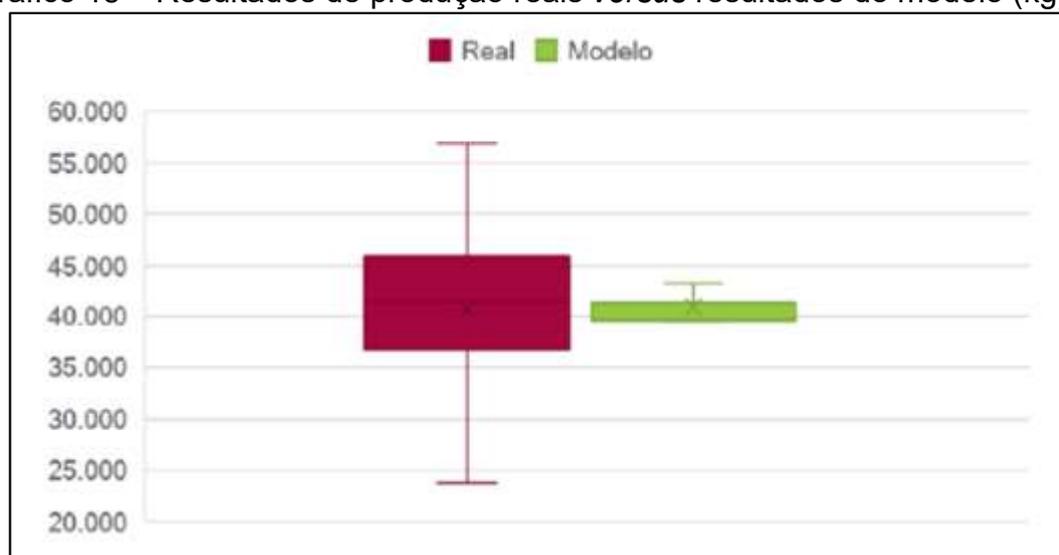
5.3.7 Verificação e Validação do Modelo Computacional

Para a verificação e a validação do modelo computacional foi levado em conta 388 dias de produção, nos períodos de 07/01/2019 até 31/07/2020, considerando-se os indicadores de produção da linha de fornos de fusão. A primeira análise realizada foi a verificação das tendências temporais presentes nos dados, como detalhado no Gráfico 14.



Embora seja possível observar alguns dias com produções anômalas no Gráfico 14, a distribuição temporal não apresentou tendência clara no período de análise. Removendo os *outliers*, foi possível comparar os resultados das replicações do modelo computacional com o resultado de produção do período.

No Gráfico 15 estão representados os resultados de produção reais comparados com os resultados desenvolvidos no modelo computacional proposto. Como se verifica, notadamente, o sistema real apresenta variabilidade maior se comparado com os resultados do modelo computacional. Esta variabilidade pode ser proveniente de variáveis não consideradas no sistema modelado (modelo conceitual), tais como as quebras, as diretrizes operacionais do dia a dia e o comportamento humano.

Gráfico 15 – Resultados de produção reais *versus* resultados do modelo (kg)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para testar a aderência do modelo computacional optou-se pela aplicação do Teste-z realizando-se a comparação de duas amostras com variâncias diferentes. Com o apoio da elaboração de planilhas no *Microsoft Excel* foi possível executar o Teste-z com a hipótese nula da média da produção diária real, ser igual à média de produção diária do modelo computacional. O resultado do Teste-z a um nível de confiança de 95% está descrito na Tabela 12 considerando-se as hipóteses:

- a) $H_0: \mu_{real} = \mu_{modelo}$;
- b) $H_1: \mu_{real} \neq \mu_{modelo}$.

Tabela 12 – Teste-z de hipóteses para a média

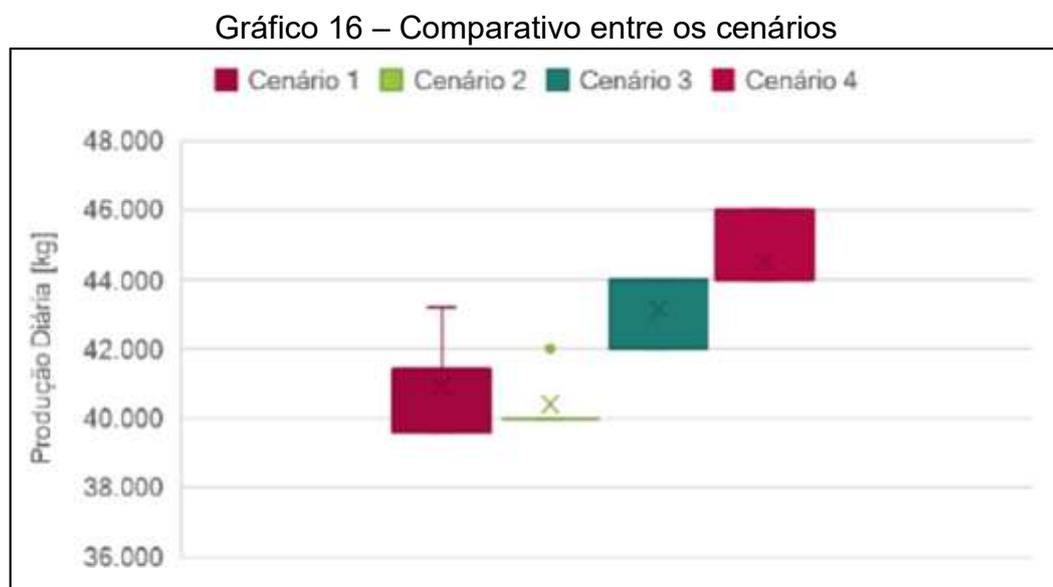
Teste-z: Duas Amostras para Médias		
Itens	Real	Modelo
Média	40.738	40.920
Variância conhecida	46.078.638	878.897
Observações	372	30
Hipótese da diferença de média	-	
z	-	0,4644
P(Z<=z) uni-caudal		0,3212
z crítico uni-caudal		1,6449
P(Z<=z) bi-caudal		0,6424
z crítico bi-caudal		1,9600

Fonte: Elaborada pelo autor.

Analisando os resultados demonstrados na Tabela 12, pode-se verificar que o valor do teste é inferior ao valor crítico ($0,4644 < 1,96$), portanto aceita-se a hipótese nula. além disso, com um nível de confiança de 95% têm-se indícios que as médias do sistema real em comparação com as médias do modelo computacional são iguais estatisticamente.

5.3.8 Experimentação e Análise de Cenários

Ao rodar o modelo computacional no *software* ANYLOGIC® para os cenários simulados, já apresentados no Quadro 14 (ver subitem 3.3.3), foram alcançados os resultados apresentados no Gráfico 16.



A Tabela 13 demonstra o resumo estatístico da produção diária para os quatro cenários simulados, indicando o valor mínimo; a média; a moda mediana; o desvio padrão; o valor máximo e os registros.

Nota-se na Tabela 13 que, o Cenário 4 é aquele que possui a maior média de produção diária (44.533 kg), porém este cenário carece de investimentos em mudança de *layout*. Ao comparar o Cenário 3 com o Cenário 4 observa-se que a diferença na média resultou em 1.400 kg, ou seja, a massa inferior a uma panela de forno de fusão a mais entregue no equipamento Disa no dia.

Tabela 13 – Resumo estatístico da produção diária nos cenários

Produção Diária (kg)	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Mínimo	39.600	40.000	42.000	44.000
Média	40.920	40.400	43.133	44.533
Moda	41.400	40.000	44.000	44.000
Mediana	41.400	40.000	44.000	44.000
Desvio Padrão	937	814	1.008	900
Máximo	43.200	42.000	44.000	46.000
Registros	30	30	30	30

Fonte: Elaborada pelo autor.

Devido à drástica redução nos tempos de transporte verificada, era esperado que a produção tivesse um aumento expressivo, porém o baixo incremento de produção é entendido observando-se os tempos operacionais médios, conforme indicados no Gráfico 17.

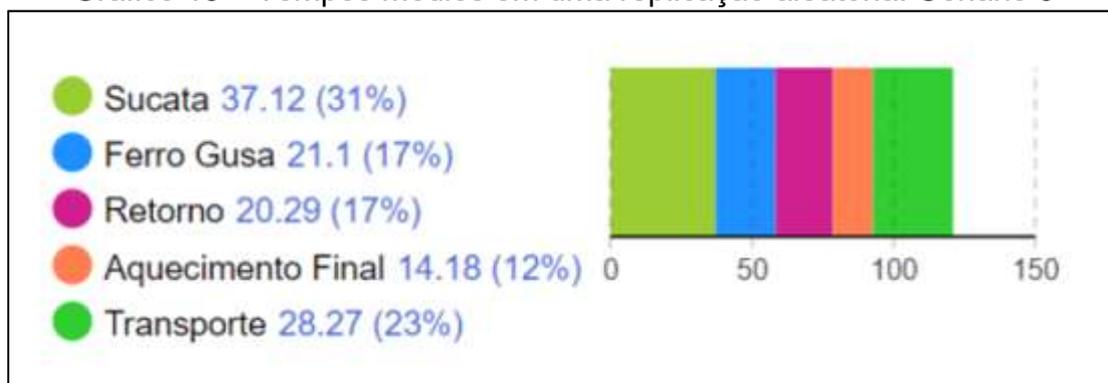
Gráfico 17 – Tempos médios em uma replicação aleatória: Cenário 4



Fonte: Elaborado pelo autor.

No Gráfico 17 pode-se observar que o gargalo compreende o processo de carga e fusão da sucata, que ocupa aproximadamente 40% do tempo do processo. Neste cenário em torno de 5% do tempo total do processo é dispendido pelo transporte. Para efeito de comparação no Gráfico 18 são apresentados os resultados dos tempos operacionais para o Cenário 3.

Gráfico 18 – Tempos médios em uma replicação aleatória: Cenário 3



Fonte: Elaborado pelo autor.

No Gráfico 18 nota-se que, para esta replicação, o processo de sucata representou 31% do tempo total; enquanto que o processo de transporte participou com 23%, ou seja, o processo de carga e fusão da sucata se configurou como restritivo no sistema.

5.3.9 Análise dos Resultados do Modelo Computacional

Com a construção do modelo computacional foi observada a existência de grande variabilidade no volume produzido diariamente no sistema real da Unidade de Fundição da empresa analisada.

Neste sentido, estudar os componentes de variação por meio da aplicação das ferramentas da filosofia LM – VSM e *Kaizen* –, com a finalidade de minimizar a variabilidade contribuirá para a redução das paradas observadas no equipamento Disa por falta de carga.

A variabilidade presente no sistema real não foi captada pelas variáveis modeladas, de forma que somente a média dos resultados do modelo se mostrou aderente ao resultado do sistema real.

Dado a aceitação de igualdade de médias do sistema real e dos resultados do modelo, foi possível aceitar o modelo computacional desenvolvido como validado, entendendo que o sistema real apresentará uma variabilidade maior em torno da média do que aquela apresentada pelo modelo computacional construído.

Da análise de cenários foi identificado que as etapas de carregamento e de fusão da sucata se apresentaram como o gargalo do processo analisado, o que tem restringido a produção da linha de fusão.

Na Tabela 14 e no Gráfico 19 consta uma comparação dos cenários simulados. O Cenário 1 serviu de base para a construção do modelo e representou o sistema que foi analisado.

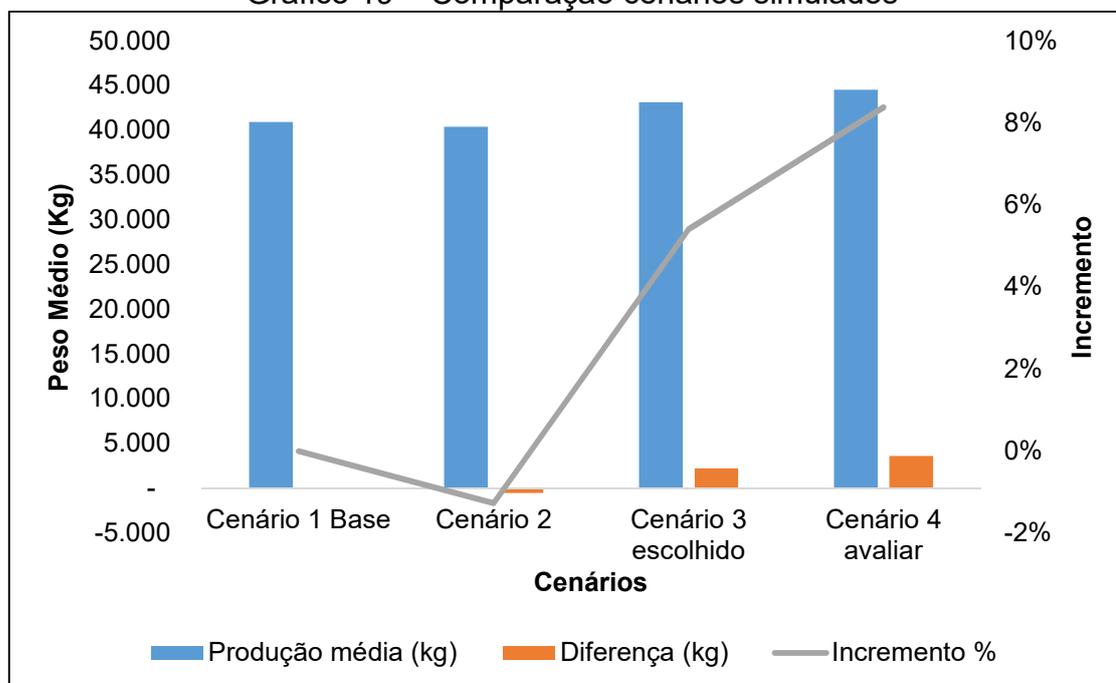
Tabela 14 – Comparação dos cenários simulados

Cenários	Produção média (kg)	Diferença (kg)	Incremento %
Cenário 1 Base	40.920	-	0%
Cenário 2	40.400	520	-1,3%
Cenário 3 escolhido	43.133	2.213	5,4%
Cenário 4 avaliar	44.533	3.613	8,4%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como verificado na Tabela 14 e Gráfico 19, o Cenário 2 apresentou menor média de produção diária comparado com os demais cenários. Enquanto que, o Cenário 4 demonstrou ser o mais produtivo, porém devido à necessidade de investimento no *layout* aproximando a fusão do equipamento da Disa, como também a parada para efetuar a mudança, optou-se por trabalhar com o Cenário 3, portanto se configurando como o cenário ideal para o momento.

Gráfico 19 – Comparação cenários simulados



Fonte: Elaborado pelo autor.

Desse modo, como estratégia para a implantação de melhorias operacionais indica-se, em um primeiro momento, a utilização do processo nos parâmetros do Cenário 3 e em um segundo momento recomenda-se a adoção das configurações operacionais provenientes da simulação do Cenário 4.

Embora exista incremento na média com a adoção do Cenário 4, as medidas de posição de moda e mediana mantiveram os valores do Cenário 3 de forma que com o critério de produção dia, o custo de mudança de *layout* poderá não se justificar.

Por outro lado, uma menor distância percorrida com as cargas içadas colaborará para uma maior segurança operacional e poderá contribuir para a redução da variabilidade do processo e são fortes justificativas para a implantação do processo operacional modelado no Cenário 4, como já indicado no Quadro 14 (ver subitem 3.3.3).

Para uma melhor compreensão referente à alteração de *layout*, na sistemática atual o *layout* se apresenta com a configuração dos fornos de fusão em 54 metros de distância do equipamento da Disa, como está ilustrado na Figura 47 e sinalizado com a seta em amarelo.

Figura 47 – *Layout* atual



Fonte: Imagem cedida pela empresa (2021).

Na Figura 48 está representada a alteração de *layout* proposta, em que serão aproximados e/ou instalados os fornos de fusão há uma distância de sete metros do equipamento Disa, como indicado pela seta amarela.

Figura 48 – *Layout* proposto

Fonte: Imagem cedida pela empresa (2021).

5.3.10 Apresentação e Implementação do Modelo Proposto

A apresentação do modelo computacional desenvolvido, neste estudo, para a Unidade de Fundição de Porto Alegre da empresa analisada ocorrerá no segundo semestre de 2021, juntamente com os resultados obtidos com a aplicação do *Kaizen* bem como as elaborações dos desenhos do VSM Estado Atual e do VSM Estado Futuro.

A implementação do modelo computacional construído também ocorrerá no segundo semestre de 2021 na Unidade de Fundição da empresa avaliada, mediante autorização e aprovação da diretoria da empresa.

5.4 VSM ESTADO FUTURO

A Unidade de Fundição antes do desenho do VSM e da aplicação do *Kaizen* apresentava vários desperdícios em seu processo, assim como limitações para o aumento de sua produtividade. Após o desenho do VSM Estado Atual, que se encontra na Figura 36, e com a aplicação do *Kaizen* foi possível definir as ações para reduzir os desperdícios, elevar a produtividade, como também definir os possíveis cenários a serem simulados.

Por sua vez, a simulação por eventos discretos se conectou com ao VSM Estado Futuro, ilustrado na Figura 49, a partir do momento que foram simulados os cenários. Ao considerar o melhor cenário simulado obtido no processo da área de fusão, e em conformidade com os apontamentos da aplicação do *Kaizen*, pretende-se implementar o VSM Estado Futuro na empresa no segundo semestre de 2021.

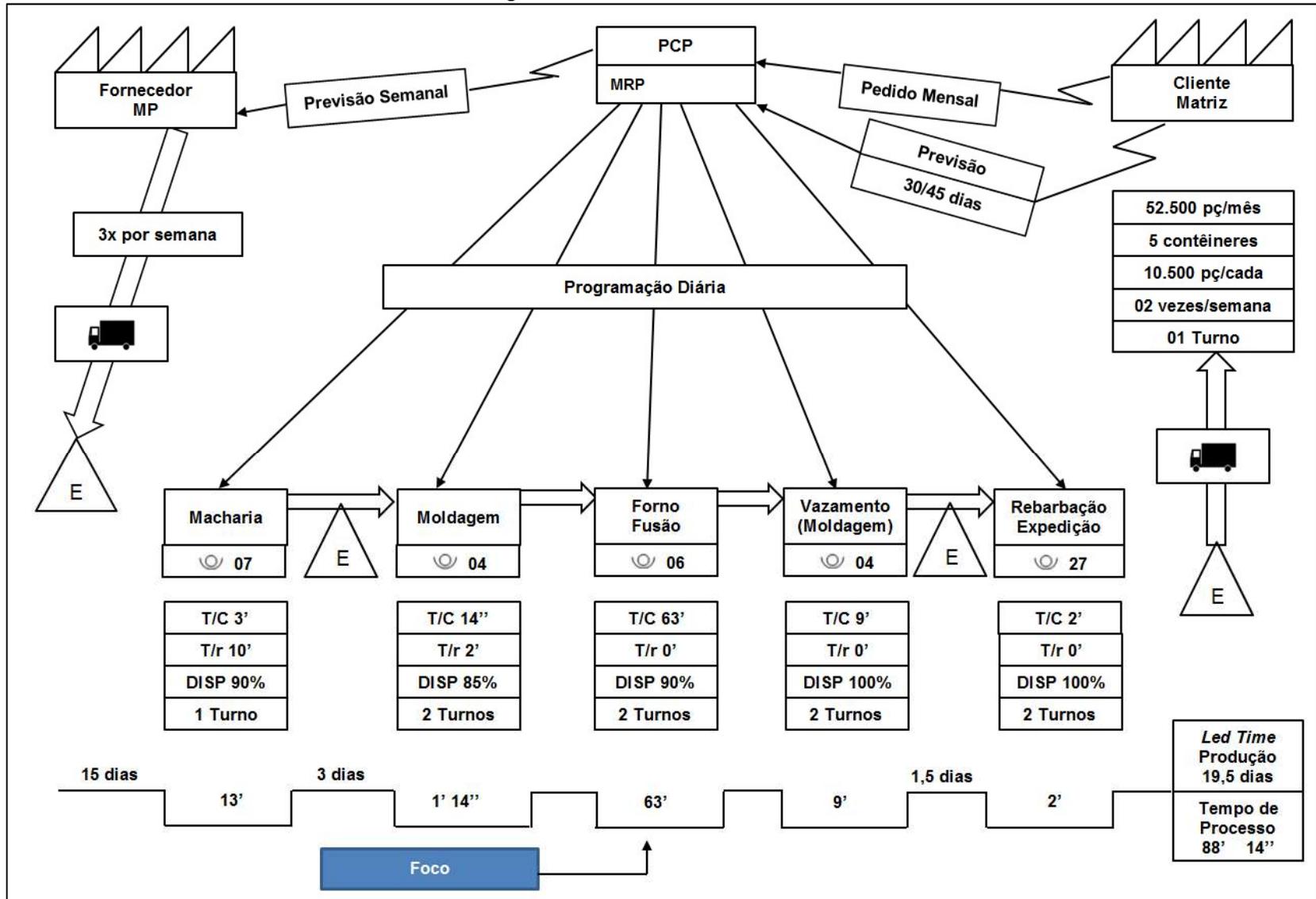
Acrescenta-se que ao utilizar a simulação computacional por eventos discretos conjuntamente com o VSM foi possível reconhecer como o cenário atual da célula de manufatura, no caso a área de fusão, responde às modificações e também auxiliou na validação dos resultados obtidos com a aplicação do *Kaizen*. Além disso, propiciou a verificação se tais modificações foram benéficas ou não, mediante a quantificação dessas modificações, assim propiciando a simulação do cenário futuro ideal aceitável e aplicável na Unidade de Fundição avaliada.

A aplicação do método de simulação por eventos discretos em conjunto com as ferramentas do *Kaizen* e VSM, possibilita ao gestor escolher qual ação de melhoria que deverá ser adotada em primeiro lugar; e, também, como, quando e quais serão as combinações melhores, com maior agilidade e com assertividade dos resultados, o que reduzirá os riscos e evitará a parada no processo fabril.

Para este estudo foram sugeridas ações de melhorias, sendo que algumas já foram realizadas com a aplicação do *Kaizen*, como detalhado na seção 5.2. Outras ações estão em andamento conforme cronograma representado no Apêndice B. As ações de melhorias sugeridas estão detalhadas na sequência:

- a) indicador para o controle do lingote reduzindo de 2,4% para 1,56% o que representa em torno de 37.376,09 kg de ferro a mais para o sistema (detalhado no item 5.2.1);
- b) compra do quebrador de canal, para a carga de material de retorno mais compacta (apresentado no item 5.2.2);
- c) eliminar o pé de banho forno > 10% a mais de ferro líquido por forno (descrito no item 5.2.3);
- d) alteração o *layout* da pintura trazendo ao lado das sopradoras de machos criando o fluxo contínuo, reduzindo assim o estoque e a movimentação de peças com o uso da empilhadeira (demonstrado no item 5.2.4);
- e) avaliar a posição dos fornos de fusão mais próximos do equipamento Disa (indicado no item 5.2.4);
- f) aproximação da sopradora de machos CO₂ junto ao setor de acabamento e o setor de pintura (desenvolvido no item 5.2.4);
- g) definir o cronograma trimestral de manutenção preventiva na Unidade de Fusão (mostrado no item 5.2.5);
- h) reduzir o estoque de sucata: dependendo da oferta (exposto no item 5.2.6).

Figura 49 – VSM Estado Futuro



Fonte: Elaborada pelo autor.

Verifica-se na Figura 49 que, com o tempo de processo total identificado no desenho do VSM Estado Futuro (88' 14'') a empresa atenderá à demanda total do cliente em tempo hábil. A entrega na Unidade de Fundição passará a ser de aproximadamente 52.500 peças/mês em cinco contêineres contendo 10.500 peças cada, no período de uma vez por semana e mediante a realização de um turno de trabalho. Com os desenhos do VSM Estado Atual e do VSM Estado Futuro optou-se em realizar uma análise comparativa dos resultados obtidos, no intuito de verificar a evolução do estudo, como apresentado na Tabela 15.

Tabela 15 – Principais características dos processos fabris

Itens	Macharia		Moldagem		Forno Fusão		Vazamento (Moldagem)		Rebarbação Expedição	
	VSM Atual	VSM Futuro	VSM Atual	VSM Futuro	VSM Atual	VSM Futuro	VSM Atual	VSM Futuro	VSM Atual	VSM Futuro
☉	09	07	04	04	06	06	04	04	27	27
T/C	3'	3'	14''	14''	80'	63'	9'	9'	2'	2'
T/r	20'	10'	2'	2'	0'	0'	0'	0'	0'	0'
DISP	90%	90%	70%	85%	75%	90%	100%	100%	100%	100%
Turno	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2

Fonte: Elaborada pelo autor.

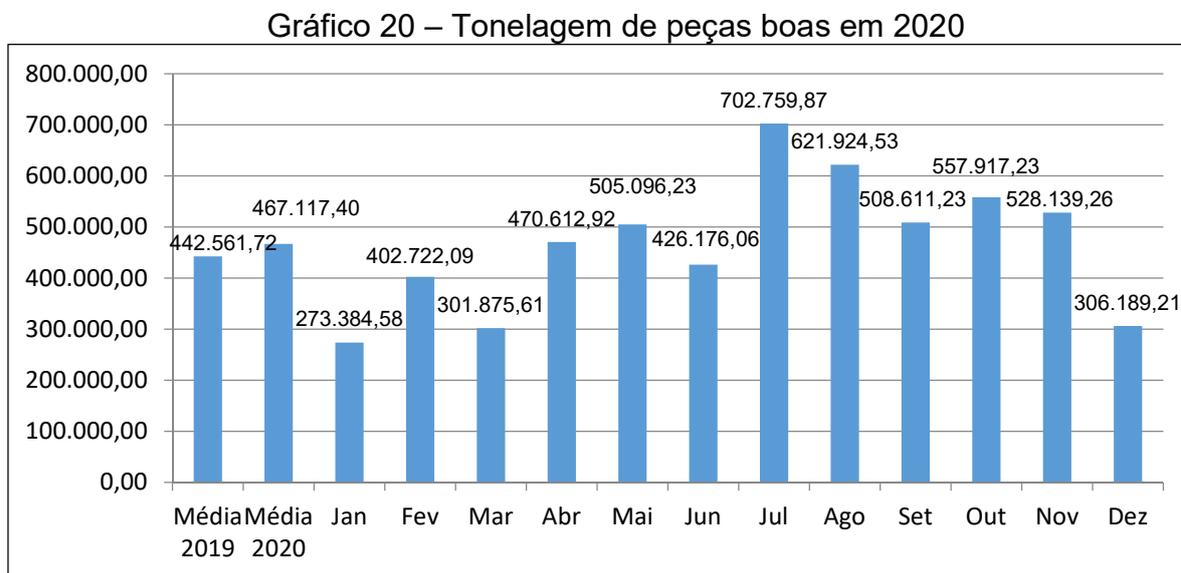
A partir da Tabela 15 pode-se evidenciar uma expressiva redução no tempo de fusão comparando-se o tempo de ciclo do VSM Estado Futuro em relação ao VSM Estado Atual, após a compra do quebrador de canal e mediante a utilização do material de retorno picado. Da mesma forma se almeja uma disponibilidade maior do equipamento do forno de fusão após a implementação da manutenção preventiva.

Com relação à macharia após a mudança de *layout* aproximando a pintura e criando um fluxo contínuo das operações, conseguiu-se uma redução no quadro de mão de obra, onde as duas pessoas foram realocadas para outro processo fabril. Ainda na macharia após a aplicação do *Kaizen* enfatizado na redução do *setup* conseguiu-se uma redução no tempo de troca de 20 para 10 minutos.

5.5 INDICADORES DE PRODUTIVIDADE E RESULTADOS

Para mensurar a produtividade, a Unidade de Fundição utiliza o índice de produtividade, cujo indicador é obtido mediante a relação entre as horas trabalhadas (hH = hora homem) e a tonelagem de peças boas.

No Gráfico 20 consta a evolução da tonelage de peças boas constando as médias auferidas nos anos de 2019 e 2020; e a quantidade da tonelage de peças boas para os meses de janeiro a dezembro de 2020.



Fonte: Elaborada pelo autor com base nas informações cedidas pela empresa.

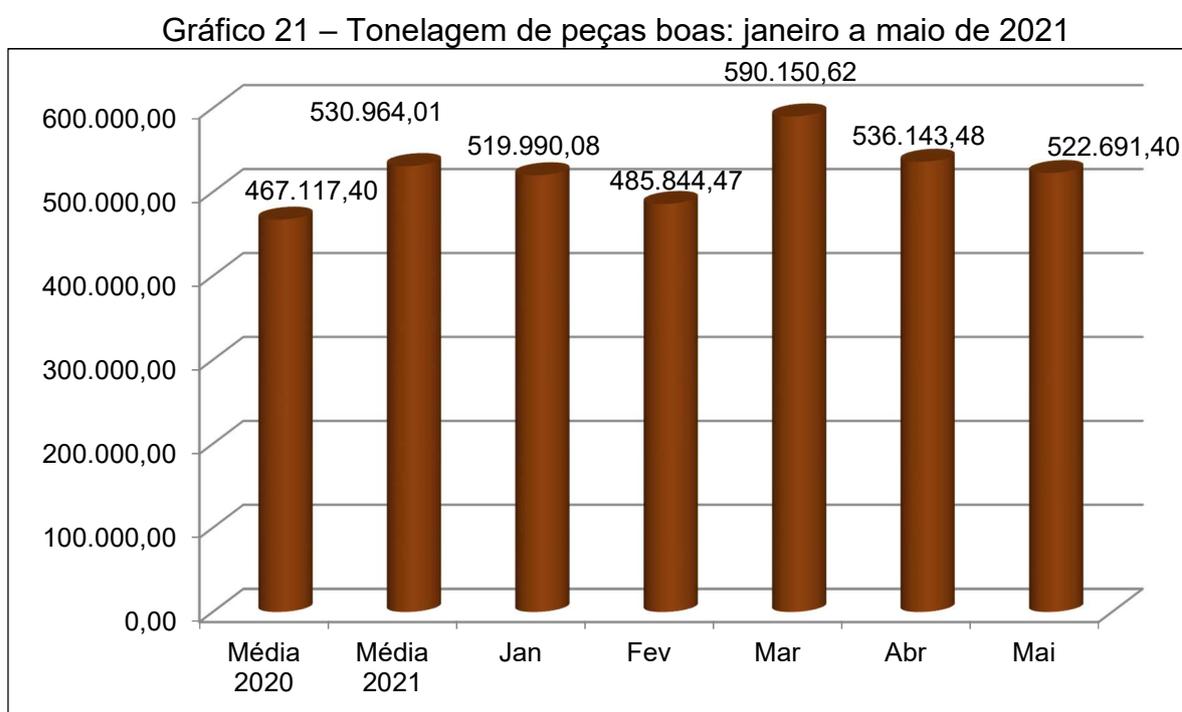
Como se verifica no Gráfico 20, no mês de janeiro de 2020, a quantidade tonelage de peças boas produzidas se apresentou menor se comparada aos demais meses do ano de 2020, principalmente devido às férias coletivas no mês de janeiro e por consequência teve menos dias uteis disponíveis.

Por outro lado, no mês de julho de 2020, a quantidade tonelage de peças boas produzidas foi superior se comparada com os demais meses do ano de 2020. Essa evolução é explicada devido à manutenção no equipamento Disa realizada no mês de julho de 2020 e, também, em função da aplicação dos trabalhos de *Kaizen*, sendo assim, no segundo semestre de 2020 se obteve um aumento significativo na produtividade, com exceção apenas do mês de dezembro de 2020.

No Gráfico 20 também se percebe muitas oscilações na quantidade de tonelage de peças boas durante o ano de 2020, que é explicado pelo fato que a manutenção no equipamento Disa ocorreu apenas em julho de 2020. A falta desta manutenção gerou várias paradas comprometendo a produção no primeiro semestre de 2020. No mês de dezembro foram indicadas as férias coletivas onde a empresa teve menos dias uteis trabalhados.

Outros motivos são os dias úteis de cada mês, o *mix* de produção (peças mais leves) e falta de manutenção preventiva nos fornos de fusão justificando portanto as oscilações que ocorreram no primeiro semestre de 2020 e, também no mês de dezembro de 2020.

No Gráfico 21 é apresentada a evolução da tonelagem de peças boas contemplando as médias auferidas no ano de 2020 e até maio de 2021 e a evolução da quantidade da tonelagem de peças boas produzidas na Unidade de Fundição para os meses de janeiro a maio de 2021



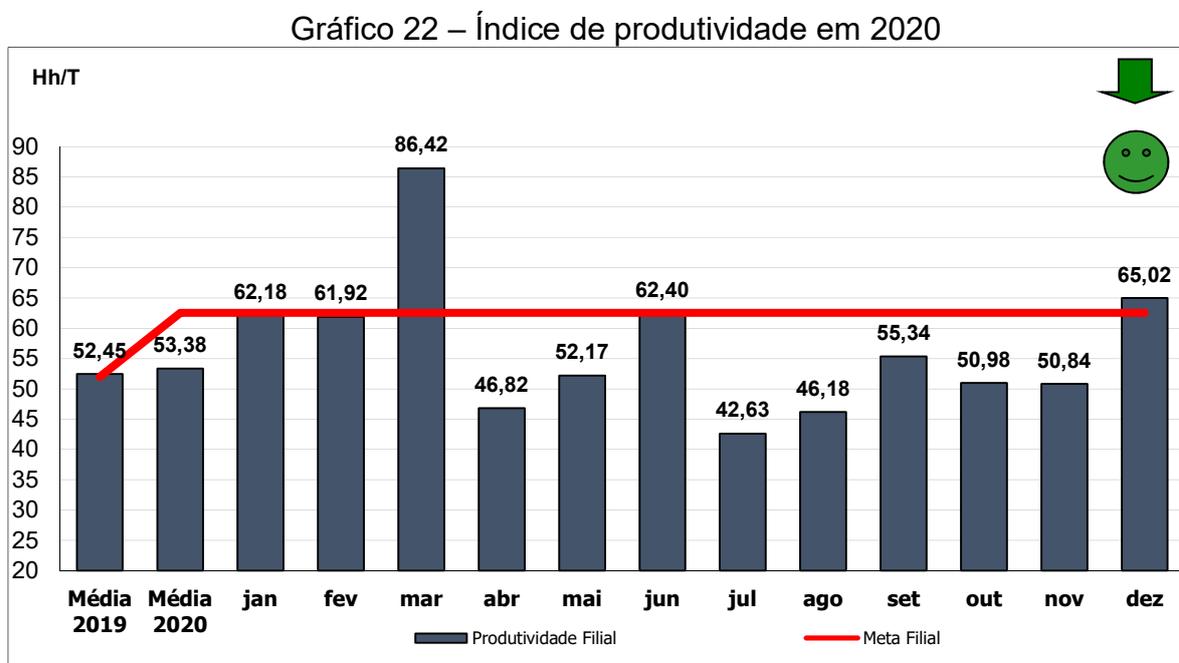
Fonte: Elaborada pelo autor com base nas informações cedidas pela empresa.

Conforme o Gráfico 21 pode-se perceber um aumento de 13,4% na produtividade média nos cinco primeiros meses de 2021 quando comparado com o ano 2020, isso mostra que as ações propostas surtiram efeitos positivos conforme almejado.

Neste sentido, promover a melhoria contínua nos processos fabris, por meio da aplicação das ferramentas adequadas, proporcionam vantagem competitiva para as organizações.

O índice de produtividade é calculado mediante a divisão das horas trabalhadas pela tonelagem produzida, ou seja, quanto menos horas para produzir cada tonelada melhor será o desempenho do processo.

No Gráfico 22 é demonstrado o acompanhamento e a evolução dos resultados dos índices de produtividade para o ano de 2020 da Unidade de Fundição de Porto Alegre/RS.



Fonte: Informação cedida pela empresa (2021).

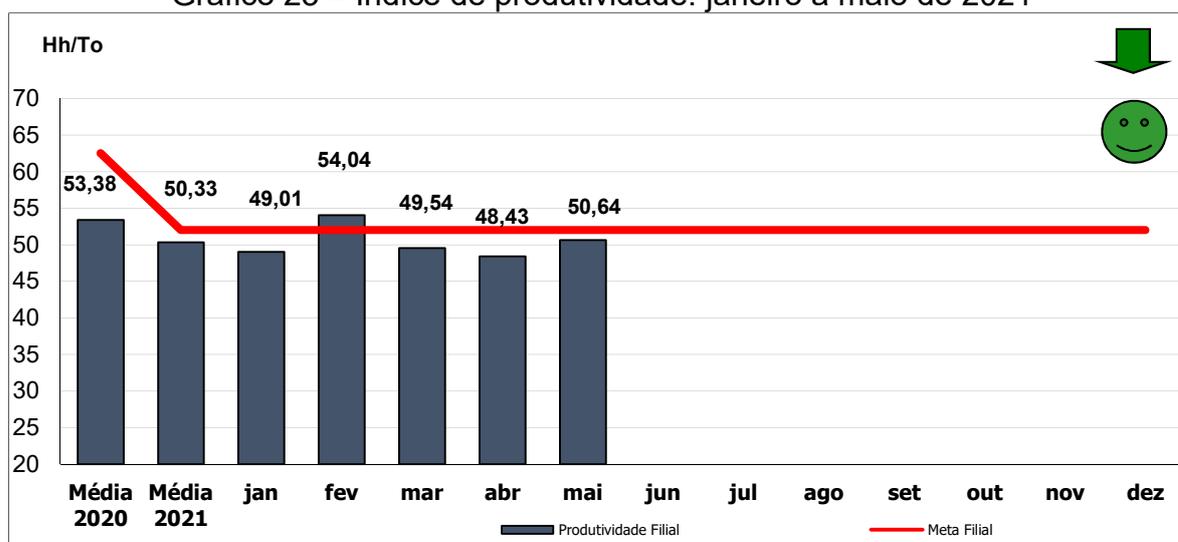
Como se observa no Gráfico 22, o mês de março de 2020 apresentou como índice de produtividade, 86,42, sendo considerado o maior índice de produtividade referente ao ano de 2020, se comparado aos demais meses daquele ano. Isso ocorreu devido à necessidade da manutenção do equipamento Disa, o qual foi efetuado no início do mês de julho de 2020.

Já, no mês de julho de 2020, o índice de produtividade resultou em 42,63, sendo considerado o menor índice de produtividade no ano de 2020 e tal resultado se deve à manutenção do equipamento Disa, ocasionando um aumento significativo no abastecimento de ferro líquido para o equipamento Disa.

No Gráfico 23 é apresentada a evolução do índice de produtividade para os meses de janeiro a maio de 2021 da Unidade de Fundição de Porto Alegre/RS.

Os resultados do Gráfico 23 indicaram uma redução em torno de 6% nas horas necessárias para produzir cada tonelada de ferro líquido entre os cinco primeiros meses de 2021, se comparado com o ano de 2020, devido aos efeitos das ações realizadas no processo produtivo, as quais elevaram a produtividade.

Gráfico 23 – Índice de produtividade: janeiro a maio de 2021



Fonte: Informação cedida pela empresa (2021).

Na Tabela 16 é apresentada uma síntese das médias do indicador da produtividade; da tonelagem de peças boas; e das horas trabalhadas da Unidade de Fundação de Porto Alegre/RS, referentes aos períodos 2019, 2020 e para os meses de janeiro a maio de 2021.

Tabela 16 – Indicador de performance de processo

Acompanhamento	Média 2019	Média 2020	Média 2021
Meta	52,0 hH/Ton.	62,5 hH/Ton.	52,0 hH/Ton.
Produtividade Filial	52,45	53,38	50,31
Tonelagem de peças boas	442.561,72	467.117,40	530.964,01
Horas trabalhadas	24.131	25.420	26.683

Fonte: Elaborada pelo autor com base nas informações cedidas pela empresa.

Verifica-se na Tabela 16, um aumento na meta de produtividade para 2020 quando comparado ao ano de 2019 devido à falta de recursos financeiros para executar a manutenção no equipamento Disa. No entanto, após a execução da referida manutenção, no mês de julho de 2020, já se percebe um aumento na produtividade a partir do segundo semestre de 2020, conforme identificado nos Gráficos 20 e 22.

Da mesma forma ficou evidenciado que as ações realizadas neste estudo entre o segundo semestre de 2020 e o primeiro semestre de 2021 resultaram em um aumento médio em torno de 63 toneladas mensais a mais no processo. Mesmo com

o aumento de 5% nas horas trabalhadas no ano de 2021, quando comparado com o ano de 2020, o resultado foi de 13,4% a mais na produtividade.

Acrescenta-se que, como indicado na Tabela 16, a meta de produtividade estipulada pelo gestor de produção da Unidade de Fundição para o ano de 2020 foi de 62,5 hH/Ton.; e para os anos de 2019 e 2021 foi estipulada uma meta de 52,0 hH/Ton.

Neste sentido, o gestor de produção já estima uma redução na meta de produtividade com o avanço das melhorias desenvolvidas no processo, buscando uma melhor competitividade junto ao mercado de atuação da empresa.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo identificar como elevar a produtividade na área de fusão de uma empresa de fundição à luz do LM com o suporte da simulação por eventos discretos.

Ao desenhar o VSM Estado Atual foram verificados desperdícios que existem no processo analisado dentre eles: a falta de controle do lingote, a espera do forno de fusão, pé de banho, transporte e estoque, e que sendo sanados poderão proporcionar melhorias nos resultados da organização analisada.

Para este estudo, o primeiro passo foi identificar e registrar como ocorre o processo até resultar a liga 'N2', possibilitando realizar um diagnóstico da situação atual empregando-se o VSM Estado Atual, que serviu de base para a formulação do próximo passo, que foi a elaboração do VSM Estado Futuro.

Por sua vez, o *Kaizen* foi aplicado durante o segundo semestre de 2020 e no primeiro semestre de 2021, com a finalidade de identificar os desperdícios do processo e propor ações de melhoria para reduzir tais desperdícios, conforme cronograma apresentado no Apêndice B, sendo que está previsto para a conclusão das ações de melhoria no decorrer do segundo semestre de 2021.

Com o término dos trabalhos de aplicação da ferramenta do *Kaizen* foi iniciada a simulação computacional por eventos discretos como forma de oferecer suporte aos apontamentos desenvolvidos durante o *Kaizen*, buscando assim tomar decisões mais assertivas, reduzindo o tempo, os custos e as paradas da fábrica com alterações propostas ao processo.

No que se refere aos cenários simulados, o Cenário 1 foi o cenário base do modelo. Verificou-se que o Cenário 2 apresentou a média de produção diária muito próxima do Cenário 1, se comparado com os demais cenários, e sem possibilidades de ganhos de produtividade, sendo, portanto descartado para as pretensões deste estudo.

O Cenário 4 demonstrou ser o mais produtivo indicando um ganho em torno de 8,4% comparado ao Cenário 1. Porém, devido à necessidade da realização de investimentos em *layout* para aproximar a fusão do equipamento Disa, assim como a necessidade de parada da linha de produção para efetuar a mudança, optou-se por trabalhar com o Cenário 3 como o ideal para o momento.

Neste sentido, uma análise mais detalhada referente aos custos da mudança no *layout* bem como a parada programada poderão ser relevantes a fim de buscar uma produtividade de 8,4% correspondente ao Cenário 4. Assim sendo, aprofundar o trabalho de aplicação do *Kaizen* no processo de fusão, mais especificamente na carga de sucata a qual demonstrou ser um gargalo conforme indicado no estudo, poderá trazer ganhos significativos ao processo juntamente com aplicação do Cenário 4.

Por intermédio do desenho do VSM Estado Futuro foi possível definir as ações que deverão ser aplicadas, a partir de uma nova visão sobre o processo a ser melhorado. A mudança de *layout* aproximando o setor de pintura; a aquisição de um quebrador de canal; a eliminação do pé de banho; o controle do indicador do lingote, dentre outras ações mencionadas poderão proporcionar o alcance dos resultados almejados.

Em muitos casos, as pequenas alterações são aquelas que trarão os melhores resultados. É preciso observar que a aplicação das ações oriundas do VSM Estado Futuro poderá exigir investimentos à empresa analisada, mas em contra partida, a partir destas mudanças oportunizará uma redução em torno de 49% no *lead time* de produção para a liga 'N2'.

A aplicação das ferramentas do *Kaizen* e do VSM pertencentes à filosofia LM em conjunto com a simulação computacional por eventos discretos, permitem reduzir o tempo na análise de cenários e dos custos, quando comparados às tentativas de visualização do processo fabril.

As empresas possuem restrições quanto a parar os seus processos de produção para a realização de testes e experimentos. Assim sendo, as aplicações das ferramentas do *Kaizen* e do VSM e com o suporte da simulação por eventos discretos podem ser utilizadas em conjunto para a criação de possíveis cenários em tempo real e sem a necessidade da realização de paradas nas células de manufatura. Desta forma podendo auxiliar a responder as seguintes perguntas: o que ocorre se for adicionado um terceiro turno de produção? Quais os ganhos de produtividade ao acrescentar mais um equipamento na linha de produção? E se houver um 'pico de demanda em 30%' como proceder?

Por fim, desenvolver ações para uma produção enxuta é uma forma de elevar a produtividade, reduzir custos nas organizações, muitas vezes sem a necessidade

de aumento da estrutura proporcionando o crescimento e a sustentabilidade dos negócios mediante as oscilações e às mudanças no comportamento do mercado.

6.1 CONTRIBUIÇÕES GERENCIAIS E ACADÊMICAS

Com o desenvolvimento do estudo, pode-se verificar como contribuição gerencial que, a simulação por eventos discretos, oferece suporte à ferramenta do *Kaizen* por meio da interação entre os processos simulados, demonstrando as possibilidades de cenários a serem analisados e validados sem que haja a necessidade de alterações físicas do ambiente antes da tomada de decisão.

Desse modo, as principais contribuições gerenciais e/ou vantagens da combinação entre a simulação por eventos discretos e a ferramenta do *Kaizen* são: a possibilidade de avaliar o impacto das mudanças no sistema sem que haja a mudança física em si no processo; reduzir os custos com alterações de *layout*; diminuir os tempos de paradas de equipamentos para a experimentação de cenários; descartar os cenários com resultados ineficientes antes de colocar em prática e; conseqüente, redução de custos no processo fabril.

Em termos de contribuição acadêmica, este trabalho se difere dos demais realizados até o momento, na área de fusão de uma empresa de fundição, pois combina a utilização das ferramentas do *Kaizen* e VSM pertencentes à filosofia LM com o suporte da simulação computacional por eventos discretos.

6.2 LIMITAÇÕES

Neste estudo, apesar dos resultados satisfatórios obtidos por meio da aplicação das ferramentas do *Kaizen* e do VSM da filosofia LM e tendo como suporte, a simulação computacional por eventos discretos, existiram algumas dificuldades para consolidar os testes práticos durante o andamento da produção.

Da mesma forma houve algumas dificuldades para a determinação dos dados de entrada a serem utilizados na simulação computacional por eventos discretos, e, também para a definição de quais informações seriam mais relevantes a serem consideradas no processo de simulação.

Outro ponto relevante é que devido à questão de custos e do tempo para alteração do *layout* aproximando o forno de fusão com o equipamento Disa fica-se limitado ao ganho estimado levando em conta o Cenário 4.

Outra limitação encontrada esteve presente no problema ocorrido com o computador, onde foram armazenados os dados referentes à disciplina de simulação computacional por eventos discretos que exigiu mais esforços na busca por informações para a construção e a validação do modelo. Além disso, as coletas de alguns dados também dificultaram o andamento do processo de modelagem.

No entanto, tais limitações não impediram a construção do modelo computacional, pois foi possível mensurar os cenários os quais apresentaram aumento da produtividade conforme objetivo proposto.

6.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS E BENEFÍCIOS

Para complementar este estudo, recomendam-se futuras pesquisas que realizem uma abordagem relacionada aos seguintes pontos:

- a) utilização da simulação computacional por eventos discretos no setor de fundição para determinar o número de operadores necessários para as áreas de macharia, moldagem e de fusão;
- b) aplicar a simulação computacional por eventos discretos no setor de fundição com a finalidade de determinar a estrutura necessária de fusão, levando-se em consideração as quantidades de fornos e de ferro líquido entregue à área de moldagem, buscando melhor eficiência no processo;
- c) como a simulação computacional por eventos discretos poderá suportar a ferramenta do *Kaizen* e elevar a produtividade das empresas do setor de fundição;
- d) o uso do método da simulação computacional por eventos discretos em conjunto com a ferramenta do VSM para auxiliar na identificação dos gargalos no ambiente da fundição.

Para estudos futuros, a presente pesquisa poderá servir de base para outras empresas de manufatura, podendo oferecer os seguintes benefícios:

- a) utilizar a simulação computacional para mensurar o número de operadores necessários para determinadas linhas de produção, simulando

incremento de equipamentos/operadores buscando elevar a produtividade;

- e) aplicar VSM e *Kaizen* com o suporte da simulação computacional, na busca por melhores cenários nos processos, inclusão de novos equipamentos e/ou aumento de turnos de trabalho nas linhas de produção visando aumento da produtividade;
- f) identificar as restrições nas linhas de produção mediante o uso da simulação, podendo se antecipar à tomada de ações frente às necessidades de aumento da demanda e propor ações aplicando *Kaizen*.

REFERÊNCIAS

ALEXANDRE, Régis; CORREIA, João Paulo Silva; PRADO, Matheus; ZARONI, Jonas Simões; RIBEIRO, Robson Raimundo Cardoso. Aplicação da simulação a eventos discretos em uma célula de uma indústria de material bélico. **Revista Produção em Foco**, v. 08, n. 3: p. 426-446, 2018. Disponível em: <http://producaoemfoco.org/producaoemfoco/article/download/643/585/>. Acesso em: 25 set. 2020.

ANYLOGIC BRASIL. **O software**: inovação para otimizar desempenho. Disponível em: <https://www.anylogicbrasil.com.br/>. Acesso em: 08 set. 2020.

ASKELAND, Donald R.; PHULÉ, Pradeep P.; **Ciência e engenharia dos materiais**. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO – ABIFA. **Produção brasileira de fundidos cai -15,7% entre janeiro e maio**. Publicado em: 29 jun. 2020a. Disponível em: <https://www.abifa.org.br/producao-brasileira-de-fundidos-cai-157-entre-jan-e-mai/>. Acesso em: 08 set. 2020.

_____. **Produção de fundidos tem novo incremento em 2019**. Publicado em: 30 jan. 2020b. Disponível em: <https://www.abifa.org.br/producao-de-fundidos-tem-novo-incremento-em-2019/>. Acesso em: 07 nov. 2020.

_____. **Produção de fundidos se recupera mês a mês desde início da pandemia**. Publicado em: 27 ago. 2020c. Disponível em: <https://www.abifa.org.br/producao-de-fundidos-se-recupera-mes-a-mes-desde-inicio-da-pandemia/>. Acesso em: 08 set. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA, MATERIAIS E MINERAÇÃO – ABM. **Produção da indústria brasileira de fundição cresce 19,7%**. Publicado em: 07 jun. 2021. Disponível em: <https://www.abmbrasil.com.br/por/noticia/producao-da-industria-brasileira-de-fundicao-cresce-19-7> Acesso em: 09 jul. 2021.

BANKS, Jerry; CARSON II, John S.; NELSON, Barry L.; NICOL, David M. **Discrete-event system simulation**. 4th. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2005. Disponível em: [http://ce.sharif.edu/courses/95-96/2/ce634-1/resources/root/Books/Discrete%20Event%20System%20Simulation%20\(Fifth%20Edition\)%20.pdf](http://ce.sharif.edu/courses/95-96/2/ce634-1/resources/root/Books/Discrete%20Event%20System%20Simulation%20(Fifth%20Edition)%20.pdf). Acesso em: 01 set. 2020.

BISCOTTO, Bernardo de Almeida. **A simulação de eventos discretos em uma indústria automotiva**. 2008. 59 f. Monografia (Engenharia da Produção). Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais, 2008. Disponível em: https://www.ufjf.br/ep/files/2014/07/2008_3_Bernardo.pdf. Acesso em: 12 set. 2020.

CAMPOS, Daniel Pimentel; DANTAS, Maria José Pereira; MENEZES, José Elmo de. **Aplicação da modelagem e simulação computacional como ferramenta comparativa entre duas linhas de produção de uma indústria de produtos para saúde**. In: Anais do XLVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO), p. 1-12, 2016. Disponível em: <http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2016/pdf/156372.pdf>. Acesso em: 26 out. 2020.

CARVALHO JUNIOR, Raimundo Alves de; PRAXEDES, Dalilla de Medeiros; BESSA, Roberto Rabêlo; SOUZA NETO, Rubens Mendonça de; DANTAS, Saulo de Moraes. **Aplicação de um modelo de simulação em um cruzamento na cidade de Apodi-RN**. In: XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, p. 1-16, 2018. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_263_512_36193.pdf. Acesso em: 12 out. 2020.

CASALINHO, Gilmar D'Agostini Oliveira; SCHRAMM, Fábio Kellermann; SILVA, Ana Paula Nogueira e. Uso de simulação de eventos discretos para análise da implementação de conceitos de produção enxuta. **Revista Sociais e Humanas**, v. 24, n. 01, p. 87-100, jan./jun. 2011. Disponível em: https://periodicos.ufsm.br/sociais_ehumanas/article/view/2925/2592. Acesso em: 22 out. 2020.

CASOTTI, Bruna Pretti; DEL BEL FILHO, Egmar; CASTRO, Paulo Castor de. Indústria de fundição: situação atual e perspectivas. Rio de Janeiro, **BNDDES Setorial**, n. 33, p. 121-162, mar. 2011. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/1721>. Acesso em 20/11/2019.

CHAVES, Carlos Alberto; MENDES, Jéssica Alves Justo; LEITE, Thiago Bittencourt. **Aplicação do projeto Kaizen para a melhoria do estoque de uma empresa de pequeno porte**: um estudo de caso. In. XIV Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia (SEGeT). p. 1-17, 25-27 out., 2017. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos17/225150.pdf>. Acesso em: 29 maio 2021.

CHWIF, Leonardo; MEDINA, Afonso C. **Modelagem e simulação de eventos discretos**: teoria e aplicações. 2. ed. São Paulo: Editora dos Autores, 2010.

CHWIF, Leonardo; MEDINA, Afonso C.; PEREIRA, Wilson I.; VIEIRA, Darli R; PÉCORA Jr. José E. **Introdução ao SUMUL8**: um guia prático. 1. ed. atualizada. São Paulo: Ed. dos Autores, 2015. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/355549803/Introducao-ao-Simul8-2015-4-pdf>. Acesso em: 01 set. 2020.

CORRÊA, Henrique L.; CORRÊA, Carlos A. **Administração de produção e operações**: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica.. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2017. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597013153/cfi/6/10!/4/2@0:0>. Acesso em: 29 maio 2021.

COSTA, Rafael Florêncio da Silva; MONTEVECHI, José Arnaldo Barra; SANTOS, Marcos José; SANTOS, Ana Carolina Oliveira. **Avaliação econômica de cenários para uma célula de manufatura por simulação a eventos discretos**. In: XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Salvador, p. 01-12, 2009. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2009_tn_sto_096_652_12834.pdf. Acesso em: 12 set. 2020.

COSTA NETO, Renato Peixoto da; SILVA, Luciano Moreira da; OLIVEIRA, Fabiano S. G.; ALVARES, Fabini H. B.. Gestão da produtividade total: definição de produtividade a partir de sete constatações. **Revista de Engenharia da Universidade Católica de Petrópolis (REUCP)**, Petrópolis, v. 7, n. 2, p. 83-94, 2012. Disponível em: <http://seer.ucp.br/seer/index.php/REVCEC/article/view/460>. Acesso em: 09 jul. 2021.

DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel Pacheco; ANTUNES JÚNIOR, José Antonio Valle. **Design science research**: método de pesquisa para o avanço da ciência e tecnologia. Porto Alegre: Bookman, 2015. Disponível em: <https://integrada.minha.biblioteca.com.br/#/books/9788582602997/cfi/162!4/4@0.00:9.46>. Acesso em: 01 out. 2020.

EVANGELISTA, Adônis Souza. SILVA, Jefferson. Processo de fundição e sua versatilidade na fabricação de peças. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, Ano 05, ed. 03, v. 11, p. 21-50. mar. 2020. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-mecanica/processo-de-fundicao?pdf=47776>. Acesso em: 09 jul. 2021.

FAGUNDES, Alexandre Borges. **Mapeamento do gerenciamento das areias a verde de fundição no estado do Paraná sob a ótica da produção mais limpa**: uma contribuição para o estabelecimento de estratégias. 2010 144 f. Dissertação (Mestre em Engenharia de Produção). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Ponta Grossa, 2010. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp134859.pdf>. Acesso em: 17 out. 2020.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS (FIEMG). **Guia de boas práticas do setor fundição**. Publicado em: 18 fev. 2016. Disponível em: <http://www.sifumg.com.br/wp-content/uploads/2016/02/cartilha-de-fundicao.pdf>. Acesso em: 25 out. 2020.

FERNANDES, Ricardo Arnaldo da Cunha. **Simulador de sistemas de produção e de informação industriais aplicação a sistema de produção lean**. Relatório de Projecto (Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores Major Automação). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) Porto, 2008. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/58325/2/Texto%20integral.pdf>. Acesso em: 26 out. 2020.

FLORENCIO, Geane Beatriz Stauski; CAMPA, Kimberly; SATO, Fábio Takeshi. **Comparativo do antes e depois da implantação do lean manufacturing em uma empresa de fundição localizada em Ponta Grossa-PR**. In: Evento Interinstitucional de Iniciação Científica - EIICS, p. 01-18, 2017. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2009_tn_sto_096_652_12834.pdf. Acesso em: 12 set. 2020.

FRANCISCHINI, Paulino Graciano. **Aplicação do modelo de FCS para obtenção de indicadores de produtividade**. Publicado em: 01 abr. 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Paulino-Francischini/publication/266421915_...pdf. Acesso em: 09 jul. 2021.

FRANCO, Zaida Micaela; OIAN, Carlos Alberto. **Sinergia entre Lean Manufacturing e Indústria 4.0 no contexto de século XXI**. In: IX Congresso Brasileiro de Engenharia da Produção. p. 1-12, 2019. Disponível em: http://aprepro.org.br/conbrepro/2019/anais/arquivos/10172019_211012_5da90974e621b.pdf. Acesso em: 24 out.2020.

GANGA, Gilberto Miller Devós; SAGAWA, Juliana Keiko; DELAI, Ivete; GODINHO FILHO, Moacir; ALVES FILHO, Alceu Gomes. Sistemas de Produção. In: BATALHA, Mário Otávio. (coordenação). **Gestão da produção e operações**: abordagem integrada. São Paulo: Atlas, 2019. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597021288/cfi/6/10!/4/2@0:0>. Acesso em: 26 maio 2021.

GAUSS, Leandro. **Material da disciplina de simulação computacional**: aula 4 – modelagem dos dados de entrada I – rev01. São Leopoldo: UNISINOS, 2020.

GAZIERO, Cleiton; CECCONELLO, Ivandro. Simulação computacional do fluxo de valor: uma proposta de integração da Indústria 4.0 e *lean production*. **Scientia Cum Industria**, v. 7, n. 2, p. 52-67, 2019. Disponível em: <http://www.uces.br/etc/revistas/index.php/scientiacumindustria/article/viewFile/7158/pdf>. Acesso em: 12 set. 2020.

GENARI, Clefer; CECCONELLO, Ivandro. A simulação computacional como ferramenta de suporte a aplicação dos conceitos do *lean manufacturing*. **Scientia Cum Industria**, v. 8, n. 2, p. 30-40, 2020. Disponível em: <http://www.uces.br/etc/revistas/index.php/scientiacumindustria/article/download/7765/pdf>. Acesso em: 12 set. 2020.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 2. reimpressão. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2018. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597012934/cfi/6/24!/4/70/2/2@0:0>. Acesso em: 09 jun. 2021.

GOECKS, Lucas Schmidt; TELLES, Eduardo Santos Telles; GOMES, Ismael Becker Gomes. **O Sistema Toyota de Produção e a Indústria 4.0**: suas interações e diferenças. In: Simpósio Gaúcho de Engenharia de Produção, p. 1-14, 2018. Disponível em: <https://even3.blob.core.windows.net/anais/120807.pdf>. Acesso em: 12 set. 2020.

GREGÓRIO, Gabriela Fonseca Parreira; LOZADA, Gisele. **Simulação de sistemas produtivos**. Revisão Técnica de Henrique Martins Rocha. Porto Alegre: SAGAH, 2019. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595029194/cfi/1!/4/4@0.00:46.6>. Acesso em: 24 out. 2020.

GRIMARD, Carrie; MARVEL, Jon H.; STANDRIDGE, Charles R.. **Validation of the re-design of a manufacturing work cell using simulation**. In: *Winter Simulation Conference, Piscataway*, 2005. Anais... *Piscataway, Institute of Electrical and Electronics Engineers*, p. 1386-1391, 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/221526302_Validation_of_the_re-design_of_a_manufacturing_work_cell_using_simulation/link/5593d41908aed7453d46eb14/download. Acesso em: 25 set. 2020.

GUIMARÃES, Alexandre Magno Castañon. **Simulação computacional**: um modelo de maturidade e de seleção para uso dos *softwares* em manufaturas. 2015. 175 f. Tese (Doutorado em Engenharia Industrial). Departamento de Engenharia Industrial. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/26963/26963.PDF>. Acesso em: 26 out. 2020.

HIDRO JET. **Vídeo institucional:** imagens dos processos fabris. Disponível em: <https://hidrojet.ind.br/>. Acesso em: 22 de maio. 2021.

HILLIER, Frederick S.; LIBERMAN, Gerald J.. **Introdução à pesquisa operacional**. 9. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580551198/cfi/1!4/4@0.00:12.2>. Acesso em: 24 out. 2020.

HUNOFF, Roberto. **Indústria de fundição prevê dobrar crescimento**. Publicado em: 17 jan. 2020. Disponível em: https://www.jornaldocomercio.com/_conteudo/economia/2020/01/721237-industria-de-fundicao-preve-dobrar-crescimento.html. Acesso em: 27 set. 2020.

KACH, Sirnei César; OLIVEIRA, Reinaldo J.; VEIGA, Lidiane Ribeiro da; GALHARDI, Antonio César. **Simulação numérica como diferencial competitivo em empresas do setor de fundição**. In: XI Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia (SEGeT). p. 1-14, 2014a. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos/14/20520249.pdf>. Acesso em: 23 out. 2020.

_____. **Mapeamento do fluxo de valor:** otimização do processo produtivo sob a ótica da engenharia da produção. In: XI Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia (SEGeT). p. 1-16, 2014b. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos/14/20520470.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2021.

KING, Ney Cesar de Oliveira; LIMA, Edson Pinheiro de; COSTA, Sérgio Eduardo Gouvêa da. Produtividade sistêmica: conceitos e aplicações. **Revista Production**, v. 24, n. 1, p. 160-176, jan./mar. 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/prod/a/MqJMcPzXt4vPdVNPMxyxcmq/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 09 jul. 2021.

KIRCHNER, Arndt; KAUFMANN, Hans; SCHMID Dietmar. **Gestão da qualidade:** segurança do trabalho e gestão ambiental. São Paulo: Edgard Blucher, 2008. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521215615/cfi/3!4/4@0.00:28.7>. Acesso em: 29 maio 2021.

LAW, Averill M.; KELTON, W. David. **Simulation modeling and analysis**. 3. ed. New York: McGraw Hill, 2000.

LEAL, Fabiano; ALMEIDA, Dagoberto Alves de; MONTEVECHI, José Arnaldo Barra. **Uma proposta de técnica de modelagem conceitual para a simulação através de elementos do IDEF**. In XL Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO). João Pessoa, 02-05 set. 2008. Disponível em: <http://ws2.din.uem.br/~ademir/sbpo/sbpo2008/pdf/arq0292.pdf>. Acesso: 22 maio 2021.

LEVINE, David M.; STEPHAN, David F.; SZABAT, Kathryn A.. **Estatística:** teoria e aplicações usando o *Microsoft® Excel* em português. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521631972/cfi/6/10!4/10/2@0:100>. Acesso em: 22 maio 2021.

LIKER, Jeffrey K.. **O modelo Toyota:** 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo. Porto Alegre: Bookman, 2007. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788577801374/cfi/2!4/4@0.00:31.5>. Acesso em: 24 out. 2020.

LIMA, Ana Claudia da Silva. **Inovação no setor de fundição**: impacto ambiental e energético. 2011. 317 f. Dissertação (Mestrado Engenharia de Produção). Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011. Disponível: http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_m/AnaClaudiaDaSilvaLima.pdf. Acesso em: 24 out. 2020.

LIMA, Danilo Felipe Silva de; ALCANTARA, Paulo Guilherme de França; SANTOS, Luciano Costa; SILVA, Liane Márcia Freitas e; SILVA, Ricardo Moreira da. Mapeamento do fluxo de valor e simulação para implementação de práticas *lean* em uma empresa calçadista. **Revista Produção Online**, Florianópolis, v. 16, n. 1, p. 366-392, jan./mar. 2016. Disponível em: <https://producaoonline.org.br/rpo/article/download/2183/1391> Acesso em: 07 nov. 2020.

LODER, Liane Ludwig; BENDER, Fernando Augusto. **O uso de programas de simulação em cursos de engenharia**: possibilidades e necessidades. In: XXXV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. p. 1-10, 2007. Disponível em: <http://www.abenge.org.br/cobenge/arquivos/12/artigos/150-Liane%20Ludwig%20Loder.pdf>. Acesso em: 24 out. 2020.

MACEDO, Marcelo; FISCHER, Diogo Augusto; GAUTHIER, Fernando Ostuni; TRINDADE, Evelin Priscila. Aplicação da manufatura enxuta para melhoria dos resultados operacionais no processo de macharia de uma fundição: estudo de caso Docol. **Revista Espacios**, v. 35, n. 3, p. 1-12, 2014. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a14v35n03/14350313.html> Acesso em: 09 out. 2021.

MARTINS, Gilberto de Andrade. **Estudo de caso**: uma estratégia de pesquisa. 2. ed. 2. reimpressão. São Paulo: Atlas, 2008. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522466061/cfi/4!/4/4@0.00:22.5>. Acesso em: 16 jul. 2021

MONDEN, Yasuhiro. **Sistema Toyota de produção**: uma abordagem integrada ao *just-in-time*. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582602164/cfi/1!/4/4@0.00:47.1>. Acesso em: 24 out. 2020.

MONTEVECHI, José Arnaldo Barra; COSTA, Rafael Florêncio da Silva; MIRANDA, Rafael de Carvalho; PINHO, Alexandre Ferreira de. Aplicação do planejamento de experimentos simulados para auxílio à tomada de decisões em uma célula de manufatura de alta tecnologia, **Revista Eletrônica Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento (PODES)**, Rio de Janeiro, v. 60, n.1, p. 110-136, 2014. Disponível em: <https://www.podesenvolvimento.org.br/podesenvolvimento/article/view/237/275>. Acesso em: 12 set. 2020.

MORANDI, Maria Isabel Wolf Motta; CAMARGO, Luis Felipe Riehs. Revisão sistemática da literatura. In: DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel Pacheco; ANTUNES JÚNIOR, José Antonio Valle. **Design science research**: método de pesquisa para o avanço da ciência e tecnologia. Porto Alegre: Bookman, 2015. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582602997/cfi/162!/4/4@0.00:9.46>. Acesso em: 07 nov. 2020.

MUNIZ, Emerson Cleister Lima; OLIVEIRA, Helber Bittencourt de Jesus; NEVES, Clara Cruz; OLIVEIRA, Victor Hugo Píancó de; SOUZA, João Artur de. Aplicação dos princípios da produção enxuta na eliminação de perdas em um processo produtivo. **Journal of Lean Systems**, v. 5, n. 2, p. 76-108, 2020. Disponível em: <https://lpmc.ufsc.br/2020/04/08/journal-of-lean-systems-vol-5-no-2-2020/> Acesso em: 28 nov. 2020.

OLIVEIRA, Clênio Senra de. **Metodologia para utilização de simulação em projetos de manufatura enxuta**. 2008a. 187 f. Mestrado (Engenharia da Produção). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/ICFC-7FGJSW/1/cl_nio_senra_de_oliveira_.pdf. Acesso em: 12 set. 2020.

_____. Aplicação de técnicas de simulação em projetos de manufatura enxuta. **Estudos Tecnológicos**, v. 4, n. 3, p. 204-217, 2008b. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/251065613_Aplicacao_de_tecnicas_de_simulacao_em_projetos_de_manufatura_enxuta. Acesso em: 12 set. 2020.

OLIVEIRA, Reinaldo; KACH, Sirnei César; OLIVEIRA, Eliana Santos de; VEIGA, Lidiane Ribeiro da; GALHARDI, Antonio César. **Estudo da relação da competitividade na indústria de fundição de metais com a aplicação da tecnologia de simulação**. In: IX Workshop de Pós-Graduação e Pesquisa do Centro Paula Souza, São Paulo, p. 156-165, 2014. Disponível em: <http://www.pos.cps.sp.gov.br/files/artigo/file/454/e611820ad3faec74ce9e32e5623200dd.pdf>. Acesso em: 25 set. 2020.

OLIVEIRA, Valter Vander de. **Processo de fundição**: aula 2. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina – IFSC. Publicado em: 08 jun. 2010. Disponível em: http://joinville.ifsc.edu.br/~valterv/Processos_de_Fabricacao/aula%20%20Processo%20de%20Fundicao.pdf. Acesso em: 09 jul. 2021.

ORTIZ, Chris A. **Kaizen e implementação de eventos Kaizen**. Porto Alegre: Bookman, 2010. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788577807390/cfi/1!4/4@0.00:51.9>. Acesso em: 22 maio 2021.

PEGAS, Paulo Henrique. **Simulação baseada em agentes para uma cadeia de suprimentos com impressão 3D**: uma análise comparativa utilizando ANYLOGIC. 2017. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8363/1/PG_DAENP_2017_2_16.pdf. Acesso em: 12 set. 2020.

PEREIRA, Anne Priscila Alves; GOMES, Victor Emmanuel de Oliveira; TRABASSO, Luis Gonzaga; GOMES, Jefferson de Oliveira. **Simulação de layout aplicada ao projeto de uma linha de fundição**. In: VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. Campina Grande, Paraíba. p. 1-11. 18-21 ago., 2010. Disponível em: <http://docplayer.com.br/11246105-Simulacao-de-layout-aplicada-ao-projeto-de-uma-linha-de-fundicao.html>. Acesso em: 11 out. 2010.

PIAIA, Maria Luiza. **Modelo de avaliação da maturidade da implementação do Lean Manufacturing com utilização de uma abordagem multicritério linguístico**. 2019. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção e Sistemas). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco 2019. Disponível em: http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4519/1/PB_PPGEPS_M_Piaia%2c%20Maria%20Luiza_2019.pdf . Acesso em: 15 abr. 2021.

PINHO, Alexandre Ferreira de; MONTEVECHI, José Arnaldo Barra; MARINS, Fernando Augusto Silva; COSTA, Rafael Florencio da Silva; MIRANDA, Rafael de Carvalho; FRIEND, Jonathan Daniel. *Evaluation of a proposed optimization method for discrete-event simulation models*. **Revista Pesquisa Operacional**, v. 32, n. 3, p. 543-559, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/pope/v32n3/aop2312.pdf>. Acesso em: 01 set. 2020.

PORTER, Michael. **Competição: estratégias competitivas essenciais**, 13 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 1999. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=SMFDDZCuCIEC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 01 set. 2020.

PRICE WATERHOUSE COOPERS (PWC). **Industrial manufacturing trends 2020: succeeding in uncertainty through agility and innovation**. In: *23rd Annual Global CEO Survey*. 2020. Disponível em: <https://www.pwc.com/gx/en/ceo-survey/2020/trends/industrial-manufacturing-trends-2020.pdf>. Acesso em: 08 set. 2020.

QUEIROZ, Jose Antonio de; MIRANDA, Rafael de Carvalho. **Integração da simulação a eventos discretos ao value stream mapping: uma proposta metodológica**. In: XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), p. 1-17, 2013. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013_TN_STO_177_007_22515.pdf. Acesso em: 05 abr. 2021.

REIS, Edna Afonso; REIS, Ilka Afonso. **Análise descritiva de dados**. 1. ed. Minas Gerais: Universidade Federal de Minas Gerais. 2002. Disponível em: <http://www.est.ufmg.br/portal/arquivos/rts/rte0202.pdf> Acesso em: 22 maio 2021.

ROBINSON, Stewart; BROOKS, Roger; KOTIADIS, Kathy; ZEE, Durk-Jouke Van Der. **Conceptual modeling for discrete-event simulation**. New York: CRC Press, 2011.

ROESCH, Sylvia Maria Azevedo. **Projetos de estágio e de pesquisa em administração: guia para estágios, trabalhos de conclusão, dissertações e estudos de caso**. 3. ed. 8. reimpressão. São Paulo: Atlas, 2013. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522492572/cfi/4!/4/4@0.00:12.3>.. Acesso em: 07 nov. 2020.

ROSA, Rubens José. **Avaliação da distribuição bootstrap na análise dos riscos em cronogramas de projetos**. 2017. 139 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Ciência, Gestão e Tecnologia da Informação. Setor de Ciências Sociais Aplicadas. Curitiba, 2017. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/46130/R%20-%20D%20-%20RUBENS%20JOSE%20ROSA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 03 jun. 2021.

RUCHERT, Cassius O. F. T. **Fundição**. Universidade de São Paulo (USP). Escola de Engenharia de Lorena. Publicado em: 15 maio 2018. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/6078833/mod_resource/content/0/Aula%204%20-%20Fundicao%20mod%20cassius.pdf. Acesso em: 09 jul. 2021.

SACOMANO, José Benedito; SÁTYRO, Walter Cardoso. Introdução. In: SACOMANO, José Benedito; GONÇALVES, Rodrigo Franco; SILVA, Márcia Terra da Silvia; BONILLA, Helena; SÁTYRO, Walter Cardoso (organizadores). **Indústria 4.0: conceitos e fundamentos**. São Paulo: Blucher, 2018a. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521213710/cfi/4!/4/4@0.00:52.9>. Acesso em: 24 out. 2020.

_____. Indústria 4.0: conceitos e elementos formadores. In: SACOMANO, José Benedito; GONÇALVES, Rodrigo Franco; SILVA, Márcia Terra da Silvia; BONILLA, Helena; SÁTYRO, Walter Cardoso (organizadores). **Indústria 4.0: conceitos e fundamentos**. São Paulo: Blucher, 2018b. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521213710/cfi/4!/4/4@0.00:52.9>. Acesso em: 24 out. 2020.

SANTOS, Mauricio Pereira dos. **Introdução à simulação discreta**. Universidade do Estado do Rio de Janeiro: 1999. Disponível em: <http://mpsantos.com.br/simul.pdf>. Acesso em: 22 maio 2021.

SANTOS, Gabriele Lacerda; RIBEIRO, Siisia Leonel; LEAL, Fabiano; QUEIROZ, Jose Antonio de; ROCHA, Fernanda. **Aplicação do mapeamento do fluxo de valor integrado à simulação a eventos discretos para identificar desperdícios em uma fábrica de laticínios**. In: XLVI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Salvador, 16-19 set. 2014. Disponível em: <http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2014/pdf/arq0409.pdf>. Acesso em: 24 out. 2020.

SETTI, Dalmarino; CATEN, Carla Schwengber tem; POSSENTI, Marco Antônio. **Aplicação da manufatura enxuta em uma empresa de fundição de pequeno porte: um estudo de caso do setor de fusão**. In: V Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação (5. COBEF). Belo Horizonte, p. 1-7, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/309763367_aplicacao_da_manufatura_enxuta_em_uma_empresa_de_fundicao_de_pequeno_porte_um_estudo_de_caso_do_setor_de_fusao/link/58220cc108ae1e06ad24bd13/download. Acesso em: 12 set. 2020.

SHINGO, Shigeo. **O sistema Toyota de produção: do ponto-de-vista de engenharia de produção**. Porto Alegre: Bookmann, 2007. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788577800995/cfi/1!/4/4@0.00:18.4>. Acesso em: 24 out. 2020.

SIGLAS & ABREVIATURAS. **MDF – Medium Density Fiberboard**. Disponível em: <https://www.siglaseabreviaturas.com/mdf/>. Acesso em: 08 set. 2020.

SILVA, Leonardo, David de Mattos. **Redução de custos de produção na indústria automotiva por meio do Kaizen identificado no mapeamento do fluxo de valor**. 2016. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção). Faculdade de Engenharia. Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2016.

Disponível em: <https://www.ufjf.br/engenhariadeproducao/files/2016/12/TCC-Leonardo.pdf>. Acesso em: 22 maio 2021.

SOUZA, Stefania Márcia de Oliveira. **Gestão da qualidade e produtividade**. Porto Alegre: SAGAH, 2018. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595025561/cfi/25!/4/4@0.00:52.4>. Acesso em: 29 maio 2021.

STANDRIDGE, Charles R.; MARVEL, Jon H. **Why Lean Needs Simulation**. In: *Winter Simulation Conference, Piscataway*, 2006. Anais... *Piscataway, Institute of Electrical and Electronics Engineers*, p. 1907-1913, 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/221526314_Why_lean_needs_simulation. Acesso em: 01 out. 2020.

TONAKI, Viviane Sayuri. **Uma heurística para o problema de dimensionamento de lotes em fundições de mercado**. 2006. 103 f. Mestrado (Ciências – Ciências da Computação, Matemática Computacional). Universidade de São Paulo (USP), Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, São Carlos, 2006. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/55/55134/tde-24012007-142604/>. Acesso em: 07 out. 2010.

TREVISAN, Fernando Zipperer; SAMPAIO, Murylo Gustavo. **Análise e estudo da aplicação de softwares de modelagem e simulação industrial e de processos**. 2017. 92 f. Monografia (Engenharia Mecânica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9371/1/CT_DAMEC_2017_1s_46.pdf. Acesso em: 24 out. 2020.

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS. **Manual para elaboração de trabalhos acadêmicos**: artigo, projeto, relatório, trabalho de conclusão de curso, dissertação e tese. 22. ed. revisada e modificada. Publicado em: 28 jul. 2020. São Leopoldo: Biblioteca da UNISINOS, 2020.

VILELA, Flávio Fraga; PIEDADE, Diego Dobscha da Cruz; MONTEVECHI, José Arnaldo Barra; LEAL, Fabiano. Balanceamento de operações e simulação a eventos discretos: redução da ociosidade dos operadores em uma linha de montagem. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia de Produção**, v. 20, n. 2, p. 472-492, 2020. Disponível em: <https://producaoonline.org.br/rpo/article/download/3842/1916>. Acesso em: 08 set. 2020.

YIN, Robert K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582602324/cfi/1!/4/4@0.00:50.6>. Acesso em: 07 nov. 2020; 16 jul. 2021.

WARTH, Carlos Henrique Bauer. **Avaliação de célula de manufatura com operadores multitarefa utilizando simulação de eventos discretos combinada com otimização**. 2019. 96 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção). Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) São Leopoldo, 2019. Disponível em: <http://www.unisinos.br/biblioteca/>... Acesso em: 15 abr. 2021.

GLOSSÁRIO

Areia verde: moldagem em areia verde, que consiste em uso do molde feito em areia úmida que, em seguida é compactada através da máquina de moldar. O termo 'verde significa que a umidade foi acrescentada na areia e aglomerantes.

Cadinho: forno.

Carga: composição com matéria prima a ser depositada no forno de fusão.

Cesto: recipiente onde é transportada matéria prima até o forno.

Ciclo PDCA: *Plan:* (Planejar); *D: Do* (Executar); *C: Check* (Controlar) e *A: Act* (Agir).

Ciclo SDCA: *S: Standard* (Padronizar); *D: Do* (Executar); *C: Check* (Controlar); *A: Act* (Agir) é também denominado de ciclo de Deming, conforme William Edwards Deming (1900-1999) que foi um cientista econômico norte-americano e se configura como um complemento do ciclo do PDCA.

Computer Numeric Control (CNC): traduzido para o português como Controle Numérico Computadorizado.

DNA: ou ADN em português é a sigla para Ácido Desoxirribonucleico, que compreende um composto orgânico.

ERP: *Enterprise Resource Planning* ou em português Sistema Integrado de Gestão Empresarial

Escórias: se formam pela fusão das impurezas que se encontram em meio à matéria prima utilizada no processo de fusão.

Ferramenta 5S: *Seiri* (senso de utilização); *Seiton* (senso de ordenação); *Seisoiu* (senso de limpeza; *Seiketsu* (senso da saúde); *Shitsuke* (senso da auto disciplina) (SOUZA, 2018).

Ferramenta: 5W2H: compreende uma lista das atividades que devem ser realizadas com a maior transparência possível pelos funcionários da empresa, respondendo as questões: o quê, porque, quem, onde, quando, como e quanto (SOUZA, 2018).

Ferro líquido: material dissolvido após processo de derretimento no forno de fusão.

IDEF-SIM: *Integrated Definition Methods–Simulation*, traduzido literalmente como Métodos de definição integrados – simulação.

MDF (*Medium Density Fiberboard*): placa de fibra de madeira que apresenta média densidade, sendo caracterizado como um material uniforme, plano e denso e não apresenta nós em sua formação, é derivada da madeira e por vezes tem substituído a madeira, principalmente na fabricação de móveis, exceto quando é preciso que se tenha maior rigidez (SIGLAS & ABREVIATURAS, 2020).

Macharia: é o processo de adquirir os aglomerados de areia e resina – conhecidos como ‘machos’, em que basicamente funcionam, como moldes internos, fornecendo uma nova forma às cavidades internas e detalhes externos da peça fundida, o que oferece novos formatos e geometrias aos produtos.

MES: *Manufacturing Execution Systems*: em português, Sistemas Integrados de Controle da Produção.

Molde de fundição: é um recipiente preparado única e exclusivamente para receber o metal em seu estado líquido, com o objetivo de imprimir nele determinado formato, previsto em um projeto de fabricação de peças e componentes metálicos.

Nodularização: compreende o processo de obtenção do ferro fundido com grafita na forma esferoidal, ou nodular.

Outliers: compreende um dado que se encontra fora do padrão geral de uma distribuição de dados.

Pé de banho: material em torno de 10% da capacidade do forno, que permanece na base (fundo do forno), no intuito de contribuir com a redução no tempo de fusão da próxima carga, este material não é enviado ao processo posterior.

Price Waterhouse Coopers (PWC): *network* de firmas que atua com consultorias de negócios e assessoria em transações.

Processo cold box (ou caixa fria): é uma técnica de moldagem que emprega resinas poliméricas endurecidas com catalizador orgânico na forma de vapor (gasosa).

SAP: *Software Applications and Products*: é a tradução livre para o português de aplicativos de softwares e produtos.

Shell: processo de fabricação onde é utilizada uma mistura de areia aglomerada com resina sintética a altas temperaturas para cura do macho.

APÊNDICE A – PROTOCOLO: REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Etapas	Descrição
<i>Framework</i> Conceitual	Revisão sistemática de literatura caracterizada como revisão agregativa para a pesquisa sobre aplicação das ferramentas do <i>Kaizen</i> e do VSM da filosofia LM e o suporte da simulação computacional por eventos discretos,
Contexto	Estudos de simulação computacional por eventos discretos como um método de suporte à aplicação das ferramentas do <i>Kaizen</i> e do VSM da filosofia LM.
Horizonte	Publicações a partir de 2005 a 2020.
Idiomas	Português e Inglês.
Questão de Revisão	Como elevar a produtividade na área de fusão de uma empresa de fundição à luz do LM com o suporte da simulação por eventos discretos?
Critérios de Inclusão	Materiais sobre a temática em estudo; artigos científicos indexados às revistas acadêmicas; artigos publicados e apresentados em simpósios, encontros de engenharia da produção, congressos, anais e <i>workshops</i> ; trabalhos de conclusão de curso e monografias; dissertações de mestrado e teses de doutorado; idioma em inglês e português e; período de publicação: 2005 a 2020.
Critérios de Exclusão	Estudos que não abordassem a temática em estudo; pesquisa em outros idiomas diferentes do português e do inglês; resenhas de artigos e livros; artigos não acadêmicos artigos que abordavam a aplicação de tecnologias facilitadoras da Indústria 4.0 diferente da simulação computacional; artigos científicos repetidos; e artigos publicados antes do ano de 2004.
Termos de Busca	Simulação a eventos discretos; <i>Lean Manufacturing</i> .
	<i>Discrete Events Simulation</i> ; <i>Lean Manufacturing</i> .
Fontes de Busca	Ferramenta de busca: <i>Google Acadêmico</i> .
	ABIFA; ABM; FIEMG; e PWC.

Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE B – CRONOGRAMA DO KAIZEN

ATIVIDADES KAIZEN POA 2021 (Fornos/Disa/Macharia)					LANÇADOS:	13	Revisão 06/04/21
					PRONTOS:	8	
					FALTAM:	5	
Nº	DESCRIÇÃO	Responsável	PRAZO	TEMPO P/ CONCLUSÃO	CONCLUSÃO	Comentários	
1	Cada fusão anotar a quantidade de metal líquido por panela (hora início e hora fim) 2-04-RG-085	Luis Gomes	23-fev-21	PRONTO	28-fev-21	Anotar a quantidade com precisão no TC 505, 510, 520, etc..	
2	Criar indicador com a informação do 2-04-RG-085 (tempo de fusão, ferro líquido e lingote)	Juan	18-mar-21	PRONTO	30-mar-21		
3	Compra quebrador de canal ROSSIL > Carga compactada	Jeferson	23-fev-21	PRONTO	5-abr-21		
4	OEE Indicador da Disa com meta por peça (Global em 250 moldes/hora)	Juan	23-mar-21	PRONTO	22-mar-21	Estamos coletando os dados falta alimentar o indicador	
5	Estudo para eliminar pé de banho na fusão	Jeferson	23-fev-21	PRONTO	26-mar-21		
6	Picar canal em prensa (estudo para utilizar prensa de casa)	Jeferson	23-mar-21	PRONTO	26-mar-21	Máquina em casa não tem capacidade	
7	Aproximar o cesto de carregamento proximo da fusão	Juan	18-mai-21	(16)		Necessário retirada und. 1	
8	Carga pronta por forno para 2000Kg	Luis Gomes	6-abr-21	PRONTO	8-abr-21	Luis Gomes comentou que o canal na plataforma é apenas para complemento da limpeza do forno, a carga vem pronta	
9	Layout para aproximar a pintura junto a macharia coldbox (hoje em torno 224m de distância)	Jeferson	30-mar-21	PRONTO	30-mar-21		
10	Estudo para modificação no Layout fusão próximo a Disa	Jeferson	30-jun-21	27			
11	Reduzir estoque sucata de 30 para 15 dias	Rivan	31-jul-21	58			
12	Reduzir estoque macharia de 06 para 03 dias	Peruzzo	31-jul-21	58			
13	Criar cronograma manutenção preventiva trimestral para as und de fusão	Peruzzo	30-jun-21	27		Organizar agenda junto a Profusão	

Fonte: Elaborado pelo autor.

ANEXO A – TERMO DE CONFIDENCIALIDADE: COLETA DE DADOS


UNISINOS

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
 Unidade Acadêmica de Graduação

**TERMO DE CONFIDENCIALIDADE PARA COLETA DE
 INFORMAÇÕES DE EMPRESA/INSTITUIÇÃO.**

Eu, Jeferson Luis Correia, aluno do Curso de Engenharia de Produção da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - Unisinos, matriculado sob o número 1034022, declaro que a Empresa/Instituição Hidro Jet Equipamentos Hidráulicos LTDA objeto de estudo do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado Simulação Computacional Por Eventos Discretos como Ferramenta de Suporte à Aplicação dos Conceitos Lean Manufacturing em uma célula de Manufatura (Processo de Fundição) entregue no semestre 02/2020, permitiu a pesquisa e o uso de todos os dados que nele constam.

Declaro, ainda, que as informações apresentadas são verdadeiras e correspondem à realidade da Empresa/Instituição estudada.

(X) A Empresa/Instituição autorizou a divulgação do seu nome fantasia/razão social.

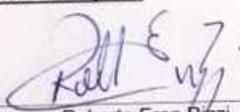
() A Empresa/Instituição não autorizou a divulgação do seu nome fantasia/razão social. Nesse caso, responsabilizo-me em preservar o nome da Empresa/Instituição de forma a que ela não seja passível de identificação no meu Trabalho.

Feliz, 28 de Agosto de 2020.



Assinatura do aluno

Ciência da empresa



 Roberto Eron Rizzi
 CPF 561.096.880-53

 Hidro Jet - CNPJ 90.952.052.0001-50

Av. Unisinos, 950 Caixa Postal 275 CEP 93022-000 São Leopoldo Rio Grande do Sul Brasil
 Fone: (51) 3591-1122 <http://www.unisinos.br>