UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

LUIZA AMARAL ADLER RODRIGUES

SIMULAÇÃO DE PRODUÇÃO EM UMA ÁREA DE LINGOTAMENTO DE UMA EMPRESA METALÚRGICA: ANÁLISE DE GARGALO E UTILIZAÇÃO DE RECURSOS

JUIZ DE FORA
2018

LUIZA AMARAL ADLER RODRIGUES

SIMULAÇÃO DE PRODUÇÃO EM UMA ÁREA DE LINGOTAMENTO DE UMA EMPRESA METALÚRGICA: ANÁLISE DE GARGALO E UTILIZAÇÃO DE RECURSOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira de Produção.

Orientador: D.Sc., Fernando Marques de Almeida Nogueira

JUIZ DE FORA

2018

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração
automática da Biblioteca Universitária da UFJF,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Rodrigues, Luiza Amaral Adler.
Simulação de produção em uma área de lingotamento de uma empresa metalúrgica : Análise de gargalo e utilização de recursos / Luiza Amaral Adler Rodrigues. -- 2018.
55 p. : il.

Orientador: Fernando Marques de Almeida Nogueira
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, ICE/Engenharia, 2018.

1. Simulação. 2. Filas. 3. Silício Metálico. I. Nogueira, Fernando Marques de Almeida, orient. II. Título.

LUIZA AMARAL ADLER RODRIGUES

SIMULAÇÃO DE PRODUÇÃO EM UMA ÁREA DE LINGOTAMENTO DE UMA EMPRESA METALÚRGICA: ANÁLISE DE GARGALO E UTILIZAÇÃO DE RECURSOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira de Produção.

Aprovada em 05 de dezembro de 2018.

BANCA EXAMINADORA

D.Sc., Fernando Marques de Almeida Nogueira Instituição
Universidade Federal de Juiz de Fora

D.Sc., Luiz Henrique Dias Alves
Universidade Federal de Juiz de Fora

Leonardo Barbosa de Souza

AGRADECIMENTOS

Agradeço especialmente à minha mãe, por ser minha principal incentivadora, por estar sempre ao meu lado e por não ter medido esforços para me ajudar a chegar até aqui. Obrigada, mãe, por tudo!

À minha família, sempre presente, por ser o meu porto seguro.

Ao Lucas, que me acompanhou durante toda a minha jornada, por todo amor, paciência, amizade e lealdade. Obrigada por sempre acreditar em mim!

Ao Deacir e ao Leonardo, por toda a ajuda durante a realização do trabalho, e por tanto conhecimento transmitido.

Aos meus professores e membros da banca, por todos os ensinamentos.

Aos meus amigos, por compartilharem dos momentos bons e ruins ao meu lado.

A todos os meus colegas de trabalho, que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, obrigada!

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo a elaboração de um modelo de simulação para parte do processo de uma empresa metalúrgica. O estudo das filas em um processo metalúrgico tem grande importância, devido à alta sensibilidade do sistema à filas. Por se tratar de material em estado líquido, o tempo em fila contribui para que o metal perca temperatura, podendo ser perdido por excesso de tempo de espera. A simulação é um recurso que permite a análise de filas geradas no sistema, gargalos, utilização de recursos, entre outros. Essas informações são úteis para entender as perdas de processo e analisar possíveis melhorias. Além disso, a simulação mostra como o sistema se comporta, sem que haja gastos, possibilitando que várias opções de melhoria sejam testadas antes da implementação. O estudo tem o objetivo de entender como o sistema atual se comporta, e propor cenários de melhorias para os problemas identificados na simulação.

Palavras-chave: Silício metálico. Simulação. Filas.

ABSTRACT

This paper aims at the elaboration of a simulation model for part of the process of a metallurgical company. The study of queues in a metallurgical process has great importance, due to the high sensitivity of the system to the queues. Because it is a liquid material, the time in a queue contributes to the metal losing its temperature, which can lead to the loss of the material due to the long waiting. The simulation is a tool that allows the analysis of queues generated in the system, bottlenecks, use of resources, among others. This information is useful for understanding process losses and analyzing possible improvements. In addition, the simulation shows how the system behaves, without spending, allowing several improvement options to be tested before implementation. The study aims to understand how the current system behaves, and propose improved scenarios for the problems identified in the simulation.

Keywords: Silicon metal. Simulation. Queues.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição geográfica dos empreendimentos do setor de ferroligas e silício metálico em Minas Gerais 15
Figura 2 - Distribuição de vendas de silício metálico no mercado interno e externo 16
Figura 3 - Metodologia de pesquisa em Engenharia de produção 19
Figura 4 - Processo de produção do silício metálico 21
Figura 5 - Forno elétrico a arco submerso 22
Figura 6 - a) Mudanças de estado em eventos discretos, b) Mudanças de estado em eventos contínuos 24
Figura 7 - Curvas normais com diferentes parâmetros 28
Figura 8 - Mapeamento simplificado do lingotamento 30
Figura 9 - Mapeamento simplificado da remoção do lingote da forma fixa 31
Figura 10 - Fluxo simplificado da atividade na área de lingotamento 34
Figura 11 – Histograma de um dos parâmetros coletados no processo 40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Lista de atividades consideradas na simulação.....35
Tabela 2 - Recursos necessários em diferentes processos.....38
Tabela 3 – Tamanho de amostra ideal para cada dado coletado 39
Tabela 4 – Média e desvio dos dados reais versus dados simulados.....41
Tabela 5 – Tempo médio de fila (cenário real) 44
Tabela 6 – Utilização média e máxima dos recursos.....44
Tabela 7 - Utilização média dos recursos (cenário real versus cenário 1) 46
Tabela 8 – Tempo médio de fila (cenário real versus cenário 1) 46
Tabela 9 – Tempo médio de fila (cenário real versus cenário 2) 48
Tabela 10 - Utilização média dos recursos (cenário real versus cenário 2) 48
Tabela 11 – Sequência das atividades (cenário 4).....49

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Equação geral para obtenção do silício metálico.....21
Equação 2 – Função densidade de probabilidade da curva normal.....29
Equação 3 – Cálculo do tamanho da amostra.....40
Equação 4 – Hipótese nula do teste de hipóteses 42
Equação 5 – Hipótese 1 do teste de hipóteses 42
Equação 6 – Estatística de testes do teste de hipóteses 42
Equação 7 – P-valor.....43

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABRAFE – Associação Brasileira de Ferro-ligas e Silício Metálico

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 14

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS 14
1.2 JUSTIFICATIVA 16
1.3 ESCOPO DO TRABALHO 17
1.4 ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS 18
1.5 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA 18
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO 19

2. REVISÃO DE LITERATURA 20

2.1 PROCESSO PRODUTIVO DE SILÍCIO METÁLICO 20
2.2 SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS 23
2.3 SIMULAÇÃO EM ARENA® 24
2.4 DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE 27
2.4.1 DISTRIBUIÇÃO NORMAL 27
2.5 PROCESSOS NA ÁREA DE LINGOTAMENTO 29

3. DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE SIMULAÇÃO 33

3.1 FORMULAÇÃO DA SIMULAÇÃO 33
3.2 A LÓGICA DE SIMULAÇÃO 35
3.3 COLETA DE DADOS 38
3.4 VALIDAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO 40

4. RESULTADOS 43

4.1 ANÁLISE DO PROCESSO ATUAL 43
4.2 SUGESTÕES DE MELHORIAS 45
4.3 DIFICULDADES ENCONTRADAS E OPORTUNIDADES FUTURAS 50

5. CONCLUSÕES 51

REFERÊNCIAS..... 52

ANEXO A – TERMO DE AUTENTICIDADE..... 55

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Esperas em filas causam pequenos desconfortos no dia a dia das pessoas, e faz com que um processo simples, como por exemplo pagar uma conta no banco, leve horas. Considerando uma indústria, as filas podem ser traduzidas em ineficiências, perdas de produção, entregas com atraso, entre outros transtornos que podem tornar o negócio inviável (HILLIER & LIBERMAN, 2013).

Alguns processos admitem filas maiores, ao contrário de outros, que não permitem nenhuma fila. Se a capacidade de atendimento de uma estação de trabalho for excessiva, isso gera custos altos e acaba elevando o preço final de produtos e serviços. Por outro lado, a falta de capacidade resulta em esperas longas e pode ter consequências desastrosas. O estudo de filas é importante para que se encontre um equilíbrio entre o tempo de espera e o custo associado (HILLIER & LIBERMAN, 2013).

As filas no processo metalúrgico precisam ser bem controladas, devido à facilidade de perda de material por conta da temperatura dos metais. Para algumas atividades da produção de silício metálico, o metal precisa estar em uma faixa de temperatura adequada, para que as atividades possam ser realizadas. Para o lingotamento do metal em formas, o metal precisa estar na sua forma líquida, e com a perda de temperatura, o metal começa a se solidificar, impedindo que o lingotamento possa acontecer. Caso isso ocorra, há a perda do metal e da panela (recipiente que abriga o metal, após a retirada do forno). Para a retirada do metal da forma, quando já está solidificado, há uma outra faixa de temperatura. Caso o metal esfrie excessivamente, ele se torna muito frágil e quebra com facilidade, dificultando a sua retirada do molde.

De acordo com a Associação Brasileira de Ferro-ligas e Silício Metálico, a ABRAFE, o faturamento dessa indústria é de aproximadamente 8 bilhões/ano, com a geração de 80 mil empregos diretos e indiretos.

Minas Gerais concentra 22 empreendimentos no setor de ferroligas e 6 deles são de fabricação de silício metálico, produzindo aproximadamente 16.000 toneladas de liga mensais. A figura 1 mostra a distribuição dessas indústrias no estado. Cerca de 90% da produção mineira de silício metálico é voltada ao mercado externo, como apresentado na figura 2. Por

outro lado, as ligas de ferro-manganês e ferro-silício manganês produzem quase que na sua totalidade para o mercado interno (FEAM, 2010).

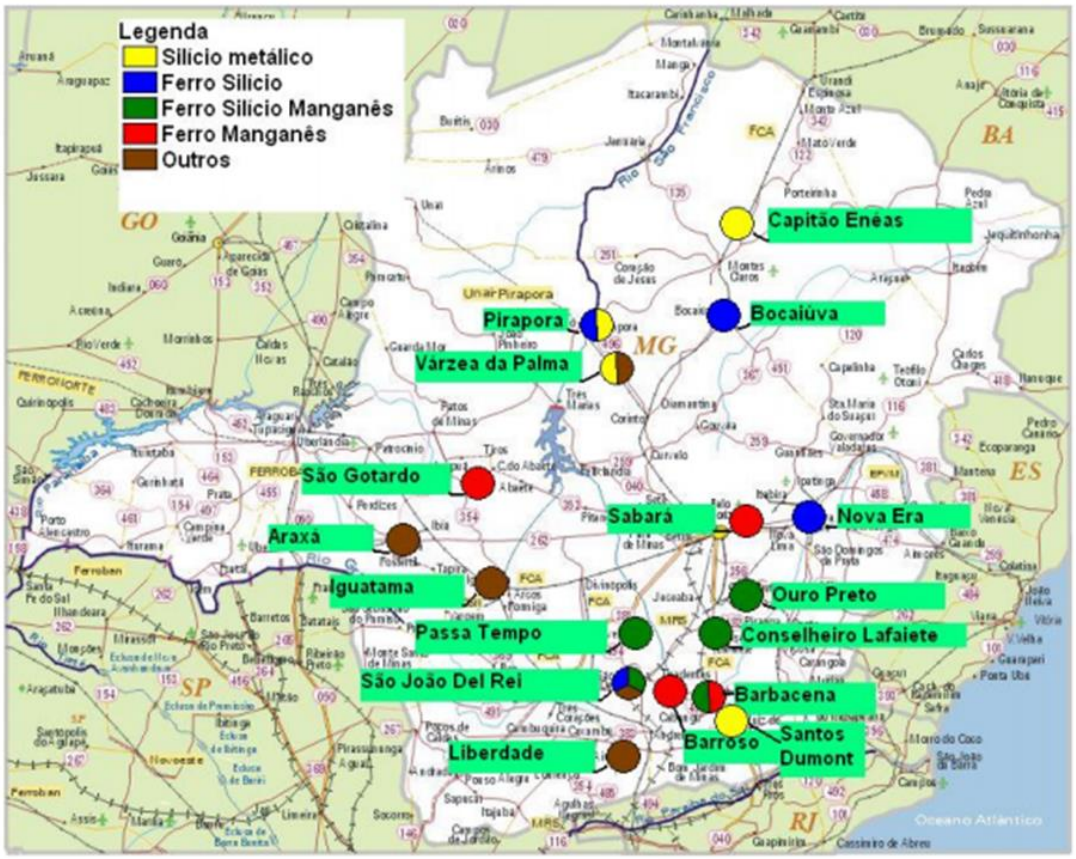

Figura 1 - Distribuição geográfica dos empreendimentos do setor de ferroligas e silício metálico em Minas Gerais
Fonte: FEAM, 2010

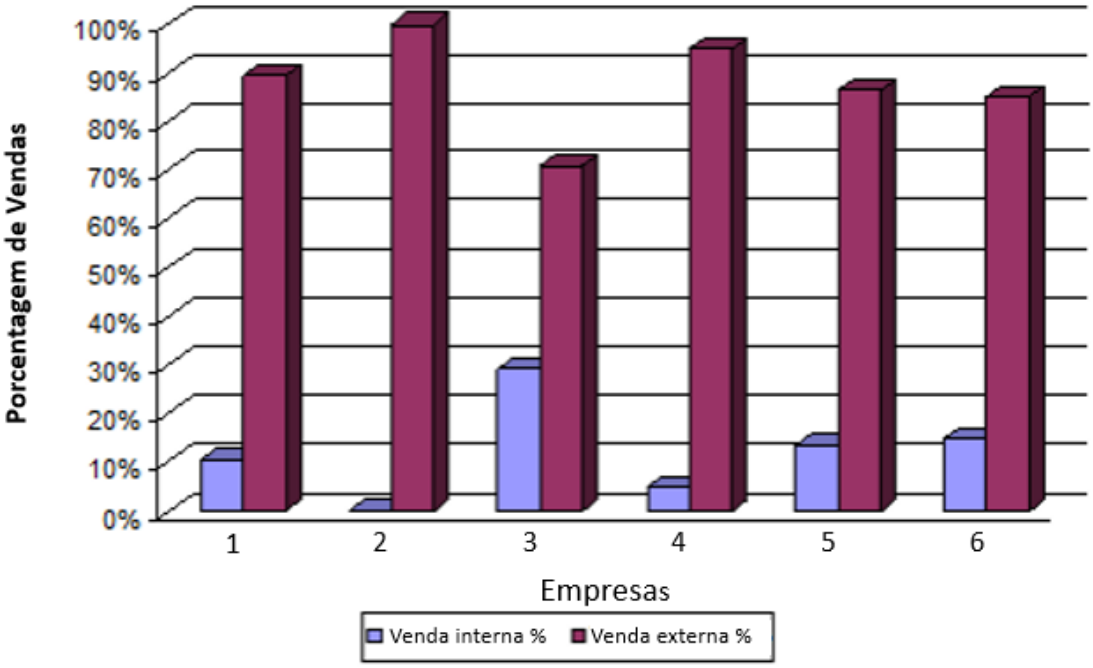

Figura 2 - Distribuição de vendas de silício metálico no mercado interno e externo
Fonte: FEAM, 2010

A produção de silício metálico é de grande importância devido às inúmeras utilidades para a fabricação de diversos produtos. As utilidades do silício podem ser divididas em cinco grupos: ligas de alumínio, silicones, painéis solares, semicondutores e refratários. Como exemplos de alguns produtos finais, pode-se citar lubrificantes, borracha, painéis solares e chips eletrônicos (LIASA, 2017). De acordo com o Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico (2015), o Brasil é o quarto maior produtor de silício metálico do mundo.

1.2 JUSTIFICATIVA

O resultado obtido no final deste trabalho busca otimizar a área de lingotamento em uma empresa metalúrgica, após a análise de gargalos e ocupação dos recursos. É importante ressaltar que a área produtiva em estudo é uma área de alto risco e a execução do trabalho auxiliará na análise de novos cenários e possibilidade de execução das tarefas, visando reduzir a utilização de alguns recursos.

O processo de lingotamento, por se tratar de uma atividade de alto risco devido ao transporte de panelas metalúrgicas com grande quantidade de silício metálico líquido, lingotes de metal ainda em altas temperaturas e ferramentas pesadas, foi o que impulsionou a escolha

do tema para o trabalho. Além disso, há o interesse em conhecer todos os movimentos realizados durante os processos para padronização e posterior melhoria do mesmo.

Pretende-se apresentar à empresa a situação atual do processo e avaliar novas possibilidades de execução das atividades, processando a mesma quantidade de material, porém reduzindo a utilização de alguns recursos, que podem ajudar a tornar a área em questão mais segura, organizada e mais eficiente.

1.3 ESCOPO DO TRABALHO

Este trabalho procura entender todas as atividades envolvidas na área de lingotamento de metal de uma empresa metalúrgica, priorizando as atividades que envolvam o uso de ponte rolante, pois sabe-se que o transporte de carga suspensa, combinado com carga em alta temperatura, traz um risco muito grande para a área em estudo. Porém, outras atividades que ocorrem na área de lingotamento e que podem impactar o uso da ponte rolante também serão consideradas para tornar a simulação o mais próximo possível da realidade.

O propósito do trabalho é coletar dados e simular as operações na área de lingotamento para entender os gargalos atuais, a utilização da ponte rolante e a utilização de outros recursos envolvidos no processo e que possam estar gerando filas e fazendo com que grande quantidade de material seja perdido, por não ser possível aguardar muito tempo para ser processado. Algumas etapas do processo, por serem sensíveis às esperas, podem trazer grandes impactos em custos, pois, se o material é perdido devido ao excesso de tempo em fila, além do custo perdido do material, há o custo de reforma de alguns recursos utilizados. Essa necessidade de recuperação de determinados recursos faz com que aqueles disponíveis para a produção se tornem mais escassos, podendo criar gargalos que não existiam, sendo difícil reestabelecer as condições normais de operação.

A simulação do processo inclui atividades como lingotamento, resfriamento do metal, remoção do metal da forma fixa, limpeza de lingoteiras de emergência, transporte de bandejas para a área da britagem, enviar ou receber panelas do setor de reformas, forração de formas fixas, carregamento do silo de pó de silício, remoção de lingotinho das formas fixas, limpeza da baia de escória. Todas as atividades mencionadas são realizadas com a utilização das pontes rolantes. A simulação só contemplará a produção de dois fornos principais da empresa, que corresponde a aproximadamente 50% da produção. O trabalho não contemplará atividades que sejam executadas por empilhadeiras, já que os funcionários que a operam não

são funcionários da área de lingotamento. Algumas atividades realizadas somente pelo operador de produção na área de lingotamento serão consideradas, para que o tempo de utilização do funcionário se aproxime ao máximo do real.

1.4 ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo:

- Construir um modelo no software ARENA que represente o funcionamento de uma parte da produção em uma empresa metalúrgica;
- Conhecer com detalhes todas as atividades envolvidas no processo de lingotamento do silício metálico, assim como todos os tempos envolvidos nessas atividades;
- Simular os processos que ocorrem na área de lingotamento;
- Verificar possíveis perdas no processo, causados por filas e esperas;
- Avaliar possíveis melhorias no processo, visando manter o volume atual de material processado na área, mas reduzindo-se as filas e evitando as perdas de produção;

1.5 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA

De acordo com Miguel (2010), o trabalho aqui apresentado é classificado como aplicado com relação a sua natureza; considerando seus objetivos, é classificada como exploratória; quanto a sua abordagem, é considerada quantitativa, utilizando a modelagem e simulação como método.

A abordagem quantitativa se dá, pois, o trabalho tem como objetivo medir variáveis e analisar dados. Segundo Miguel (2010), a modelagem/simulação é considerada uma abordagem quantitativa, conforme apresentado na figura 3. Ainda segundo o mesmo autor, “a utilização de modelos permite compreender melhor o ambiente em questão, identificar problemas, formular estratégias e oportunidades e apoiar e sistematizar o processo de tomada de decisões”.

O trabalho apresenta natureza aplicada, pois busca gerar conhecimento para um problema específico.

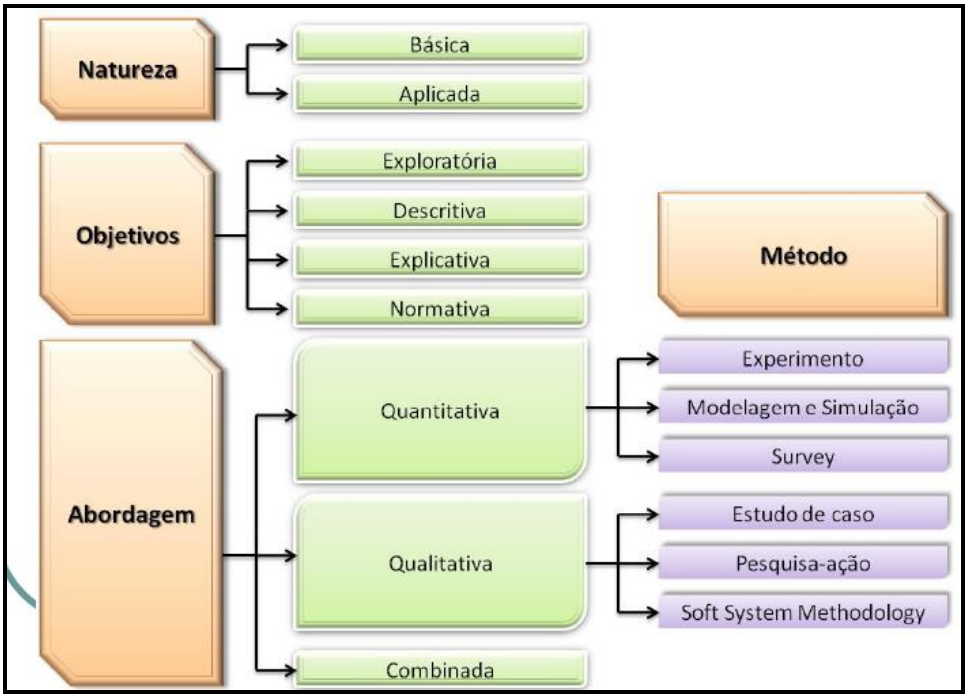

Figura 3 - Metodologia de pesquisa em Engenharia de produção
Fonte: Miguel, 2010 (Adaptado)

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho será dividido em capítulos, como se segue: o primeiro capítulo introduz o trabalho em questão, seus objetivos, justificativa e metodologia; o capítulo seguinte contemplará uma revisão bibliográfica a respeito de alguns temas importantes para o entendimento total do trabalho final, como simulação, modelagem de eventos discretos, o software ARENA e o processo de produção de silício metálico; o terceiro capítulo apresentará a coleta de dados, as premissas utilizadas e o desenvolvimento do modelo de simulação; no capítulo quatro se concentram os resultados obtidos após a análise, as novas opções de simulação e as melhorias identificadas em cada uma delas; por fim, o capítulo cinco trará a conclusão do trabalho realizado.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Para melhor compreensão do trabalho, é necessário o conhecimento de alguns temas relacionados com o estudo desenvolvido. Foram revisados os seguintes temas: processo de produção de silício metálico; simulação de eventos discretos; software ARENA; e distribuições de probabilidade.

2.1 PROCESSO PRODUTIVO DE SILÍCIO METÁLICO

O silício, em sua forma elementar, é dividido em 4 classificações que variam de acordo com o grau de pureza do metal. As classificações são: silício grau metalúrgico, silício grau químico, silício grau solar e silício grau eletrônico (SEO, 1997). O silício de grau metalúrgico (SI-GM) deve possuir uma pureza de 98 a 99,5% de silício e possui como impurezas, elementos como alumínio, ferro, cálcio, boro e fósforo (SERODIO, 2009).

De acordo com um estudo realizado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), o silício é utilizado na maior parte dos silicones, componentes semicondutores, cimento e vidro. O silício é encontrado na natureza em forma de dióxido de silício (SiO_2) e silicatos (compostos de oxigênio, metais e silício) e pode ser encontrado em minerais como feldspatos, argilas e quartzo. O silício é o segundo elemento mais abundante encontrado na crosta terrestre, perdendo apenas para o oxigênio. O elemento, porém, não é encontrado em sua forma elementar devido a sua grande afinidade com o oxigênio, o que favorece a formação de óxidos de silício (CARVALHO ET AL).

A produção do silício metálico é feita com base no processo de redução do quartzo em forno elétrico a arco submerso, utilizando-se como redutores, elementos à base de carbono (FAIRCHILD, 1970). Alguns dos redutores que podem ser utilizados são: carvão, coque, carvão vegetal, entre outros. A equação estequiométrica simplificada do processo é mostrada na equação 1 (MYRVÅGNES, 2008):

$$S_iO_2(s) + 2C(s) = S_{i_{(l)}} + 2CO_{(g)} \quad (1)$$

A matéria prima utilizada no processo é escolhida baseada na sua pureza, granulometria, resistividade elétrica, entre outras. O processo de fusão do quartzo ocorre a altíssimas temperaturas e por isso é necessária uma grande quantidade de energia, que varia

entre 13000 e 15000 KW/h (Quilowatts por hora), para se produzir 1 tonelada do metal (FAIRCHILD, 1970). A figura 4 representa as principais etapas da produção de silício metálico.

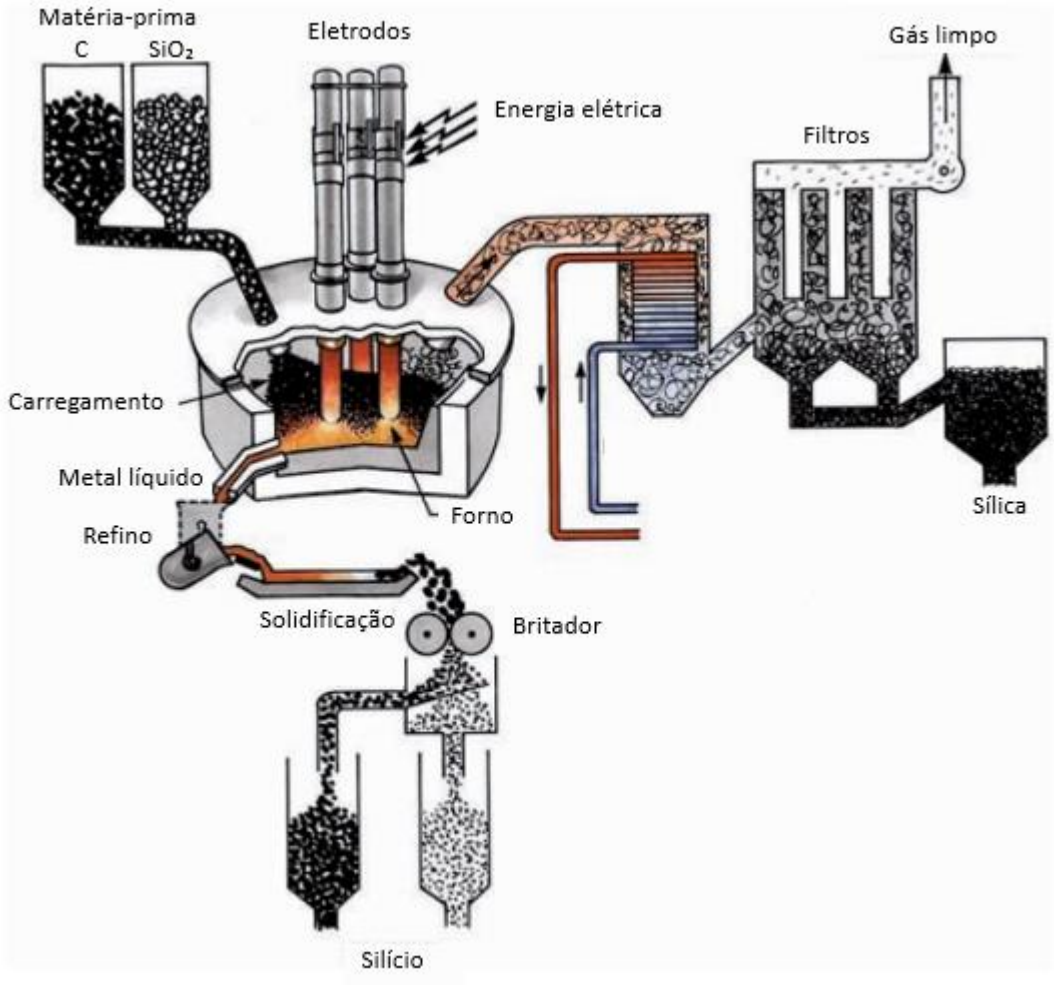

Figura 4 - Processo de produção do silício metálico
Fonte: Schei et al., 1998 (adaptado)

De acordo com Valderhaug (1992), uma planta de silício metálico pode ser subdividida em 4 partes: matéria-prima, fornos, recuperação de energia e purificação do ar e processamento do metal.

Na primeira etapa, são incluídas todas as fases da preparação da matéria prima, desde o recebimento até o carregamento do forno elétrico. As matérias primas são pesadas e misturadas de acordo com a composição pré-definida pela fábrica e ficam estocadas próximas à área dos fornos e posteriormente são despejadas nos fornos através de tubos e caçambas em carro de abastecimento (VALDERHAUG, 1992).

Na etapa de redução que ocorre dentro dos fornos, é onde acontecem as reações químicas dos materiais para que o metal líquido seja produzido. É necessária uma grande

quantidade de energia para fazer com que as reações aconteçam, pois, o processo é endotérmico. Para que o processo ocorra, é necessária uma fonte de energia, equipamentos para adicionar matéria prima, o recipiente do forno e o local de vazamento do forno, que é por onde o metal líquido é expelido (MYRVÅGNES, 2008). A figura 5 representa um forno elétrico a arco submerso (VALDERHAUG, 1992).

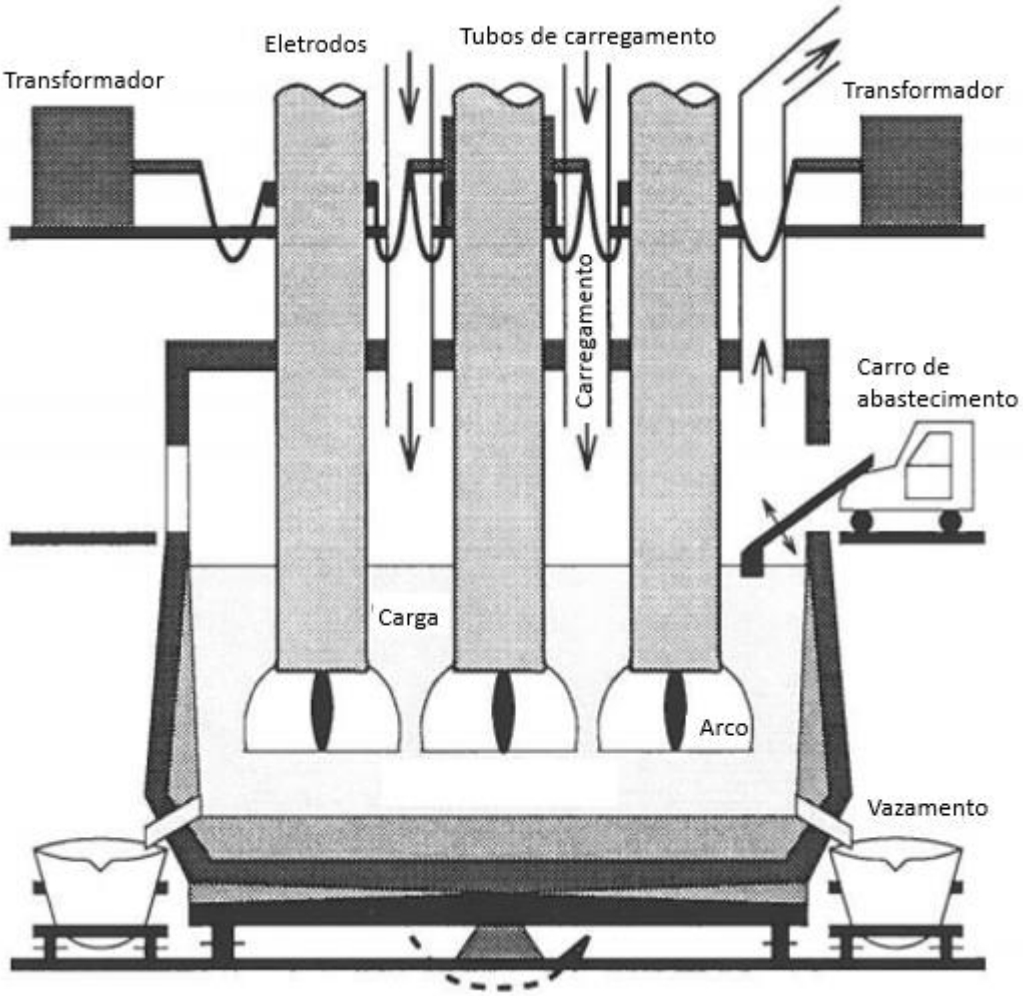

Figura 5 - Forno elétrico a arco submerso
Fonte: Valderhaug, 1992 (adaptado)

Com o funcionamento dos fornos elétricos, há uma liberação de gases em alta temperatura que contém partículas de sílica fume, prejudiciais ao meio ambiente. Na etapa de recuperação de energia e purificação do ar, o calor liberado pelo ar quente é transformado em energia e o ar é filtrado para que a sílica possa ser retirada e vendida para outros negócios. Dessa forma, o ar liberado de volta para o meio ambiente estará livre de partículas poluentes.

Finalmente, a etapa de processamento do metal inclui o refino, lingotamento, britagem e empacotamento do metal na granulometria especificada pelos clientes.

2.2 SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS

A simulação é uma técnica que utiliza modelos para imitar a operação de um processo, ou parte desse processo para que seja possível estimar qual será o seu desempenho real e como ele se comporta ao longo do tempo (HILLIER & LIBERMAN, 2013). Um modelo é uma representação de uma parte da realidade, utilizada para entender e possivelmente modificar e controlar essa realidade (PIDD, 1999) e deve conter detalhamento adequado para que o modelo se aproxime da realidade o quanto possível (BANKS ET AL., 1996).

Para Taha (2007), a simulação é a melhor maneira de observar um sistema real. A simulação é uma imitação aleatória do comportamento de um sistema para estimar a sua performance. O trabalho começa com o desenvolvimento de uma lógica computacional e a coleta de dados para alimentar o sistema e ter resultados mais próximos da realidade. Os estudos realizados funcionam como um apoio para a tomada de decisão (AGUILAR et al., 2009)

Conforme Taha (2007), existem dois tipos de simulação, de acordo com a maneira que ocorrem as mudanças nas variáveis de estado: os modelos contínuos e os modelos discretos. Os modelos discretos lidam com o estudo das filas, com o objetivo de determinar o tamanho da fila e o tempo de espera, por exemplo, e as mudanças nas filas ocorrem em pontos discretos no tempo. No modelo contínuo as mudanças ocorrem continuamente no tempo, como, por exemplo, a posição de um carro em movimento, que muda constantemente ao longo do tempo.

Para Freitas (2008), em um modelo discreto, as variáveis permanecem inalteradas por determinado tempo, até que algum evento mude o seu estado (eventos probabilísticos), enquanto que em um modelo contínuo, as variáveis alteram-se continuamente e, normalmente, são descritos por equações diferenciais.

Segundo Stewart (2009), a simulação de eventos discretos é aquela na qual a mudança no estado do sistema ocorre num instante específico de tempo e depois da ocorrência de eventos discretos. Na figura 6 é possível observar a diferença de estado em uma simulação de eventos discretos e na simulação de eventos contínuos.

Atualmente, a simulação é uma técnica que pode ser utilizada para avaliar novos projetos, ou avaliar mudanças em sistemas já existentes (SAKURADA, 2009).

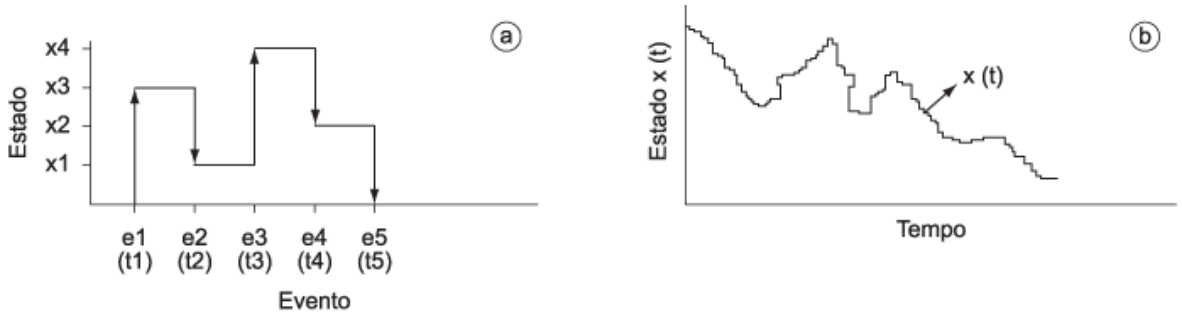

Figura 6 - a) Mudanças de estado em eventos discretos, b) Mudanças de estado em eventos contínuos.
Fonte: Carvalho (2003).

Um modelo de simulação é composto de alguns elementos que formam a lógica da simulação. De acordo com Freitas (2008), esses elementos podem ser classificados como se segue:

- Variáveis de estado: determinam o estado do sistema em um determinado momento no tempo.
- Eventos: intercorrências que ocorrem no sistema e que alteram o seu estado. Como exemplo de um evento, tem-se a chegada de um cliente no sistema.
- Entidades e atributos: entidades são pessoas/objetos que estão no sistema e atributos são as características atribuídas a essas entidades.
- Recursos e filas de recursos: o recurso é considerado uma entidade estática que oferece serviço às entidades dinâmicas. A fila de recursos se forma quando uma entidade dinâmica necessita utilizar um recurso que está ocupado no momento.
- Atividade: período de tempo predeterminado que, uma vez iniciado, tem o seu final programado.

2.3 SIMULAÇÃO EM ARENA®

O ARENA é um software que possibilita a simulação de um sistema para que seja possível entender as relações dentro do sistema, analisar cenários hipotéticos e identificar possibilidades de melhoria no sistema, sem ter que de fato implementá-la (ROCKWELL AUTOMATION, 2004).

O software utiliza a linguagem de programação SIMAN, mas não é necessário que o usuário saiba programar nessa linguagem para utilizar o software. É possível utilizar os modelos disponibilizados pelo software para inserir módulos e parâmetros necessários, de acordo com o sistema real (SAKURADA, 2009).

Segundo Prado (1999), os elementos básicos da simulação são as entidades, que são pessoas/objetos, que se deslocam pelo sistema, ocupando estações de trabalho, onde ocorrem transformações e seguindo um fluxo, que “guia” as entidades para as próximas atividade no processo.

Segundo Kelton (2007), existem várias informações que podem ser obtidas como resultado de uma simulação. Entre elas destaca-se o número de peças produzidas ou serviços realizados durante um determinado tempo de operação; o tempo médio que as entidades aguardam na fila de um determinado processo; o tempo máximo que uma entidade aguardou na fila de um processo; número máximo de entidades na fila; tempo médio e tempo máximo da entidade no sistema; porcentagem de utilização das máquinas.

O modelo de simulação é composto basicamente das seguintes partes (KELTON, 2007)

- Entidades: é aquilo que vai fluir no sistema; as entidades se movimentam pelos processos criados. Como exemplo, um cliente chegando em um banco, seria uma entidade sendo criada.
- Atributos: são características designadas a cada entidade, para que elas possam ser diferenciadas umas das outras. Os atributos podem ser utilizados em alguma etapa do sistema, que precise efetuar determinada ação somente em algumas entidades.
- Variáveis: guardam alguma informação do sistema e são independentes dos atributos. As variáveis podem ser criadas pelo próprio usuário para controlar alguma informação.
- Recursos: as entidades normalmente ocupam os recursos, que podem ser máquinas, pessoas, ferramentas, espaços. A entidade somente ocupa um recurso quando ele está disponível e após certo período de tempo (que está informado no sistema), a entidade libera o recurso, deixando-o disponível para outras entidades. Os atendentes de um banco são considerados um recurso do sistema, com 5 unidades disponíveis, se existirem 5 atendentes no sistema. O caixa do banco é outro recurso, e o número de caixas disponíveis representa as unidades do recurso.
- Filas: as filas se formam quando uma entidade precisa ocupar um recurso que está ocupado. O usuário decide como gerenciar as filas no sistema.

- Eventos: são acontecimentos que ocorrem em um instante de tempo e que podem mudar os atributos, variáveis e dados estatísticos do sistema.
- Módulos: são os blocos básicos para a construção do sistema. Os módulos podem ser divididos em fluxogramas e dados. Os fluxogramas representam o fluxo do processo, por onde as entidades passam e os módulos de dados definem características de entidades, filas, recursos. Alguns dos módulos mais comuns são (ROCKWELL AUTOMATION, 2004):

    - *Create:* é o onde as entidades são criadas. Esse módulo é responsável por inserir a entidade no sistema, de acordo com informações fornecidas como, por exemplo, o intervalo entre cada entidade criada, o número máximo de entidades criadas entre outras.
    - *Dispose:* é o final do fluxo. Todas as entidades são removidas do sistema através desse módulo.
    - *Process:* é onde as entidades são processadas. Geralmente exige-se algum tempo para o processamento e também alguns recursos, que podem ser máquinas, pessoas, locais, etc.
    - *Decide:* neste módulo há uma decisão a ser tomada e a entidade segue por caminhos diferentes dependendo da condição imposta neste módulo. A decisão pode ser feita aleatoriamente, com base em probabilidades ou então com base em uma condição que deve ser checada.
    - *Batch:* é o módulo que agrupa as entidades antes que elas possam seguir o fluxo do sistema. Um exemplo disso é um produto que é formado por duas partes, ou seja, o produto final não pode sair sem um dos componentes.
    - *Separate:* separa as entidades que foram previamente agrupadas ou possibilita que uma entidade participe de dois ou mais processos ao mesmo tempo.

2.4 DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE

Para que seja possível construir um modelo de simulação, é necessário que o usuário informe ao sistema alguns parâmetros como, por exemplo, o tempo que uma peça demora para ser processada em uma máquina. Esse tempo nem sempre é exatamente o mesmo para todas as entidades que passam pelo processo e, por isso, faz-se necessário o estudo das distribuições de probabilidade para que o usuário possa informar corretamente a parte quantitativa do modelo (KELTON, 2007).

Há algumas formas de obter os dados para alimentar o software e uma delas é realizando a coleta de dados em campo e analisando a distribuição de probabilidade que mais se aproxima da série de dados. Quando não é possível o trabalho em campo, pode-se alimentar o modelo com dados como as especificações para determinados processos (KELTON, 2007).

O software ARENA possui uma ferramenta, o *Input Analyzer*, para ajudar a entender o comportamento de uma série de dados, bastando fornecer os dados coletados para que o programa informe a distribuição de probabilidade que melhor os representa (KELTON, 2007). A própria ferramenta fornece os parâmetros da distribuição de probabilidade, que são inputs necessários para formular a parte quantitativa da simulação. Esses parâmetros variam de acordo com a distribuição de probabilidade escolhida. A distribuição normal, por exemplo, tem como parâmetros a média e o desvio padrão da amostra (ROCKWELL AUTOMATION, 2004).

Segue abaixo a distribuição de probabilidade utilizada e que melhor representa os dados que foram coletados em campo:

2.4.1 Distribuição normal

Segundo Montgomery (2011), *"toda vez que um experimento aleatório for replicado, a variável aleatória que for igual ao resultado médio (ou total) das réplicas tenderá a ter uma distribuição normal, à medida que o número de réplicas se torne grande"*. A distribuição normal é uma distribuição de probabilidade contínua, que é simétrica em relação ao centro. Seus parâmetros são a média e o desvio padrão, e eles determinam o formato da curva normal. A média representa a linha central de simetria e o desvio padrão mostra o quão disperso da média os valores se encontram (MONTGOMERY, 2011).

Função densidade de probabilidade é a função que mostra a distribuição de probabilidade da variável aleatória. A área total sob a curva deve ser igual a 1 e a função nunca pode ser negativa, pois não existe probabilidade negativa (LARSON & FARBER, 2015). A curva normal com média μ e desvio padrão σ, possui a função densidade de probabilidade conforme apresentado na equação 2:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\, e^{-(x-\mu)^2/(2\sigma^2)} \tag{2}$$

A figura 7 mostra 3 diferentes curvas normais com parâmetros de média e desvio diferentes, além de mostrar os pontos de inflexão das curvas. Os pontos de inflexão indicam a mudança de sentido das curvas ou concavidades (LARSON & FARBER, 2015).

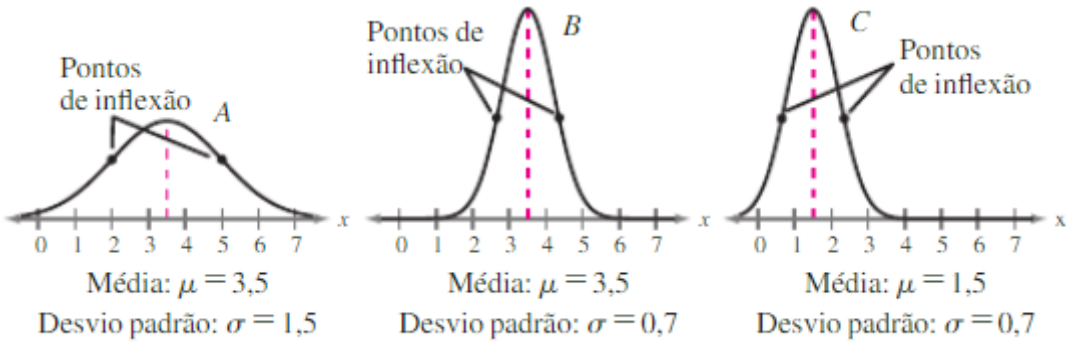

Figura 7 - Curvas normais com diferentes parâmetros
Fonte: LARSON & FARBER, 2015.

Devido às características da distribuição normal, a probabilidade de a variável aleatória assumir um valor menor que a média μ, é igual à probabilidade de a variável assumir um valor maior que a média μ, dada a simetria da curva normal.

Conceitualmente, a curva normal não pode ser utilizada para aproximar os dados de intervalo de tempo coletados no trabalho. Um intervalo de tempo nunca pode assumir valores negativos, porém, a distribuição normal é simétrica e tem domínio ilimitado, e assume valores infinitos para os dois lados da curva.

Apesar dessa consideração, o software Arena, quando utiliza uma normal para intervalo de tempo, assume que os valores negativos encontrados serão substituídos pelo valor zero, o que não prejudica a execução do programa. A grande questão é quando os dados utilizados têm média próxima de zero e desvio padrão que permita um número considerável de valores negativos.

Para os valores considerados no estudo, os 6σ de variação da curva normal (que representam 99,7% dos dados) são dados positivos. Isso significa que somente 0,3% dos valores poderiam, eventualmente, assumir valores negativos. Como esses valores são insignificantes no estudo, a curva normal será utilizada no estudo, pois dentre as distribuições de probabilidade, ela é a curva que melhor se encaixa nos dados coletados.

2.5 PROCESSOS NA ÁREA DE LINGOTAMENTO

Este trabalho se restringe ao estudo da área de solidificação do metal, conforme a figura 4. O processo de solidificação na figura 4 é apresentado de forma simplificada, porém, para que a solidificação do metal ocorra, uma série de atividades são necessárias. Essas atividades serão expandidas nesta seção.

A área de lingotamento possuiu duas atividades fundamentais, e que ocupam grande parte do tempo de processos na área. São eles, o processo de verter o metal na forma (lingotamento) e o processo de remoção do metal já solidificado na forma de lingote. Além dessas duas atividades, várias outras são executadas, para possibilitar que as duas atividades principais possam ocorrer de forma correta. As figuras 8 e 9 mostram, respectivamente, o processo simplificado de lingotamento do metal e a remoção do metal já solidificado da forma fixa.

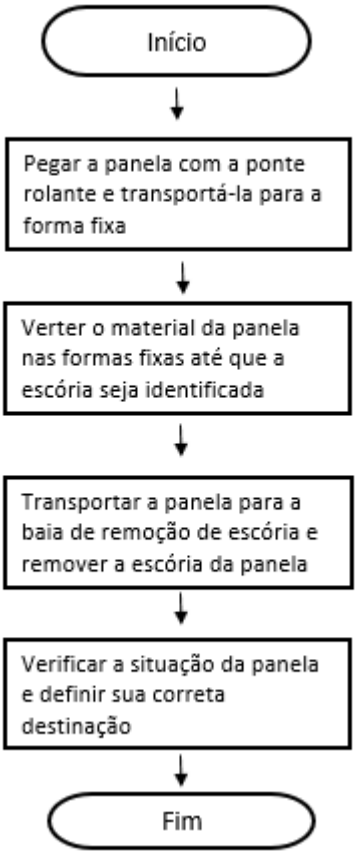

Figura 8 - Mapeamento simplificado do lingotamento
Fonte: da autora

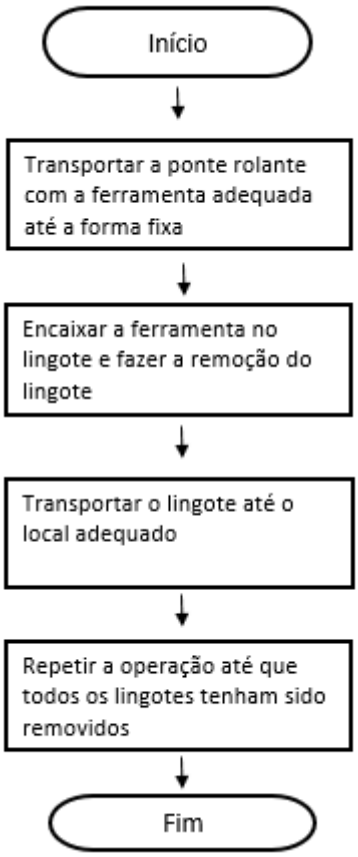

Figura 9 - Mapeamento simplificado da remoção do lingote da forma fixa
Fonte: da autora

O transporte de material utilizado na forração e a forração da forma fixa são operações de preparação para o lingotamento. Essas duas atividades ocorrem antes do lingotamento e tem como função evitar que o material entre em contato direto com a forma fixa.

A forma fixa que recebe o silício durante o lingotamento precisa de limpeza, devido ao acúmulo de metal. Essa atividade é periódica e ocorre com o auxílio da ponte rolante. Além disso, há ainda a limpeza da lingoteira de emergência do forno, que também é feita periodicamente.

A retirada de lingotes da forma fixa, gera uma outra atividade que é o transporte de bandejas (que contém os lingotes) para a área da britagem. Essa atividade nem sempre ocorre e não tem uma frequência exata. Entretanto, é uma atividade recorrente em todos os turnos e não pode deixar de ser considerada.

Algumas vezes, após o lingotamento, a panela utilizada precisa ser retirada de circuito para passar por algum tipo de reforma. Para esta atividade, a panela aguarda em um local específico até que o caminhão que faz o transporte esteja disponível. Com isso, mais

atividades são incorporadas no processo: o transporte dessa panela para o caminhão e o transporte da panela de volta para a área (quando a panela está retornando para a operação).

Todas as atividades citadas acima são executadas com o auxílio da ponte rolante, e devem ter o seu tempo de operação reduzido, visando diminuir a movimentação de cargas pesadas e quentes, com consequente redução dos riscos existentes na área.

3. DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

Neste capítulo, pretende-se apresentar a construção do modelo de simulação feito no Software ARENA e a aderência desse modelo à realidade.

3.1 FORMULAÇÃO DA SIMULAÇÃO

Para iniciar o trabalho de simulação, é importante conhecer o fluxo do processo em estudo e o que se pretende com a simulação, para definir seu nível de detalhamento e complexidade. O conhecimento de todo o fluxo de trabalho foi fundamental para que o sistema construído fosse o mais próximo possível da realidade. Para tanto, foram realizadas diversas visitas à área produtiva a fim de que todas as possíveis situações pudessem ser avaliadas.

A simulação em questão será especificamente da área de lingotamento de silício metálico. O objetivo principal é conhecer as taxas de utilização de cada recurso, o tempo relacionado com cada tarefa executada, o recurso gargalo e o tamanho das filas geradas em cada processo.

O fluxo presente na área em estudo, tem duas atividades básicas: o lingotamento e a remoção dos lingotes das formas fixas. A figura 10 mostra em um fluxograma, o fluxo simplificado, que foi utilizado como base para o início da simulação.

Figura 10 - Fluxo simplificado da atividade na área de lingotamento
Fonte: da autora

Além da atividade principal da área em estudo, que é o lingotamento e a remoção do lingote, várias outras atividades acontecem na área com a utilização da ponte rolante. A tabela 1 apresenta a lista de todas as atividades que foram incluídas na simulação.

Lista de atividades
Lingotamento
Remoção de lingotes
Limpeza de lingoteiras de emergência
Limpeza de forma fixa
Limpeza de forma de escória
Forração de forma fixa
Transferência de bandejas
Troca de plugue
Transporte de panela

Tabela 1 – Lista de atividades consideradas na simulação
Fonte: da autora

Uma das questões que facilitam a modelagem do programa, é o fato de que somente um produto é produzido nessa linha de produção. Caso o produto não atenda às especificações, ele ainda assim segue o mesmo fluxo e só será diferenciado na área de produto acabado, para que ele seja embalado separadamente.

A estrutura da modelagem deve contemplar todas as atividades realizadas na área de lingotamento, que sejam importantes para a análise pretendida. Todas as tarefas realizadas pela ponte rolante estarão incluídas, além de outras atividades que podem impactar na própria utilização da ponte ou na taxa de utilização dos recursos. Ao final da simulação, os seguintes resultados são esperados: as filas formadas nos processos (o tempo médio das filas, o tempo máximo das filas, a quantidade máxima de entidade na fila e a quantidade média de entidades na fila), o número de entidades completamente atendidas, o tempo médio de cada entidade no sistema e a taxa de utilização de cada recurso.

3.2 A LÓGICA DE SIMULAÇÃO

O fluxo da área em estudo começa com a liberação da batelada de metal, ou seja, o forno está pronto para receber uma panela e enchê-la com metal. Para tanto, utilizou-se o recurso “*create*” no ARENA para inserir novas entidades no sistema, de tempos em tempos, de acordo com a distribuição de probabilidade que foi descoberta posteriormente com as medições. Após o enchimento das panelas, há a checagem da necessidade de limpeza da

lingoteira de emergência que cada forno possui. Essa checagem é feita através do módulo "*decide*". Caso seja necessário fazer a limpeza, um processo paralelo é criado para realizá-la.

Seguindo o fluxo, após a entrada da panela com metal no sistema, há uma verificação do número de formas fixas disponíveis. A entidade só pode caminhar no sistema caso haja um número de formas suficiente. Após essa verificação, há o processo de lingotamento do metal, que acaba subdividindo a panela de metal em duas novas entidades: a panela e o metal depositado na forma fixa.

Seguindo o fluxo da panela, há a atividade de remoção da escória e posteriormente a verificação da situação da panela, para definir o seu destino: voltar para o forno, deitar no berço para troca de plugue ou limpeza de borda, ou ainda ser disponibilizada para reforma. Dependendo do caminho definido para a panela, está associado um processo diferente, que pode ser: retornar com a panela para o forno, trocar o plugue/limpar a borda ou transportar a panela para a reforma (e posteriormente, recebê-la novamente na área). Depois que a panela passa por um desses processos, ela está liberada para ser utilizada no forno novamente.

Decorrente da atividade de remoção da escória da panela, há uma outra decisão, relacionada com a necessidade de limpeza da forma de escória. Caso a limpeza seja necessária, um processo paralelo é criado para que a limpeza seja feita.

Seguindo o fluxo do metal, há um "*delay*" para aguardar o resfriamento do metal, e posteriormente a atividade de remover o lingote da forma fixa e colocá-lo na bandeja de transferência. Esse processo gera novamente duas entidades: a forma vazia, que passa por uma avaliação e o lingote de metal já solidificado, fora da forma fixa.

O lingote de metal aguarda um tempo até que seja possível a sua transferência para a área de produto acabado. Assim que todos os recursos estão disponíveis, há a transferência do material para o setor de britagem.

As formas vazias, após a retirada do lingote, passam por uma avaliação, para checar a necessidade de limpeza. Além disso, há também uma decisão para verificar a necessidade de forrar a forma fixa com pó de forração. Após essas checagens, a forma fixa é liberada para receber a próxima corrida.

Por fim, cada um desses processos necessita de recursos para que possam ocorrer. Isso impede que duas entidades que utilizem o mesmo recurso sejam processadas ao mesmo tempo. Caso os recursos não sejam alocados de maneira correta, toda a simulação sofre os impactos, e os resultados encontrados podem não representar a realidade. Um exemplo de

recurso que é muito utilizado na simulação em estudo, é a ponte rolante, já que ela é necessária em quase todos os processos.

Outra questão relevante sobre os recursos, é a ocupação. Alguns recursos são ocupados durante certo momento da simulação, mas só serão liberados alguns processos depois. Esse é o caso da forma fixa, que recebe o metal durante o lingotamento. Durante o processo de lingotamento, o recurso “forma fixa” é ocupado, porém, após o término dessa atividade, o recurso ainda continuará ocupado por um bom tempo, pois somente após a espera do resfriamento e a ocorrência da remoção do lingote é que a forma fixa pode ser disponibilizada para ocupação novamente. Ou seja, o recurso é ocupado em um processo, mas só é liberado depois de outro processo.

A análise de taxa de utilização dos recursos só é possível desde que o recurso utilizado em cada tarefa seja informado corretamente para o programa. De acordo com o mapeamento mostrado na figura 10, os recursos necessários em algumas etapas do processo são definidos, como apresentado na tabela 2. Além dos recursos necessários para a realização da atividade, deve-se informar ao programa quanto tempo é gasto em cada atividade. Geralmente, para o processo metalúrgico, os tempos não são exatos, e possuem variações consideráveis devido à alta utilização de pessoas no processo. Por isso, os tempos considerados são calculados com base em uma distribuição de probabilidades que mais se aproxima da situação real.

PROCESSO	RECURSOS NECESSÁRIOS
Lingotamento	Ponte rolante
	Operador de ponte
	Operador de produção
	Formas fixas
Remoção de escória	Ferramenta adequada
	Operador de ponte
	Ponte rolante
	Operador de produção
	Baia de escória
Transportar lingotes para bandeja	Ponte rolante
	Operador de ponte
	Ferramenta adequada para remoção do lingote
	Bandejas
	Operador de produção

Tabela 2 - Recursos necessários em diferentes processos
Fonte: da autora

3.3 COLETA DE DADOS

Após a estruturação do modelo de simulação no software, foi possível enumerar todos os dados necessários como inputs da simulação, para que ela, de fato, represente a realidade.

Para que a coleta de dados seja representativa da população, deve-se estipular qual o tamanho da amostra ideal. Uma amostra inapropriada, excessiva ou pequena, pode comprometer todo o estudo. A amostragem é utilizada para generalizar os resultados encontrados em uma amostra para uma população (HIGGINS ET AL, 2001).

Para encontrar o tamanho da amostra, Montgomery (2011) diz que se pode escolher o tamanho da amostra para um intervalo de confiança e um erro especificado para a média. Ou seja, pode-se escolher um tamanho de amostra que resulte em 95% de confiança de que o erro na determinação da média seja de 5%. Os valores de intervalo de confiança e erro devem ser definidos baseado na qualidade da análise dos dados.

O erro da amostra (E) é o resultado da diferença entre a média estimada e a média real. O intervalo de confiança é uma estimativa de intervalo para um parâmetro escolhido, como por exemplo a média (MONTGOMERY, 2011). Caso o intervalo de confiança seja de 95%, isso significa que a probabilidade de que a média real esteja dentro do intervalo determinado é 95%. O intervalo de confiança é dado por 100(1-α) %.

A equação 3 apresenta os cálculos para a definição do tamanho da amostra, considerando uma distribuição normal.

$$n = \left(\frac{Z(\alpha/2)\sigma}{E}\right)^2 \quad (3)$$

σ é o desvio da amostra e E é o erro. Para o trabalho, o intervalo de confiança considerado é de 95% (α = 0.05). De acordo com a tabela normal, tem-se que o valor de z para α/2 = 0,05 é igual a 1,96.

Na tabela 3 pode-se encontrar o tamanho de amostra ideal para cada dado que precisou ser coletado

	Desvio padrão	Erro	tamanho da amostra
Forno A tempo entre corridas	19,3	3	159
Forno B tempo entre corridas	18,6	3	148
lingotamento	5,43	1	113
lingoteira de emergência	9,54	1	350
remoção de escória	1,58	0,5	38
baia de escória	3,18	0,5	39
Transportar panela para forno	1,1	0,5	19
Troca de plugue	6,54	2	41
Transportar panela para caminhão	1,3	0,5	26
Remover lingotinho	7,47	2	54
Encher o silo	1,08	0,25	72
Forrar forma fixa	0,78	0,25	37
Desbroamento	3,67	1	52
Transferir bandeja	12,31	2	145

Tabela 3 – Tamanho de amostra ideal para cada dado coletado
Fonte: da autora

Após a definição do tamanho da amostra de cada um dos dados necessários para alimentar o programa, iniciou-se o processo de coleta dos dados em campo. A coleta de dados

durou 7 dias consecutivos. Como a produção é programada para ser a mesma para todos os dias do mês, não há a necessidade de excluir nenhum dia da semana da coleta de dados, pois o resultado esperado é o mesmo, independente de dia da semana e horário.

Na tabela 3, percebe-se que o número de amostras varia, e isso se deve ao desvio padrão, que quanto maior, maior precisará ser a amostra, e também ao comprimento do intervalo de confiança, que tem tamanhos diferentes para cada dado. Alguns dados citados na tabela 3 não atingiram a quantidade de amostras necessárias, devido ao tempo disponível para coletar os dados, e a mão de obra necessária, que torna o processo oneroso.

Por meio do levantamento de dados, foram definidas as funções densidade de probabilidade que representavam cada um dos processos contidos na simulação. A ferramenta *Input Analyzer* foi utilizada para conhecer o padrão dos dados coletados e determinar a distribuição de probabilidade que melhor se encaixava nos dados obtidos. A ferramenta também auxilia fornecendo os parâmetros das distribuições. Com as distribuições e seus parâmetros em mãos, o software ARENA foi alimentado com as informações. Na figura 11 é possível ver um exemplo de um conjunto de dados que foi analisado pela ferramenta.

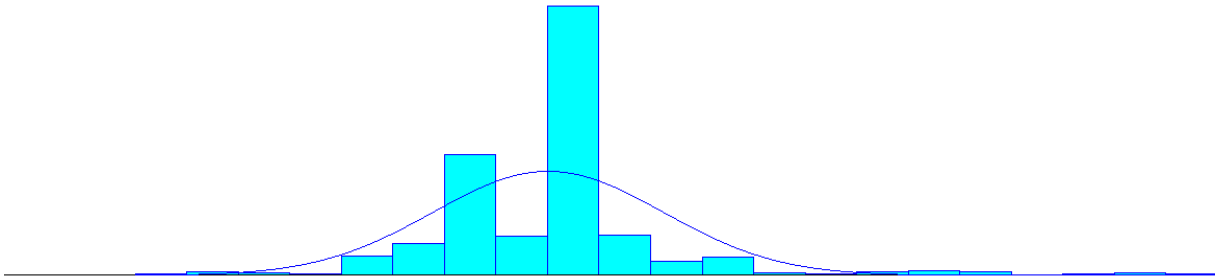

Figura 11 – Histograma de um dos parâmetros coletados no processo
Fonte: da autora

3.4 VALIDAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

Após a representação do modelo de simulação, é importante verificar a aderência do modelo à realidade. O modelo está realmente se comportando como o processo real se comporta?

A etapa de validação do modelo é muito importante para que possíveis erros sejam identificados na simulação. Os erros podem acontecer na lógica que foi inserida no modelo, ou nos dados utilizados para alimentá-lo. Para tanto, é importante executar o programa diversas vezes, e analisar os resultados fornecidos pelo relatório, como tempo de fila e número de entidades aguardando na fila.

Durante a etapa de validação deste trabalho, alguns problemas de lógica e coleta de dados sofreram correções para que o modelo funcionasse o mais próximo da realidade.

Para validar o modelo, o dado mais importante é o *lead time* do macroprocesso considerado na simulação, ou seja, o tempo que o metal permanece na área de lingotamento, até ser enviado para o setor de britagem. O resultado encontrado no modelo de simulação será comparado com a realidade atual da empresa em estudo.

Na validação do modelo será utilizado a inferência estatística para duas amostras. Para a utilização dessa inferência, é necessário que tenhamos 2 amostras aleatórias diferentes, provenientes de duas populações distintas, independentes e com distribuição normal.

Para essa inferência, considera-se como hipótese zero, a diferença entre as médias igual a zero, e a hipótese 1, onde a diferença das médias é diferente de zero. De acordo com Montgomery (2011), *"uma hipótese estatística é uma afirmação sobre os parâmetros de uma ou mais populações"*. Neste caso, o parâmetro utilizado é a média das populações. Para validar a modelagem, é preciso que a hipótese nula não seja rejeitada, ou seja, que as médias entre as duas populações sejam iguais.

Na equação 4, tem-se a hipótese nula, na equação 5, a hipótese alternativa e na equação 6, a estatística de teste, para o teste de diferença de duas médias de duas distribuições normais, com variâncias conhecidas.

$$H_0 = \mu_1 - \mu_2 = 0 \tag{4}$$

$$H_1 = \mu_1 - \mu_2 \neq 0 \tag{5}$$

$$\mathrm{t} = \frac{\bar{x}_1 - \overline{x_2} - 0}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} \frac{+S_2^2}{n_2}}} \tag{6}$$

	Valor real	Valor simulado
Média	4,67	4,53
Desvio	1,46	1,58
Tamanho da amostra (n1 e n2)	70	70

Tabela 4 – Média e desvio dos dados reais versus dados simulados
Fonte: da autora

Após a realização do teste, o valor t obtido foi 0,52 (os valores utilizados para os cálculos podem ser encontrados na tabela 4). Consultando a tabela de Distribuição Cumulativa Normal Padrão, tem-se que a probabilidade $Z \leq 0{,}52 = 0{,}698$. Como a hipótese alternativa considerada, é como mostrado na equação 5, o cálculo de P valor se dá considerando a probabilidade acima de Z_0 e a probabilidade abaixo de Z_0. A equação do P-valor para o caso da hipótese 1 utilizada, é encontrada na equação 7.

$$P = 2[1 - \phi(|z_0|)] \tag{7}$$

Para um teste com nível de significância igual a 0,05, a hipótese nula seria rejeitada caso $P \leq 0{,}05$. O valor encontrado de P é aproximadamente 0,6 e por isso não é possível rejeitar a hipótese nula.

O valor P diz que o risco de rejeitar erroneamente a hipótese nula é de 60%, ou seja, não se pode rejeitar a hipótese nula pois a probabilidade encontrada é muito alta. Dessa forma, conclui-se que o modelo apresenta aderência com a realidade.

4. RESULTADOS

Nesta seção serão discutidos os resultados encontrados na simulação em estudo, as sugestões de melhoria, dificuldades na execução do trabalho e oportunidade para trabalhos futuros.

4.1 ANÁLISE DO PROCESSO ATUAL

Para a análise do processo atual, foram consideradas 10 replicações de 10 dias, ou seja, 240 horas. Além disso, foram acrescidas as horas de aquecimento (24h), em que os dados foram descartados. O período de aquecimento é importante para que os dados sejam coletados quando o sistema já está em pleno funcionamento.

Em relação as filas geradas no sistema, a tabela 5 apresenta os dados críticos do processo e suas respectivas filas. Alguns dos tempos máximos das filas, dão a dimensão de que o sistema não tem capacidade para processar a quantidade de material necessário, caso não haja nenhum desligamento ou redução de forno. Um exemplo é o lingotamento, que apresenta o valor máximo de 3,6 horas de fila. Para que o sistema tenha chegado nesse valor máximo, o forno já foi desligado, pois o sistema está saturado de panelas para lingotar. Com esse tempo de fila, é provável que a panela possa ser perdida devido à falta de temperatura para manter o metal líquido, e consequente encrostamento na parte superior (o que impediria o lingotamento).

Alguns dados sobre panelas na tabela 5, indicam que há uma demora muito grande para que a panela seja disponibilizada para a reforma, e transportada após trocas de plugue e limpezas, o que acarreta em forno parado por alguns momentos, devido à falta de panela disponível. Um dado comprobatório é a utilização do recurso boca de corrida. Caso não houvessem problemas de falta de panela e atrasos no lingotamento, a utilização do recurso seria de 100%. Nas replicações do modelo, as menores médias encontradas foram de 96% de utilização para a boca de corrida do Forno A do Forno B. Isso significa que, durante as 24h de um dia de operação, os fornos ficariam parados por volta de 0,96 horas.

	Tempo médio de fila (horas)
Aguardando panela Forno A	0,40
Aguardando panela Forno B	0,25
Aguardar transporte de panela que chega da reforma	1,10
Desbroamento	0,43
Aguardar liberação de forma fixa Forno A	0,44
Aguardar liberação de forma fixa Forno B	0,41
Limpar baia de escória	0,59
Lingotamento Forno A	0,60
Lingotamento Forno B	0,58
Transferir bandeja para a britagem	1,18
Transportar panela para caminhão	0,91

Tabela 5 – Tempo médio de fila (cenário real)
Fonte: da autora

Outra análise a ser feita, é sobre a utilização dos recursos inseridos no sistema. A tabela 6 apresenta a média e a utilização máxima de alguns dos recursos mais importantes no sistema. É importante perceber que apesar da utilização média de vários recursos estar baixa, a máxima utilização de todos eles é igual a 1, ou seja, em algum momento, o sistema utiliza todas as unidades daquele recurso para operar. Esses dados mostram que as atividades estão mal distribuídas, pois tem momentos em que o recurso está saturado, mas na maior parte do tempo, ele está ocioso. Outra maneira de entender essa questão no relatório gerado pelo Arena, é utilizando a média de recursos ocupados. As médias de alguns recursos estão bem abaixo do número máximo de recursos no sistema. Um exemplo é a forma de escória, onde o total de recursos no sistema é 12, mas o número médio de formas ocupadas durante a simulação é de 6,49.

	Média de utilização dos recursos (cenário real)	Máxima utilização dos recursos (cenário real)
Bandeja	22%	100%
Berço	15%	100%
Forma fixa	54%	100%
Ponte rolante	88%	100%
Panela	64%	100%

Tabela 6 – Utilização média e máxima dos recursos
Fonte: da autora

De acordo com a tabela 6, o recurso mais utilizado no sistema é a ponte rolante, conforme já esperado, uma vez que praticamente todas as atividades na área dependem dela.

Por fim, o *lead time* do processo apresenta uma variabilidade grande considerando a média dos dados. Essa alta variabilidade impede que o sistema seja estável e previsível. Isso acontece devido a variabilidade dos processos que compõem o sistema, além da diferença do número de recursos “ponte rolante” presentes durante o processo. Durante o período em que os recursos são poucos, o processo fica mais lento, e quando uma nova ponte entra no sistema para auxiliar, as filas diminuem e o sistema volta a se equilibrar.

4.2 SUGESTÕES DE MELHORIAS

Após a análise dos resultados da simulação, alguns cenários podem ser avaliados, procurando reduzir os tempos de fila no sistema e melhorar o *lead time* do produto.

Para o primeiro cenário, serão analisados os mesmos dados da seção 4.1, porém alterando a quantidade de recursos de ponte rolante e baia de escória. A intenção é deixar uma ponte rolante e uma baia de escória exclusiva para cada forno. Com isso, pretende-se também evitar a movimentação de carga pesada e metal líquido por grandes distâncias. Com o aumento do recurso ponte rolante, é possível também testar o número de outros recursos, como, por exemplo, o número de bandejas e o número de berços, para tentar reduzi-los, e consequentemente liberar espaço na área de lingotamento. Outro benefício nessa mudança, é a redução da utilização da ponte rolante, que é um recurso chave no processo. Trabalhar com esse recurso próximo do limite não é o ideal, pois durante as falhas do equipamento, a produção é prejudicada. Além disso, com o recurso muito utilizado, há uma dificuldade em retirá-lo de operação para manutenção preventiva.

Comparando as mudanças da simulação do cenário real e do cenário 1, há uma grande diferença no *lead time* do processo, que teve uma redução de 1,5 horas. Ademais, a variabilidade do *lead time* diminuiu bastante, tornando o processo mais estável e controlado. Com isso, a vida útil das panelas sofre um impacto direto, pois evita o encrostamento de metal, evita a necessidade de trocar plugue por entupimento, e diminui o tempo da troca de plugue, pois evita o fundo alto da panela.

Outra vantagem do cenário 1, é a redução do recurso “bandejas” em 33%, e a redução do número de formas fixas em 2 unidades. Essas duas unidades de formas fixas que teoricamente não seriam necessárias, ficariam de reserva para possíveis danos e interdições

em outros conjuntos de formas. Os resultados do cenário real versus cenário 1 podem ser encontrados nas tabelas 7 e 8.

Com essa modificação da quantidade de alguns recursos, todas as filas diminuíram bastante e a quantidade de material que foi processado na área aumentou aproximadamente 2 corridas por forno. No total do período de um mês, isso contabiliza um total de 12 corridas.

	Média de utilização dos recursos (cenário real)	Média de utilização dos recursos (cenário 1)
Bandeja	22%	16%
Berço	15%	13%
Forma fixa	54%	58%
Ponte rolante	88%	61%
Panela	64%	59%

Tabela 7 - Utilização média dos recursos (cenário real versus cenário 1)
Fonte: da autora

Na tabela 7, o único recurso que apresentou um pequeno aumento em sua utilização foi a "forma fixa", já que este recurso foi reduzido no sistema, para que possa ser melhor utilizado. Portanto, isso não é um impedimento para dizer que o cenário 1 não é melhor que o cenário real.

	Cenário real	Cenário 1
	Tempo médio de fila (horas)	Tempo médio de fila (horas)
Aguardando panela Forno A	0,40	0,30
Aguardando panela Forno B	0,25	0,17
Aguardar transporte de panela que chega da reforma	1,10	0,08
Desbroamento	0,43	0,11
Aguardar liberação de forma fixa Forno A	0,44	0,32
Aguardar liberação de forma fixa Forno B	0,41	0,26
Limpar baia de escória	0,59	0,30
Lingotamento Forno A	0,60	0,07
Lingotamento Forno B	0,58	0,08
Transferir bandeja para a britagem	1,18	0,16
Transportar panela para caminhão	0,91	0,20

Tabela 8 – Tempo médio de fila (cenário real versus cenário 1)
Fonte: da autora

A sugestão do cenário 2, é melhorar os tempos das atividades, e principalmente a variabilidade. A primeira mudança é feita no tempo entre chegadas das panelas. A intenção

com o novo cenário é criar um cronograma para a saída de panelas, assim, as corridas poderiam sair com uma defasagem nos dois fornos, para que duas corridas não saiam em horários muito próximos.

Ainda no cenário 2, há uma atividade que pode ser eliminada da área de lingotamento, que é a atividade de transferência de bandeja para a área de britagem. No cenário atual, após o material ser retirado da forma fixa, ele é colocado em bandejas. Essas bandejas aguardam até que os recursos estejam disponíveis e são posteriormente colocados em um carro de transferência, para serem levados para a britagem. Neste novo cenário, a atividade de colocar a bandeja no carro de transferência não existiria, pois após os lingotes serem retirados das formas fixas, eles seriam colocados diretamente em carros de transferência. Entretanto, para que isso ocorra, é necessário a colocação de mais um carro de transferência para enviar o material para a britagem. Dessa forma, não existiriam bandejas no chão aguardando para serem transferidas. A transferência do metal seria feita diretamente para o carro de transferência. A sugestão é construir esse carro de transferência próximo ao forno A, para evitar movimentações grandes com os lingotes na área. Com a retirada das bandejas da área, há uma eliminação de riscos muito importante, pois, as bandejas apresentam risco de queda para os operadores, já que não ficam isoladas e normalmente estão quentes, ou com lingotes de silício.

A última mudança é com relação ao tempo de resfriamento do metal. Para possibilitar a redução do tempo de resfriamento, sem que seja necessário a colocação de resfriamento forçado, há a necessidade de reforma periódica nas formas fixas, buscando diminuir a espessura do lingote. Outra forma de diminuir a espessura do lingote, é melhorando a disciplina operacional com relação à forração da forma fixa. Com a diminuição da espessura do lingote, algumas decisões precisam ser modificadas na simulação, pois a mesma corrida vai gerar um número maior de lingotes, comparado com o que é gerado atualmente.

Os dados do cenário 2 versus o cenário real pode ser encontrado nas tabelas 9 e 10.

	Cenário real	Cenário 2
	Tempo médio de fila (horas)	Tempo médio de fila (horas)
Aguardando panela Forno A	0,40	0,07
Aguardando panela Forno B	0,25	0,05
Aguardar transporte de panela que chega da reforma	1,10	0,52
Desbroamento	0,43	0,28
Aguardar liberação de forma fixa Forno A	0,44	0,31
Aguardar liberação de forma fixa Forno B	0,41	0,18
Limpar baia de escória	0,59	0,36
Lingotamento Forno A	0,60	0,25
Lingotamento Forno B	0,58	0,28
Transportar panela para caminhão	0,91	0,68

Tabela 9 – Tempo médio de fila (cenário real versus cenário 2)
Fonte: da autora

	Média de utilização dos recursos (cenário real)	Média de utilização dos recursos (cenário 2)
Berço	15%	13%
Forma fixa	54%	63%
Ponte rolante	88%	76%
Panela	64%	52%

Tabela 10 - Utilização média dos recursos (cenário real versus cenário 2)
Fonte – da autora

O *lead time* no cenário 2 também reduziu em aproximadamente 1,5 horas, conforme o cenário 1. Como consequência, todos os tempos de filas do cenário 2 foram reduzidos em relação ao cenário real.

Uma análise importante é com relação a utilização da ponte rolante. No cenário 2 e no cenário real, o número de recursos “ponte rolante” é o mesmo, porém no cenário 2 há uma redução na média de utilização do recurso, que passa a ser de 76% do tempo, contra 88% do cenário real, o que mostra uma redução de aproximadamente 18%. Esse resultado é muito importante, já que mostra que ao invés de a ponte rolante funcionar 21,12 horas por dia, ela irá funcionar 18,24 horas por dia. Com essa redução, a área de lingotamento se torna mais segura, já que durante 2,88 horas a menos, não haveria movimentação de carga suspensa e quente.

Na tabela 10 é possível perceber que a utilização das panelas reduziu consideravelmente, mantendo constante o volume de material processado. Isso se dá devido

ao fato de que o metal fica menos tempo dentro da panela esperando para ser lingotado, conforme mostra a tabela 9.

Após a comparação de todos os dados apresentados nas tabelas 9 e 10, pode-se concluir que o cenário 2 é preferível em relação ao cenário real.

Após a análise dos dois cenários, decidiu-se testar um terceiro cenário, que é o cenário 3, porém, reduzindo 3 unidades do recurso "forma fixa". Os resultados obtidos são muito próximos, mas com este cenário, a utilização da forma fixa aumenta para 0,84. Ainda neste cenário, testou-se a retirada de um berço, porém, o impacto foi negativo, portanto, a quantidade desse recurso não foi alterada.

Por fim, o último cenário testado, o cenário 4, representa um processo completamente linear, onde a corrida x só pode iniciar depois que a corrida x-2 já foi completamente processada. Isso evita que haja muito material sendo processado ao mesmo tempo. Para este cenário, segue na tabela 11 a ordem das atividades.

SEQUÊNCIA DAS ATIVIDADES
Lingotamento
Desbroamento da corrida anterior
Limpeza do lingotinho (caso necessário)
Forração de forma fixa
Abastecer silo (caso necessário)
Limpar baia de escória (caso necessário)
Limpar lingoteira de emergência (caso necessário)

Tabela 11 – Sequência das atividades (cenário 4)
Fonte: da autora

Com relação ao cenário 1, as mudanças consideradas foram a quantidade de ponte rolantes, que passa a ser 2, e a quantidade de formas fixas, que passa a ser 10. Além disso, há a premissa de que sempre há panela disponível e que não há a atividade de transportar a bandeja para a área de britagem, já que a atividade está cadenciada e a diferença aproximada é de 1 hora de um desbroamento para o outro (tempo suficiente para que a área da britagem devolva o carro de transferência e ele possa ser utilizado no próximo desbroamento) .

No cenário 4, não há a formação de filas, pois as atividades são lineares e nunca há 2 corridas do mesmo forno sendo processadas. Como resultado da simulação, tem-se que o tempo médio para que uma corrida seja processada é de 1,10 horas, podendo chegar a quase 2 horas, dependendo das atividades que são realizadas.

4.3 DIFICULDADES ENCONTRADAS E OPORTUNIDADES FUTURAS

Durante o desenvolvimento da simulação, a principal dificuldade encontrada foi como transformar as atividades da área de lingotamento em um único fluxo. À primeira vista, as atividades parecem todas independentes e difíceis de definir onde se encaixariam melhor no fluxo.

Conforme toda simulação, o sistema representado não é 100% igual ao sistema real. Neste estudo, atividades muito esporádicas e que não fazem parte do fluxo da área de lingotamento, foram deixadas de lado e não aparecem na simulação.

Outra dificuldade foi na confiabilidade da coleta de dados. A coleta se deu por vários dias seguidos, e por isso várias pessoas preenchiam os dados, o que dificultou o processo, pois cada um tem um entendimento diferente a respeito do dado que está coletando. Além disso, várias informações ficavam perdidas de um turno para o outro. Para minimizar o problema, a coleta de dados foi refeita.

Como oportunidade para trabalhos futuros, sugere-se que a coleta de dados seja mais precisa e durante um período de tempo maior, para garantir maior confiabilidade nos dados. Além disso, o programa pode ser refinado, incluindo as atividades esporádicas que foram desconsideradas e integrando todos os fornos na simulação, pois eles compartilham recursos.

Outra oportunidade é estender a simulação para outras áreas da empresa, pois certamente elas afetam a área de lingotamento. Quanto mais completa for a simulação, mais próximo da realidade serão os resultados encontrados.

Por fim, outra proposta é aumentar o número de cenários avaliados, para que as decisões sejam ainda mais assertivas.

5. CONCLUSÕES

Após a execução dos cenários, é importante definir qual deles é o mais viável. Em todos os cenários propostos a quantidade de material processado pela área aumentou um pouco, devido à redução de filas e desligamentos de fornos indesejados.

Para os cenários que apresentam uma ponte rolante para cada forno, o tempo aproximado de retorno para pagar esse investimento é de aproximadamente 50 meses. No cenário 2, esse tempo de retorno é aproximadamente 2 meses, devido ao gasto com a instalação do carro de transferência.

No cenário 2 ainda se observa mais uma vantagem, que é a liberação de espaço na área devido a não utilização de bandejas. Além disso, outra vantagem difícil de mensurar é a redução do risco presente na área de lingotamento. Como as bandejas ficam dispostas no chão, há um risco de queda do operador. Além disso, normalmente as bandejas estão com lingotes de metal, com temperatura aproximada de 600^{o}C (graus Celsius).

Após a análise, observa-se que o cenário 2 apresenta uma maior facilidade de ser implantado, devido ao capital necessário para implantar a mudança e à redução de riscos proporcionado.

REFERÊNCIAS[1]

AGUILAR, S. M. S. et al. **Avaliação dos benefícios da aplicação da simulação, através do software Arena 10.0, em uma empresa de transporte ferroviário**. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO–A Engenharia de Produção e o Desenvolvimento Sustentável: Integrando Tecnologia e Gestão, 29. Salvador, Brasil, v. 6, 2009.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico**, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023: informação e documentação - referências - elaboração. Rio de Janeiro, 2002a.

BANKS, J.; CARSON, J.; NELSON, B. **Discrete-event system simulation**. New Jersey: Prentice Hall, 1996.

CARVALHO, D. T. **Metodologia de análise do desempenho da usina de concentração da samarco mineração S.A. baseada em simulação das operações**. 2003. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2003.

DE CARVALHO, P. S. L.; MESQUITA, P. D.; ROCIO, M. A. R. **A rota metalúrgica de produção de silício grau solar: uma oportunidade para a indústria brasileira?** BNDES Setorial, v. 40, p. 205–234, 2014.

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Levantamento da situação ambiental e energética do setor de ferroligas e silício metálico no estado de minas gerais, prospecção de ações para o desenvolvimento sustentável da atividade**. Relatório técnico. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento, Gerência de Desenvolvimento e Apoio Técnico às Atividades Industriais, 2010.

FAIRCHILD, W.T.. **Electric Furnace Manufacture of Silicon Metal**. Journal of Metals, 55-56. Agosto 1970.

FARBER, B. & LARSON, R..**Elementary Statistics**. Picturing the World. (6th ed). Boston, MA: Pearson, 2015.

FREITAS E SILVA, Liane Márcia; PINTO, Marcel de Gois; SUBRAMANIAN, Anand. **Utilizando o software Arena como ferramenta de apoio ao ensino em Engenharia de Produção**. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Foz do Iguaçu, 2007.

FREITAS FILHO, Paulo José de. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena**. 2 ed. Florianópolis: Visual Books, 2008.

HILLIER, Frederick S. e LIEBERMAN, Gerald J. (2013). **Introdução à Pesquisa Operacional**, 8ª ed. São Paulo: McGraw-Hill.

JUNG, C. F. **Metodologia científica**: ênfase em pesquisa tecnológica. 2004. Disponível em: < http://www.jung.pro.br/moodle/course/view.php?id=9>. Acesso em: 09 mai. 2010.

KELTON, W. DAVID; SADOWSKI Randall P.; SADOWSKI, Debora A.. **Simulation With Arena**. 4 ed. MacGrawHill, 2007.

LIASA. Disponível em: < https://www.liasa.com.br/silicio-metalico/#aplicacoes> Acesso em: 20 fev. 2018.

MIGUEL, P. A. C. (organizador). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao Controle Estatístico de Qualidade**. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

MULTILIGAS. Disponível em: < http://www.multiligas.com.br/ferro_silicio_metalico.htm> Acesso em: 10 nov. 2017

MYRVÅGNES, V. **Analyses and Characterization of Fossil Carbonaceous Materials for Silicon Production.** In: NTNU, Norwegian University of Science and Technology, Janeiro 2008, p. 1-9. ISBN: 978-82-471-6485-31983.

PIDD, Michael. **Just Modeling Through: A Rough Guide to Modeling**. Interfaces 29: 2. p.118-132, mar-abr, 1999.

PRADO, Darci. **Usando o ARENA em Simulação**. 2ª ed. Belo Horizonte, Editora Falconi, 1999.

ROCKWELL AUTOMATION. **ARENA User's Guide**. 2004

SAKURADA, Nelson; MIYAKE, Dario Ikuo. **Aplicação de simuladores de eventos discretos no processo de modelagem de sistemas de operações de serviços**. Gest. Prod., São Carlos , v. 16, n. 1, mar. 2009.

SEO, Emília Satoshi Miyamaru. **Estudo Cinético da Cloração do Silício**. 1997. Dissertação (Doutorado) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 1997.

SERODIO, Leonardo Moutinho. **Estado da Arte da obtenção de Silício Grau Solar**. 2009. Dissertação (Graduação) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

SCHEI, A., TUSET, J. K., TVEIT, H. **Production of High Silicon Alloys**. Trondhein, Tapir, 1998.

STEWART, Willian J..**Probability, Markov chains, Queues, and Simulation: The Mathematical Basis of Performance Modeling**. 1ª ed. Estados Unidos, 2009.

TAHA, H.A..**Operations Research: An Introduction**. 8th Edition, Asoke K. Ghosh, Prentice Hall of India, Delhi, 2007.

VALDERHAUG, Mikael A.. **Modelling and Control of Submerged-Arc Ferrosilicon Furnaces**. Noruega, 1992.

VIEIRA, G. E. **Uma revisão sobre a aplicação de simulação computacional em processos industriais**. Simpósio de engenharia de produção, XIII, Bauru, Anais, p. 1-10, 2006.

ANEXO A – TERMO DE AUTENTICIDADE

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA

Termo de Declaração de Autenticidade de Autoria

Declaro, sob as penas da lei e para os devidos fins, junto à Universidade Federal de Juiz de Fora, que meu Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia de Produção é original, de minha única e exclusiva autoria. E não se trata de cópia integral ou parcial de textos e trabalhos de autoria de outrem, seja em formato de papel, eletrônico, digital, áudio-visual ou qualquer outro meio.
Declaro ainda ter total conhecimento e compreensão do que é considerado plágio, não apenas a cópia integral do trabalho, mas também de parte dele, inclusive de artigos e/ou parágrafos, sem citação do autor ou de sua fonte.
Declaro, por fim, ter total conhecimento e compreensão das punições decorrentes da prática de plágio, através das sanções civis previstas na lei do direito autoral[1] e criminais previstas no Código Penal[2], além das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Juiz de Fora, 05 de dezembro de 2018.

Luiza Amaral Adler Rodrigues — NOME LEGÍVEL DO ALUNO (A)

201149050 — Matrícula

Luiza A. A. Rodrigues — ASSINATURA

112 197 126 12 — CPF

[1] LEI N 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.
[2] Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: Pena - detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano, ou multa.

Repositório Institucional

UFJF
Universidade Federal de Juiz de Fora

Termo de Autorização para publicação de trabalhos acadêmicos em formato eletrônico no Repositório Institucional Digital da Produção Científica e Intelectual da UFJF

1. Identificação da material bibliográfico: ( )Tese ( ) Dissertação
(X) TCC graduação ( ) TCC Especialização

2. Identificação da Tese ou Dissertação

Autor: Luiza Amaral Adler Rodrigues
Matrícula: 201149050 CPF: 112197 12612 Telefone fixo 32 3232-1768
Telefone celular: 32 99811-1768 E-mail: luiza.adler@gmail.com
Nome do orientador: Fernando Marques de Almeida Nogueira
Título do trabalho: Simulação de produção em uma área de lingotamento de uma empresa metalúrgica: análise de gargalo e utilização de recursos
Co-orientador:
Membros da Banca: Fernando Marques de Almeida Nogueira, Luiz Henrique Dias Alves, Leonardo Barbosa de Souza

Pós Graduação Stricto Sensu (Mestrado e Doutorado)
Programa: Curso:
Área do Conhecimento: Palavras-chave:
Data da defesa: __/__/__

Pós-graduação Lato Sensu (especialização)
Curso de Pós-Graduação:
Área do Conhecimento: Palavras-chave:
Data da defesa: __/__/__

Graduação
Curso: Engenharia de Produção Data da defesa: 05/12/18
Área do Conhecimento: Modelagem e Simulação
Palavras-chave: Simulação, Filas, Silício Metálico

3. Agência (s) de fomento (se houver):

4. Licença de uso

Na qualidade de titular dos direitos de autor do conteúdo supracitado, autorizo o Centro de Difusão do Conhecimento da Universidade Federal de Juiz de Fora a disponibilizar a obra no Repositório Institucional gratuitamente, de acordo com a licença pública ***Creative Commons*** Licença 4.0 Internacional por mim declarada sob as seguintes condições.
Permite uso comercial de sua obra? ( ) Sim (x) não
Permitir alterações em sua obra? ( ) sim ( ) sim, desde que outros compartilhem pela mesma licença (x) não
A obra continua protegida por Direitos Autorais e/ou por outras leis aplicáveis. Qualquer uso da obra que não o autorizado sob esta licença ou pela legislação autoral é proibido.

4. Informação de acesso ao documento:

Liberação para publicação: (x) Total ( ) Parcial
A restrição (parcial ou total) poderá der mantida por até um ano a partir da data de autorização da publicação. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à PROPP ou PROGRAD. Em caso de publicação parcial, o embargo será de 12 meses. Especifique o (s) arquivo(s) capítulo(s) restritos:

Declaração de distribuição não-exclusiva

O referido autor:
a) Declara que o documento entregue é seu trabalho original e que detém o direito de conceder os direitos contidos nesta licença. Declara também que a entrega do documento não infringe, tanto quanto lhe é possível saber, os direitos de qualquer pessoa ou entidade.
b) Se o documento entregue contém material do qual não detém os direitos de autor, declara que obteve autorização do detentor dos direitos de autor para conceder à Universidade Federal de Juiz de Fora os direitos requeridos por esta licença e que esse material, cujos direitos são de terceiros, está claramente identificado e reconhecido no texto ou conteúdos do documento entregue.
c) Se o documento entregue é baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não a UFJF, declara que cumpriu quaisquer obrigações exigidas pelo contrato ou acordo.

Assinatura do autor Luiza A. A. Rodrigues **Data** 05/12/18