



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA METALÚRGICA E DE MATERIAIS
CURSO DE ENGENHARIA METALÚRGICA**

ROBERTO ABREU ALENCAR

**ANÁLISE DE TEMPOS E BALANÇO DE MASSA DO PROCESSO DA
ACIARIA DE UMA SIDERÚRGICA DE GRANDE PORTE**

FORTALEZA

2017

ROBERTO ABREU ALENCAR

ANÁLISE DE TEMPOS E BALANÇO DE MASSA DO PROCESSO DA ACIARIA
DE UMA SIDERÚRGICA DE GRANDE PORTE

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia Metalúrgica da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial
à obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Metalúrgica.

Orientador: Prof. MsC. Raimundo Carlos
Martins Leite

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- A355a Alencar, Roberto.
Análise de Tempos e Balanço de Massa do Processo da Aciaria de uma Siderúrgica de Grande Porte /
Roberto Alencar. – 2017.
70 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,
Curso de Engenharia Metalúrgica, Fortaleza, 2017.
Orientação: Prof. Me. Raimundo Carlos Martins Leite.
1. Siderurgia. 2. Análise de Tempos. 3. Balanço de Massa. 4. Simulação. I. Título.

CDD 669

ROBERTO ABREU ALENCAR

ANÁLISE DE TEMPOS E BALANÇO DE MASSA DO PROCESSO DA ACIARIA
DE UMA SIDERÚRGICA DE GRANDE PORTE

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia Metalúrgica e Materiais da
Universidade Federal do Ceará, como
requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Metalúrgica.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. MsC. Raimundo Carlos Martins Leite (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Ricardo Emílio Quevedo Nogueira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

MsC. Fabiano César Gomes Nascimento
Companhia Siderúrgica do Pecém (CSP)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família e por todo o apoio que me deram nessa minha caminhada.

Ao professor Dr. Ênio Pontes pela oportunidade de participar de sua equipe no LAMEFF, onde tive grande aprimoramento profissional e acadêmico onde desenvolvi grandes aptidões técnicas de grande valia.

Agradeço aos colegas de laboratório, de graduação e pós-graduação onde tivemos muitos momentos de diversão e de aprendizado.

Agradeço também aos meus grandes amigos Davi, Pedro, Manel, Joshua e Salmin (#Monerdões) pelos momentos de descontração e amizade durante essa jornada. Especialmente ao Davi pelas incontáveis caronas. Agradeço também a todas as amizades feitas nesses 5 anos de curso.

Agradeço a Companhia Siderúrgica do Pecém onde me foi dada uma grande oportunidade de crescimento, e ter possibilitado a confecção deste trabalho.

Por fim agradeço ao meu professor orientador Raimundo Carlos Martins Leite, pelas orientações e ajuda, e também aos outros membros da banca, por seu tempo.

“A tarefa é, não tanto para ver o que ninguém viu ainda, mas pensar o que ninguém ainda pensou, sobre o que todo mundo vê.”

Edwin Schrödinger

RESUMO

O atual cenário da siderurgia nacional elevou a busca por um diferencial competitivo nas organizações brasileiras. Para se manterem competitivas neste cenário, é necessário um maior rigor no gerenciamento e controle dos processos produtivos, pois com o preço dos produtos siderúrgicos em baixa, a redução de custos de processo é de suma importância. Portanto, o objetivo deste trabalho é a análise estatística dos tempos de processo de uma aciaria de uma companhia siderúrgica de grande porte, para a comparação dos tempos padrões de processo em relação ao modelo de previsão de tempos de processo já utilizado, com a utilização de ferramentas como um balanço de massa para quantificação da mudança e simulação de eventos discretos. Os resultados da simulação e do balanço de massa foram utilizados como parâmetros para a comparação entre os modelos de previsão de tempos de processo, assim tendo resultados de produções máximas previstas para o processo da aciaria. Os tempos atuais analisados estatisticamente se mostraram com maior capacidade de produção do que os padrões antigos, assim mostrando a defasagem do modelo de previsão dos tempos de processo utilizado.

Palavras-chave: Siderurgia. Análise de Tempos. Balanço de Massa. Simulação.

ABSTRACT

The current scenario of the national steel industry raised the search for a competitive edge in Brazilian organizations, for them to remain competitive in this scenario if there is an increase in the rigor of the management and control of the productive processes, because with the price of the steel products in the low the reduction of costs of process is of paramount importance. Therefore, the objective of this work is the statistical analysis of the process times of a steel mill of a large steel company for the comparison of the standard process times in relation to the process time prediction model already used, with the use of tools, such as mass balance, for quantification of changes, and discrete events simulation. The results of the mass balance and simulation were used as parameters for the comparison between the prediction models of process times, thus producing maximum production results for the steelmaking process. The present times, statistically analyzed showed greater production capacity than the old patterns, thus showing the lag of the forecast model of process times.

Keywords: Steel Industry. Time Analysis. Mass Balance. Simulation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produção mundial de aço bruto.	14
Figura 2 - Esquema de um processo de sinterização.	19
Figura 3 - Fluxograma básico do processo de coqueificação	20
Figura 4 - Esquema de funcionamento de um alto-forno e seus equipamentos auxiliares.20	
Figura 5 - Representação esquemática de um Reator KR	22
Figura 6 - Visão esquemática de um convertedor em processo de refino a oxigênio. ...	24
Figura 7 - Visualização Esquemática de um forno panela.	25
Figura 8 - Visualização esquemática de um desgaseificador a vácuo RH.	26
Figura 9 - Esquema básico de uma máquina de lingotamento contínuo.	27
Figura 10 – Gráficos utilizados para interpretação estatística dos dados.	37
Figura 11 – Fluxograma representativo do balanço de massa entre alto-forno e aciaria	38
Figura 12-Carta de controle para dados de duração de processo KR com evolução mensal	41
Figura 13 – Histograma dos dados de duração do processo KR	42
Figura 14 – Boxplots dos dados de duração do processo KR, com evolução mensal....	42
Figura 15 – Carta de controle com dados referentes a movimentação do KR para o BOF	43
Figura 16 – Histograma dos dados referentes a transferência entre a estação KR e o BOF	43
Figura 17 – Boxplot com dados referentes a transferência entre estação KR e BOF. ...	44
Figura 18 – Dados de tempos referentes ao tempo de preparação do BOF.....	45
Figura 19 – Histograma com dados referentes a preparação do forno BOF	45
Figura 20 – Boxplots referentes aos dados de preparação do BOF.....	46
Figura 21 – Carta de controle relativa aos dados de tempo de sopro	46
Figura 22 – Histograma referente ao tempo de sopro do BOF.....	47
Figura 23 – Boxplot dos dados referentes ao tempo de sopro do BOF.....	47
Figura 24 – Variação do tempo de sopro do BOF em relação ao tipo de família de aço.	48
Figura 25 – Carta de controle com dados referentes a processo de vazamento do BOF	48
Figura 26 – Histograma com dados referentes a tempos de vazamento do BOF.....	49
Figura 27 – Boxplot's dos dados referentes a duração de vazamento do BOF.....	49

Figura 28 – Carta de controle referente aos dados de CTT do BOF.	50
Figura 29 – Histograma relativo aos dados de CTT do BOF.	51
Figura 30 – Boxplot dos dados de tempo de CTT.....	51
Figura 31 – Carta de controle com dados de CTT segmentados por família.	52
Figura 32 – Carta de controle com dados referentes ao tempo de BAP.....	53
Figura 33 – Histograma relativo a dados de tempos de BAP.....	53
Figura 34 – Boxplot's relativos a dados de tempos de BAP.	54
Figura 35 – Carta de controle do processo de Forno Panela (LF).....	55
Figura 36 – Histograma dos dados de tempos do forno panela.....	55
Figura 37 – Boxplot com dados relativos aos tempos de LF.	56
Figura 38 – Tempos de processo de RH segmentados por família	57
Figura 39 - Histograma dos dados de tempos de RH.	57
Figura 40 – Boxplot's de tempos de RH.....	58
Figura 41 - Gráfico de média móvel dos tempos de lingotamento em relação à faixa de largura.....	59
Figura 42 – Boxplot's de distribuição de tempo por dimensionais de espessura e comprimento.....	60
Figura 43 - Gráfico de efeitos principais das dimensões de placa e família em relação ao tempo de lingotamento.	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Legendas das Famílias de Aço produzidas.....	33
Tabela 2 – Tempos planejados	39
Tabela 3 – Dados reais.....	40
Tabela 4 – Resultados das simulações de eventos discretos de consumo da aciaria.....	61
Tabela 5 – Produção diária do alto-forno em relação aos tempos considerados na análise.	62
Tabela 6 – Resultados de Balanço de Massa.....	62

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
2.	OBJETIVOS	17
2.1.	Objetivos Gerais	17
2.2.	Objetivos Específicos	17
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1.	O Processo Siderúrgico.....	18
3.1.1.	<i>O Processo de Redução</i>	<i>18</i>
3.1.2.	<i>A Aciaria em siderúrgicas integradas.....</i>	<i>21</i>
3.1.2.1.	<i>O Processo de Dessulfuração.....</i>	<i>21</i>
3.1.2.2.	<i>O Refino Primário</i>	<i>22</i>
3.1.2.2.1.	Forno Básico a Oxigênio	23
3.1.2.3.	<i>O Refino Secundário.....</i>	<i>24</i>
3.1.2.3.1.	Reatores de Refino Secundário.....	25
3.1.2.4.	<i>O Lingotamento Contínuo</i>	<i>26</i>
3.2.	Planejamento, Programação e Controle de Produção.....	28
3.2.1.	<i>Sistemas de Produção</i>	<i>28</i>
3.2.2.	<i>Planejamento</i>	<i>29</i>
3.2.3.	<i>Planejamento e Controle da Produção: PCP</i>	<i>29</i>
3.3.	Balanço de Massa em Processos Industriais.....	30
3.3.1.	<i>Definições Básicas para Balanço de Massa</i>	<i>31</i>
3.3.2.	<i>Tipos de Balanço de Massa</i>	<i>31</i>
3.4.	Simulação em Eventos Discretos.....	31
4.	METODOLOGIA	35
4.1.	Obtenção e Métodos de Análise dos Dados.....	35

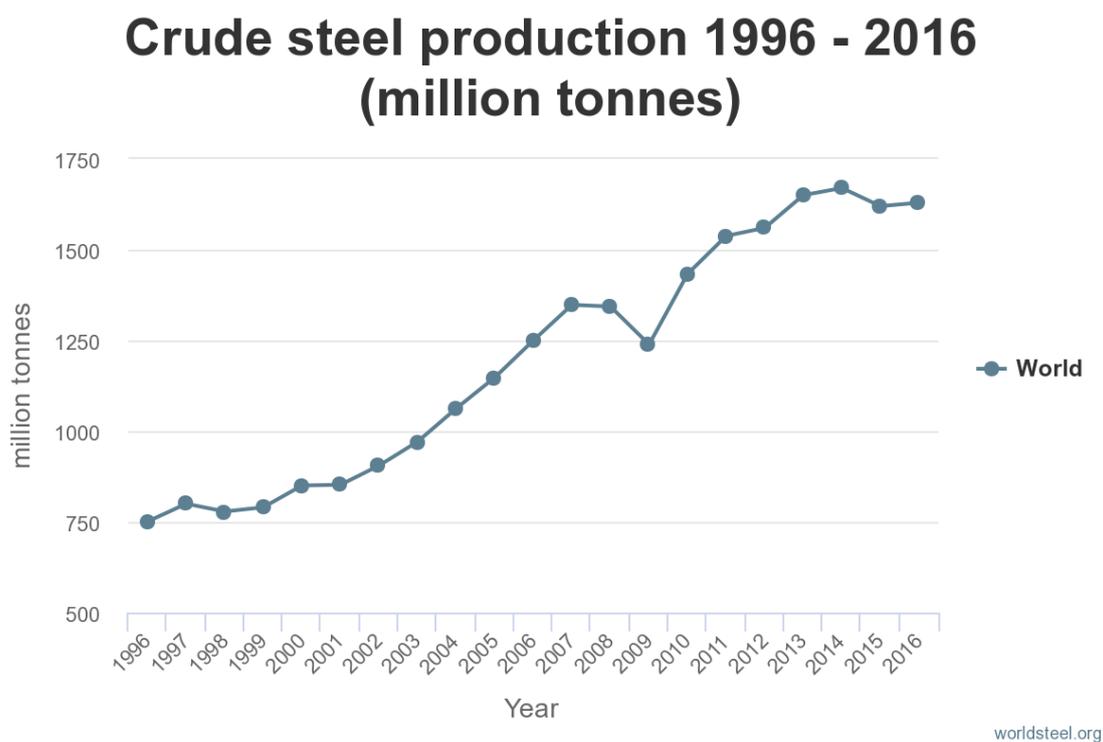
4.2.	Premissas para Cálculo do Balanço de Massa.....	37
4.2.1.	<i>Calculo de consumo da aciaria</i>	39
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
5.1.	Análises Estatísticas dos Tempos da Aciaria.....	41
5.1.1.	<i>Processo KR.....</i>	41
5.1.2.	<i>O processo de Aciaria Básica a Oxigênio.....</i>	44
5.1.3.	<i>Processo de Borbulhamento de Argônio (BAP).....</i>	52
5.1.4.	<i>Processo de Forno Panela (LF).....</i>	54
5.1.5.	<i>O Processo de Degaseificador à vácuo (RH).....</i>	56
5.1.6.	<i>O Processo de Lingotamento Contínuo</i>	58
5.2.	Balanço de Massa entre Aciaria e Alto Forno.....	61
6.	CONCLUSÃO	63
7.	TRABALHOS FUTUROS.....	65
	REFERÊNCIAS	66
	ANEXO A – TABELA COM TEMPOS DE LINGOTAMENTO	69
	ANEXO B – MODELO UTILIZADO PARA SIMULAÇÃO EM EVENTOS DISCRETOS.....	70

1. INTRODUÇÃO

O aço é a liga metálica mais importante e mais produzida do mundo atual, sendo o mesmo responsável pela possibilidade de grandes avanços da engenharia e da ciência no mundo, sendo de vital importância, a indústria siderúrgica representa um vetor de desenvolvimento onde é instalado.

Atualmente o mercado siderúrgico mundial enfrenta uma estagnação na produção de aço devido a um excedente produtivo nos últimos anos, como pode ser visto na figura 1. Portanto recentemente tem-se notado uma onda crescente de investimentos em melhoria operacional nas indústrias siderúrgicas, tendo a proposição de diminuir os custos operacionais das usinas, sem redução da qualidade do produto.

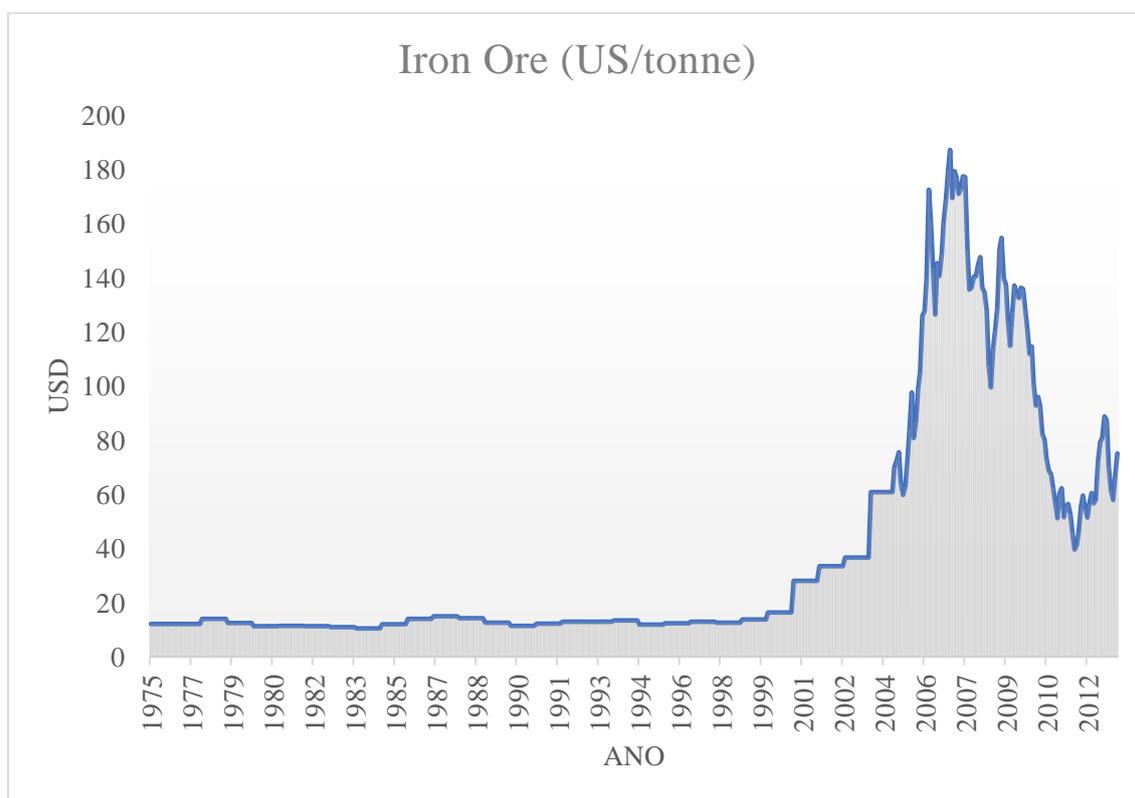
Figura 1 - Produção mundial de aço bruto.



Fonte: (WORLD STEEL ASSOCIATION, 2017).

Outro fator impactante é o aumento de preço das principais matérias, que é grande parte do preço final do aço, no gráfico 1 podemos observar a evolução do preço do minério de ferro, que tem grande impacto no preço final do aço.

Gráfico 1 - Evolução do preço do minério de ferro de 1975 a 2012



Fonte: Elaborado pelo autor.s

O mercado siderúrgico brasileiro enfrenta nos últimos anos uma estagnação na produção de aço, devido à baixa rentabilidade do setor e grande excedente de produção do setor, assim adiando muitos investimentos no aumento da produção de aço no país, como prova em 2015 a siderurgia brasileira trabalhou com menos de 70% de ocupação da capacidade produtiva, assim o maior foco das siderúrgicas brasileiras atualmente é a redução do endividamento e a redução de custos de produção (SICETEL, 2016)

Devido a esta estagnação na produção de aço a competitividade do mercado de aço aumentou bastante, onde a sobrevivência das companhias siderúrgicas se baseia na busca dos aumentos de lucros reduzindo custos de processos com aumentos de produtividade.

Para que isso aconteça, um gerenciamento dos processos produtivos mais rigoroso, para que haja queda dos produtos siderúrgicos produzidos, com redução de custos totais, disponibilidade de equipamentos, redução de lead time, aumentos do valor agregados do mix de produtos produzidos pela usina e melhor relação com os clientes se tornam ferramentas para o aumento da competitividade da organização (NASCIMENTO, BALDAN e DUBKE, 2010).

Para a melhoria de um processo produtivo, pode ser feito um modelo de previsibilidade do mesmo apoiado em ferramentas estatísticas, para se ter maior controle do quanto o processo pode produzir. Uma análise de tempos pode dar ferramentas para a previsibilidade de tempos de processo e assim ajustar programações de produção de forma mais correta e produtiva o possível.

Este trabalho tem como objetivo a análise dos tempos dos processos da aciaria de uma companhia siderúrgica de grande porte e realizar uma comparação com um modelo de previsão de tempo de processo antigo, à época da construção da usina e utilizando de ferramentas como um balanço de massa e simulação de eventos discretos, para a avaliação do modelo de previsão de tempos de processo sem a precisão de modificações no processo atual da aciaria.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivos Gerais

- Levantar dados atualizados dos tempos de processo da aciaria e lingotamento contínuo de uma siderúrgica de grande porte;
- A partir dos dados atualizados realizar estudo comparativo do balanço de massa entre a Aciaria e o Alto Forno de uma siderúrgica de grande porte evidenciando a mudança do balanço de massa entre os dois modelos de tempos de processo da aciaria.

2.2. Objetivos Específicos

- Obter base de dados atualizada no período de nove meses de produção, para análise dos dados de tempos de processo;
- Realizar análise estatística nos dados obtidos a fim de refinar os mesmos e obter dados corretos dos tempos de processo;
- Realizar subdivisão dos tempos de processos de acordo com o grau de aço, em processos em que essa subdivisão realmente tenha impacto sobre os tempos de processo.
- Criação de modelo simplificado de simulação do processo da aciaria a fim de gerar dados de produção, para realização de comparação entre padrões de tempos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. O Processo Siderúrgico

Basicamente, o aço é uma liga de ferro e carbono. O ferro é encontrado em toda crosta terrestre, fortemente associado ao oxigênio e à sílica. O minério de ferro é um óxido de ferro, misturado com areia fina. O carbono é também relativamente abundante na natureza e pode ser encontrado sob diversas formas. Na siderurgia, usa-se carvão mineral, e em alguns casos, o carvão vegetal (FELÍCIO, 2012).

O ferro é encontrado na natureza na forma de óxidos de ferro sendo o mais comum o Fe_2O_3 , para conseguir retirar o ferro deste óxido é necessário realizar a redução do mesmo, em fornos, e o forno mais utilizado para este fim é o Alto Forno, apesar de existirem várias outras formas redução do minério de ferro.

As usinas siderúrgicas atuais podem ser divididas em duas classes de usinas, as usinas integradas e as usinas semi-integradas. Uma usina integrada é uma usina que tem todas as etapas da produção de aço, Redução, Refino e Conformação Mecânica, obtendo o aço a partir do minério de ferro que é transformado na própria usina, já as usinas semi-integradas tem somente dois destes processos e obtém o aço a partir de ferro secundário, normalmente sucata, assim não havendo necessidade da redução do minério na usina. (MOURÃO, YOKOJI, *et al.*, 2011).

3.1.1. O Processo de Redução

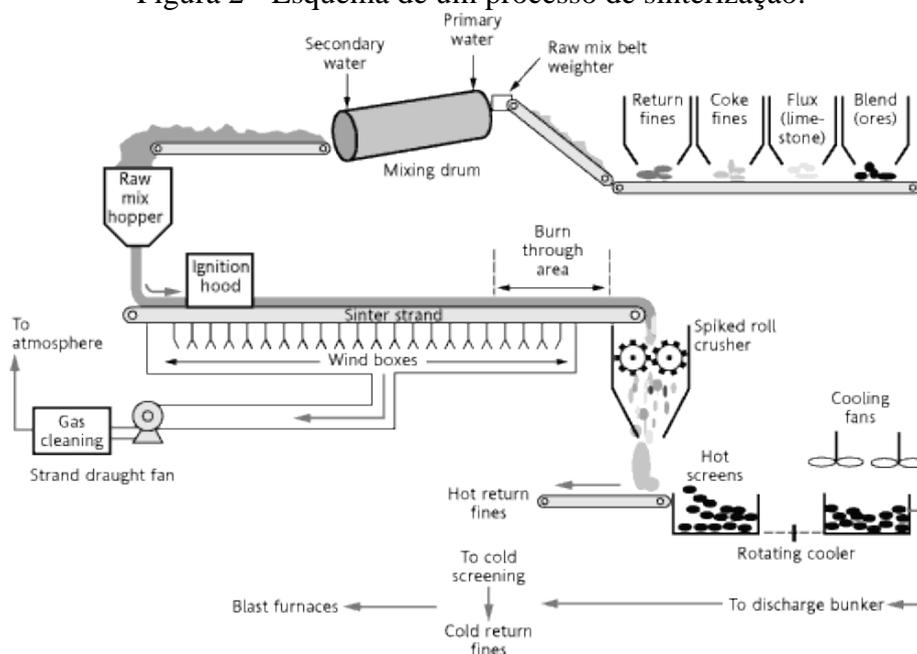
O processo de redução do minério inicia-se fora da usina siderúrgica com a logística de compra e transporte das matérias primas necessárias para o processo, depois das matérias primas chegarem na usina as mesmas são dispostas em um pátio de matérias primas onde com um sistema de transporte as mesmas são levadas para os locais de seu processamento, pois não se pode carregar matérias primas *in-natura* no alto forno.

Após as matérias primas chegarem nos locais de processamento se iniciam os processos de preparação de matéria prima, que são: a sinterização e a coqueificação.

Sinterização é um processo de aglomeração de minérios de ferro que emprega minério de ferro de granulometria entre 0,1 a 9,5 mm. O processo é feito em máquina de esteira rolante onde se deposita o minério de ferro e finos de coque ou carvão, formando uma camada que é aquecida por uma frente de combustão, alimentada por ar succionado através da camada, acarretando uma fusão incipiente da mistura que ocasiona

um colamento entre as partículas resultando no sinter (MOURÃO, YOKOJI, *et al.*, 2011), um fluxo esquemático do processo pode ser observado na figura 2.

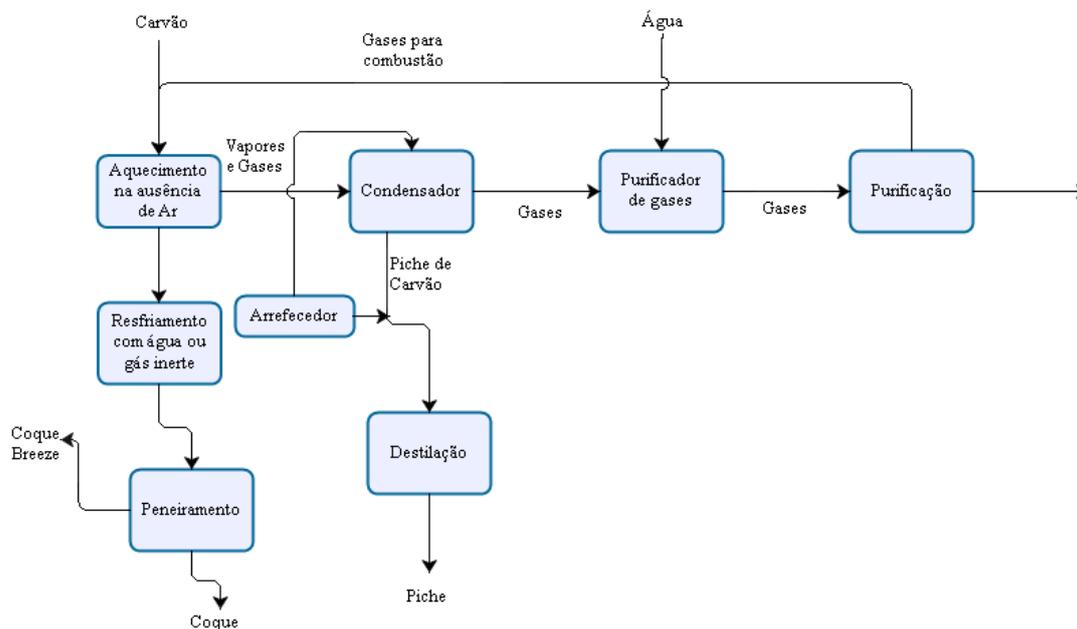
Figura 2 - Esquema de um processo de sinterização.



Fonte: (EUROTHERM BY SCHNEIDER ELETRIC, 2008)

O coque metalúrgico é o produto do processo de coqueificação, que é a destilação do carvão mineral a temperaturas de aproximadamente 1000° C, em baterias de fornos a fim de retirar toda a matéria volátil dos carvões minerais e gerar a aglomeração dos mesmos utilizando propriedades específicas de alguns carvões minerais. Após o processo de coqueificação o coque é resfriado bruscamente com água ou nitrogênio (MOURÃO, YOKOJI, *et al.*, 2011). O processo de coqueificação também gera substâncias carboquímicas que são purificadas e vendidas, que ajudam a diminuir o custo global com o carvão. Na figura 3 podemos observar um esquema do processo de coqueificação.

Figura 3 - Fluxograma básico do processo de coqueificação



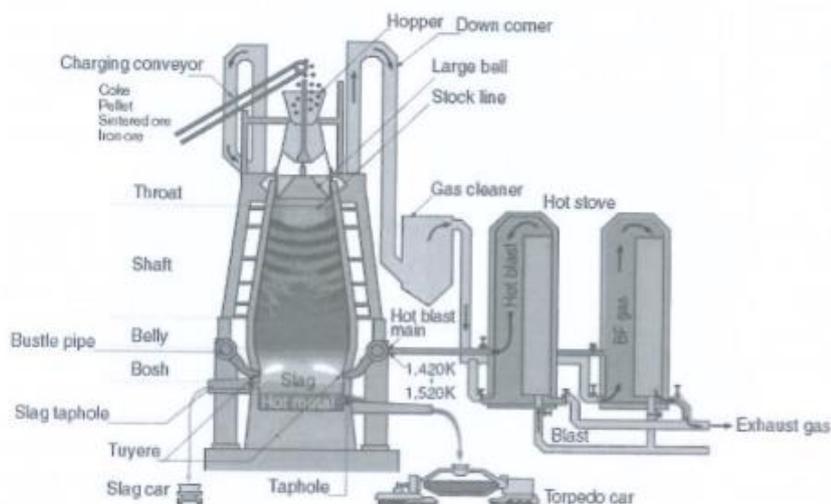
Fonte: Elaborado pelo autor.

Após preparadas as matérias primas as mesmas são armazenadas em silos para serem carregadas na próxima fase da redução o Alto-Forno.

O Alto-Forno é o reator metalúrgico mais complexo, devido a seu tamanho, presença de grandes gradientes térmicos, e vários outros fatores, como a permeabilidade, preparação da matéria prima, etc.

O alto-forno opera como um reator contínuo a contracorrente, com função de produzir ferro gusa líquido à cerca de 1500 °C com composição química controlada, na figura 4 é apresentado um esquema de funcionamento de um alto-forno.

Figura 4 - Esquema de funcionamento de um alto-forno e seus equipamentos auxiliares.



No topo do alto-forno as matérias-primas sólidas são carregadas de forma alternada, de modo a garantir a permeabilidade da carga, necessária para a passagem satisfatória dos gases redutores. A carga sólida do alto-forno desce por gravidade para os níveis inferiores, sendo a mesma composta principalmente de coque metalúrgico, minério de ferro (normalmente sinter ou pelotas) e fundentes que são materiais que tem a função de reter impurezas do minério e do coque e produzir escória de baixo ponto de fusão, que normalmente são compostos de carbonatos ou óxidos.

3.1.2. A Aciaria em siderúrgicas integradas

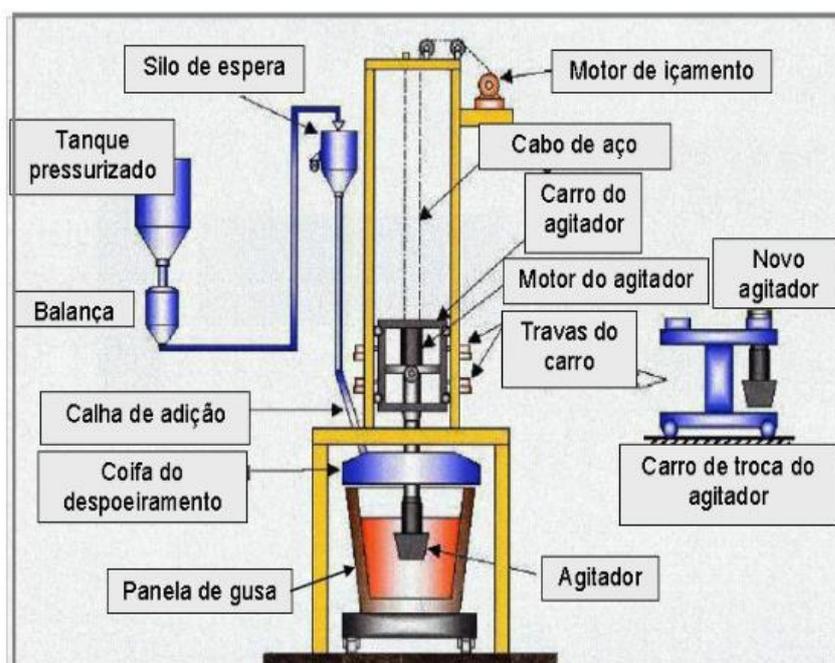
Após a produção do ferro-gusa pelo alto-forno, o ferro-gusa é transportado para a área seguinte do processo siderúrgico, a aciaria que é onde o ferro gusa é transformado em aço e solidificado em tarugos ou placas para posterior processamento em produtos acabados ou semiacabados. A aciaria pode ser dividida em 3 etapas principais de processamento a etapa de dessulfuração onde é retirado grande parte do enxofre presente no ferro gusa, o refino primário onde o ferro-gusa tratado é transformado em aço, e o refino secundário, onde há um ajuste fino de composição e temperatura do aço, sendo esta parte a que define que tipo de aço teremos ao final do processo.

3.1.2.1. O Processo de Dessulfuração

O pré-tratamento do ferro-gusa é utilizado para melhorar a eficiência do refino primário assim reduzindo o seu custo. A primeira usina a utilizar o pré-tratamento do ferro-gusa em sua operação foi a usina de Mizushima da Kawasaki Steel, em março de 1985 (MOURÃO, YOKOJI, *et al.*, 2011).

O processo de dessulfuração consiste na injeção de agentes químicos a base de cal e magnésio com posterior agitação mecânica da mistura para melhorar a cinética da reação. O processo pode ser conduzido em carro-torpedo ou em painelas de transferência, sendo o processo mais eficiente em panela, por fatores geométricos do torpedo que impedem uma agitação com o máximo de eficiência. Na dessulfuração em panela temos várias formas de mistura das substâncias dessulfurantes, que podem ser via lança ou utilizando misturadores (neste caso é chamado de processo KR devido ao nome do reator utilizado, Kanbara). Podemos observar na figura 5 uma representação esquemática de um reator KR.

Figura 5 - Representação esquemática de um Reator KR



Fonte: (SILVA, 2012)

3.1.2.2. O Refino Primário

Após a preparação inicial do ferro-gusa por um processo de dessulfuração, o gusa é levado para o processo de refino primário, onde o é transformado em aço. O processo de refino primário consiste na transformação de matéria prima sólida ou líquida com desvios de composição em um produto base para a etapa subsequente, o refino secundário.

O refino primário pode ser realizado em diversos reatores, onde os principais são o BOF (Forno Básico a Oxigênio em inglês) e o EAF (Forno a Arco

Elétrico em inglês), sendo o primeiro projetado para lidar somente com matéria-prima sólida e o segundo mais versátil quanto ao tipo de matéria prima utilizada.

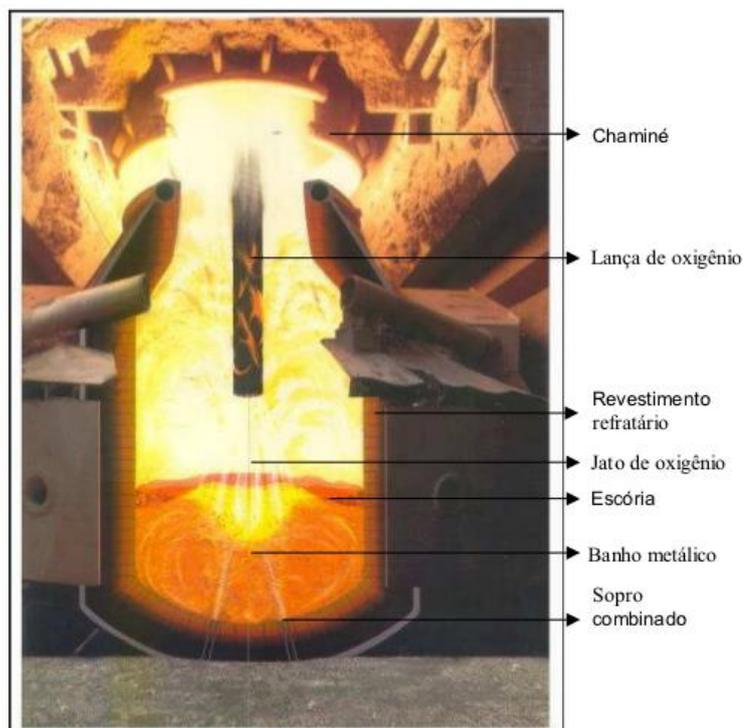
3.1.2.2.1. Forno Básico a Oxigênio

O processo de conversão de ferro-gusa em aço em fornos com utilização de oxigênio foi sugerido por Bessemer em 1853, porém só se tornou economicamente viável mais recentemente devido ao alto custo de separação do oxigênio. Atualmente os fornos de conversão a oxigênio representam mais de 77% da produção de aço mundialmente, devido ao seu custo de produção razoável, flexibilidade metalúrgica e alta-produtividade (MOURÃO, YOKOJI, *et al.*, 2011).

O processo do BOF é caracterizado por possuir uma lança no topo do conversor, de onde é soprado o oxigênio com a finalidade do refino do ferro-gusa, através da oxidação do carbono, silício, manganês, fosforo e ferro (ATHAYDE JUNIOR, 2005).

Após a carga metálica ser carregada no BOF, juntamente com os fundentes (cal calcítica, cal dolomítica, fluorita, minério de ferro, etc.) é feita uma injeção de oxigênio a altas pressões e velocidades supersônicas, para otimizar as reações e aumentar o grau de mistura do banho metálico. Os fundentes têm como função o fechamento do balanço térmico da mistura e a formação de escória que é de vital importância para o processo, pois a mesma serve para limpeza do aço. Podemos observar na figura 6 uma visão esquemática do convertedor utilizado no processo BOF.

Figura 6 - Visão esquemática de um convertedor em processo de refino a oxigênio.



Fonte: (ATHAYDE JUNIOR, 2005)

3.1.2.3. *O Refino Secundário*

Após o refino primário muitas vezes os aços não estão de acordo com a composição acertada e nem a temperatura, por isso se faz necessário um refino a mais no aço para regulação de temperatura e composição. Tudo o que é realizado de refino que é feito fora do equipamento de fabricação de aço bruto é chamado de refino secundário.

No caso do refino secundário é feita a remoção de outras impurezas que as condições dos equipamentos de fabricação de aço bruto não permitem ou dificultam essas reações, como a desoxidação, a dessulfuração e a desgaseificação, que consiste na remoção de hidrogênio ou nitrogênio. O refino secundário também pode realizar operações de acerto de composição do aço, descarburização e alteração de morfologia de inclusões.

3.1.2.3.1. O Processo de Borbulhamento de Argônio (BAP)

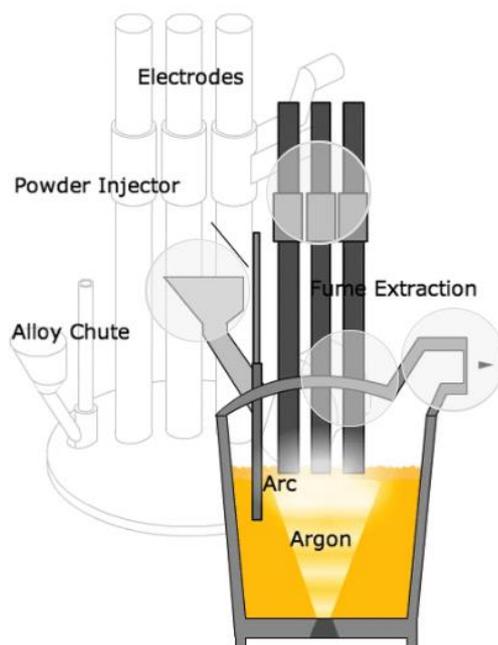
O processo de borbulhamento de argônio em panela tem a função de homogeneizar a temperatura e a composição do banho metálico, durante a transição do refino primário para o secundário, e dando início a metalurgia de panela.

3.1.2.3.2. Reatores de Refino Secundário

O refino secundário normalmente é realizado em um recipiente chamado panela onde os reatores de refino secundários se acoplam para a realização das operações. As instalações de refino são variadas e dependem do tipo de necessidade de cada tipo de aço, da produtividade desejada, do volume de aço que vai ser processado e do investimento realizado nos reatores.

O Forno Panela é a mais popular instalação de refino secundário de aços. O investimento reduzido para a instalação e a grande flexibilidade metalúrgica fizeram o forno panela praticamente uma instalação obrigatória em processos de refino secundário. Devido a estas características o forno panela liberou as instalações de refino primário para se dedicarem em apenas elaborar o aço bruto com a maior eficiência possível. O aquecimento no forno panela é feito por 3 eletrodos de grafite, que permitem um aquecimento rápido e limpo, pois o mesmo não necessita de nenhuma reação química para acontecer. Na figura 7 temos uma representação esquemática de um forno panela.

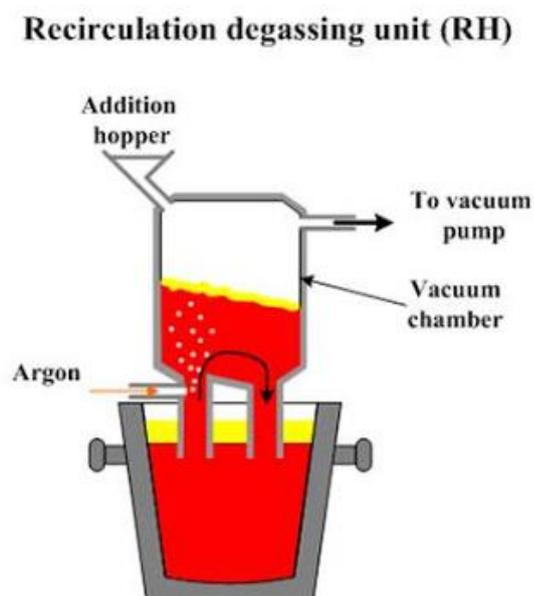
Figura 7 - Visualização Esquemática de um forno panela.



Fonte: (WORLD STEEL ASSOCIATION, 2017)

O forno RH (*Rushrstahl-Heraeus*) é uma instalação que permite submeter porções do aço a ação do vácuo, em um vaso posicionado acima da panela, este vácuo, por sua vez, permite a degaseificação do aço, um procedimento que o forno panela não permite. O banho metálico é forçado à vácuo por canais e um dos canais borbulha argônio para provocar um movimento contínuo de aço para dentro do vaso, tendo um tratamento mais homogêneo. O aquecimento feito no RH é por aluminotermia (reação de oxidação do alumínio) portanto existe o cuidado com a adição de alumínio para que não ocorra problemas com inclusões de alumina. Na figura 8 temos uma visualização esquemática do processo do RH.

Figura 8 - Visualização esquemática de um degaseificador a vácuo RH.



Fonte: (ALMEIDA, 2012)

3.1.2.4. O Lingotamento Contínuo

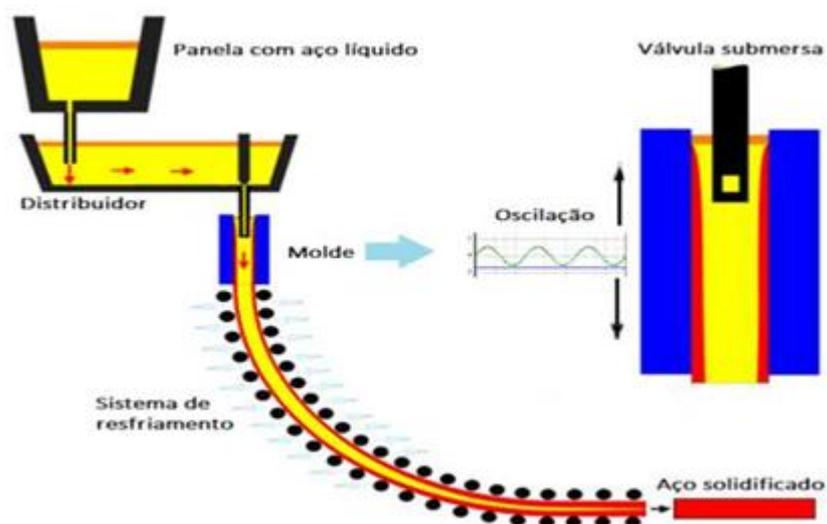
O processo de lingotamento contínuo do aço e suas ligas é o último estágio de uma aciaria onde se trabalha com o aço na sua fase líquida. Sendo sua tarefa realizar a solidificação do aço em forma que o mesmo possa ser utilizado nas etapas de conformação mecânica. O processo atual de lingotamento contínuo é relativamente novo, a despeito da sua concepção inicial.

O processo de lingotamento contínuo teve origem nas ideias de Sellers (1840), Laing (1843) e Bessemer (1846), que somente puderam aplicar a ideia a alguns

metais não ferrosos de baixo ponto de fusão. Enquanto o processo moderno de lingotamento contínuo teve início após a segunda guerra mundial, com a criação de uma planta piloto na Inglaterra, utilizando as ideias de Siegfried Junghans (o pai do lingotamento contínuo moderno) (MOURÃO, YOKOJI, *et al.*, 2011).

O esquema básico de uma máquina de lingotamento contínuo pode ser observado na figura 9.

Figura 9 - Esquema básico de uma máquina de lingotamento contínuo.



Fonte: (NATIONAL INSTRUMENTS CORPORATION, 2017)

O princípio básico utilizado em uma máquina de lingotamento contínuo é o vazamento de aço líquido proveniente de uma panela posicionada em uma torre, de um distribuidor para um molde oscilatório de cobre refrigerado. O calor é retirado do metal pela parede refrigerada do molde onde se cria uma película de metal solidificado, que é levado pelo movimento oscilatório de extração da máquina. O avanço da solidificação é promovido por um conjunto de sprays de água distribuídos por toda extensão da máquina.

A condução do veio de solidificação é realizada por rolos refrigerados até a parte final do equipamento. No último rolo, o metal já deve estar solidificado. Após o último rolo se encontra uma máquina de corte, o qual pode ser feito por corte oxiacetileno ou por tesoura de corte, sendo este último mais recomendado para cortes de peças de menor espessura.

3.2. Planejamento, Programação e Controle de Produção

3.2.1. Sistemas de Produção

Segundo Riggs (1970) um sistema de produção é um processo planejado pelo qual elementos são transformados em produtos úteis, portando um procedimento organizado onde se tem inputs de materiais brutos, que após um procedimento existem materiais acabados.

Portanto qualquer operação produtiva necessita de planos, controles e planejamento mesmo que seus detalhes de produção variem, sendo algumas produções mais complexas que outras, principalmente quando há grande nível de imprevisibilidade, como os processos siderúrgicos ou de mineração, ou quando se tem alto grau de contato com clientes, assim dificultando a natureza imediata das operações (GILSON, 2012).

Assim segundo Tubino (2000) existem três formas conhecidas de sistemas de produção:

- Pelo grau de padronização, sendo os sistemas que produzem produtos padronizados: bens ou serviços que apresentam alto grau de uniformidade e são produzidos em grande escala; e os sistemas que produzem produtos sob medida.
- Pelo tipo de operação: podem ser operações contínuas, onde os produtos não podem ser identificados individualmente, como o processo de redução da indústria siderúrgica, e os processos discretos que envolvem a produção de bens e serviços que podem ser isolados em lotes ou unidade. Este pode ser dividido em processos repetitivos de grande escala, que envolvem a produção em grande escala de produtos altamente padronizados; processos repetitivos em lote onde se produz em lotes de um produto ou serviço altamente padronizado e os processos por projeto, onde se atende uma necessidade específica de um cliente onde o produto tem uma estreita relação com a necessidade do cliente e tem uma data determinada para conclusão.
- Pela natureza do produto: que pode ser, manufatura de bens, quando o produto é tangível; prestador de serviços, quando o produto é intangível, como consultas médicas, transportes de pessoas e cargas.

3.2.2. Planejamento

O planejamento pode ser definido como um processo de tomada de decisão para prever, antecipar uma ação futura desejada, utilizando-se meios eficazes para concretizá-la. Para melhor entender o conceito de planejamento devemos ter em mente os conceitos de eficiência e eficácia (GILSON, 2012).

A eficiência pode ser definida como realizar da maneira certa, e eficácia é definida como a ação de realizar e produzir o efeito desejado. Assim temos um processo que é eficiente e eficaz é onde em um processo se faz certo na primeira tentativa.

3.2.3. Planejamento e Controle da Produção: PCP

O Planejamento e Controle de Produção (PCP), surge como um setor de apoio à empresa no que diz respeito a informações como o planejamento estratégico da produção. O PCP age no desenvolvimento do planejamento estratégico da produção (longo-prazo), o planejamento mestre da produção (médio-prazo) e a programação da produção (curto-prazo) (TUBINO, 2000), para garantir que o nível de produção da empresa atinja a níveis preconizados pelo planejamento estratégico da mesma. Também cabe ao PCP garantir que os recursos produtivos estejam disponíveis, no momento e em qualidade adequada a realização dos processos produtivos, para garantir o atendimento dos objetivos de todos os níveis de planejamento do mesmo. (GILSON, 2012).

Para a realização de um planejamento dentro de um sistema produtivo, e que este planejamento venha a se tornar realidade, deve-se pensar em três níveis dentro de um horizonte de planejamento: o curto, médio e longo-prazo. Assim se podem montar planos de produção que atinjam os objetivos da organização.

No longo prazo, também chamado de nível estratégico, o PCP estrutura-se a partir de um plano de produção que é baseado na previsão de vendas a longo prazo. Este planejamento tem como objetivo principal visualizar a capacidade de o sistema de produção atender às demandas dos clientes.

No médio prazo temos o Planejamento Mestre da Produção, onde são identificados os possíveis gargalos da produção, que podem inviabilizar a concretização deste plano a nível de curto prazo, por este motivo o horizonte de médio prazo também pode ser considerado um nível de planejamento tático da produção (GILSON, 2012).

No terceiro nível, o nível operacional ou planejamento a curto prazo temos a programação da produção, que monta, acompanha e administra os programas de produção, garantindo assim a sua execução conforme o planejado e identificando possíveis problemas na produção para assim evitar falhas no programa de produção (GILSON, 2012).

3.3. Balanço de Massa em Processos Industriais

Em processos industriais, o balanço de massa, ou balanço de materiais é uma importante ferramenta. O balanço de massas se baseia no princípio de conservação das massas, onde segundo Lavoisier em sua lei enunciou: “A massa não pode ser criada nem destruída, porém, pode ser transformada”.

O balanço de massa tem como finalidade o dimensionamento de equipamentos, o controle dos processos de produção, a otimização de processos, medição de resultados e medição da produção (SILVA, 2013), neste trabalho o balanço de massas vai ser utilizado como uma forma de medição de resultados, para a comparação entre dois padrões de tempos de produção planejados.

Equacionando a lei de Lavoisier temos a expressão a seguir:

$$\sum Massa_{entrada} = \sum Massa_{saida} + \sum M_{acumulada} \quad (1)$$

A maioria dos processos metalúrgicos são contínuos (normalmente processos de redução) ou por batelada (em siderurgia temos os processos de aciaria, lingotamento e conformação mecânica).

Para desenvolvimento de um balanço de massa são necessários conhecer alguns dados: pesos e análises químicas de todos os materiais que vão entrar no sistema. Assim o balanço de massa de determinado sistema compõe o modelo matemático, do mesmo, tendo um melhor controle do processo (AGUIAR, 2016).

Como todo modelo matemático o balanço de massa está sujeito a erros e desvios. Identificar os erros e desvios do modelo é fundamental para o bom funcionamento do mesmo, assim as principais causas para o não fechamento exato de um balanço de massa segundo AGUIAR (2016) são:

- Erros de pesagem;
- Erros de Análise química;

- Erros de amostragem;
- Erros de equipamentos;
- Erros de premissas (variáveis imensuráveis).

3.3.1. Definições Básicas para Balanço de Massa

Para a definição de um balanço de massa temos que inicialmente definir as premissas do modelo que vai ser montado. Podemos definir o processo como cada uma das etapas que compõem e promovem mudanças das propriedades do sistema. Os processos podem ser classificados como, em batelada, contínuos ou semi-contínuos, sendo esta classificação baseada no procedimento de entrada de saída dos materiais (SILVA, 2013). Nos processos siderúrgicos temos na área de redução principalmente processos contínuos e semi-contínuos e nas áreas de aciaria e lingotamento contínuo temos processos por batelada.

Também podemos classificar os balanços de massa quanto aos tipos de sistema que temos, que podem ser sistemas abertos ou fechados.

Os sistemas abertos são sistemas que permitem fluxo de matéria pela fronteira com o ambiente, sendo este tipo de sistema uma característica de processos contínuos. Os sistemas fechados são sistemas onde não existe transferência de massa do sistema para o ambiente, sendo este uma característica de processos por batelada.

3.3.2. Tipos de Balanço de Massa

Os balanços de massa podem ser do tipo integral e diferencial. O balanço de massa integral descreve o que acontece entre dois instantes de tempo, sendo utilizado somente grandezas fixas independentes do tempo. Este tipo de balanço de massa normalmente é utilizado para processos por batelada. O balanço de massa diferencial descreve o que acontece em momentos específicos do tempo, pois trabalha com taxas de alimentação e de saída. Este tipo de balanço de massa é utilizado para processos contínuos.

3.4. Simulação em Eventos Discretos

A simulação de eventos discretos, é uma representação de um sistema real através de um modelo computacional, tendo a vantagem da visualização do sistema, implementação de mudanças e obter a resposta de questionamentos do tipo “e se?” com minimização de custos e tempo (MORABICITO NETO e PUREZA, 2012).

A simulação também pode ser definida pela recriação de um sistema em ambiente controlado, de modo que seja possível, compreender, manipular e verificar o comportamento do mesmo, de forma segura e a custos relativamente menores (PEREIRA, TAKANO, *et al.*, 2013).

O método de eventos discretos pode ser descrito como situações de fila, em que clientes chegam, aguardam na fila, caso necessário, e recebem atendimento antes de sair do sistema. Assim somente dois eventos controlam toda a simulação: chegadas e atendimentos.

Em virtude da ocorrência de situações de formação de filas em simulações, parte importante do modelo de simulação de eventos discretos é baseada na teoria das filas. Esta nada mais é que um ramo de estudo da probabilidade que estuda a formação de filas, através de modelos matemáticos, de forma a otimizar o sistema de acordo com as variáveis mensuráveis das filas.

Modelos de simulação são recomendados segundo STRACK (1984) quando:

- Não existem formulações matemáticas completas para o problema;
- Resultados não são fáceis de serem obtidos por qualquer outro método analítico;
- Torna-se necessário observar o desenvolvimento do processo desde seu início até o seu fim;
- Quando são necessários detalhes específicos do sistema;
- Quando a experimentação real apresenta inúmeros obstáculos ou não é possível.

Os modelos de simulação de eventos discretos apresentam inúmeras vantagens que são:

- A possibilidade de testar “layouts” e projetos sem comprometer recursos para implantação;
- Sistemas do mundo real com elementos estocásticos podem não ser descritos de forma precisa através de modelos matemáticos que possam ser calculados analiticamente;
- Permitem o controle do tempo, uma vez que se pode executar o modelo simulado por vários meses ou anos em questão de minutos, permitindo

uma rápida análise ao longo do tempo, ou desacelerar um fenômeno para o compreender melhor;

- Permitem manter maior controle sob as condições dos experimentos o que muitas vezes não é possível com o sistema real;
- Permitem identificar gargalos no fluxo de informações, materiais ou produtos e testar opções para o aumento da taxa de fluxo.

Apesar de todas as vantagens apresentadas pelos modelos de simulação, os mesmos também apresentam desvantagens que são segundo BRESSAN (2002)

- Cada execução da simulação estocástica produz apenas estimativas dos parâmetros analisados;
- O modelo de simulação em geral é caro e consome muito tempo para desenvolver;
- Os resultados da simulação, quando apresentados em grande volume de dados e com animações podem causar boa impressão, porém se o modelo simulado não for uma representação válida do modelo em estudo, estes dados não terão utilidade nenhuma.

Os modelos de simulação podem ser ferramentas úteis e versáteis para obter percepções sobre o funcionamento de sistemas, sendo assim uma ferramenta que promove uma melhor compreensão sobre os sistemas, servindo de meio de comunicação entre os analistas, gerentes e pessoas ligadas a operação (PEREIRA e MONTEVECHI, 2016).

3.5. Controle Estatístico de Processos

O controle estatístico de processos é um conjunto de técnicas utilizadas para o controle de qualidade de um processo. Assim podemos defini-lo como um método preventivo de se comparar continuamente os resultados de um processo com um padrão, identificando a partir de dados estatísticos, as tendências e variações significativas que um processo pode ter, em busca de reduzir estas variações.

As ferramentas mais utilizadas no controle estatístico de processos são:

1. Histogramas
2. Diagramas de causa e efeito (Ishikawa)
3. Curvas de distribuição
4. Cartas de controle

5. Gráficos de pareto

6. Capabilidade de processo.

Os histogramas são gráficos de barras que apresentam de forma clara a forma que um grupo de dados se apresenta, sendo assim eles são úteis para a visualização do padrão dos dados observados, mostrando tanto a localização quanto a dispersão das amostras.

As cartas de controle são, gráficos de análise e ajuste da variação de um processo em função do tempo, através de duas características básicas, a centralização e dispersão. A centralização dos dados pode ser observada pela média e a dispersão pode ser verificada pelo desvio padrão dos dados.

A capabilidade do processo é um valor que define a capacidade do processo em entregar resultados com menor variabilidade, sendo assim tendo maior controle das entregas dos processos.

O gráfico de pareto é um gráfico de barras onde podemos analisar os fatores que entregam os maiores efeitos para o processo.

4. METODOLOGIA

4.1. Obtenção e Métodos de Análise dos Dados

Os dados utilizados para a realização deste trabalho foram obtidos a partir do sistema de produção nível 3, que é o sistema de monitoramento da automação, da Companhia Siderúrgica do Pecém (CSP), onde foram gerados relatórios com informações de tempos de processo dos processos da aciaria e do lingotamento contínuo da empresa em questão.

Os dados utilizados são referentes aos meses de janeiro a setembro de 2017, afim de se captar as variações da produção em um intervalo representativo.

Os dados para os processos da aciaria foram retirados de um relatório que reúne dados de produção dos processos de pré-tratamento do Gusa (KR), de Forno Básico a Oxigênio (BOF, sigla em inglês), estação de borbulhamento de argônio (BAP) e refino secundário (forno panela (LF, sigla em inglês) e desgaseificador RH), dentro deste relatório foram obtidos dados de tempos para cada um desses processos.

Os dados do lingotamento contínuo foram retirados de um relatório utilizado pelo setor de planejamento de produção para monitoramento dos tempos de lingotamento, para cálculo de aderência da produção com o plano de produção.

Os dados extraídos do sistema de produção nível 3 da CSP, foram compilados em um banco de dados utilizando o software da suíte de produtividade da Microsoft, o Excel, a fim de realizar nestes dados segmentações e tratamentos de refino de dados auxiliados por softwares de análise estatística. A segmentação de dados foi realizada da seguinte forma:

- Para os processos onde o tipo de aço tem maior influência sobre o tempo (BOF, RH, BAP e LF), os mesmos foram segmentados por famílias de aço, que são apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 - Legendas das Famílias de Aço produzidas

Famílias de Aço	
Sigla	Nome
LC	Baixo Carbono
LCA	Baixo Carbono Ligado

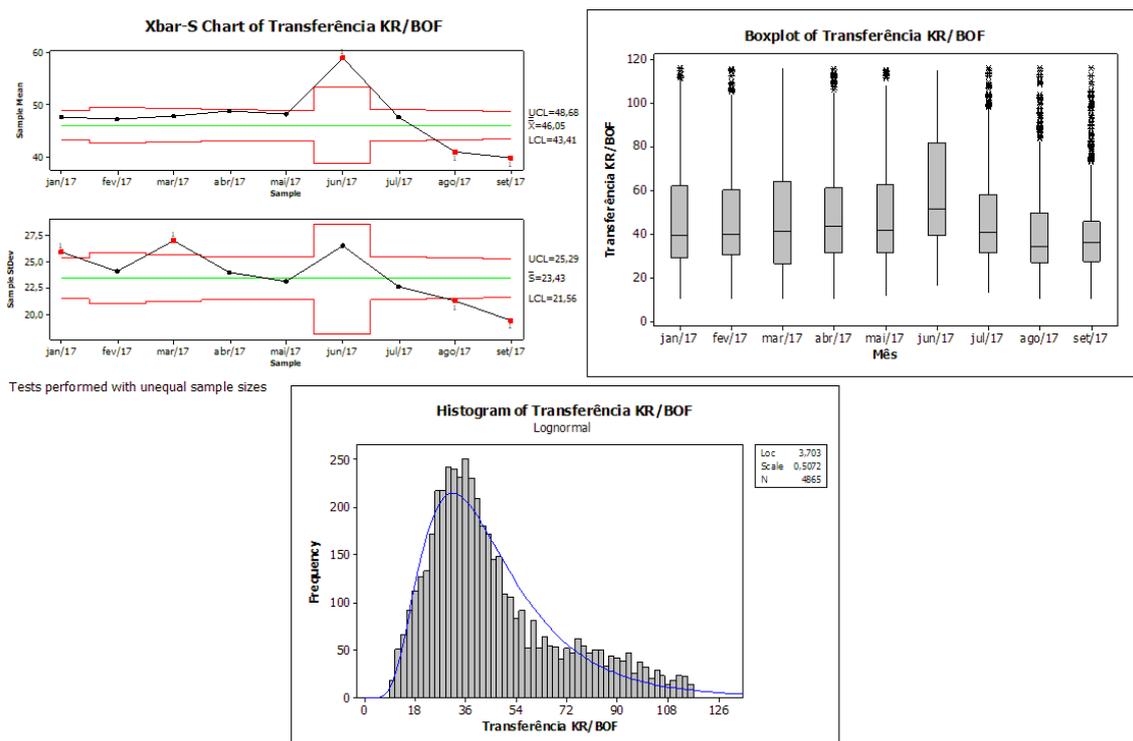
LCP	Baixo Carbono Peritético
LCPA	Baixo Carbono Peritético Ligado
MC	Médio Carbono
MCA	Médio Carbono Ligado
PE	Peritético
PEA	Peritético Ligado
ULCA	Ultra Baixo Carbono Ligado

Fonte: Elaborada pelo autor

- Para os processos de onde a varável do tipo do aço não interfere no tempo não foi utilizada uma segmentação para a realização do expurgo dos dados para análise estatística.
- Para o processo de lingotamento contínuo foi realizada uma segmentação tanto por família de aço quanto por dimensional (largura, comprimento, espessura).

Após a segmentação dos dados foram feitas análises estatísticas para obtenção de tempos médios dos processos da aciaria. As ferramentas estatísticas utilizadas foram: cartas de controle para averiguação da dispersão e conformidade dos dados dentro de um parâmetro de controle, boxplot's para análise de outliers (pontos fora de dispersão que podem afetar a média) e histogramas com distribuição estatística ajustada a fim de mostrar e identificar o tipo de distribuição estatística dos dados de processo. No caso para identificação de distribuição estatística foram também utilizados testes de hipótese para a identificação da distribuição estatística. A figura 10 mostra os tipos gráficos utilizados para interpretação estatística dos dados.

Figura 10 – Exemplos de gráficos utilizados para interpretação estatística dos dados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2. Premissas para Cálculo do Balanço de Massa

Para o cálculo do balanço de massas devemos definir os tipos de sistemas, para assim definirmos o tipo de balanço de massa a ser executado. Como estamos fazendo um balanço de massa em um processo discreto, então temos que o tipo de balanço de massa utilizado é um balanço de massa integral, onde se faz o balanço de massa somente entre dois momentos do sistema.

Já definido que tipo de balanço de massas vai ser utilizado, baseado no processo produtivo, podemos definir as premissas que vão ser utilizadas para compor o balanço de massas. As premissas serão as seguintes:

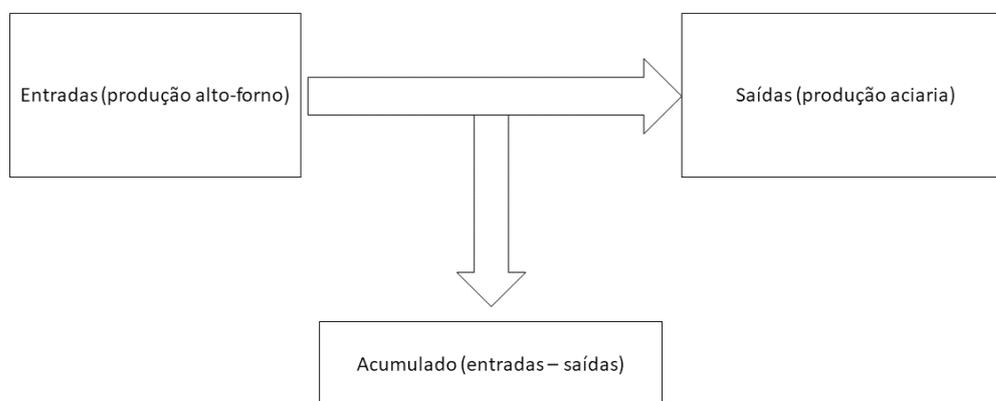
- Serão consideradas 3 variações de tempos para o balanço de massa, 1 dia, 1 semana e 1 mês.
- Considera-se a produção do alto-forno estável em 2,2 t/dia/m³;
- Toda corrida na aciaria é iniciada com 300t de gusa e finalizada com 300t de aço;
- A produção da aciaria é puxada pelo processo de lingotamento contínuo;

- e) Considera-se que todos os equipamentos da aciaria são únicos, portanto somente uma panela de aço é processada por momento por máquina;
- f) Os tempos de processo para cada processo irão seguir suas próprias distribuições estatísticas;
- g) Considera-se que no período em que o balanço de massa foi realizado não houve nenhum tipo de parada por manutenção ou incidentes que resultem em paradas de equipamentos;
- h) Para cálculo de tempos de processo do lingotamento contínuo irá ser considerado que todas as placas serão de comprimento entre 6500mm e 12000mm com comprimentos aleatoriamente distribuídos;
- i) Para cálculo de tempos de processo do lingotamento contínuo foi considerado que as placas terão espessura de 220mm e largura fixa em 1550mm, de forma a compreender a grande maioria da produção;

Considerando estas premissas podemos criar um balanço de massa onde temos que $entradas - saídas - acumulado = 0$. Onde as entradas correspondem à quantidade de ferro gusa produzida pelo alto forno durante determinado período de tempo, as saídas consistem na quantidade de aço produzido pela aciaria com o gusa produzido pelo alto forno, e o acumulado é a diferença entre a produção de ferro gusa pelo alto forno e a capacidade de absorção deste ferro gusa pela aciaria.

Assim podemos representar graficamente o balanço de massa pelo fluxograma representado na figura 11.

Figura 11 – Fluxograma representativo do balanço de massa entre alto-forno e aciaria



Fonte: Elaborado pelo autor

Como o balanço de massas vai ser utilizada para avaliação de mudança de padrões previstos de tempos de processos de aciaria, onde existe um padrão mais conservador em tempos que outro (dois cenários) a variável do balanço de massa que vai ser utilizada para avaliação dos dois padrões será o acumulado entre a produção do alto-forno e a aciaria.

4.2.1. *Calculo de consumo da aciaria*

Como a aciaria não irá seguir um padrão estático de produção então será calculado um consumo médio de gusa para cada período de tempo avaliado, que será definido pelos tempos padrões previstos de processos para a aciaria.

Para o cálculo do consumo da aciaria vão ser considerados dois regimes de tempos previstos, um tempo padrão previsto atual (tempos previstos), e os tempos de processos atuais medidos pela aciaria (tempos reais), em quesito de comparação.

Para o cálculo do consumo da aciaria em determinados períodos de tempo, foi utilizado o software de simulação em método dos eventos discretos (MED), Arena© da Rockwell Automation, em sua versão acadêmica.

Com os resultados da simulação de eventos discretos foi possível calcular o consumo de gusa da aciaria para determinado período de tempo. Os dados obtidos das análises de tempos dos processos da aciaria e também os tempos padrões previstos já definidos, foram usados como inputs para a simulação de eventos discretos. Os tempos previstos com segmentação por processos podem ser vistos na tabela 2.

Tabela 1 – Tempos planejados

c	Work Time (min)	KR->BOF (min)	BOF->BAP (min)	BAP->LF (min)	BAP->RH (min)	Prepare time (min)	Total Process time (min)
KR	60,00	10,00	-	-	-	0,00	60,00
BOF	25,00	-	7,00	-	-	5,00	40,00
BAP	8,00	-	-	10,00	10,00	5,00	20,00
RH	30,00	-	-	-	-	5,00	45,00
LF	30,00	-	-	-	-	5,00	45,00

Fonte: Elaborado pelo autor

Os dados dos tempos reais de processo, após de analisados estatisticamente e expurgados, foram compilados na tabela 3.

Tabela 2 – Dados reais

Processo	Work Time (min)	KR->BOF (min)	BOF->BAP (min)	BAP->LF (min)	BAP->RH (min)	Prepare time (min)	Total Process time (min)
KR	30,20	40,00	-	-	-	0,00	70,20
BOF	30,90	-	2,00	-	-	5,50	37,50
BAP	2,50	-	-	10,50	11,50	-	12,50
RH	19,80	-	-	-	-	5,92	25,20
LF	22,70	-	-	-	-	2,50	25,72

Fonte: Elaborado pelo autor

A tabela 3 mostra as diferenças dos tempos de processo.

Tabela 3 – Diferença entre os tempos reais e tempos planejados.

Processo	Work Time (min)	KR->BOF (min)	BOF->BAP (min)	BAP->LF (min)	BAP->RH (min)	Prepare time (min)	Total Process time (min)
KR	-29,80	+30,00	-	-	-	0,00	+10,20
BOF	+5,90	-	-5,00	-	-	+0,50	-2,50
BAP	-5,50	-	-	+0,50	+1,50	-	-7,50
RH	-10,20	-	-	-	-	+0,92	-19,80
LF	-7,30	-	-	-	-	-2,50	-19,28

Fonte: Elaborado pelo autor

Os tempos de refino secundário (LF e RH) foram obtidos a partir da média de tempos mais recentes, devido à grande sensibilidade dos tempos dos processos aos tipos de aço foi utilizado o tempo médio dos dois últimos meses considerados na análise (agosto e setembro).

Os tempos de lingotamento foram segmentados de forma diferente, pois estes tempos tem uma grande dependência com o dimensional e tipo de aço lingotado, onde existe uma grande segmentação dimensional, a tabela com todos os dados encontra-se no anexo A.

A simulação foi realizada em um modelo simplificado dos processos da aciaria onde foram considerados os tempos médios de processo para cada processo descrito, sem diferenciação entre famílias de aço, devido a limitações de quantidade de entidades geradas, para a simulação envolvendo horizontes de tempo mais longos. O modelo utilizado pode ser observado no anexo B

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

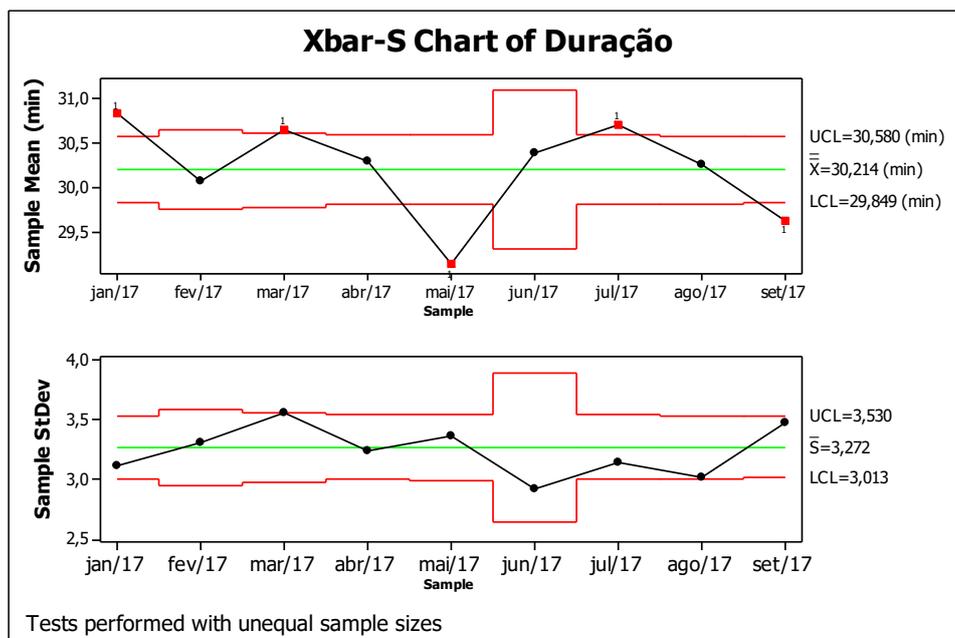
5.1. Análises Estatísticas dos Tempos da Aciaria

Após obtidos os dados dos processos da aciaria, foram feitas análises estatísticas nos mesmos a fim de se obter os tempos de processos atuais, a fim de realizar comparação com os tempos de processo previstos, para utilização nos modelos de consumo da aciaria para o cálculo do balanço de massa.

5.1.1. Processo KR

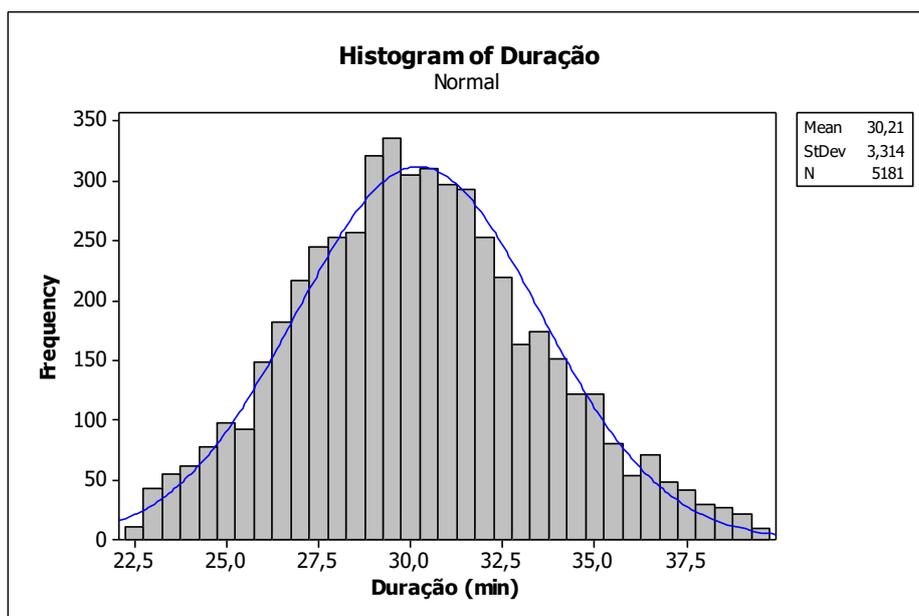
Os gráficos de carta de controle, histograma e boxplot para os dados do processo KR (Tempos de processo e movimentação para estação do BOF), são apresentadas nas figuras a seguir.

Figura 12 - Carta de controle para dados de duração de processo KR com evolução mensal



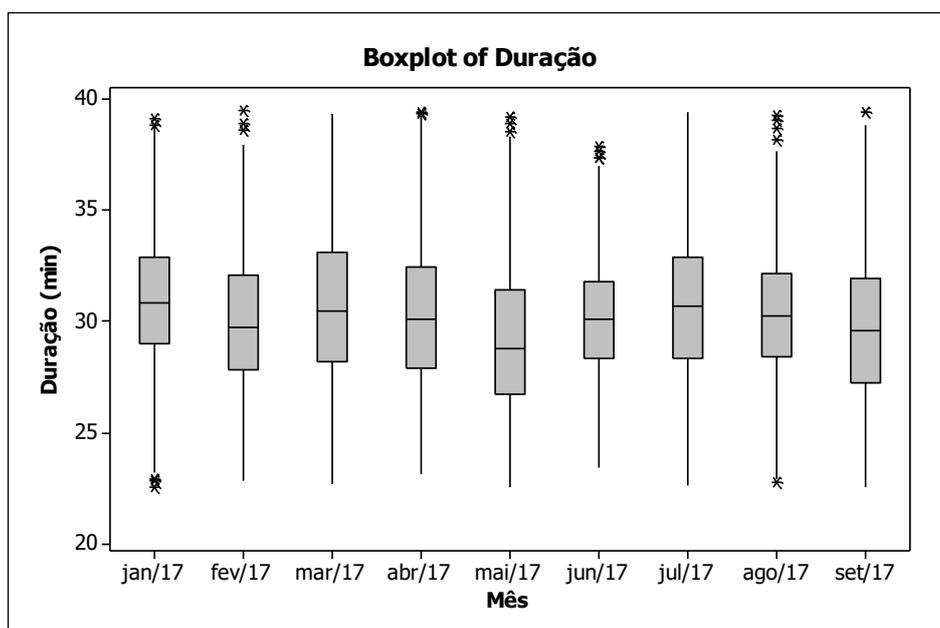
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 13 – Histograma dos dados de duração do processo KR



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 14 – Boxplots dos dados de duração do processo KR, com evolução mensal

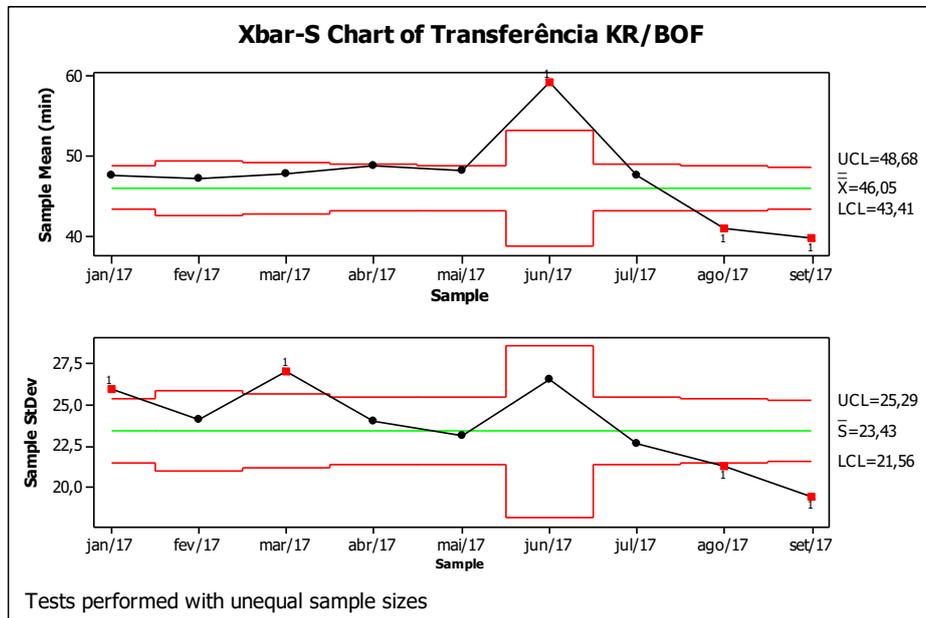


Fonte: Elaborado pelo autor

Podemos observar que os dados relativos ao processo de KR seguem uma curva aproximadamente normal. Também podemos notar pela figura 14 que o processo não apresenta uma evolução temporal, que diz respeito se ser um processo de dessulfuração, com matéria-prima com composição relativamente com pouca variação, tendo assim um tempo de processo constante, em média.

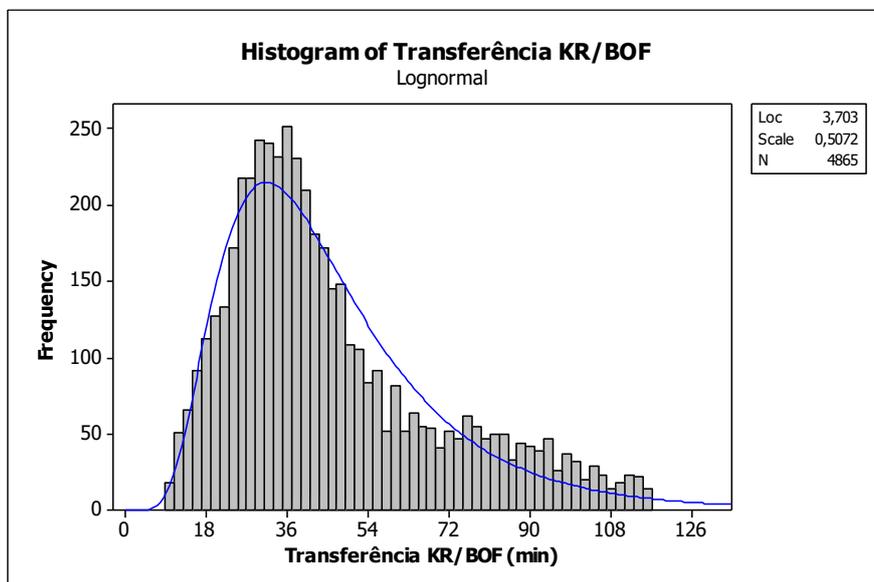
As figuras 15, 16 e 17 referem-se ao tempo de movimentação entre a estação KR e estação BOF.

Figura 15 – Carta de controle com dados referentes a movimentação do KR para o BOF



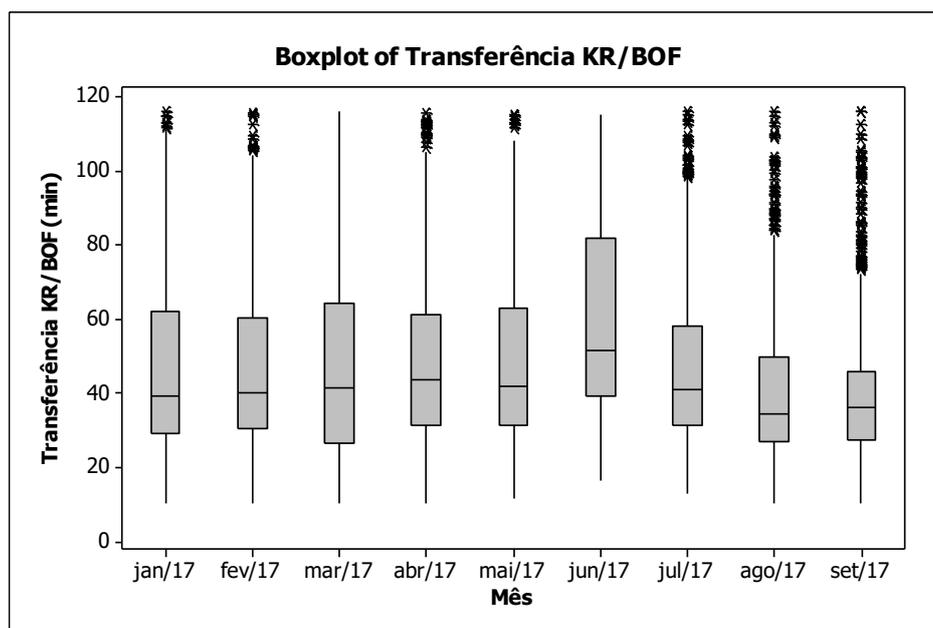
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 16 – Histograma dos dados referentes a transferência entre a estação KR e o BOF



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 17 – Boxplot com dados referentes a transferência entre estação KR e BOF.



Fonte: Elaborado pelo autor.

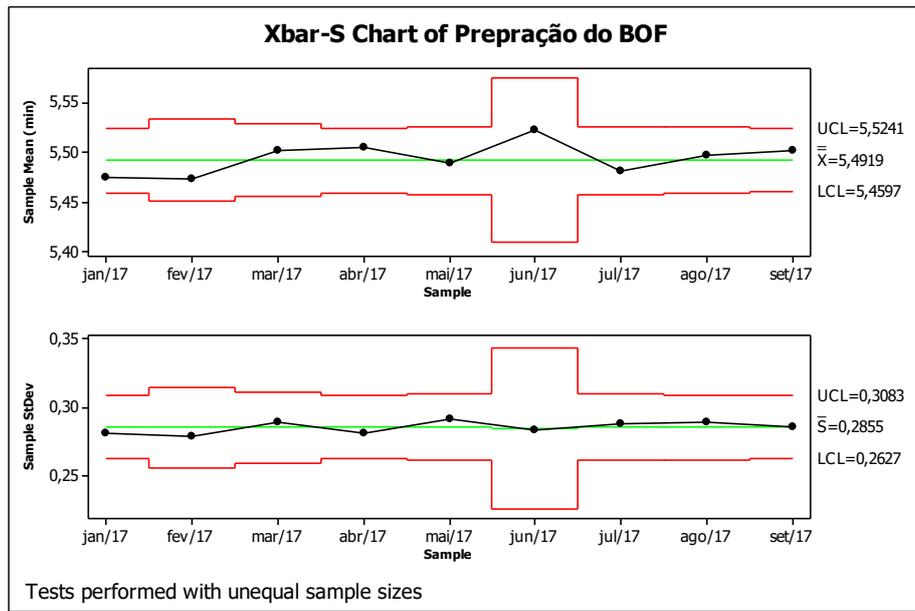
Podemos notar que os dados provenientes aos tempos de transferência entre a estação KR e o BOF seguem uma distribuição lognormal, devido à grande quantidade de dados considerados outliers, estes dados são resultados de um tempo de espera entre o fim do processo KR e a liberação do BOF para processamento da corrida assim gerando uma fila de espera no processo BOF. Assim temos que neste processo de movimentação podem ser feitos trabalhos de sincronia entre o termino do processo KR e disponibilidade do processo BOF.

5.1.2. O processo de Aciaria Básica a Oxigênio

Os tempos analisados do processo BOF foram divididos em tempo de preparação, que inclui a adição de sucata e basculamento do ferro gusa no forno; o tempo de trabalho, que é o tempo de sopro de oxigênio; o tempo de vazamento, que é o tempo de vazamento do forno para a panela e o tempo Charge TO Tap (carga a vazamento), que é o tempo entre o carregamento do BOF e o vazamento do mesmo, sendo este o mais importante destes tempos, pois representa o tempo efetivo de ocupação da máquina.

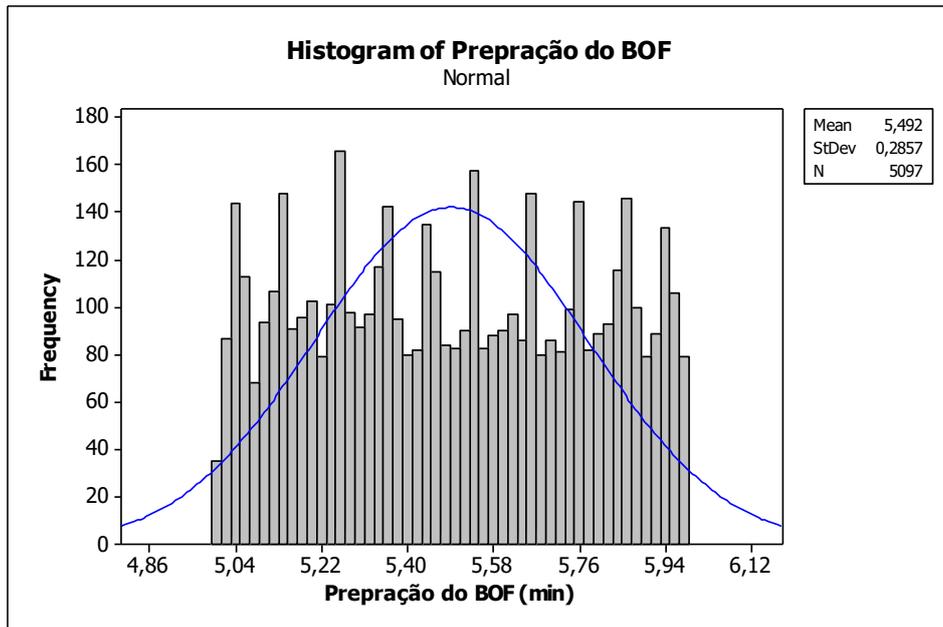
Nas figuras 18 a 20 são os gráficos estatísticos referentes a análise de tempos da preparação do BOF.

Figura 18 – Dados de tempos referentes ao tempo de preparação do BOF



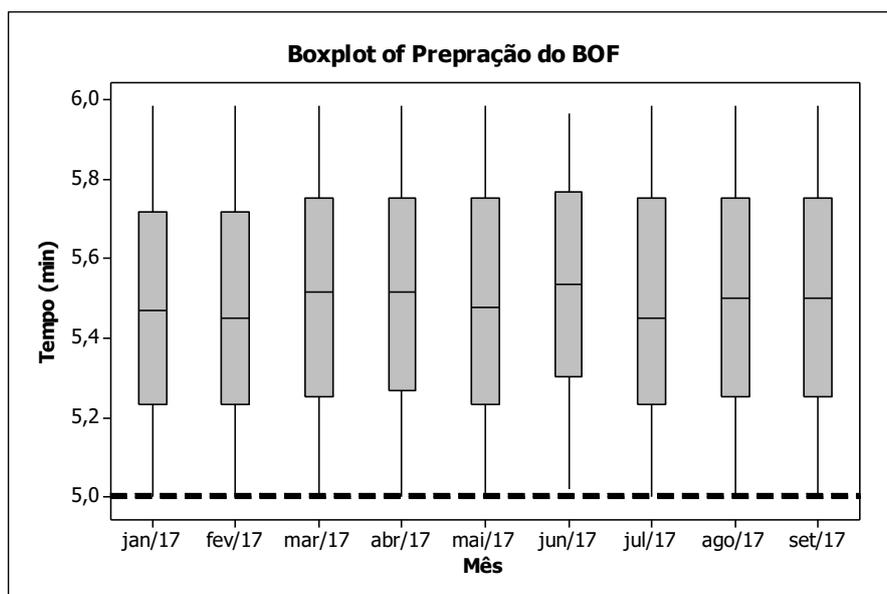
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 19 – Histograma com dados referentes a preparação do forno BOF



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 20 – Boxplots referentes aos dados de preparação do BOF

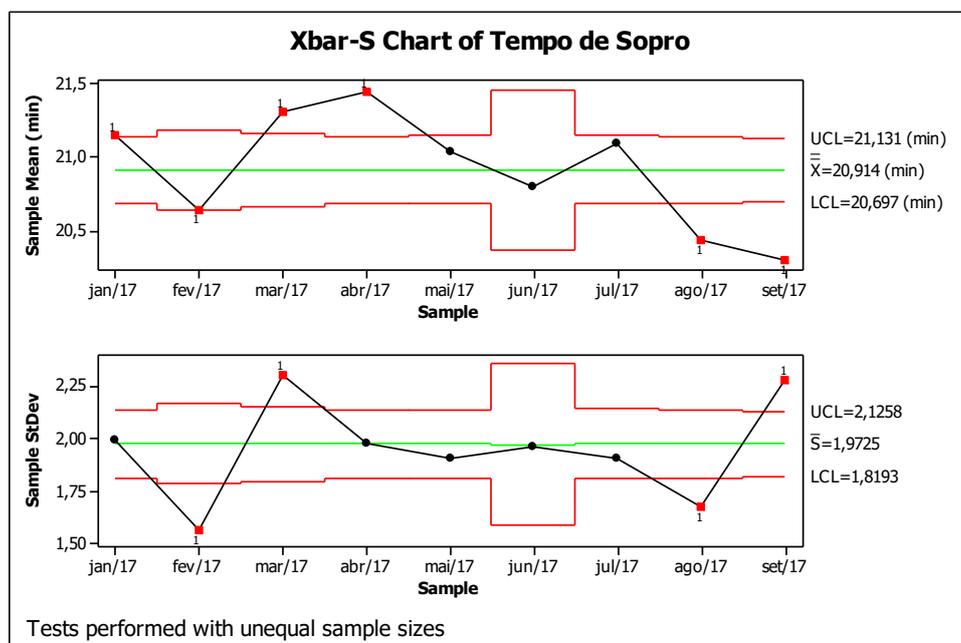


Fonte: Elaborado pelo autor.

Podemos observar dos gráficos que este processo é bem controlado e estável visto que depende somente da quantidade de gusa colocado no convertedor (BOF).

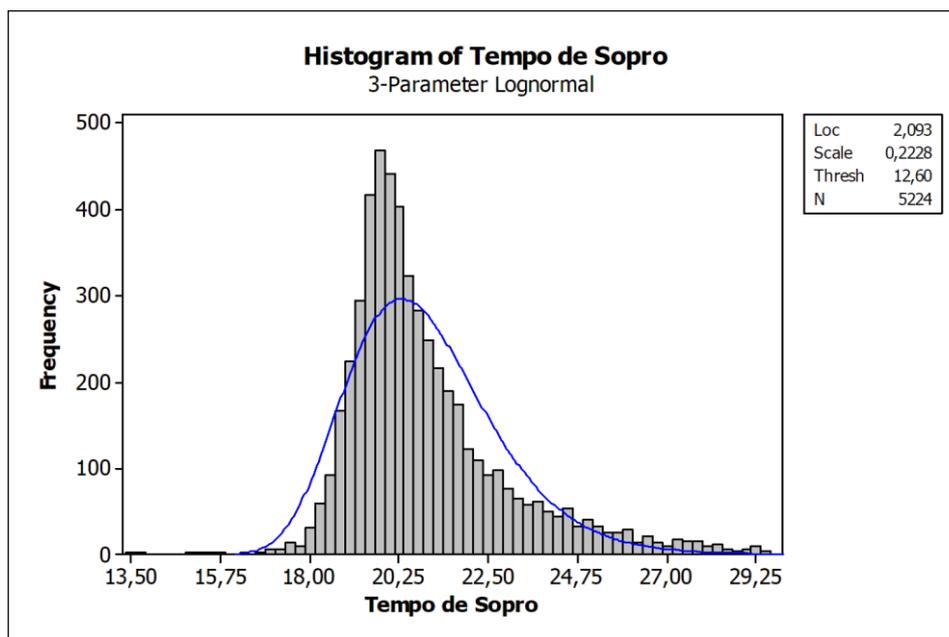
As figuras 21 a 23 são relativas ao tempo de trabalho do BOF

Figura 21 – Carta de controle relativa aos dados de tempo de sopro



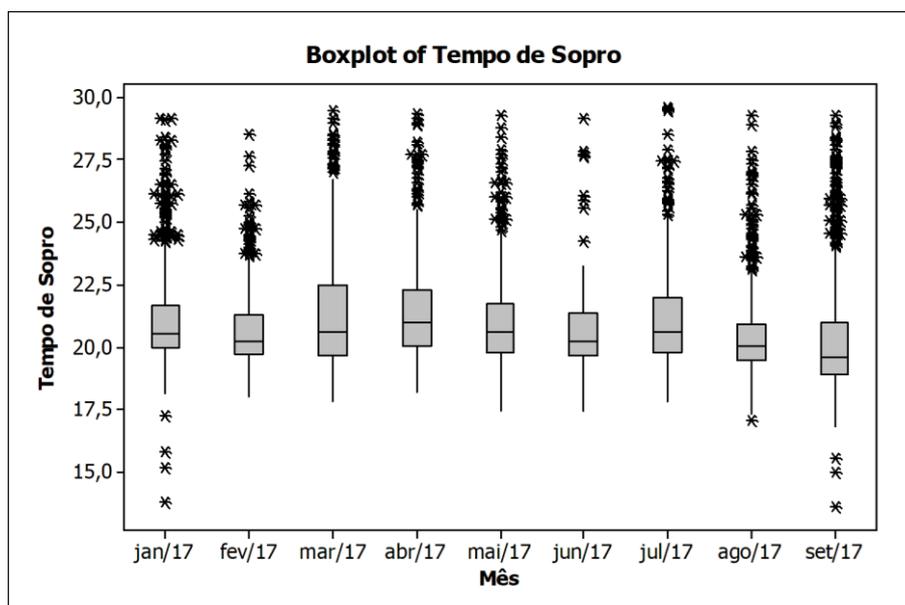
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 22 – Histograma referente ao tempo de sopro do BOF



Fonte: Elaborado pelo autor

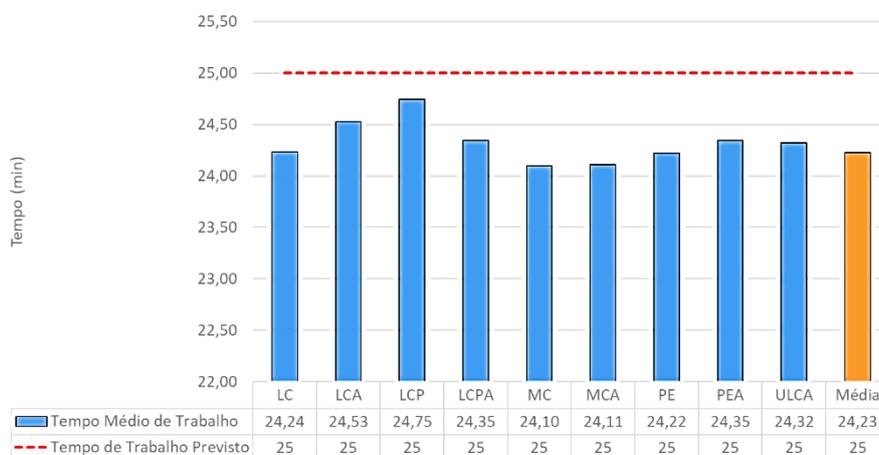
Figura 23 – Boxplot dos dados referentes ao tempo de sopro do BOF



Fonte: Elaborado pelo autor

Para o tempo de sopro do BOF, podemos observar que o mesmo segue certo padrão, porém o mesmo tem uma variação relativamente grande se mês a mês, devido ao mesmo ser afetado pelo tipo de aço que está sendo produzido, assim temos que sua variação mensal ocorre porque a carteira de produção é diferente de um mês para outro. A variação do tempo de sopro em relação ao tipo de aço pode ser observada na figura 24.

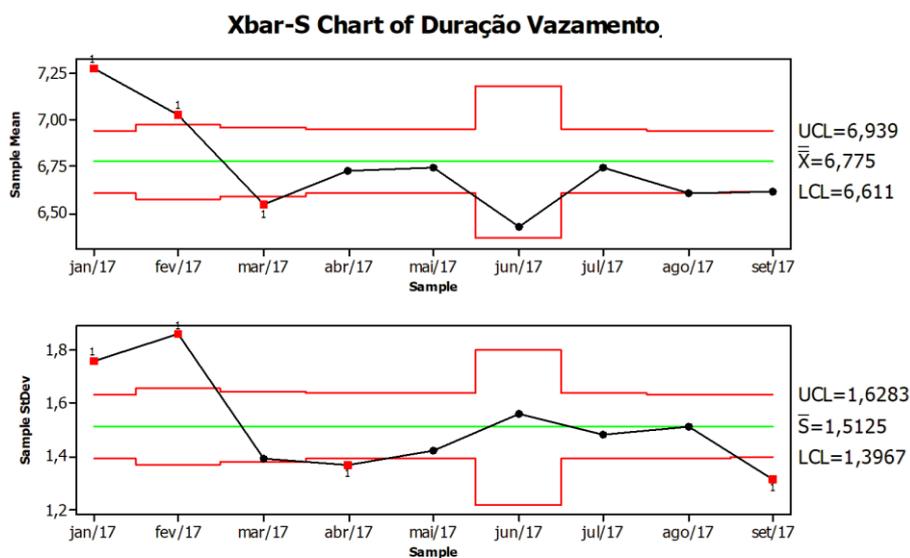
Figura 24 – Variação do tempo de sopro do BOF em relação ao tipo de família de aço.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As figuras 25 a 27 são relativas aos resultados do vazamento de aço pelo BOF.

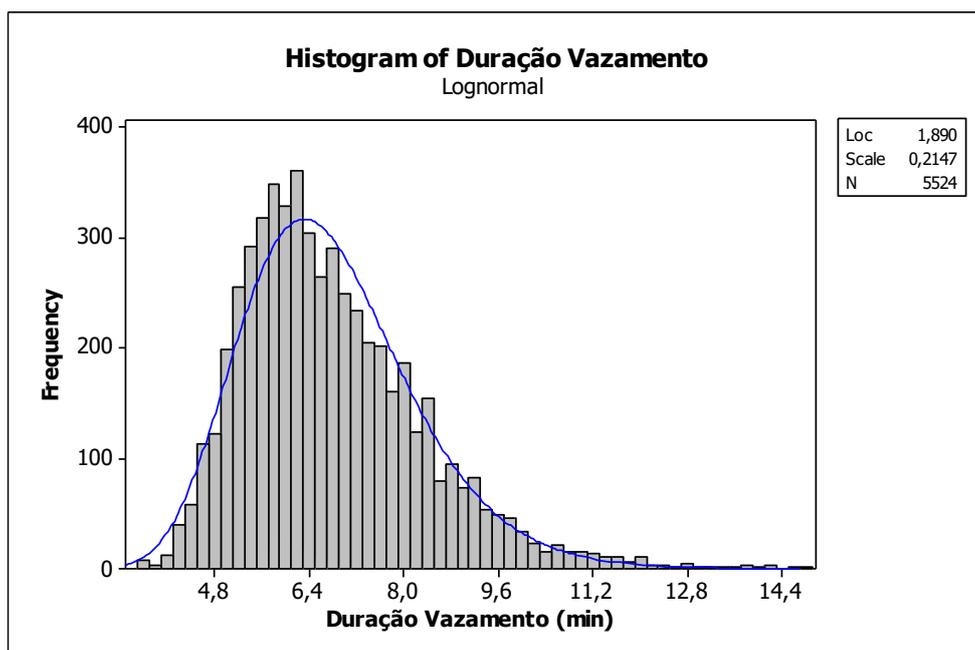
Figura 25 – Carta de controle com dados referentes a processo de vazamento do BOF



Tests performed with unequal sample sizes

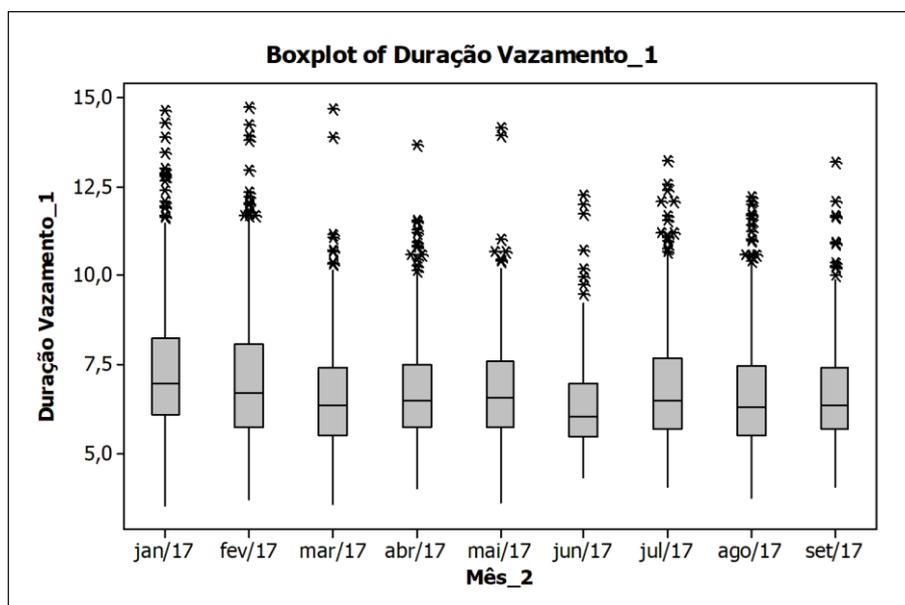
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 26 – Histograma com dados referentes a tempos de vazamento do BOF.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 27 – Boxplot's dos dados referentes a duração de vazamento do BOF.



Fonte: Elaborado pelo autor.

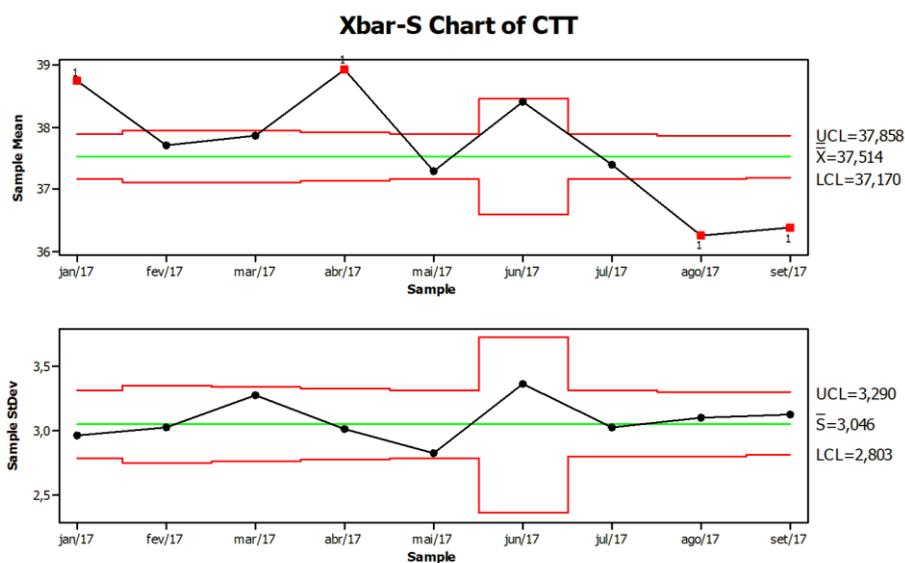
Para o tempo de vazamento percebemos que existe vários dados outliers principalmente acima de 10 minutos de processo. Estes dados podem ser traduzidos como o efeito do desgaste do furo de vazamento, que quando este está novo tem uma vazão menor de aço assim aumentando o tempo de vazamento para a panela, quando o mesmo

já está mais desgastado se tem o efeito contrário, pois há o aumento da vazão de aço, diminuindo o tempo de vazamento.

Não foram observados dados outliers inferiores devido a vida útil de um furo de vazamento limitar o tempo mínimo de vazamento.

As figuras 28 a 30 contém gráficos referentes aos dados de tempo Charge To Tap (carga a vazamento).

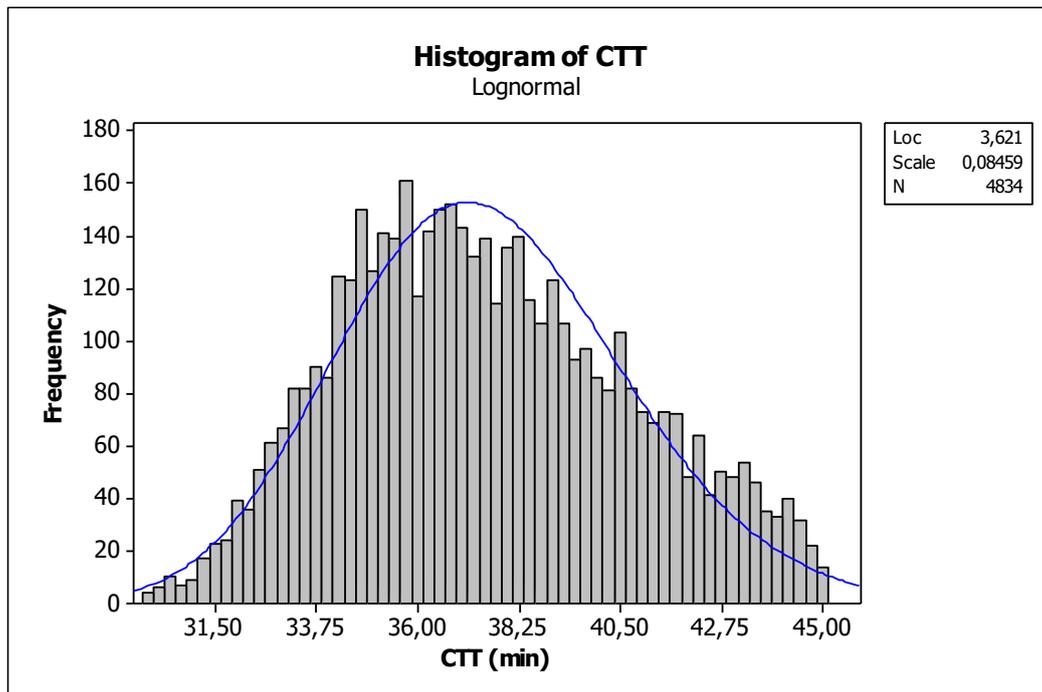
Figura 28 – Carta de controle referente aos dados de CTT do BOF.



Tests performed with unequal sample sizes

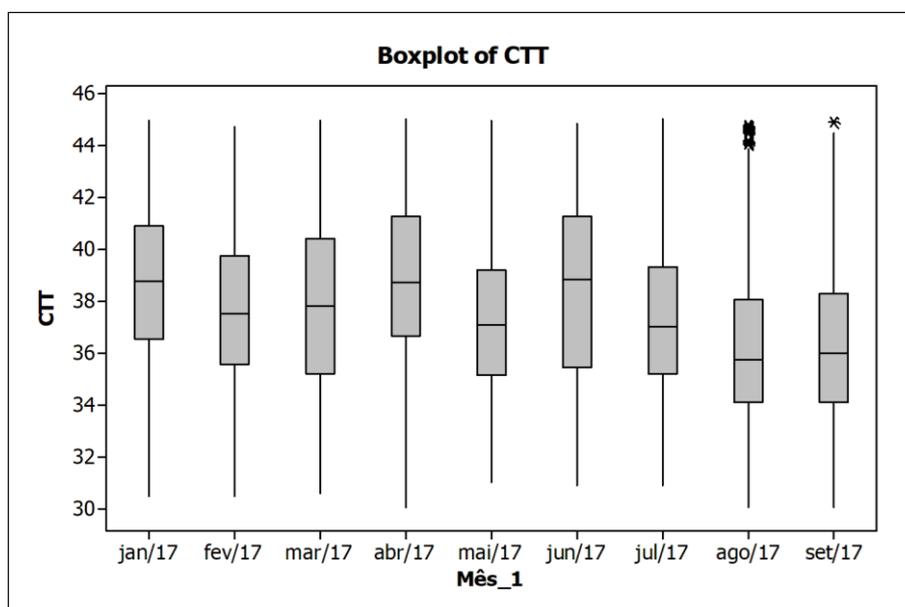
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 29 – Histograma relativo aos dados de CTT do BOF.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 30 – Boxplot dos dados de tempo de CTT



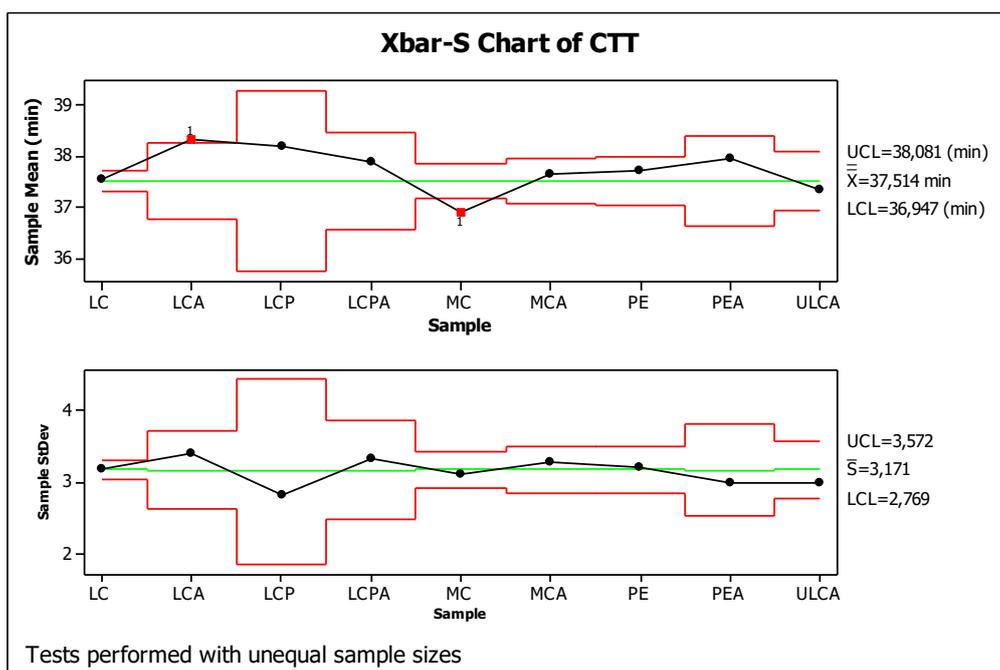
Fonte: Elaborado pelo autor.

Nos dados de CTT podemos concluir que tivemos uma queda na média de tempo, considerando o espectro de janeiro a setembro, esta queda de tempo, provavelmente foi

causada por melhorias do processo como um todo, como melhorias em tecnologias de refratário que possibilitaram a utilização do forno por mais corridas.

Em relação aos desvios padrões temos que o processo da aciaria básica a oxigênio, tem um desvio baixo, que se mantém entre os meses evidenciando que o processo como um todo é um processo bastante estável que seu produto final não tem grandes diferenças em relação as diferentes famílias de aço, que pode ser visto na figura 31.

Figura 31 – Carta de controle com dados de CTT segmentados por família.

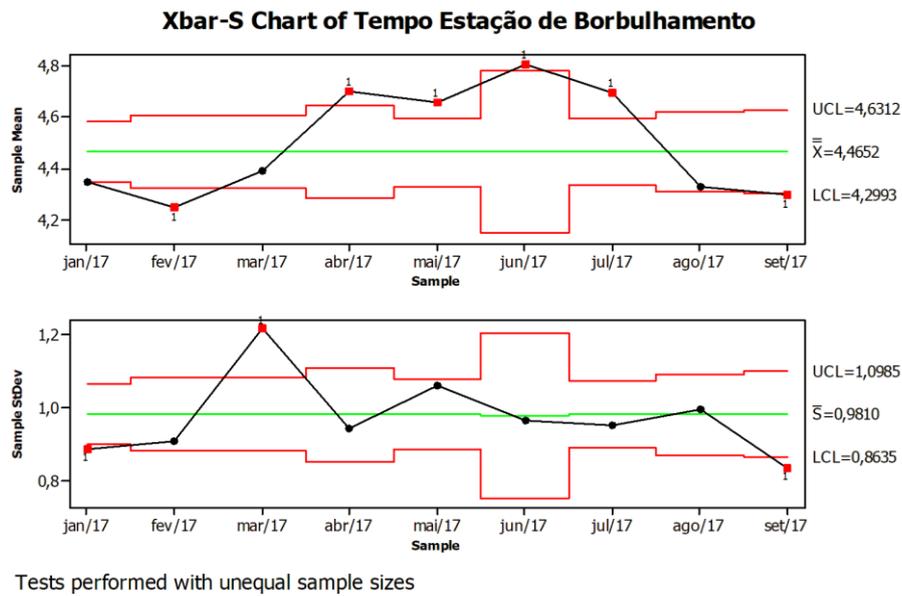


Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1.3. Processo de Borbulhamento de Argônio (BAP)

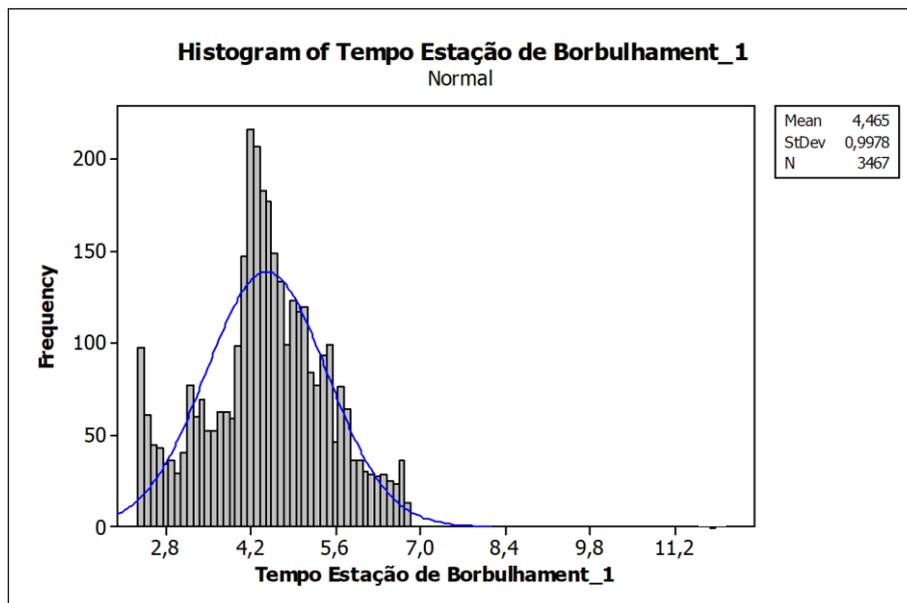
O processo de borbulhamento por argônio pertence ao refino secundário e é usado para homogeneizar temperatura e composição dos aços. As figuras 32 a 34 mostram carta de controle, histograma e boxplot para os dados de tempos de BAP, respectivamente.

Figura 32 – Carta de controle com dados referentes ao tempo de BAP.



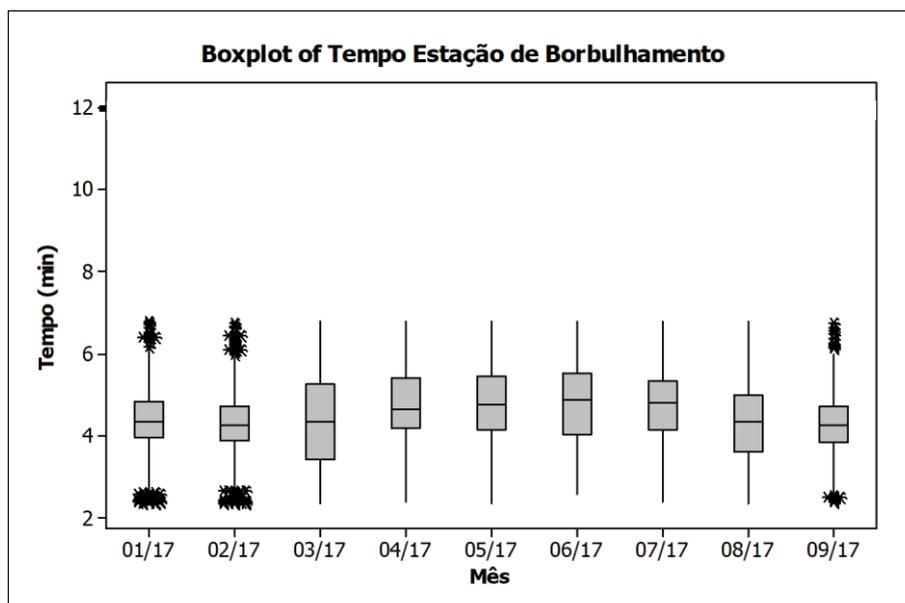
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 33 – Histograma relativo a dados de tempos de BAP.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 34 – Boxplot's relativos a dados de tempos de BAP.



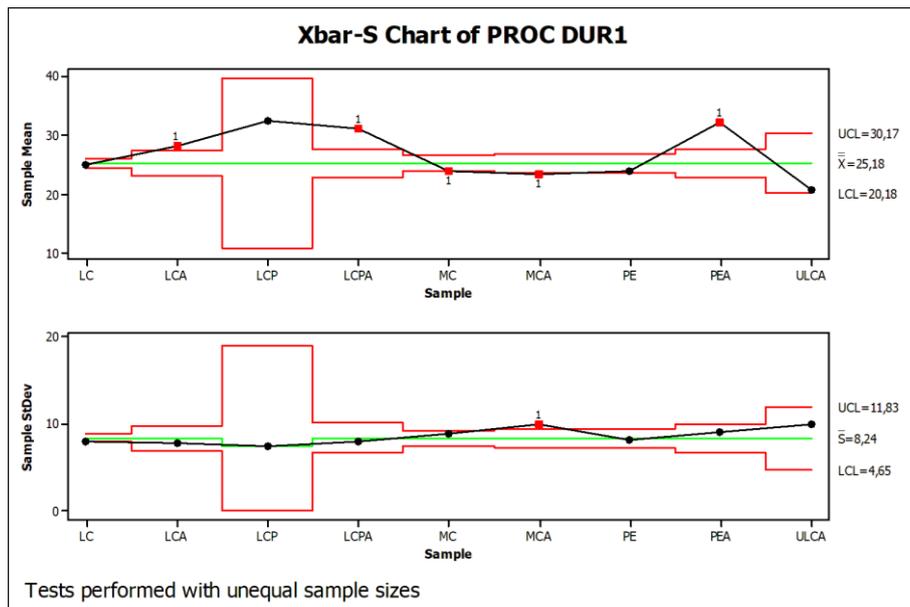
Fonte: Elaborado pelo autor.

Para os tempos de BAP, podemos perceber no histograma que temos praticamente dois picos de tempos, que estes são causados por corridas que passam de forma mais rápida pelo BAP, pois as mesmas já estão com boa temperatura e homogeneização de composição, e sendo o BAP um processo obrigatório em grande quantidade de tipos de aço, ocorrem estes processos mais rápidos.

5.1.4. Processo de Forno Panela (LF)

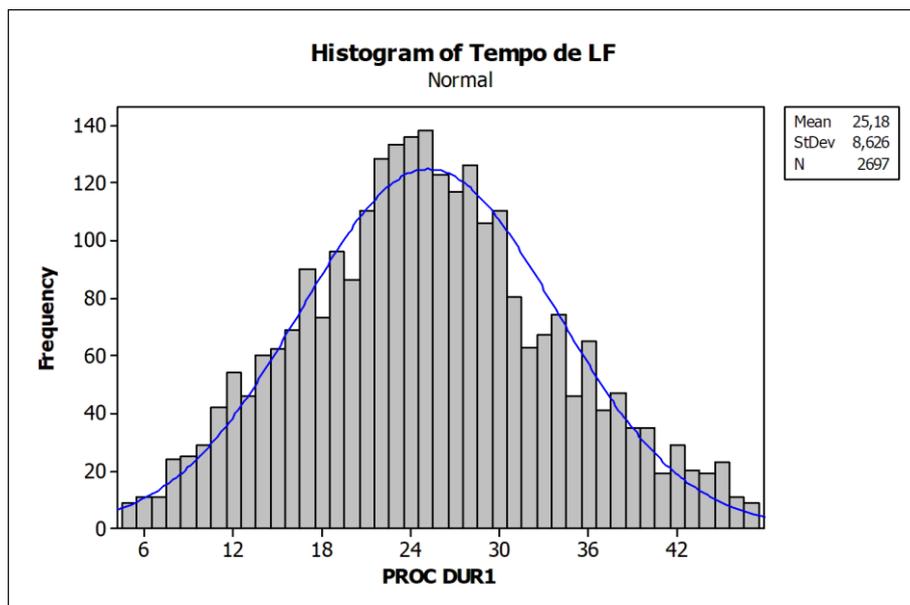
O processo de forno panela é um processo de refino secundário, onde a composição e temperatura do aço são ajustadas, como neste processo a influência das famílias de aço é bastante forte então a carta de controle foi modificada para seus grupamentos serem em relação a família de aço e não meses do ano.

Figura 35 – Carta de controle do processo de Forno Panela (LF).



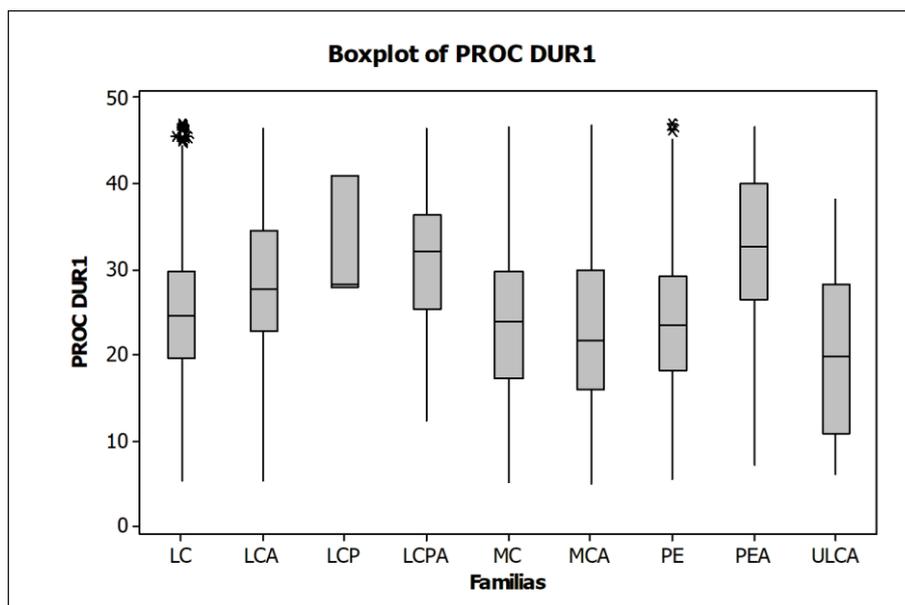
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 36 – Histograma dos dados de tempos do forno panela.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 37 – Boxplot com dados relativos aos tempos de LF.



Fonte: Elaborado pelo autor.

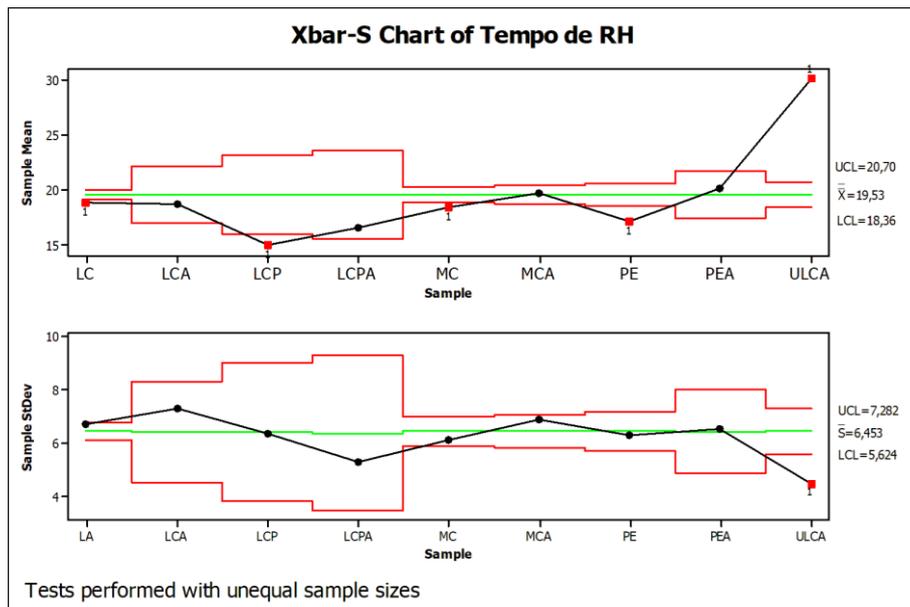
Podemos observar que o processo de LF tem certa estabilidade, no que ao desvio padrão assim evidenciando que o processo está estável, porém também podemos notar que o tempo do processo é bastante afetado pelo tipo de aço, que é constatado pela grande diferença entre os boxplots para cada família de aço, esta diferença é causada justamente por este processo ser um processos de refino secundário, que é onde se tem a regulação das composições do aço, afim de atender as especificações do cliente final.

Portanto para estabelecer um padrão para este processo se faz necessário a segmentação do mesmo em famílias para que se mais aproxime da realidade.

5.1.5. O Processo de Degaseificador à vácuo (RH)

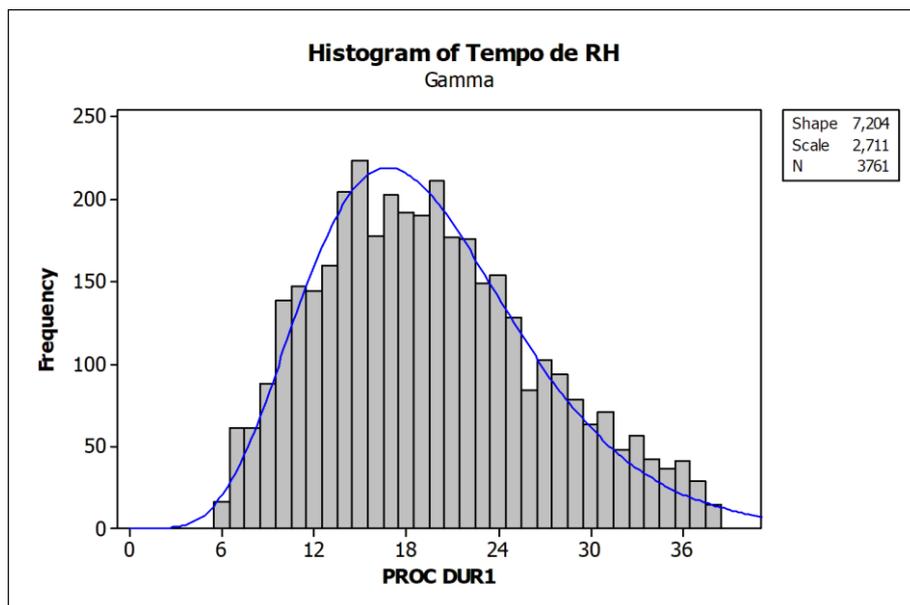
Segue os gráficos de carta de controle, histograma e boxplot para o processo de degaseificação à vácuo RH.

Figura 38 – Tempos de processo de RH segmentados por família



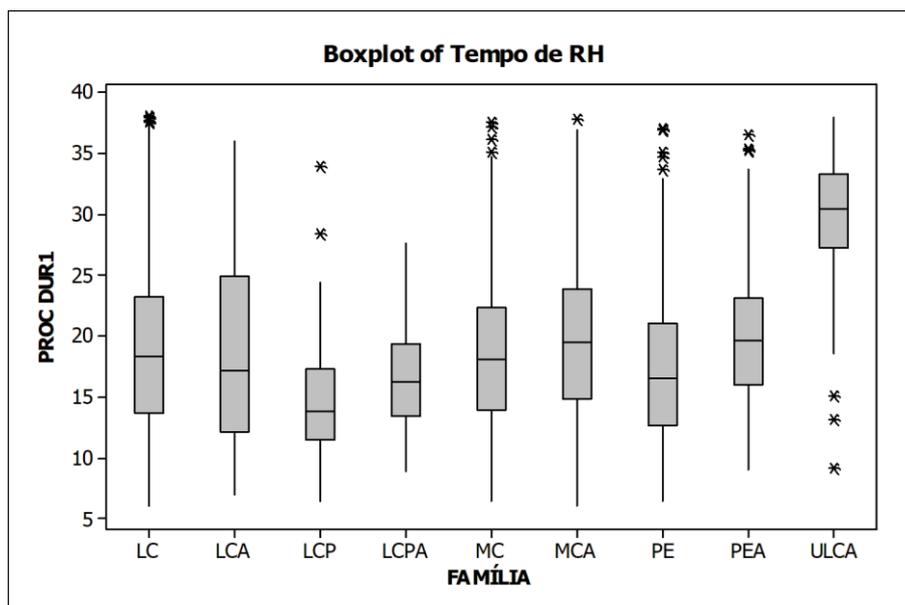
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 39 - Histograma dos dados de tempos de RH.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 40 – Boxplot's de tempos de RH.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como também observado no forno panela, o processo de RH é variável em relação ao tipo de aço produzido, e da mesma forma que o processo LF o RH tem certa estabilidade de tempo de processo em relação a desvios padrões, pois mesmo entre as famílias o processo se mantém em uma faixa aceitável de desvios.

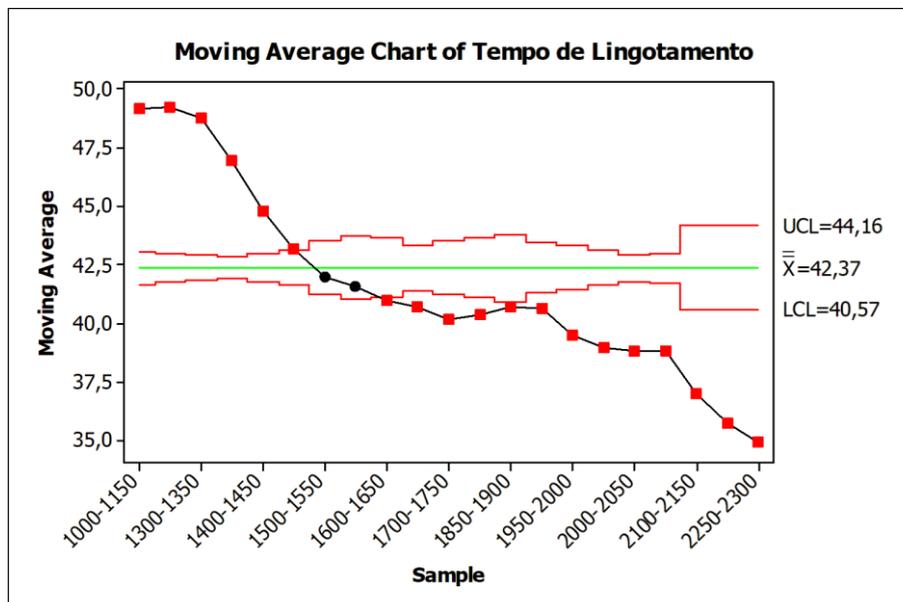
Porém em maioria dos tipos de aço não se fazem necessários o uso desta rota de forma obrigatória para a sua produção, excetuando-se a família de aços ULCA (Ultra Baixo Carbono Ligado) onde tem de se ter baixa concentração dos elementos Oxigênio, Nitrogênio e Hidrogênio, assim tornando a produção destes aços mais complexas e custosas em relação a tempo de processo, fato evidenciado pelos gráficos de carta de controle e boxplot.

5.1.6. O Processo de Lingotamento Contínuo

O processo de lingotamento contínuo é onde o aço é solidificado e transformado em placas que são cortadas e levadas ao cliente, como é um processo onde as variáveis que mais impactam no tempo são as dimensões da placa a ser produzida o tipo de aço a ser produzido, assim surgindo muitas segmentações para definições de tempos padrões de lingotamento, sendo assim a análise dos tempos de lingotamento se fez de forma diferente.

Na figura 41 temos um teste de média móvel de tempos mostrando a relação dos tempos de lingotamento com a dimensão largura.

Figura 41 - Gráfico de média móvel dos tempos de lingotamento em relação à faixa de largura.

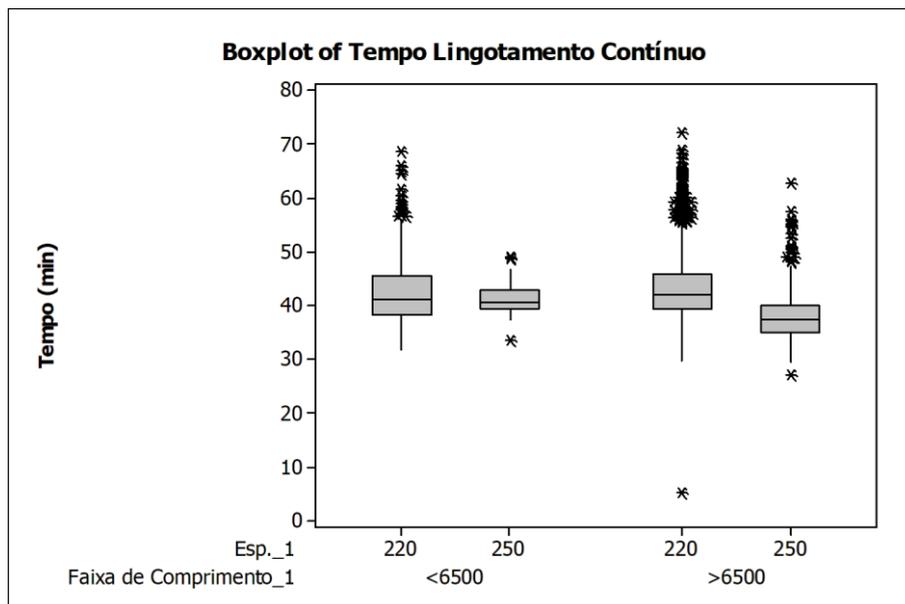


Fonte: Elaborado pelo autor.

Podemos observar que temos uma tendência de queda dos tempos com o aumento da faixa de largura, este fato sendo relacionado com o aumento da vazão do molde devido a termos maiores áreas transversais de placa. E também neste gráfico podemos notar que os limites inferior e superior de tempo médio de cada largura têm pequena variação em relação à média assim mostrando que durante o processo temos pouca variação de tempos para cada uma destas larguras.

Na figura 42, observa-se a relação entre a distribuição de tempos relacionados aos dimensionais espessura e comprimento.

Figura 42 – Boxplot's de distribuição de tempo por dimensionais de espessura e comprimento.

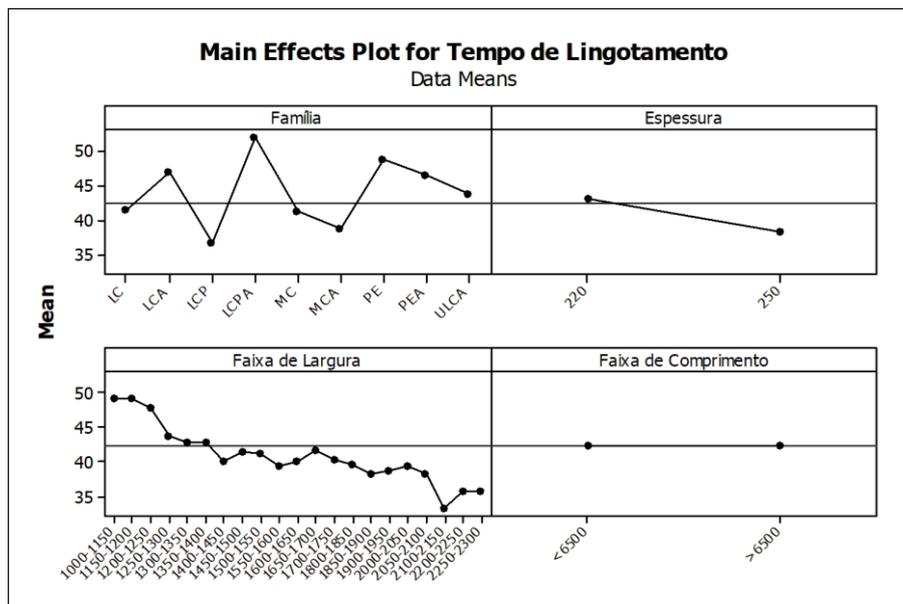


Fonte: Elaborado pelo autor

Neste gráfico podemos observar que para placas mais curtas o dimensional espessura não teve grande efeito no tempo médio de processo, porém para comprimentos maiores temos uma diminuição do tempo médio de processo, devido que em comprimentos maiores de placas a variável tempo de corte não é algo que influencia em relação a velocidade do processo assim temos que o efeito do aumento da vazão causada pelo aumento do dimensional é mais evidente em placas longas (>6500) do que em placas curtas (<6500).

Na figura 43 temos um gráfico de principais efeitos em relação a variável tempos de lingotamento, onde temos elencados os efeitos das dimensões e família de aço no tempo de lingotamento, onde temos uma redução no tempo de lingotamento para o aumento de dimensionais que aumentam a vazão de aço do molde, e temos que as famílias de aço Peritético, em média, tem tempos mais elevados de lingotamento devido aos aços peritéticos sofrerem variação de volume durante a solidificação devido a transformações de fases no ponto peritético do diagrama ferro-carbono, assim dificultando a operação do lingotamento contínuo para que não haja incidentes devido a esse efeito.

Figura 43 - Gráfico de efeitos principais das dimensões de placa e família em relação ao tempo de lingotamento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2. Balanço de Massa entre Aciaria e Alto Forno

Para realização de balanço de massa entre a aciaria foi realizada simulação de eventos discretos de um modelo de processo da aciaria descrito no anexo B, as saídas da simulação foram em números de corridas máximos para tempos distintos de processos. Na tabela 4 podemos observar as respostas para a simulação de eventos discretos.

Tabela 4 – Resultados das simulações de eventos discretos de consumo da aciaria.

BALANÇO DE MASSA 1 DIA	CORRIDAS	MASSA (T)
NUMERO DE CORRIDAS TEMPOS PREVISTOS ANTIGOS	29	8700
NUMERO DE CORRIDAS TEMPOS AJUSTADOS ATUAIS	31	9300
BALANÇO DE MASSA 1 SEMANA	CORRIDAS	MASSA (T)
NUMERO DE CORRIDAS TEMPOS PREVISTOS ANTIGOS	203	60900
NUMERO DE CORRIDAS TEMPOS AJUSTADOS ATUAIS	217	65100
BALANÇO DE MASSA 1 MÊS	CORRIDAS	MASSA (T)
NUMERO DE CORRIDAS TEMPOS PREVISTOS ANTIGOS	870	261000
NUMERO DE CORRIDAS TEMPOS AJUSTADOS ATUAIS	930	279000

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para as entradas do balanço de massa temos a produção do alto forno para períodos determinados de tempo, como o processo de alto forno é um processo contínuo então temos na tabela 4 os resultados de produção do alto-forno.

Tabela 5 – Produção diária do alto-forno em relação aos tempos considerados na análise.

PRODUÇÃO DIÁRIA (MÁXIMA) DO ALTO FORNO	
volume útil (m ³)	3800
Produtividade (t/dia/m ³)	2,5
massa produzida em um dia	9500
PRODUÇÃO SEMANAL (MÁXIMA) DO ALTO FORNO	
volume útil (m ³)	3800
produtividade (t/dia/m ³)	2,5
tempo de produção (dias)	7
massa produzida em um dia (t)	66500
PRODUÇÃO MENSAL (MÁXIMA) DO ALTO FORNO	
volume útil (m ³)	3800
produtividade (t/dia/m ³)	2,5
tempo de produção (dias)	30
massa produzida em um dia (t)	285000

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com os dados obtidos podemos realizar o balanço de massa, de acordo com a equação: *Produção Alto Forno – Consumo Aciaria = Acumulado*. Sendo o valor acumulado entre a produção do alto forno e o consumo da aciaria como variável de controle para comparação entre os dois padrões de tempos, os padrões antigos de tempos e os padrões novos ajustados. A tabela 5 representa os resultados do balanço.

Tabela 6 – Resultados de Balanço de Massa.

Período de Tempo	BALANÇO DE MASSA (Padrão Antigo)			BALANÇO DE MASSA (Padrão Novo) (t)			Diferença Δ
	Entrada (t)	Saída (t)	Acumulado (t)	Entrada (t)	Saída (t)	Acumulado (t)	
1 dia	9500	8700	800	9500	9300	200	-75%
1 Semana	66500	60900	5600	66500	65100	1400	-75%
1 Mês	285000	261000	24000	285000	279000	6000	-75%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Podemos perceber com os resultados do balanço de massa que temos uma diminuição em cerca de 75% do acumulado de entre a produção do alto forno e o consumo da aciaria. Então tendo uma mudança nos tempos padrões podemos obter uma maior previsibilidade em relação aos tempos de processo, assim tendo uma maior aderência entre os tempos previstos e os tempos praticados na produção.

Considerando um preço do ferro gusa de US\$ 300,00 então tem-se que um padrão difere do outro por permitir o ganho de US\$ 60000,00 a mais que o outro por dia de trabalho.

6. CONCLUSÃO

Com a realização deste trabalho foi possível concluir que, na análise de tempos, temos processos que em sua maioria fogem de um comportamento normal, em relação aos seus dados. Foi possível notar que a maioria dos processos de movimentação tem grande quantidade dados outliers oriundos dos tempos de espera para o processo e não somente dos tempos de movimentação.

Para os tempos de processo podemos observar que os comportamentos dos dados de tempos de processo são de distribuições lognormal e gama. Estas distribuições normalmente são utilizadas para descrever processos que não podem ter dados negativos e são utilizadas para processos produtivos que não tem uma cinética linear, como os processos metalúrgicos.

Uma relação mais forte entre os tempos de processo e famílias de aço pode ser notada a partir dos processos de refino secundário, onde o fator metalúrgico tem maior impacto no tempo, devido a própria natureza dos processos, onde temos que para aços mais complexos de serem feitos pelo processo tem um tempo maior de processo.

Para o processo do lingotamento contínuo temos uma dependência maior do tempo de processos em relação aos dimensionais do que às famílias de aço, devido a diferenças causadas na vazão no molde. Onde para maiores valores de espessura e largura temos um menor tempo de lingotamento.

Para a variável de comprimento temos uma menor diferença entre tempos de processo, porém para placas curtas pode surgir uma limitação em relação a velocidade de corte das placas, que limita a velocidade de lingotamento, assim aumentando o tempo de processo.

A influência das famílias de aço surge mais proeminente nas famílias peritéticas, devido a este tipo de aço sofrer transformações de fase durante sua solidificação que modificam o volume do aço e, portanto, aumentando a dificuldade de lingotamento e então o lingotamento deve ser realizado em tempos maiores. A família LC tem um tempo

menor de lingotamento devido a esta família de aços ter maior perda térmica em relação aos outros tipos de aço, assim há a necessidade de aumento de velocidade do lingotamento.

Para o balanço de massa se pode concluir que o modelo de tempo padrões antigo utilizado para os processos da aciaria foi preconizado para um limite de consumo de aço menor que o possível atualmente, fato corroborado com a simulação de eventos discretos que se mostrou uma ferramenta poderosa na análise de sistemas produtivos permitindo a realização de comparação entre padrões de tempos planejados sem o comprometimento da produção para testes.

Assim foi mostrado que atualmente a aciaria tem uma capacidade maior de consumo de ferro gusa, assim mostrando a necessidade de revisão dos tempos padrões de forma que o modelo de previsão de tempos de corridas e se mostra defasado, e após feitas as análises estatísticas dos tempos de processo se tem dados necessários para a realização de atualização do modelo de previsão dos tempos de processo da aciaria de forma mais realística.

7. TRABALHOS FUTUROS

Trabalhos futuros podem surgir desta análise realizada, portanto como sugestão para os próximos passos deste presente trabalho podemos citar:

- a) A criação de um modelo de simulação da aciaria com maior verossimilhança com o processo atual. Sendo um modelo que considere as movimentações de carga por ponte rolante, a variação dos tempos de processo para cada fator determinante (família de aço, dimensionais, restrições de rota de processo, etc.), o transporte de gusa do alto forno.
- b) A análise dos tempos reais obtidos pelo sistema em comparação a tempos reais medidos na prática, sendo assim uma avaliação da eficiência do sistema de informação de produção da usina.
- c) Criação de modelo de balanço de massa da aciaria tendo menos restrições e simplificações, portanto aumentando a complexidade do mesmo (considerar uso de fundentes, sucata e ferro-ligas no processo).
- d) Criação de aplicação que integre análise estatística dos dados de tempos de processo a programação da produção assim criando uma programação de quando cada processo deve acontecer de forma otimizada e online.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, P. G. O. **Balanço de Massa Integrado do Ferro Gusa entre Altos-Fornos e Aciaria da Aperam South America**. Belo Horizonte : UFMG, v. Dissertação de Mestrado, 2016.
- ALMEIDA, C. F. Desgaseificadores a Vácuo. **Aciaria News**, 2012. Disponível em: <<http://aciarianews.blogspot.com.br/2012/12/desgaseificadores-vacu-rh.html>>. Acesso em: 12 out. 2017.
- ATHAYDE JUNIOR, J. D. G. **Otimização da Injeção do Gás Inerte no Convertedor MRP-L**. Belo Horizonte: UFMG, v. Dissertação (Mestrado), 2005.
- BABICH, A.; SENK, D.; GUDENAU, H. W. **Ironmaking**. Aachen: Verlag Mainz, 2008.
- BRESSAN, G. **Modelagem e Simulação de Sistemas Computacionais**. São Paulo: USP, 2002.
- EUROTHERM BY SCHNEIDER ELETRIC. Sinterização. **Site da Eurotherm by Schneider Eletric**, 2008. Disponível em: <http://www.eurothermltda.com.br/tratamentotermico/aplicacoes_sint.htm>. Acesso em: 13 Outubro 2017.
- FELÍCIO, E. A. **Estudo da Implementação da Produção Enxuta para Redução de Resíduos em Empresa do Ramo Siderúrgico**. Juiz de Fora: UFJF, 2012.
- GILSON, L. **Planejamento e Controle da Produção: Gestão de Demandas e Estoques**. Ponta Grossa : UTFPR, v. Monografia , 2012.
- MACHADO, A. S. **Quantificação do Teor de Char e Finos de Coque no Pó de Balão do Alto-Forno por Difração de Raios-X**. Porto Alegre: UFRGS, 2011.
- MORABICITO NETO, R.; PUREZA, V. Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações. **Modelagem e Simulação**, Rio de Janeiro, 2012. 170-196.
- MOURÃO, M. B. et al. **Introdução a Siderurgia**. 1. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2011.

NASCIMENTO, F. C. G.; BALDAN, R. D. L.; DUBKE, A. F. **Análise de Processo Para Repotenciamento de Equipamento**: Estudo de Caso de uma Siderúrgica de Grande Porte. Encontro Nacional de Engenharia de Produção. São Carlos : ENEGEP. 2010. p. 1-14.

NATIONAL INSTRUMENTS CORPORATION. Desenvolvimento de sistema para medição da oscilação do molde de lingotamento contínuo nas aciarias da Usiminas. **Site da National Instruments Brasil**, 2017. Disponível em: <<http://sine.ni.com/cs/app/doc/p/id/cs-16324#prettyPhoto>>. Acesso em: 13 out. 2017.

PEREIRA, T. F. et al. **Aplicação da Simulação a Eventos Discretos em um Ambiente Hospitalar Visando a Melhoria do Atendimento**. Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Natal: SBPO. 2013. p. 2826-2837.

PEREIRA, T. F.; MONTEVECHI, J. A. B. A Simulação de Eventos Discretos Apoiada Pela TI na Gestão do Conhecimento: Um Estudo Bibliométrico. **E-Locução**, Extrema, n. 9, p. 6-31, 2016.

RIGGS, J. L. *Production Systems: Planning, Analysis and Control*. [S.l.]: John Wiley and Sons, Inc, 1970. p. 4-5.

RUSSOMANO, V. H. **Planejamento e Acompanhamento da Produção**. 3. ed. São Paulo: Biblioteca Pioneira de Administração e Negócios, 1986.

SICETEL. **Análise do Mercado do Aço**. Sindicato Nacional da Indústria de Trefilação e Laminação de Metais Ferrosos. São Paulo, p. 32. 2016.

SILVA, A. C. **Modelamento e Simulação de Processos**. Catalão: UFG, 2013.

SILVA, M. A. **Avaliação da Utilização de Agentes Dessulfurantes a Base de Carbureto de Cálcio Contendo Sodalita em Substituição à Fluorita em Carro Torpedo**. Belo Horizonte: UFMG, v. Dissertação (Mestrado), 2012.

STRACK, J. **GPSS-Modelagem E Simulação de Sistemas**. Rio de Janeiro: LTC, 1984.

TAKAHASHI, M.; HONGU, A.; HONDA, M. Recent Advance in Electric Arc Furnaces for Steelmaking. **Nippon Steel Technical Report**, Kansai, 1 Abril 1994. 58-64.

TUBINO, D. F. **Manual de Planejamento e Controle de Produção**. São Paulo: Atlas, 2000.

WORLD STEEL ASSOCIATION. Global Interactive Map. **Site da World Steel Association**, 2017. Disponível em: <<https://www.worldsteel.org/steel-by-topic/statistics/global-map.html>>. Acesso em: 22 nov. 2017.

WORLD STEEL ASSOCIATION. Secondary Steelmaking Operations. **Site da Steel University**, 2017. Disponível em: <<https://steeluniversity.org/lessons/210-secondary-steelmaking-operations/>>. Acesso em: 12 out. 2017.

ANEXO A – TABELA COM TEMPOS DE LINGOTAMENTO

<i>Espessura (mm)</i>	<i>Família</i>	<i>Tempo de Lingotamento (min)</i>
220	LC	40,80
	LCA	43,33
	LCP	43,33
	LCPA	43,33
	MC	43,58
	MCA	44,12
	PE	43,73
	PEA	44,77
	ULCA	43,30
	250	LC
LCA		41,05
LCP		40,75
LCPA		40,75
MC		42,65
MCA		42,65
PE		44,61
PEA		44,61
ULCA		41,05

ANEXO B – MODELO UTILIZADO PARA SIMULAÇÃO EM EVENTOS DISCRETOS

