



Universidade Federal de Ouro Preto  
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas  
Departamento de Engenharia de Produção



## **Trabalho de Conclusão de Curso**

**Implementação de um modelo de simulação  
para a avaliação da taxa de parada no circuito  
transportador de Fio-Máquina do processo de  
laminação de uma siderúrgica de Minas Gerais**

**Amanda de Souza Rios**

João Monlevade, MG  
2018

**Amanda de Souza Rios**

**Implementação de um modelo de simulação  
para a avaliação da taxa de parada no circuito  
transportador de Fio-Máquina do processo de  
laminação de uma siderúrgica de Minas Gerais**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado à  
Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos  
requisitos para obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia de Produção pelo Instituto de Ciências  
Exatas e Aplicadas da Universidade Federal de Ouro  
Preto.

Orientador: Prof. Marco A. Bonelli Junior

**Universidade Federal de Ouro Preto  
João Monlevade  
2018**

R586i

Rios, Amanda de Souza.

Implementação de um modelo de simulação para a avaliação e redução da taxa de parada no circuito transportador de fio máquina do processo de laminação em uma siderúrgica do estado de Minas Gerais [manuscrito] / Amanda de Souza Rios. - 2018.

40f.: il.: color; grafs; tabs.

Orientador: Prof. Marco Antônio Bonelli Junior.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Departamento de Engenharia de Produção.

1. Engenharia de produção. 2. Logística. 3. Custos. I. Bonelli Junior, Marco Antônio. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 658.78

Catálogo: [ficha@sisbin.ufop.br](mailto:ficha@sisbin.ufop.br)



## ATA DE DEFESA

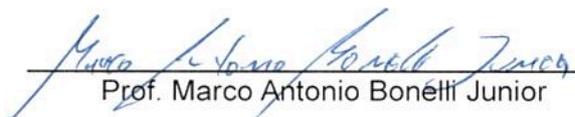
Aos **19** dias do mês de **julho** de **2018**, às **16:30** horas, na sala **H102** deste instituto, foi realizada a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso pela aluna **AMANDA DE SOUZA RIOS**, sendo a comissão examinadora constituída pelos professores: **PROF<sup>a</sup>. DR<sup>a</sup>. MÔNICA DO AMARAL** e **PROF. DR. THIAGO AUGUSTO DE OLIVEIRA SILVA**.

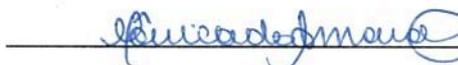
A aluna apresentou o trabalho intitulado: **IMPLEMENTAÇÃO DE UM MODELO DE SIMULAÇÃO PARA A AVALIAÇÃO DA TAXA DE PARADA NO CIRCUITO TRANSPOSTADOR DE FIO-MÁQUINA DO PROCESSO DE LAMINAÇÃO DE UMA SIDERÚRGICA DE MINAS GERAIS**. A comissão examinadora deliberou, pela:

- (  ) Aprovação
- (  ) Aprovação com Ressalva - Prazo concedido para as correções: \_\_\_\_\_
- (  ) Reprovação com Ressalva - Prazo para marcação da nova banca: \_\_\_\_\_
- (  ) Reprovação

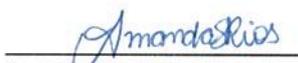
da aluna, com a nota 10,0. Na forma regulamentar e seguindo as determinações da resolução COEP 04/2017 foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da comissão examinadora e pela aluna.

João Monlevade, 19 de julho de 2018.

  
Prof. Marco Antonio Bonélli Junior

  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Mônica do Amaral

  
Prof. Dr. Thiago Augusto de Oliveira Silva

  
Amanda de Souza Rios



## TERMO DE RESPONSABILIDADE

O texto do trabalho de conclusão de curso intitulado “IMPLEMENTAÇÃO DE UM MODELO DE SIMULAÇÃO PARA A AVALIAÇÃO E REDUÇÃO DA TAXA DE PARADA NO CIRCUITO TRANSPORTADOR DE FIO-MÁQUINA DO PROCESSO DE LAMINAÇÃO EM UMA SIDERÚRGICA DO ESTADO DE MINAS GERAIS” é de minha inteira responsabilidade. Declaro que não há utilização indevida de texto, material fotográfico ou qualquer outro material pertencente a terceiros sem o devido referenciamento ou consentimento dos referidos autores.

João Monlevade, 20 de Julho de 2018 :

Amanda de Souza Rios

# Agradecimentos

Agradeço primeiramente à Deus, por me conceber saúde para ter chegado até aqui, por me iluminar e ter colocado pessoas maravilhosas ao longo da minha trajetória.

Aos meus pais Sônia e Fábio, por serem minha referência de caráter e as pessoas mais incríveis que já conheci. Aos meus irmãos Anna Clara e Fábio, por despertarem em mim a vontade de ser cada dia melhor.

À República MADA, por serem grandes incentivadoras em minhas decisões, responsáveis pelo meu amadurecimento e pelos grandes aprendizados durante a graduação.

Ao Marco Bonelli, mais que um orientador, um grande amigo nesse período que tive o prazer de conhecer! Pelo companheirismo, paciência e confiança neste trabalho.

À Universidade Federal de Ouro Preto, professores, funcionários e amigos que foram fundamentais durante toda minha graduação.

# Resumo

Dentre as diversas aplicações existentes na logística, a movimentação de materiais pode ser vista como uma parte de destaque, visto que estas operações interferem diretamente nos custos das organizações. Dessa forma, elas precisam ser conhecidas a fim de ser bem controladas, buscando a elevação da produtividade e redução de custos. O presente trabalho é dedicado a uma pesquisa relacionada às movimentações do Fio-Máquina, produto final produzido pela siderúrgica em estudo, por meio de um circuito localizado no processo da Laminação. A pesquisa busca identificar oportunidades de melhoria ao longo do transporte, que se inicia a partir do local de liberação do Fio-Máquina, na área produtiva, até o pátio de estocagem no objetivo de garantir um fluxo contínuo de material até o final do circuito, de forma a evitar complicações que ocasionem em paradas na produção. A coleta de dados foi realizada por meio de observações no local e bases de dados fornecidas pelo *software* utilizado pela siderúrgica. Os dados apresentaram informações relativas as paradas acidentais geradas por problemas no circuito no ano de 2017. A partir dos dados obtidos foi possível realizar uma representação do funcionamento do processo de transporte por meio da simulação de eventos e, assim, foi avaliado o comportamento do transportador frente ao aumento da disponibilidade de pendurais. A proposta se mostrou atrativa, visto os benefícios esperados frente a redução das paradas e período para recuperação do capital investido.

**Palavras-chave:** logística, siderurgia, simulação de eventos, movimentação de materiais.

# Abstract

Among the various applications in logistics, the movement of materials can be seen as a prominent part, since these operations directly interfere in the costs of organizations. In this way, they need to be known in order to be well controlled, seeking to increase productivity and reduce costs. The present work is dedicated to research related to the movements of the Wire-Machine, the final product produced by the steel mill under study, through a circuit located in the Lamination process. The research seeks to identify improvement opportunities along the transport, starting from the place of release of the Wire-Machine, in the production area, to the storage yard in order to guarantee a continuous flow of material until the end of the circuit, in order to avoid complications that lead to stops in production. Data collection was performed through on-site observations and databases provided by the software used by the steel mill. The data presented information on the accidental stops generated by problems in the circuit in the year 2017. From the data obtained it was possible to perform a representation of the operation of the transport process through the simulation of events and, therefore, the behavior of the conveyor in response to the increased availability of hangers. The proposal was attractive, considering the expected benefits against the reduction of the stops and the period for recovery of invested capital.

**Keywords:** logistics, steel industry, event simulation, materials movement.

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Bobina de Fio-Máquina . . . . .	15
Figura 2 – Exemplos de aplicação do Fio-Máquina . . . . .	16
Figura 3 – Fluxo simplificado de produção do aço . . . . .	18
Figura 4 – Esquema mostrando um trem contínuo de laminação . . . . .	18
Figura 5 – Sistema de formação de espiras . . . . .	19
Figura 6 – Layout do laminador . . . . .	21
Figura 7 – Modelo de pesquisa para simulação . . . . .	25
Figura 8 – Passos de modelagem utilizados . . . . .	26
Figura 9 – Recursos envolvidos no transportador . . . . .	27
Figura 10 – Circuito transportador de Fio-Máquina . . . . .	29
Figura 11 – Esboço ilustrativo dos transportadores 1 e 2 . . . . .	30
Figura 12 – Payback descontado . . . . .	37
Figura 13 – Perpetuidade do valor presente . . . . .	37

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Paradas acidentais no circuito tranportador de Fio-Máquina pelas principais bitolas - Janeiro a Setembro de 2017 . . . . .	33
Tabela 2 – Paradas acidentais no circuito tranportador de Fio-Máquina por tranportador - Janeiro a Setembro de 2017 . . . . .	34
Tabela 3 – Cenários gerados do modelo de simulação . . . . .	35

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b>	<b>12</b>
1.1.1	Objetivos gerais	12
1.1.2	Objetivos específicos	12
<b>1.2</b>	<b>Justificativa e relevância do trabalho</b>	<b>12</b>
<b>1.3</b>	<b>Organização do trabalho</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b>	<b>14</b>
<b>2.1</b>	<b>O mercado de Fio-Máquina</b>	<b>14</b>
2.1.1	Tipos de Fio-Máquina	14
2.1.2	Aplicações do Fio-Máquina na indústria	15
<b>2.2</b>	<b>Produção do Fio-Máquina</b>	<b>16</b>
2.2.1	Processo de confecção do Fio-Máquina	16
2.2.1.1	Laminação	17
2.2.2	Logística e transporte do Fio-Máquina no processo de laminação	19
<b>2.3</b>	<b>Trabalhos correlatos</b>	<b>20</b>
<b>2.4</b>	<b>Simulação de eventos discretos</b>	<b>22</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>24</b>
<b>4</b>	<b>MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO PROCESSO</b>	<b>26</b>
4.1	Conceitualização do problema	26
4.2	Modelagem computacional	29
4.3	Resolução pelo modelo	32
4.4	Hipótese avaliada	32
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>34</b>
5.1	Levantamento dos dados	34
5.2	Simulação do modelo proposto	35
5.3	Avaliação do benefício do investimento	35
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>38</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>39</b>

# 1 Introdução

A indústria siderúrgica, ramo da metalurgia que consiste na fabricação e tratamento de aços e ferros fundidos, em função da sua representativa escala de operação está inserida em um mercado globalmente competitivo. Atualmente, a produção mundial de aço ultrapassa em 735 milhões de toneladas à demanda requerida pelo produto (BRASIL, 2007).

Uma eficiente gestão logística é essencial no ganho de competitividade. De acordo com (BALLOU, 2009), decisões logísticas tomadas pelas organizações proporciona diferentes níveis de serviço ao cliente, de forma a possibilitar condições de aumentar sua fatia de mercado e aumentar os lucros.

Segundo (BOWERSOX; CLOSS, 2001), a gestão logística consiste em fornecer os produtos e serviços no local e momentos esperados. Dentre as diversas aplicações existentes na logística para o alcance desse objetivo, a movimentação de materiais pode ser vista como uma parte de destaque, visto que estas operações são de característica complexa e precisam ser conhecidas a fim de ser bem controladas, buscando a elevação da produtividade e a redução dos custos gerados pelas movimentações.

O presente trabalho é dedicado a uma pesquisa relacionada às movimentações do Fio-Máquina, produto final produzido pela siderúrgica em estudo, por meio de um circuito localizado no processo da Laminação. A pesquisa busca identificar oportunidades de melhoria ao longo do transporte, que se inicia a partir do local em que se é formada a bobina até o pátio de estocagem, no objetivo de garantir um fluxo contínuo de material até o final do circuito de forma a evitar complicações que podem ocasionar em paradas na produção.

Logo após a fabricação do Fio-Máquina, o mesmo é posicionado em Pendurais, que são estruturas responsáveis pela acomodação da bobina na forma vertical. Além dos pendurais, existem os Ganchos C, que também desempenham a mesma função transportadora, porém na forma horizontal, a fim de facilitar a execução de atividades de acabamento realizadas no material ao final do circuito. Ambas as estruturas são movimentadas através de “carros transportadores”.

É bastante comum na indústria estudada a ocorrência de paradas na produção devido à falta de pendural vazio disponível no local de recebimento de Fio Máquina, denominada Mesa de Recebimento, para iniciar o transporte dentro do circuito. Esse fato caracteriza um gargalo no processo produtivo, visto que inviabiliza a produção de mais bobinas.

Percebe-se, então, a importância do acompanhamento dos processos que envolvam o circuito frente as suas características logísticas e de dimensionamento, uma vez que o seu funcionamento influencia diretamente no fluxo produtivo e na performance do Laminador.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivos gerais

Desenvolver um estudo em uma empresa Siderúrgica no estado de Minas Gerais, acerca da movimentação de materiais produzidos na área do Laminador, visando reduzir o tempo de parada no processo por meio da identificação das perdas atuais e ganhos viáveis no circuito.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- ✓ Identificar os motivos de parada na produção por falta de pendural vazio na mesa de recebimento do fio máquina e suas taxas de ocorrência;
- ✓ Mapear o processo que envolve o circuito, bem como suas restrições e particularidades;
- ✓ Definir pontos de atuação para melhoria do circuito;
- ✓ Criar tratativas para o problema e definir cenário de atuação;
- ✓ Simular o circuito transportador frente as alterações propostas;

## 1.2 Justificativa e relevância do trabalho

Diante do cenário altamente competitivo em que o mercado siderúrgico está inserido, é necessário que se controle as perdas ao longo do processo. (BALLOU, 1993) afirma que pequenas ineficiências em atividades de manuseio, comumente repetidas, acarretam em grandes deseconomias após certos períodos de tempo. Dessa forma, é importante que essas atividades sejam estudadas visto que o aprimoramento desse processo contribui para a competitividade da organização.

Com o estudo proposto, será possível uma melhor compreensão do funcionamento do circuito e quais as principais causas geradoras do problema, ou seja, a falta de pendural vazio na mesa de recebimento de Fio-Máquina. O trabalho possibilita, também, simular diferentes cenários viáveis, de forma avaliar seus respectivos impactos quanto a minimização das ocorrências de falta de pendural vazio.

Devido à extensão e complexidade do circuito, justifica-se o estudo das perdas geradas pelas movimentações e as atividades provenientes desse processo, bem como a identificação de oportunidades de melhoria que acarretarão no aumento do desempenho do Laminador.

## 1.3 Organização do trabalho

O presente trabalho é dividido em seis seções. Na primeira seção, apresenta-se a problemática da movimentação de materiais e a importância da gestão logística na competitividade no âmbito siderúrgico, bem como os objetivos gerais, específicos e a justificativa do trabalho. Na segunda seção, é comentado acerca do produto final e seu processo de fabricação, tendo maior enfoque na laminação, e é detalhado sobre o funcionamento do transporte do Fio-Máquina dentro da laminação, evidenciando como ocorre sua movimentação até a área de estocagem. Também é apresentado conceitos acerca da simulação de eventos discretos, método escolhido para representar o comportamento do sistema em estudo e na identificação de oportunidades de melhoria. A terceira seção retrata a metodologia escolhida para a resolução do problema, passo a passo. A quarta seção dedica-se na aplicação do conceito da metodologia adotada, por meio de uma conceitualização do problema, a definição da modelagem realizada, representação dos critérios de resolução gerados pelo modelo, formulação de hipóteses e sua validação. Na quinta seção, serão apresentados os resultados e discussões finais encontradas a cerca do modelo, levando em consideração o custo benefício dos investimentos de melhoria a serem realizados para alavancar a produtividade do sistema e, por fim, na última seção serão levantadas as considerações finais do trabalho.

## 2 Revisão da literatura

### 2.1 O mercado de Fio-Máquina

(BIZATTO et al., 2017) afirma que o Brasil, no que diz respeito ao mercado siderúrgico, apresenta os menores custos operacionais do mundo, devido sua grande disponibilidade de jazidas de minério de ferro. Além disso, está presente em cadeias de valor em diversos segmentos de mercado, desencadeando relevância não só para o mercado metalúrgico, mas em diversas atividades econômicas.

Apesar da desaceleração da economia brasileira dos últimos anos, segundo informações do (BRASIL, 2018), o desempenho do mercado siderúrgico brasileiro apresentou uma melhora no primeiro quadrimestre de 2018, alcançando uma produção de laminados de 11,6 milhões de toneladas, valor 4,1% maior comparado ao mesmo período do ano de 2017.

De acordo com a orientação da norma NBR 8643/1995 - Produtos siderúrgicos do aço, o Fio-Máquina é um produto classificado dentro do segmento de aços longos, fabricado por meio do processo de laminação a quente, disponíveis em aços ao carbono.

Segundo (RIZZO, 2010), os laminadores de Fio-Máquina são diferenciados pelo seu maquinário de alta velocidade de laminação e sua produtividade. É um semi-acabado considerado como insumo na fabricação de produtos trefilados de diversas aplicações, tanto em construções mecânicas como para construções civis.

#### 2.1.1 Tipos de Fio-Máquina

Ainda de acordo com (RIZZO, 2010), o Fio-Máquina é enrolado a quente, apresentando uma seção transversal que pode ser circular, oval, quadrada, hexagonal ou semicircular sendo fornecido em rolos de espiras irregulares, assumindo dimensões nominais de cerca de 5mm a 45mm ou mais.

Os tipos de Fio-Máquina, além das características dimensionais, podem ser segmentados também pela composição química do aço. Segundo (MOURÃO et al., 2007), a quantidade de carbono presente no aço define a sua classificação, sendo essas: aços de baixo-carbono (porcentagem de carbono: 0,08% a 0,20%); aços de médio-carbono (0,20% a 0,60%); e aços de alto-carbono (0,60% a 1,00%). O aumento do teor de carbono é considerado um modo economicamente viável para a obtenção de resistência mecânica do material. Porém, o aumento do teor de carbono prejudica a ductilidade e a tenacidade do material, comprometendo, assim, características relativas à soldabilidade.

Os aços baixo-carbono são comumente selecionados para aplicações de menor responsabilidade devido a suas características de baixa resistência e dureza, bem como alta tenacidade e ductibilidade. Os aços alto-carbono são normalmente usados na composição

Figura 1 – Bobina de Fio-Máquina



Fonte: (BELGO, entre 2000 e 2018)

de produtos com um maior valor agregado nas aplicações dado que possui alta resistência e dureza. Entretanto, este não é recomendado para materiais que serão soldados, devido a maior probabilidade na ocorrência de trincas a frio, que é justificada pela sua baixa ductibilidade e tenacidade. Os aços médio-carbono balanceiam essas propriedades.

### 2.1.2 Aplicações do Fio-Máquina na indústria

O Fio-Máquina é considerado matéria prima para produtos de diversos segmentos, tais como: arames; lâ de aço; fixadores; eletrodos; cordoneis de aço para pneus; aplicações em construções civis; aplicações em indústrias agropecuárias; molas helicoidais; hastes de amortecedores; entre muitos outros. Para (MOURÃO et al., 2007) os diferentes tipos de aplicação para aços longos são classificados em: aços para cementação; aços para beneficiamento; aços microligados; aços para mola; aços de usinagem; e aços para rolamento. Dentre essas classificações, o Fio-Máquina se enquadra na produção de aços microligados, aços mola, aços de usinagem e aços para rolamento.

Os aços microligados são aços-carbono modificados pela pequena adição de elementos como o vanádio, nióbio e/ou titânio. Devido à sua característica de bom limite de resistência combinada ao fato de possuir boas propriedades de soldabilidade, ductibilidade e tenacidade, o Fio-Máquina de aços interligados é um produto semi-acabado que é usado, por exemplo, como matéria prima na fabricação de vergalhões, nervurados e produtos de propriedades nobres utilizados na construção civil.

As aplicações de aços mola tem como principal objetivo, dar condições ao material de voltar a sua condição original ao ser aplicada uma carga sobre ele. Normalmente são caracterizadas pelo alto teor de carbono com adição de elementos como manganês (Mn),

cromo (Cr) e, em alguns produtos, silício (Si), boro (B) e molibdênio (Mo). Suspensões de veículos, máquinas e molas em geral, são exemplos de aplicações.

Os aços para usinagem detêm um número muito grande de aplicações. São aços que podem conter em sua composição enxofre (S), fósforo (P) e, em alguns produtos, o chumbo (Pb). A sua composição, que também é característica por apresentar médios ou baixos teores de carbono, leva a boas condições de usinabilidade, trazendo facilidade de remoção de material durante os processos de corte, o que aumenta a produtividade em atividades de usinagem. Como exemplo, podem ser usados na fabricação de parafusos e fixadores.

Figura 2 – Exemplos de aplicação do Fio-Máquina



Fonte: (ARCELORMITTAL, entre 2000 e 2018)

Por fim, para a fabricação de aços para rolamentos, a principal característica desejada é a resistência a fadiga. Sendo assim, esses são aços de alto teor de carbono e que possuem cromo (Cr) em sua composição. O uso do Fio-Máquina para essa aplicação é menos comum quando comparada às outras classificações descritas nessa seção.

## 2.2 Produção do Fio-Máquina

### 2.2.1 Processo de confecção do Fio-Máquina

A fabricação do Fio-Máquina consiste em um processo siderúrgico que, de acordo com (MOURÃO et al., 2007), é a transformação do minério de ferro em aço. Esse processo acontece com o aquecimento do minério, coque, cálcio e demais matérias primas em caldeirões elétricos. A partir dessa etapa, o aço já formado em seu estado líquido é derramado em moldes, de forma a ser resfriado e solidificado na forma de tarugos (barras de aço de seção quadrada), sendo considerado o material input a ser laminado.

O aço é um metal formado por meio de uma liga de ferro (Fe) e carbono (C). De acordo com (SIDERURGIA, 2007), o seu processo de fabricação pode ser dividido em cinco etapas:

- Preparação da carga: etapa da formação do sinter e carvão, resultante da formação do minério de ferro com cal e coque. Esses materiais são preparados antes de serem encaminhadas para o alto forno, de forma a melhorar o rendimento e economia;
- Redução: etapa em que as matérias-primas são encaminhadas para o alto forno de modo com que a carga metálica seja fundida em altas temperaturas, passando pelo processo de redução do minério de ferro em ferro-gusa, metal na forma líquida com elevado teor de carbono;
- Refino: processo realizado na área da aciaria, em que o ferro-gusa é transformado em aço líquido por meio da retirada de impurezas e parte do carbono.
- Lingotamento: o material, ainda no estado líquido é acomodado em moldes e passa por um processo de solidificação por meio de resfriamento. No caso da fabricação de Fio-Máquina, formam-se tarugos como input para o processo de laminação.
- Laminação: nesta etapa, os tarugos (barras de aço de seção quadrada), passam pelo processo de laminação a quente, sendo então transformados no Fio-Máquina.

Conforme processo de fabricação, (SIDERURGIA, 2007) afirma que as usinas siderúrgicas podem ser classificadas como integradas, semi-integradas ou não integradas.

As usinas integradas contemplam as todas as etapas básicas de redução, refino e laminação, enquanto as usinas semi-integradas operam em duas fases, sendo normalmente o refino e a laminação. O processo não integrado contempla apenas uma fase produtiva, se tornando produtoras de ferro gusa ou laminadoras de tarugos, tornando-se dependentes de outras indústrias para complementar as demais etapas necessárias à fabricação do fio-máquina.

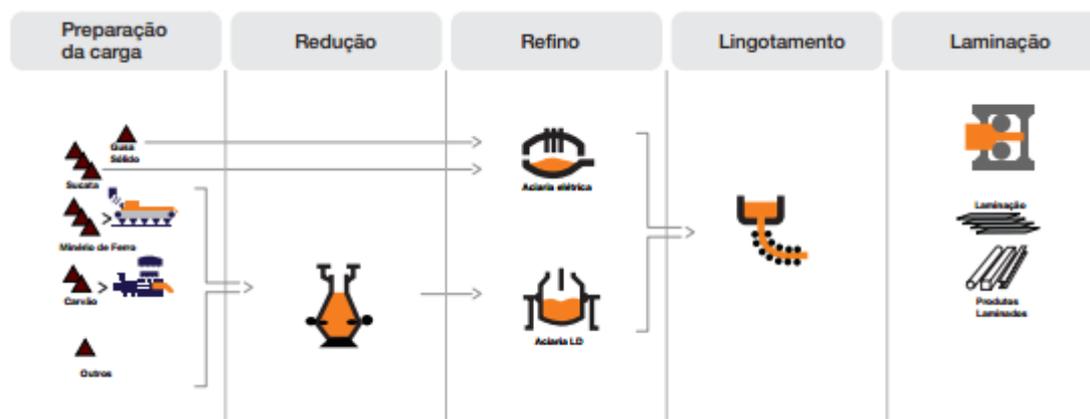
A Figura 3 ilustra o processo produtivo do aço de uma usina integrada, desde a preparação das matérias primas até o a fabricação do produto final laminado, em concordância com as etapas citadas anteriormente.

A seguir, o processo de laminação será descrito de forma mais detalhada, visto que a parte em estudo do trabalho está localizado na área do laminador.

### 2.2.1.1 Laminação

Segundo (MACHADO et al., 2003), a laminação é um processo no qual o material passa por uma conformação mecânica por meio de passes formados a partir de dois cilindros, que giram em sentidos opostos e em um mesmo ritmo. Ao ser conformado pelos cilindros, a força de atrito entre o material e o equipamento promove uma deformação plástica do

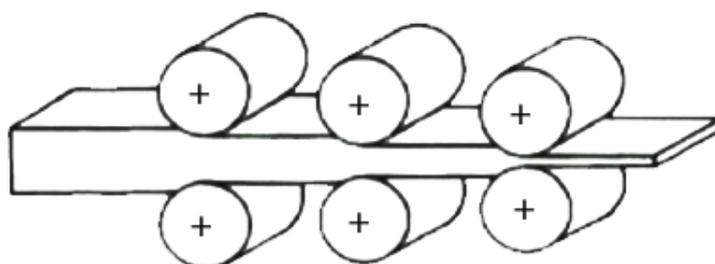
Figura 3 – Fluxo simplificado de produção do aço



Fonte: (BRASIL, 2007)

aço, sendo sua espessura reduzida e sua largura e comprimento expandidas. A figura 4 exemplifica o processo de conformação mecânica por meio de cilindros em um trem contínuo de laminação.

Figura 4 – Esquema mostrando um trem contínuo de laminação



Fonte: (MACHADO et al., 2003)

A laminação é considerada como um dos processos de conformação mais utilizados na prática. Além da sua alta produtividade e custos mais baixos de produção, a atividade permite um controle bastante preciso do produto dimensional de seus produtos, proporcionando maiores níveis de qualidade do material fabricado, bem como menor variabilidade em suas dimensões. (MACHADO et al., 2003)

Para (RIZZO, 2010), podem ser utilizados os seguintes sistemas para a formação das espiras e bobinas em laminadores de fio-máquina:

- Sistema de bobinadeira tipo Garret: Equipamento composto por duas bobinadeiras que são usadas de forma alternada para receber o produto laminado e conformá-lo na forma de bobina, a partir da formação de espiras na forma vertical. São normalmente utilizadas na conformação de barras redondas de diâmetros maiores (16 a 42mm), conforme Figura 5(a).

- Sistema do tipo Stelmor: Esse sistema é composto por um formador de espiras (tubo cone), que acomodam as espiras de forma horizontal, passando por uma mesa de resfriamento a ar com tampas articuladas, um formador e um compactador de bobinas, sendo utilizado na formação de fio-maquinas de menor diâmetro (4 a 22mm), conforme Figura 5(b).

Figura 5 – Sistema de formação de espiras



(a) Sistema tipo Garret



(b) Sistema tipo Stelmor

Fonte: O autor (2018)

### 2.2.2 Logística e transporte do Fio-Máquina no processo de laminação

A crescente competitividade das indústrias exige respostas mais rápidas e eficazes no atendimento às solicitações do mercado. Para que essas exigências sejam atendidas, é necessário aprimoramento contínuo de seus processos.

Neste âmbito, (LAMBERT et al., 1998) definem a logística como o processo de gerenciamento estratégico os fluxos de materiais e de informações, objetivando uma organização que gera uma maior lucratividade, competitividade e, conseqüentemente, obtenha uma posição maior de liderança no mercado. Sendo assim, a movimentação de materiais assume um importante papel no contexto da gestão logística.

De acordo com (MEYERS; STEPHENS, 2000), a movimentação de materiais é em sua essência uma combinação de métodos e processos que englobam desde a movimentação de pequenas à grandes quantidades de material. (RAY, 2008) afirma que rotinas ineficientes relativas a movimentação de materiais dentro das empresas, além de aumentarem seus custos, fazem com que elas sejam menos produtivas.

Dessa forma, é importante que as atividades acerca da movimentação de Fio-Máquina no laminador sejam conhecidas e mensuradas afim de serem controladas, garantindo, assim, um processo produtivo mais eficiente e com um menor custo de fabricação.

A figura 6 mostra o layout do arranjo físico de um laminador projetado exclusivamente para a produção de Fio-Máquina, cuja figura apresenta o seguinte arranjo físico: (a) Forno de reaquecimento, (b) Trem desbastador contínuo, (c) Tesoura, (d) Bobinadeira Garret, (e) Bloco pré-acabador, (f) Bloco acabador, (g) Formador de Espiras/Stelmor, (h) Formador de bobinas, (i) Transportadores de Fio-Máquina (01 a 04), (j) Transportador 05: Manuseio de Materiais.

O estudo terá enfoque no processo de laminação, envolvendo especificamente as movimentações que ocorrem por meio do circuito transportador que se inicia a partir da formação das bobinas de Fio-Máquina na região (h) da figura 6, e segue transporte por meio dos transportadores da região (i) até o momento em que estas são pesadas e disponibilizadas para descarregamento no pátio onde são estocadas região (j) ao final do transportador 5. Além da funcionalidade de transporte, durante o percurso existem atividades de inspeções de qualidade e acabamento do Fio-Máquina.

## 2.3 Trabalhos correlatos

Existem alguns trabalhos no âmbito siderúrgico que utilizam a simulação como alternativa para identificação de oportunidades de melhoria na solução de problemas.

(PINTO; PINTO, 2005) usa a simulação para auxílio na tomada de decisões numa indústria que possui em suas instalações treze máquinas de trefilar para confecção de arames. Como resultado, por meio das saídas geradas no estudo, será possível aumentar a quase 100%, a taxa de utilização das máquinas o que antes não atingia 70% de ocupação.

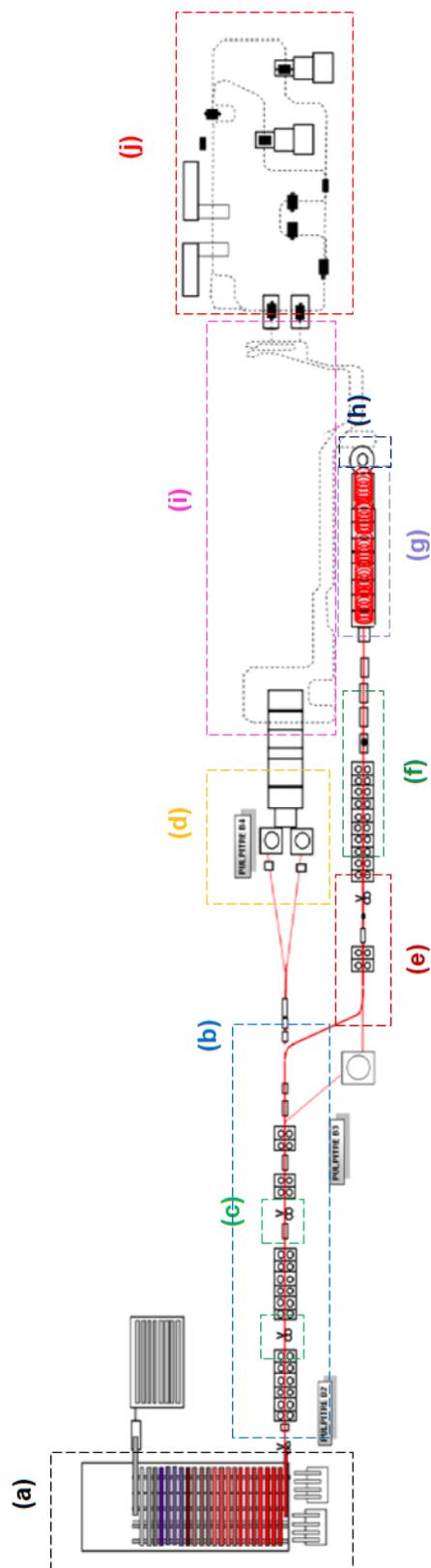
(COELHO et al., 2011) cria um modelo de simulação para mapear o manuseio de matérias primas de uma siderúrgica integrada. As características flexíveis do simulador, permitiram uma aproximação real do modelo que segundo o autor, foi possível identificar os gargalos dos cenários e realizar propostas de automação em algumas atividades. O resultado do trabalho foi considerado satisfatório segundo a equipe do pátio de matérias primas da organização.

O uso da simulação pode contribuir até na identificação de futuros cenários. (CUNHA et al., 2011) avalia possíveis gargalos e impactos em um cenário de expansão de uma usina de grande porte produtora de Fio-Máquina, além de uma proposta de mudança de layout para aumento na capacidade da estocagem dos produtos, e alterações no transporte ferroviário para obtenção de uma logística mais eficiente.

Por fim, (GOMES et al., 2016) utiliza da ferramenta para manter o nível de serviço de um setor de carregamento, frente à uma diminuição no quadro de funcionários. Os resultados encontrados pela simulação, apontaram que o aumento do grau da utilização da mão de obra existente, culminaram na elevação de 23,19% na mão de obra operacional.

Tais trabalhos são exemplos de aplicações que podem ser realizadas no âmbito siderúrgico por meio da simulação. Sendo assim, uma alternativa na descoberta de oport-

Figura 6 – Layout do laminador



Fonte: Acervo da empresa

tunidades de melhoria que podem gerar bons resultados, como a diminuição de custos e aumento da produtividade, tendo baixos investimentos e capacidade de gerar várias hipóteses em vários cenários, com infinitas aplicações em um processo tão amplo como o siderúrgico.

## 2.4 Simulação de eventos discretos

A simulação de eventos segundo (MELLO, 2001), é utilizada na representação do comportamento de sistemas, caracterizados pelo somatório de itens que tenham uma relação de funcionalidade. Dessa forma, o circuito de fio-máquina e seus componentes, podem ser denominados como um sistema, tendo em vista sua principal função movimentadora.

Os processos gerados em uma indústria por muitas vezes se tornam complexos devido a grande sequência de tarefas a serem executadas. A simulação proporciona benefícios no estudo dessas atividades, visto que ela propicia agilidade por meio da criação de modelos computacionais. De acordo com (CHWIF; MEDINA, 2006) um modelo pode ser considerado como uma abstração da realidade por meio de uma representação simplificada das partes de um sistema, sempre de forma mais simples que a situação real. Isso ocorre porque o objetivo da simulação é capturar o que é realmente relevante para o estudo, evitando complexidades desnecessárias.

Os problemas propostos por modelos de simulação são classificados conforme (MELLO, 2001) como determinísticos, estocásticos, estáticos, e dinâmicos, apresentando as principais características:

- Modelos Determinísticos: Não é permitida a inserção de variáveis exógenas e endógenas como variáveis aleatórias.
- Modelos Estocásticos: Quando são identificadas funções de probabilidade em pelo menos uma das características de operação e essas são incorporadas na geração randômica dos dados.
- Modelos Estáticos: Modelos em que não é considerado a variável de tempo
- Modelos dinâmicos: Os modelos matemáticos que levam em consideração ocorrência de ordens temporais entre eventos.

O uso da simulação é fortemente recomendado para problemas que apresentam características estocásticas e dinâmicas, tendo em vista que incertezas existentes no decorrer do processo são levadas em consideração no alcance do resultado desejado. Para situações em que são desconsideradas incertezas e variáveis de tempo, como os modelos determinísticos e estáticos, a simulação não é o método mais recomendado, sendo mais eficiente o uso de métodos analíticos na resolução do problema.

Segundo (TURRIONI; MELLO, 2012), os sistemas discretos podem ser definidos por aqueles que apresentam valores finitos ou infinitos que são enumerados, como por exemplo número de peças que uma máquina recebe. Sua aplicação é recomendada, como pelo nome subtende-se, para modelagem de situações que em momentos discretos de tempo, alteram o seu estado a partir da ocorrência de eventos. Aeroportos e portos, bancos, cadeias logísticas, call centers e hospitais são alguns exemplos de possível criação de modelos de serviços, e linhas de montagens, células automatizadas, análises de estoques e problemas na programação da produção, são algumas aplicações na área da manufatura (CHWIF; MEDINA, 2006).

## 3 Metodologia

De acordo com (TURRIONI; MELLO, 2012) a pesquisa científica pode ser classificada quanto à sua natureza, podendo ser básica ou aplicada. A abordagem básica é uma pesquisa formal, direcionada à ampliação de conhecimentos teóricos sem dar enfoque em utilizá-los na prática. A pesquisa aplicada é caracterizada pela utilização dos resultados na solução de problemas em casos reais.

Quanto aos objetivos do problema, a pesquisa pode ser classificada em exploratória, descritiva, explicativa e normativa. A pesquisa exploratória visa aprofundar o tema por meio de visitas e/ou construção de hipóteses, enquanto a pesquisa descritiva procura descrever as características do problema por meio de técnicas de coleta de dados padronizadas. A explicativa propõe a identificação de fatores determinantes que contribuem na ocorrência de fenômenos, buscando as suas causas. Por fim, a pesquisa normativa é direcionada para o aperfeiçoamento de resultados disponíveis em literatura. (TURRIONI; MELLO, 2012).

Em relação à abordagem de pesquisa, essa pode ser classificada como qualitativa ou quantitativa. Segundo (MARTINS, 2010), a pesquisa qualitativa requer análises subjetivas do problema, o que não ocorre nas abordagens quantitativas uma vez que esta abordagem utiliza de variáveis numéricas para a realização de sua análise, sendo necessário que essas variáveis possuam caráter mensurável e que possam ser replicáveis por outro pesquisador.

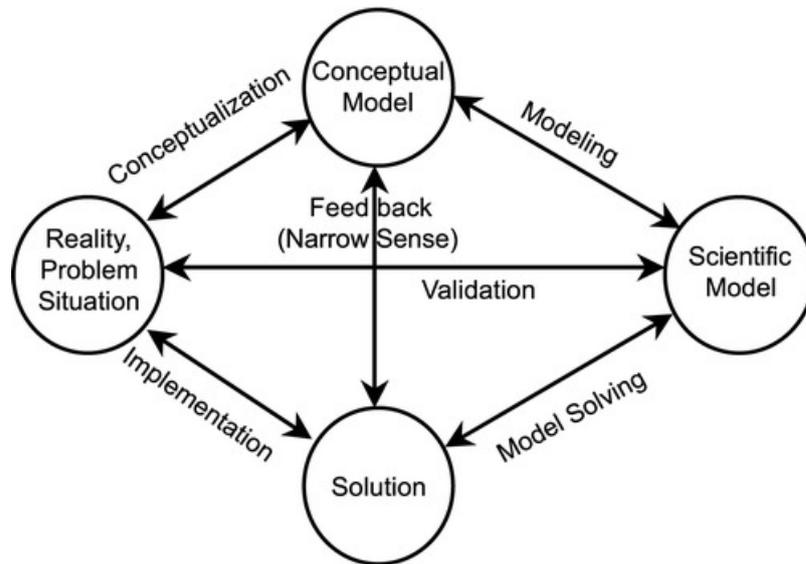
O estudo em questão é de natureza aplicada, visto que a análise será realizada a partir de um cenário real em uma organização. Em relação aos objetivos, a presente pesquisa é caracterizada como exploratória, dado que serão analisados padrões de processo em busca da criação de hipóteses para a redução das paradas no processo produtivo por falta de pendural na Mesa de Recebimento. Por fim, quanto à abordagem, este trabalho é classificado como quantitativo, no qual as análises serão realizadas por meio de variáveis numéricas do processo.

Os dados serão extraídos a partir do relatório de informações gerados no MES (Sistema Integrado de Informações utilizado pela empresa). Neste estudo, serão coletadas as informações referentes aos motivos de paradas na produção causadas pelo circuito e o tempo que foi gasto. Visitas ao local também serão realizadas em prol de uma maior riqueza de informações e melhor visualização do problema.

(MITROFF et al., 1974 apud BERTRAND; FRANSOO, 2002) apresenta um modelo acerca da metodologia utilizada para simulação de eventos, conforme esquema abaixo segmentado por quatro fases: conceitualização, modelagem, solução pelo modelo e implementação, representado pela Figura 7.

Na fase de conceitualização é criado um modelo a cerca do problema e do sistema em que será estudado, além da definição das variáveis determinantes a serem incluídas na

Figura 7 – Modelo de pesquisa para simulação



Fonte: (MITROFF et al., 1974 apud BERTRAND; FRANSOO, 2002)

simulação. Em seguida, na fase de modelagem, é formulado o modelo quantitativo que estabelece relação causal entre as variáveis. Na fase solução pelo modelo, são geradas as saídas pela execução do modelo proposto, por fim os resultados encontrados podem ser implementados, permitindo a realização de novos ciclos, caso necessário.

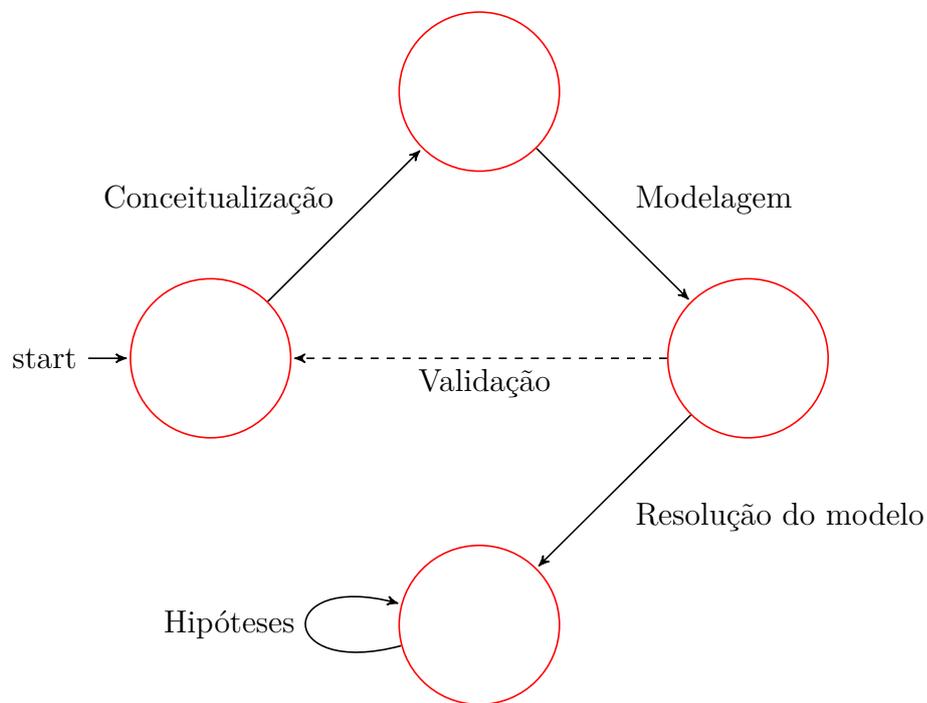
De acordo com (MELLO, 2001), o uso da simulação é comumente empregado principalmente em dois casos, o primeiro é utilizado em situações onde a solução é cara ou inviável de ser realizada por meio de experimentos, e a segunda, para problemas de alta complexidade para tratamentos analíticos.

Ainda segundo o autor, o seu emprego por meios computacionais trazem ganhos em diferentes aspectos, como tempo, visto que podem ser reproduzidos comportamentos que demorariam anos se realizados em experimentos reais, o que acarreta em menores custos de execução. Além disso, propicia uma maior agilidade e segurança em situações que experimentações diretas são difíceis ser realizadas, tornando-a mais flexível na realização de mudanças e no número desejado de experimentos.

## 4 Modelagem e simulação do processo

Alinhado ao modelo de pesquisa para simulação proposto por (MITROFF et al., 1974 apud BERTRAND; FRANSOO, 2002), mencionado na seção 4, a atual pesquisa foi adaptada conforme Figura 8, realizada em cinco etapas: conceitualização, modelagem, resolução pelo modelo e elaboração de hipóteses. Por fim, será selecionada a melhor hipótese na validação dos resultados.

Figura 8 – Passos de modelagem utilizados



Fonte: O autor (2018)

### 4.1 Conceitualização do problema

O problema em estudo, compreende uma região de movimentação de materiais acabados, que tem como principal objetivo a realização do transporte das bobinas de Fio-Máquina até a área de descarregamento, no qual as peças são disponibilizadas para o estoque.

Além da função movimentadora, durante o circuito são realizadas atividades de inspeção no intuito de verificar a qualidade do que está sendo produzido, bem como o acabamento dos rolos, que consiste na realização de ajustes finais para que o produto chegue na logística dentro das especificações requisitadas pelo cliente. Os recursos envolvidos no processo de movimentação do Fio-Máquina são apresentados na figura 9.

Figura 9 – Recursos envolvidos no transportador



(a) Correntes de movimentação



(b) Pendurais carregados



(c) Gancho C



(d) Carros transportadores



(e) Travas

Fonte: O autor (2018)

O circuito apresenta grande extensão. De maneira estratégica, ele é segmentado em cinco transportadores integrados de modo a facilitar o reestabelecimento do processo em caso de danos, além de questões estruturais de alívio de carga das suas correntes.

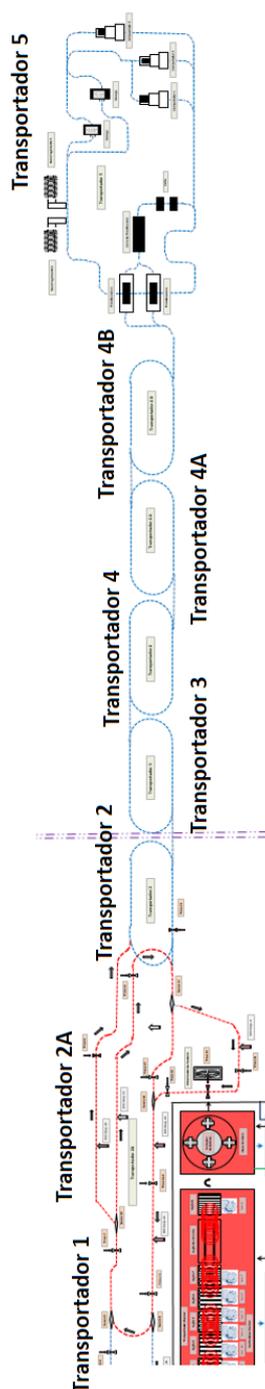
Conforme esquema representado pela Figura 9, os principais recursos que viabilizam essa atividade são:

- (a) Correntes de movimentação: estas são segmentadas em cinco grandes correntes, uma para cada transportador. Somadas, representam aproximadamente 22 km de corrente e seu acionamento faz com que o sistema todo entre em movimento. Tem como principal função movimentar os recursos que viabilizam o transporte de bobinas.
- (b) Pendurais: estruturas que são responsáveis pelo transporte e acomodação da bobina. Passam pela região dos transportadores de 1 a 4, chegando à Mesa de Recebimento vazios, para que possam receber um produto final por pendural. Após o recebimento da bobina, os pendurais cheios seguem o seu percurso e encerram o ciclo de movimentação ao final do transportador 4, transferindo o Fio-Máquina para o transportador 5, que passa a ser movimentado por meio dos gancho C. Em situações de normalidade, os pendurais agora vazios novamente retornam disponíveis para a captura de novos Fio-Máquina que estão sendo produzidos.
- (c) Gancho C: apresenta a mesma função movimentadora do pendural, entretanto é localizado apenas no transportador 5, sendo a acomodação e transporte realizados na forma horizontal. Essa transferência ocorre para facilitar atividades de acabamento e inspeções realizadas na região.
- (d) Carros transportadores: estruturas que conectam o pendural/gancho C com a corrente, formando o conjunto que movimenta o Fio-Máquina ao longo de todo circuito.
- (e) Travas: responsáveis pela movimentação, travamento e tomadas de decisões no trajeto realizados por meio dos carros transportadores. O circuito é composto de 56 travas, e viabilizam o seu funcionamento de acordo com as disposições do processo.

Anormalidades no processo comumente alteram o funcionamento do circuito. Complicações nas atividades de acabamento realizadas no transportador 05, bem como falhas de origem mecânica, elétrica ou operacional podem comprometer a chegada de pendurais disponíveis na trava T21. Tal fato faz com que não seja possível receber novas bobinas na Mesa de Recebimento por meio da trava T15. Diante disso, no intuito de não ocorrer paradas acidentais imediatas na produção, existe uma alternativa de abastecimento de pendurais vazios “reservas”, concentrados entre as travas T11 e T07, no transportador 2A, e T2B e T06 no transportador 1, denominados “pulmão”. A Figura 10 representa os 5 transportadores e suas respectivas travas.

A paralisação de qualquer transportador do circuito não torna necessária a parada imediata do transportador 2A. Entretanto, uma eventual interrupção no transportador 2A compromete todo o funcionamento do circuito.

Figura 10 – Circuito transportador de Fio-Máquina



Fonte: O autor (2018)

## 4.2 Modelagem computacional

A disposição atual conta com 90 pendurais em circulação e 39 ganchos C, tendo o pulmão ocupado por até 70 pendurais, sendo 20 localizados atrás da trava T11 (transportador 2A) e 50 na trava T06 (transportador 1).

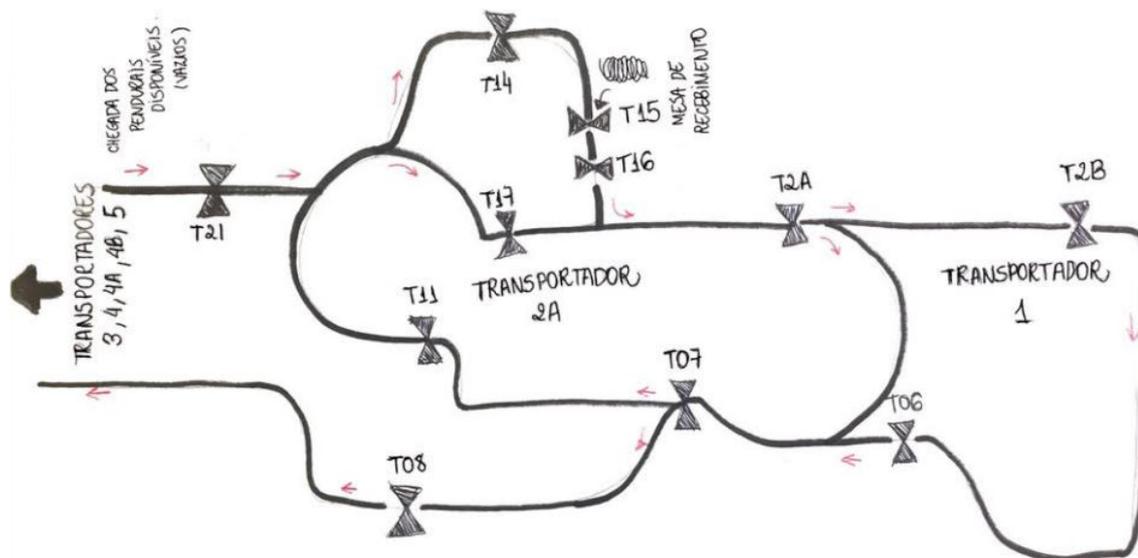
De acordo com as capacidades estruturais do circuito, é possível a aquisição de

mais 52 pendurais, resultando em 142, aumentando a capacidade do primeiro pulmão após a trava T11 com mais 2 pendurais, totalizando em 22 e da trava T06 em com mais 50, atingindo a 100 pendurais.

Para a modelagem, será considerado todo o funcionamento dos recursos dos transportadores que contemplam os pulmões existentes (somente transportadores 1 e transportador 2A), sendo estimada a taxa de chegada do pendural ao sair da trava T08 no transportador 2A, passando pelos transportadores 2, 3, 4 e 5 até retornar disponível novamente à trava T21, dentro de um fluxo normal.

O funcionamento do circuito em situações normais será reproduzido conforme orientação da Figura 12, em que o processo se inicia com a chegada do pendural vazio proveniente do transportador 2 na trava T21, obedecendo a seguinte lógica de acordo com as disposições:

Figura 11 – Esboço ilustrativo dos transportadores 1 e 2



Fonte: O autor (2018)

1. Trava T21: o pendural vazio se direciona para a trava T14 caso esta trava contenha menos que 2 pendurais aguardando no local. Caso contrário, o pendural é encaminhado para a trava T17;
2. Trava T14: o pendural, ainda vazio, direciona-se para a trava T15 para recolhimento do Fio-Máquina que está sendo produzido;
3. Trava T15: etapa de recolhimento do Fio-Máquina. Em seguida o pendural já carregado é movido para a trava T16;

4. Trava T16: normalmente direciona o pendural, já carregado, para a trava T2A. Caso tenha uma demanda simultânea de pendurais (proveniente também da trava T17), o pendural da trava T16 possui a preferência;
5. Trava T2A: ponto de decisão para encaminhar o pendural para a trava T07 ou para trava T2B em casos de compor o pulmão localizado no transportador 1, que ocorre quando o pulmão do transportador 2A já está em sua capacidade máxima;
6. Trava T06: encaminha os pendurais localizados do pulmão do transportador 1, quando solicitado pela trava T07.
7. Trava T07: ponto de decisão para a trava T11, em caso de pendurais que farão parte do pulmão do transportador 2A, ou quando carregados, são encaminhados para a trava T08;
8. Trava T08: encaminha os pendurais, carregados ou não, para seguir o trajeto pelos transportadores 2, 3 e 4.
9. Trava T11: encaminha os pendurais localizados do pulmão, quando solicitado pela trava T14.

Os pendurais, quando carregados, partem da trava T08 e chegam ao transportador 4. Após isso, passam pelo processo de transferência, que consiste na transição do Fio-Máquina do pendural para o gancho C, disponibilizando novamente o pendural para retorno em direção a trava T21.

Após o processo de transferência, o Fio-Máquina será movimentado por meio dos ganchos C no transportador 5. Essa região é responsável por atividades de acabamento, nos quais os ganchos C auxiliam na movimentação durante as atividades e descarregam o Fio-Máquina para a área de estocagem, tornando-o disponível para a captura de novas bobinas no processo de transferência.

O acontecimento de qualquer anomalia inerente do processo acarreta no comprometimento do ciclo natural do circuito, que normalmente culmina na indisponibilidade de pendurais na trava T21 e, sendo assim, torna-se necessário uso do pulmão afim de disponibilizar pendurais reserva para a não interrupção do processo produtivo. Com o aumento da disponibilidade do pulmão, acredita-se que é possível reduzir a taxa de paradas acidentais na produção por esse fenômeno. Na aquisição de novos recursos serão levadas em consideração as restrições de capacidade do sistema e o custo-benefício da aquisição de novos pendurais em confronto aos custos gerados pela parada na produção.

### 4.3 Resolução pelo modelo

As características estocásticas geradas pelo modelo de simulação do circuito são atreladas as eventuais falhas que ocorrem no circuito transportador nos transportadores 1, 2, 3, 4, 4A, 4B e 5, que frequentemente ocasionam na indisponibilidade de chegada de novos pendurais na trava T21. Assim que o sistema para de funcionar, é observado o tempo gasto para que o pulmão seja totalmente utilizado e, após isso, se torna inviável continuar a produção, gerando o início das paradas acidentais.

Foram dados como determinísticos a velocidade de movimentação dos pendurais ao chegar em cada trava dos transportadores 1 e 2A, bem como o ritmo de produção da bitola ao ser formada na mesa de recebimento na trava T15. Ambas apresentam características reais estocásticas por apresentarem variações no que tange ao tempo entre eventos, entretanto, foram dadas como determinísticas neste trabalho com o propósito de diminuição da complexidade. Acredita-se que essa ação não gerará efeitos negativos nas análises aqui realizadas.

Para a definição da velocidade de movimentação entre travas, foi considerado o valor configurados nos comandos de acionamento das correntes do circuito da empresa estudada, sendo de 0,3 m/s. Para determinação do tempo do ritmo de produção, foi considerado a velocidade de 50 segundos de formação da bitola de 15.90, que é a bobina responsável pelo maior índice de interrupções acidentais no circuito. A tabela 1, localizada na *Seção 4.4*, detalha a duração das paradas nas principais bitolas entre os períodos de Janeiro a Setembro do ano de 2017.

O modelo gera como saída, em um período de simulação de um mês, a quantidade de fio-máquina produzido e a porcentagem do tempo de paradas do circuito frente alterações propostas. Os resultados gerados permitem analisar se o novo cenário gera aumento na produtividade de bobinas e redução na taxa de interrupções acidentais. Serão confrontadas as saídas do cenário atual e o proposto, no objetivo de mensurar se as ações realizadas contribuem de fato no aumento da eficiência dos pulmões e no tempo disponível para produção em períodos de contingência dos transportadores.

### 4.4 Hipótese avaliada

Como hipótese para mitigação do problema das paradas acidentais, a pesquisa priorizou a aquisição de mais recursos de movimentação tendo em vista o aumento da capacidade da captura de Fio-Máquina em situações emergenciais. Essa ação objetiva aumentar o tempo de uso do pulmão.

Existem diversos ritmos de produção de Fio-Máquina na indústria em questão, devido ao *mix* variado de bitolas a serem fabricadas. De acordo com os dados da tabela 1, a bitola que apresenta uma maior ocorrência de paradas acidentais pelo problema estudado

é a bitola de 15.90, contendo 1835 minutos de parada no período de Janeiro a Setembro do ano de 2017.

Tabela 1 – Paradas acidentais no circuito transportador de Fio-Máquina pelas principais bitolas - Janeiro a Setembro de 2017

Bitola (mm)	Duração (min)
15,90	1835
22,50	1571
14,30	1185
17,50	1157
10,50	1012
12,70	959

Fonte: O autor (2018)

Dessa forma, este trabalho irá simular o processo com o ritmo de laminação da bitola de 15.90, tendo uma velocidade de laminação de 50 segundos por bobina produzida.

Além desta ação, existem outras possíveis alternativas, sendo elas de natureza estruturais, de manutenção ou de processo, que sendo resolvidas diminuem a frequência do uso do pulmão. Nas mudanças de estrutura, podem ser feitas alterações na arquitetura do circuito de forma a ser mais estrategicamente preparado para eventuais problemas que impactam no fluxo de materiais. Muitos problemas de manutenção, mecânicos ou elétricos, são responsáveis por 55% de todas as causas de paradas acidentais no circuito. Para melhoria das paradas direcionadas para esse problema, sugere-se um estudo dos fenômenos e suas causas, criação de novos planos de manutenção das correntes e equipamentos que compoem os transportadores, verificação estado dos maquinários e, se necessário, a sua substituição. Por fim, a diminuição de problemas de processo é o mais complexo de ser resolvido devido a sua grande variabilidade de falhas e possibilidades de defeitos. Entretanto, o tratamento de melhoria dos defeitos de qualidade de processo evitam complicações nas atividades de acabamento realizadas no transportador 5, permitindo um fluxo mais amigável no transporte de fio-máquina e uma maior previsibilidade do processo.

As ações citadas, de cunho estruturais, manutenção e processo, não estão incluídas na formulação da solução apresentada nessa pesquisa devido a necessidade de um estudo prévio aprofundado sobre suas causas e problemáticas, bem como diferentes estratégias e áreas de estudo para elaboração de propostas de solução. A hipótese priorizada, do aumento de pendurais disponíveis, apresenta uma implantação passível de ser realizada à curto prazo, com uma visualização rápida dos resultados e podendo ser testada por meio da simulação, sem a necessidade de demais investimentos para verificação.

## 5 Resultados e discussões

### 5.1 Levantamento dos dados

A tabela 2 corresponde ao tempo de paradas geradas na produção (em minutos) por problemas em cada transportador. Serão priorizados os eventuais problemas nos transportadores 1, 2, 3, 4, 4A, 4B e 5, devido as causas retratarem cenários em comum, que é a geração do problema da falta de pendurais disponíveis na trava T21, torna-se necessário uso do pulmão como paliativo para a redução das paradas imediatas na produção.

Tabela 2 – Paradas acidentais no circuito transportador de Fio-Máquina por transportador - Janeiro a Setembro de 2017

Bitola (mm)	Duração (min)
Transportador 5	5092
Transportador 4	1169
Transportador 1	614
Transportador 3	564
Transportador 2	391
Transportador 4A	251
Transportador 4B	98

Fonte: O autor (2018)

Serão analisados neste estudo a necessidade do uso do pulmão em problemas nos transportadores priorizados, visando identificar o tempo atual que seu uso consegue manter o laminador em produção, bem como as oportunidades de aumento dessa capacidade para o aumento da disponibilidade, buscando a redução das paradas acidentais por problemas no circuito e a redução dos custos gerados pelo fenômeno.

Conforme informações da controladoria da empresa, o custo de uma interrupção acidental da produção é de R\$25.000,00/hora, levando em consideração os gastos com utilidades como: (i) oxigênio; (ii) água; (iii) gás comprimido; (iv) energia elétrica; e, também, despesas operacionais, como (v) salários e (vi) encargos. De acordo com os dados fornecidos pela Tabela 2, no período de Janeiro a Setembro do ano de 2017 foram gastos cerca de 8179 minutos no total de paradas na produção nos transportadores 1, 2, 3, 4, 4A, 4B e 5. No transportador 2A, foram computados 1461 minutos de parada. Entretanto, eles não serão cercados na solução desse estudo visto que uma parada no transportador 2A inviabiliza o uso do pulmão.

Todos os dados da Tabela 2 são derivados de paradas acidentais por problemas no circuito que exigiram o uso total dos pulmões que, mesmo após todo o seu uso, ainda não foi suficiente para viabilizar a produção até a normalização do problema. Esse tempo de

paradas produtivas correspondem a um custo de R\$3.407.916,67 em um período de 9 meses. Ao se extrapolar esse custo para o período anual, tendo como suposição a linearidade do comportamento dos custos, obtém-se para o período um custo de R\$4.543.888,89.

Os custos de implantação para adição de um conjunto carro transportador e pendural, em circulação no circuito, é de cerca de R\$30.000,00 a unidade. Sendo assim, o investimento para colocar o pulmão em sua capacidade máxima, realizando a aquisição de 52 pendurais extras, possui o valor de R\$1.560.000,00.

## 5.2 Simulação do modelo proposto

Na simulação dos dados, foram confrontados o cenário atual para a bitola de 15.90mm com a utilização de 90 pendurais e o cenário proposto, com a utilização de 142 pendurais. O modelo de simulação foi gerado considerando um período de 30 dias, obtendo as saídas para cada cenário conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Cenários gerados do modelo de simulação

Cenário de execução	Taxa de parada	Produção de bitolas
90 pendurais, sem interrupção - ideal	0,00%	17.160,00
90 pendurais, com interrupção - real	21,24%	13.515,36
142 pendurais, com interrupção - hipótese	16,68%	14.297,68
Ganho obtido	4,56%	782,00

Fonte: O autor (2018)

De acordo com a saída dos dados representados na Tabela 3, é possível perceber que a utilização da capacidade máxima de pendurais em circulação no circuito diminui a taxa de paradas em 4,56% e aumenta a produção para as bitolas de 15.90mm em 782 bobinas de Fio-Máquina, em um período de 30 dias. As saídas geradas tem como base os valores médios obtidos com 25 replicações do modelo para cada cenário simulado.

O confronto dos resultados obtidos para os cenários “real” e “hipótese” gera um ganho proporcional de 21,49% na capacidade de absorção na redução das paradas por falta de disponibilidade de pendural no circuito. De acordo com a coleta de dados frente a alocação de custos por hora de parada, detalhada na *Seção 5.1*, e tendo como base essa redução de 21,49% na ocorrência de paradas, gera-se uma expectativa de ganho de R\$976.890,67 reais ao ano advindos do aumento da capacidade de absorção de paradas por parte do pulmão.

## 5.3 Avaliação do benefício do investimento

O valor de um projeto depende, diretamente, de sua capacidade de geração de fluxos futuros (SAMANEZ, 2009). Assim, como investigação final deste estudo, uma breve

análise econômica será realizada frente aos investimentos e resultados esperados. Nesta subseção, focaremos nas análises frente aos métodos de *payback* e valor presente líquido.

O método de *payback* se trata de uma estratégia utilizada pelas organizações para o cálculo do período de retorno de investimento em um projeto, podendo ser calculado de forma “simples” ou “descontada”. O cálculo do *payback* simples é descrito pela equação 5.1.

$$\textit{Payback} = \frac{\textit{CAPEX}}{\textit{Retorno do investimento}} \quad (5.1)$$

Ademais, o *payback* simples gera desvios frente a realidade dado a não consideração do valor do dinheiro ao longo do tempo. Assim, utilizou-se do *payback* descontado como critério de análise neste trabalho, já que este considera a taxa de desconto periódica em sua base de cálculo. O cálculo do *payback* descontado consiste em determinar o valor de  $T$  na equação 5.2, em que  $I$  é o investimento inicial,  $FC_t$  é o fluxo de caixa existente no período  $t$  e  $k$  é o custo de capital ou taxa de desconto.

$$I = \sum_{t=1}^T \frac{FC_t}{(1+k)^t} \quad (5.2)$$

Como taxa de desconto, utiliza-se neste trabalho a taxa Selic, que foi definida com base na média mensal dos dados fornecidos pelo (BCB, 2018) entre os anos de 2015 a 2018, resultando em uma taxa de 0,95% ao mês. O CAPEX foi calculado por meio do investimento de implantação estipulado para a utilização do pulmão em capacidade máxima, informado na *Seção 5.1*. O período, em meses, foi estendido conforme observações feitas do comportamento dos resultados gerados, representado pelo gráfico da Figura 12.

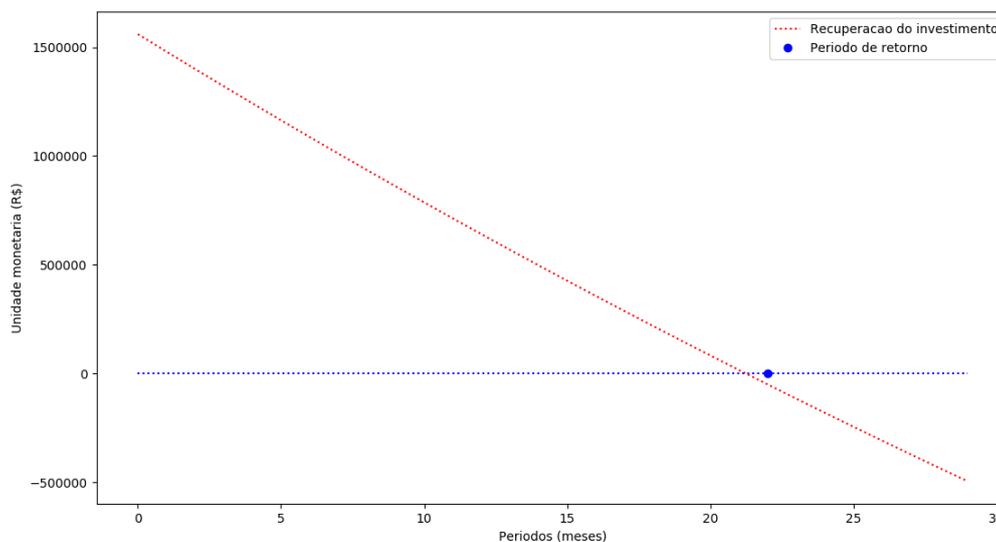
Conforme resultados do gráfico da Figura 12, é possível identificar o ponto que se inicia o período de retorno do investimento. Para o projeto em questão, o retorno sobre o investimento terá início a partir do vigésimo segundo mês, período relativamente curto em relação à investimentos realizados no setor e a expectativa de vida útil da indústria.

Outra análise que demonstra o potencial de retorno do projeto, se dá pelo cálculo do valor presente da perpetuidade, mostrado na equação 5.3.

$$VPL_{\textit{perpetuo}} = \frac{\textit{Retorno periodico}}{\textit{Taxa periodica}} \quad (5.3)$$

O conceito de perpetuidade é utilizado principalmente em análises de investimentos, de modo a buscar o conhecimento sobre o valores referentes ao valor atual dos infinitos valores futuros. A Figura 13 representa a perpetuidade do investimento tratado nesta

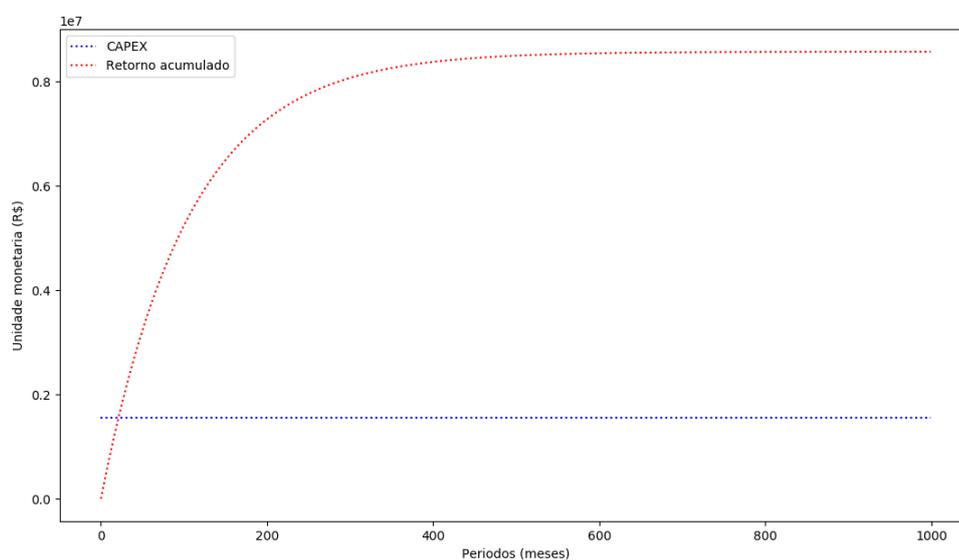
Figura 12 – Payback descontado



Fonte: O autor (2018)

pesquisa frente aos investimentos necessários. O valor encontrado para o valor presente da perpetuidade foi de R\$8.000.742,59.

Figura 13 – Perpetuidade do valor presente



Fonte: O autor (2018)

Ressalta-se que este trabalho não possui como objetivo a análise econômica e, por este motivo, somente análises menos robustas foram utilizadas e demonstradas, de modo a corroborar com o potencial de aplicação da hipótese proposta.

## 6 Considerações finais

O uso da simulação permite confrontar diferentes cenários e os seus respectivos resultados, facilitando significativamente na tomada de decisão frente a mudanças de processo e investimentos estruturais, de forma a evitar custos e riscos com testes e alterações físicas no local produtivo.

Os resultados do problema mostram que a utilização da capacidade máxima do pulmão reduz a taxa de parada accidental e, consquentemente, os custos atrelados ao problema. Entretanto, esta ação apenas disponibiliza um tempo maior para a normalização do circuito, não resolvendo a causa raiz da interrupção.

Conclui-se que os objetivos gerais da pesquisa foram alcançados, visto que foi encontrado uma solução que propõe a redução da taxa de parada accidental por meio do mapeamento e entendimento do circuito, da definição dos pontos de atuação e criação de tratativas do problema, criando um cenário factível e de fácil implementação. A definição de métricas para cálculo dos resultados, permitiu a visualização do *payback descontado* e o seu comportamento ao longo do tempo, além da visualização do retorno de investimento sob o ponto de vista da perpetuidade, o que a viabiliza a implantação da melhoria tendo uma visão quantitativa sob as ações propostas de mudança.

Ademais, como sugestão de melhoria para trabalhos futuros, sugere-se a atribuição do *mix* de bitolas produzido no laminador estudado ao modelo de simulação, bem como atribuir ritmos de produção estocásticos de forma a promover um cenário mais diversificado e aderente, visto que o ritmo de produção influencia diretamente nos resultados gerados.

# Referências

- ARCELORMITTAL, L. *Catálogo Fio Máquina*. entre 2000 e 2018. Url"<http://longos.arcelormittal.com.br/pdf/produtos/industria/fio-maquina/catalogo-fio-maquina.pdf>.
- BALLOU, R. H. *Manuseio e Acondicionamento do Produto: Manuseio de Materiais*. In: *Logística Empresarial*. [S.l.: s.n.], 1993.
- BALLOU, R. H. *Importancia da Logística/CS para a Estratégia*. In: *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial*. [S.l.: s.n.], 2009.
- BCB, B. C. d. B. *Histórico das taxas de juros*. 2018. Url"<https://www.bcb.gov.br/Pec/Copom/Port/taxaSelic.asp>.
- BELGO, A. B. *Fio Máquina sem tratamento térmico*. entre 2000 e 2018. Url"<http://www.belgobekaert.com.br/Produtos/Paginas/Fio-Maquina-sem-Tratamento-Termico.aspx>.
- BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. *Operations management research methodologies using quantitative modeling*. [S.l.: s.n.], 2002.
- BIZATTO, L. S.; HEIN, N.; KROENKE, A. Análise do posicionamento econômico-financeiro na siderurgia e metalurgia em períodos de crise. *Seminários de Administração XX SEMEAD*, 2017.
- BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. *Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimentos*. [S.l.: s.n.], 2001.
- BRASIL, C. A. *Recuperação lenta e gradual do mercado interno faz com que exportações seja a única saída para a indústria de aço nos próximos anos*. [S.l.]: Instituto Aço Brasil, 2007.
- BRASIL, C. A. *Indústria Brasileira do Aço segue em busca de recuperação*. [S.l.]: Instituto Aço Brasil, 2018.
- CHWIF, L.; MEDINA, A. C. *Modelagem e simulação de eventos discretos*. [S.l.]: Afonso C. Medina, 2006.
- COELHO, R. J. et al. Modelo de simulação operacional do manuseio de matérias-primas de uma usina siderúrgica integrada. Universidade Federal da Paraíba, 2011.
- CUNHA, P. E. M. da; VALE, L. R. d.; RODRIGUES, T. G.; WEIDIG, C. d. C.; MARTINS, C. L.; GOMES, G. M.; BORATTO, G. L.; JUNIOR, V. et al. Uso de simulação para tomada de decisão na expansão da arcelormittal monlevade. *Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração*, Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, v. 8, n. 4, p. 248, 2011.
- GOMES, L. M.; KONNO, B. D. A.; POLICARPO, I. S.; MAIELLARO, J. R. Simulação em uma empresa siderúrgica no setor de carregamento. *INOVAE-Journal of Engineering, Architecture and Technology Innovation (ISSN 2357-7797)*, v. 3, n. 2, p. 57-68, 2016.

- LAMBERT, M. D.; STOCK, R. J.; VANTINE, G. J. *Administração Estratégica da Logística*. [S.l.: s.n.], 1998.
- MACHADO, M. L. P.; SOBRINHO, V. d. P. F. M.; ARRIVABENE, L. F. Siderurgia para não siderurgistas. *ABM Brasil*, 2003.
- MARTINS, R. A. *Abordagem Quantitativa e Qualitativa*. In: MIGUEL, P. A. C. (coord) *Metodologia de Pesquisa em Engenharia de produção e Gestão de Processos*. [S.l.: s.n.], 2010.
- MELLO, B. A. d. Modelagem e simulação de sistemas. *Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões*, 2001.
- MEYERS, F. E.; STEPHENS, M. L. *Manufacturing Facilities Design and Material Handling*. [S.l.: s.n.], 2000.
- MITROFF, I. I.; BETZ, F.; PONDY, L. R.; SAGASTI, F. On managing science in the systems age: two schemas for the study of science as a whole systems phenomenon. *Interfaces, INFORMS*, v. 4, n. 3, p. 46–58, 1974.
- MOURÃO, M. B.; YOKOJI, A.; MALYNOWSKYJ, A. Introdução à siderurgia. *São Paulo: ABM*, 2007.
- PINTO, E. B.; PINTO, L. R. O uso da simulação como ferramenta de apoio à tomada de decisões em uma indústria siderúrgica: estudo de caso. *XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Gramado*, p. 2231–2238, 2005.
- RAY, S. Introduction to material handling. *New Delhi: New Age International*, n. 1, 2008.
- RIZZO, E. M. d. S. *Processos de laminação de Produtos Longos de Aço*. [S.l.: s.n.], 2010.
- SAMANEZ, C. P. *Engenharia econômica*. [S.l.]: Pearson, 2009.
- SIDERURGIA, I. B. de. *Siderurgia Brasileira: Relatório de Sustentabilidade*. [S.l.]: Instituto Aço Brasil, 2007.
- TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção. *Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá. Itajubá: UNIFEI*, 2012.