FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
DE CONSELHEIRO LAFAIETE

ENGENHARIA MECÂNICA

GUSTAVO LUIZ XAVIER

AUMENTO DO COMPRIMENTO DAS PLACAS, VISANDO UMA MAIOR UTILIZAÇÃO DA AREA ÚTIL DO FORNO DE REAQUECIMENTO

Um estudo de caso para se aumentar a produção

Conselheiro Lafaiete
2020

GUSTAVO LUIZ XAVIER

AUMENTO DO COMPRIMENTO DAS PLACAS, VISANDO UMA MAIOR UTILIZAÇÃO DA AREA ÚTIL DO FORNO DE REAQUECIMENTO

Um estudo de caso para se aumentar a produção

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof(a). Esp. Nilo Antunes Ferreira

Conselheiro Lafaiete
2020

GUSTAVO LUIZ XAVIER

Aumento do comprimento das Placas, visando uma maior utilização da área útil do Forno de Reaquecimento: Um estudo de caso para se aumentar a produção

.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovado em ____/____/_____

BANCA EXAMINADORA

_____

Prof. Dr. MSc. Me. Esp. MBA Nome – Orientador(a) – FUPAC

_____

Prof. Dr. MSc. Me. Esp. MBA Nome – Avaliador(a) – FUPAC

_____

Prof. Dr. MSc. Me. Esp. MBA Nome – Avaliador(a) – FUPAC

Conselheiro Lafaiete
2020

A meus amados e eternos pais, José e Maria (*in memoriam*), pelo incentivo que me deram para que eu me tornasse que eu sou.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo que me tem oferecido e abençoado;

À minha esposa Fernanda Cristina Ribeiro Xavier, pelo amor e carinho durante os momentos difíceis;

A meus familiares, pelo apoio e presença;

À UNIPAC e aos professores, pela competência;

Ao professor Nilo Antunes Ferreira, pela orientação;

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para que eu alcançasse essa meta.

“A mercadoria é vendida exatamente pelo que vale, ou pelo o que ela custa realmente à pessoa eu a coloca no mercado”

Adam Smith

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplo de movimento da viga móvel..... 17
Figura 2: Isolamento de uma abóbada de um forno 19
Figura 3: Revestimento de uma parede lateral..... 20
Figura 4: Detalhamento de uma abóboda de um forno 20
Figura 5: Revestimento de uma parede lateral 21
Figura 6: Vista geral de um forno 22
Figura 7: Detalhes da seção transversal de um *skid*..... 22
Figura 8: Recuperador do tipo contraventamento 23
Figura 9: Tipos de canal de fumaça 24
Figura 10: Esquema de uma estação de mistura..... 24
Figura 11: Exemplo de um queimador 25
Figura12: Conjunto isolante de uma abóboda 30
Figura 13: Revestimento de uma parede lateral..... 30
Figura 14: Posicionamento das placas carregadas no forno..... 32
Figura 15: Linha de passe..... 36
Figura 16: Parede lateral do forno danificada..... 37
Figura 17: Parede lateral do forno modificada 37
Figura 18:Simulção de carregamento da placa de 8.000mm de comprimento. 38
Figura 19: Primeira bobina feita com placas de 8.000mm de comprimento..... 41

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Desalinhamento do lado leste 33
Gráfico 2 – Desalinhamento do lado oeste 33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados técnicos com informações sobre a capacidade de carga do forno..... 34
Tabela 2- Alteração do dimensional das placas com comprimento de 8.000m 35
Tabela3- Aumento da ocupação do forno..... 38
Tabela 4- valor médio das placas de 7.500mm..... 39
Tabela 5- valor médio das placas de 8.000mm..... 40
Tabela 6- Rendimento metálico..... 40

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

^{o}C – Grau Celsius

APM – Análise Preliminar de Melhoria

CH_4- METANO

COG – Gás de coqueria

FIG – Figura

FUPAC – Faculdade Presidente Antônio Carlos

GAF – Gás do alto forno

GN – Gás natural

GRAF – Gráfico

Kcal – quilocaloria

Kg - quilograma

Kwh – quilowatts por hora

LAM - Laminação

LPL- laminação de planos

M^3- Metro cúbico

Mcal – Mega caloria

MG – Minas Gerais

MgO –Óxido de Magnésio

MM – milímetro

N^o- número

SEEDSIDER – Sindicato dos Empregados e Empresas Distribuidoras de Produtos Siderúrgicos do Estado de Minas Gerais

T – Tonelada

TAB – Tabela

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

RESUMO

A alta competitividade no setor siderúrgico requer que as empresas busquem melhorias em seus processos tornando-os mais lucrativos com o menor custo. O presente estudo foi realizado em uma empresa situada na região de Ouro Branco-MG, na gerência de laminações de planos no Forno de Reaquecimento da Linha de Tiras a quente. O objetivo dessa pesquisa é aumentar a capacidade produtiva do forno de reaquecimento através do aumento no comprimento das placas. Foram identificadas as restrições físicas, apresentados as melhorias realizadas e teste e avaliados os resultados. Para isto, foi utilizada como metodologia o estudo de caso pelos meios exploratório, bibliográfico, documental e descritivo, sendo classificada como documental e intervencionista. Através desse estudo, destaca-se a importância da engenharia que teve um papel importante para resolução de problemas, realização de melhorias, especificação e obtenção dos resultados que representaram o aumento da produtividade do forno de reaquecimento e rendimento metálico no produto acabado.

Palavras-chave: Forno de Reaquecimento. Produção. Comprimento da Placa. Siderurgia.

ABSTRACT

The high competitive situation of steelmaking sector has asked the enterprises get improvings into their processes in order to become them more lucrative as well as with low expenses. This study was carried out into one enterprise placed in Ouro Branco-MG region, in the management of flat rolling into Furnace of Reheat from Line of Hot lines. The purpose of this Research has been increasing the productive capacity on the plate length. Physical restrictions were identified as well as the made improvings and tests were presented. The results were evaluated too. To it, case study was chosen as methodology applied to the study using exploratory, bibliographical, documental, and descriptive ways. The research is considered like interventionist too. Through this study, the importance of engineering is evidenced once it had essential role to the solution of problems, improvings achievement, specifications, and getting of results which represented the increasing of the wish productivity of the reheat furnace and metallic yield on finished product.

Key words: Reheat furnace; Production; Plate Length. Steelmaking.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 14

1.1 Objetivos 14

1.1.1 Objetivo Geral 14

1.1.2 Objetivos Específicos 15

1.2 Justificativa 15

2 REVISÃO DA LITERATURA 16

2.1 Forno de reaquecimento 16

2.2 Forno de Reaquecimento Tipo Vigas Móveis 16

2.3 Combustíveis 17

2.4 Transferência de calor 18

2.4.1 Condução 18

2.4.2 Convecção 19

2.4.3 Radiação 19

2.5 Isolamento térmico 19

2.6 Componentes de um Forno 20

2.6.1 Abóbodas 20

2.6.2 Paredes Laterais 21

2.6.3 Soleiras 21

2.6.4 Câmaras de combustão 21

2.6.5 Estrutura metálica 21

2.6.6 Sistema de skids 22

2.6.7 Recuperadores 23

2.6.8 Canais de fumaça 23

2.6.9 Estação misturadora de gás 24

2.6.10 Queimadores 25

2.7 Técnicas para redução de consumo de energia 25

3 METODOLOGIA da pesquisa 27 3.1

Delineamento da Pesquisa 27 3.2

Característica da Empresa 27 3.3

Coleta e Análise dos Dados 28 4

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS 29 **4.1**

Forno de Reaquecimento 29
4.1.1 Isolamento térmico..... 30
4.2 Oportunidade de melhoria visando uma maior utilização da área útil do forno de reaquecimento.....31
4.2.1 Identificação do problema 32
4.2.2 Plano de ação..... 35
4.2.2.1 Redimensionamento da placa 35
4.2.2.2 Redução na espessura da parede lateral do forno..... 35
4.2.2.3 Ajuste nos aventais da mesa para carregamento..... 38
4.3 Resultado obtidos 38
4.3.1 Primeira placa de 8.000mm de comprimento laminada..... 40
5 CONCLUSÕES 42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 43

1 INTRODUÇÃO

O setor siderúrgico mal se recuperou de uma crise e já enfrenta um cenário de incertezas causado por guerras comerciais e por um conjunto de fatores iniciados com a China no ano 2000. Por meio de um plano para se tornar o principal fornecedor de aço do mundo, esse país, em 2018, produziu um recorde de 1 bilhão de toneladas de aço, o que correspondeu a 51% da produção mundial. Em 2019, a indústria siderúrgica global estava com uma capacidade ociosa de 500 milhões de toneladas, o que causou uma grande redução nos preços do produto, impactando diretamente o Brasil, que passou por uma crise local no período entre 2013 e 2018 (ESTIGARRIBIA ,2019).

Em 2020, os impactos causados pela crise promovida pela covid19 dificultam ainda mais a recuperação do setor siderúrgico. Para esse ano, o cenário aponta uma queda de 20% no consumo de aço (ALERIGI, 2020).

Em vista do que ocorre no momento atual, as empresas trabalham para a melhoria de seus processos, reduzindo os custos de produção. Segundo Teixeira (2007), o forno de reaquecimento é responsável por 15% do consumo total de combustível em uma usina siderúrgica integrada. Dessa forma, tornam-se justificáveis os esforços para a redução do consumo energético nesses equipamentos. Dentre as medidas tomadas, destacam-se a redução das espessuras das paredes laterais e o aumento do comprimento das placas, utilizando-se melhor a área útil do forno e aumentando-se a capacidade de produção.

1.1 Objetivos

1.1.1 *Objetivo geral*

Aumentar a capacidade produtiva no forno de reaquecimento da laminação de planos, através de melhorias no isolamento térmico, possibilitando o aumento no comprimento das placas a serem enfornadas.

1.1.2 ***Objetivos Específicos***

I. Identificar as restrições físicas que impedem o carregamento de placas com comprimento superior ao projetado;
II. Apresentar as melhorias realizadas para o aumento no comprimento das placas a serem enfornadas;
III. Avaliar o resultado obtido com o aumento no comprimento da placa.

1.2 Justificativa

As empresas buscam, através de seus processos já existentes, melhorias que podem contribuir para a redução de custos e aumento da produção. Em uma laminação de planos, o forno de reaquecimento representa uma das partes mais importantes do processo como também com o maior custo de operação.

Esse estudo visa apresentar a análise fundamentada nas melhorias realizadas no forno de reaquecimento de placas em uma laminação de planos de uma siderúrgica localizada na região do Alto Paraopeba. As alterações realizadas na espessura da parede interna geram um ganho na área útil do forno, possibilitando um aumento no comprimento das placas a serem enfornadas. Além disso, as placas com comprimento a mais têm o peso maior, representando uma economia na energia de reaquecimento visto que são inversamente proporcionais à produção.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo, apresentam-se os conceitos de forno de reaquecimento, forno de reaquecimento do tipo vigas móveis, combustíveis, transferência de calor, isolamento térmico, componentes de um forno e técnicas para redução do consumo de energia.

2.1 Forno de Reaquecimento

O processo de laminação “a quente” deve ser precedido de um forno de reaquecimento. Mesmo nos casos de carga quente, o material inicial deve ser sempre aquecido até a temperatura ideal de laminação (SILVA e PANNONI, 2010).

O termo “reaquecimento” indica que o material já esteve quente e, logo depois do lingotamento, esfriou (parcial ou totalmente) sendo necessário ser reaquecido.

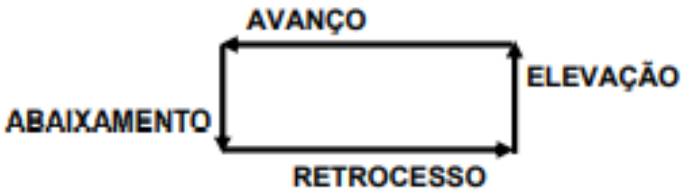
Os fornos para ou de laminação são do tipo carga móvel ou contínuo, ou seja, podem ser caracterizados como trocadores de calor tipo contracorrente onde o material (o aço) se desloca da zona de carga (entrada) para a zona de descarga e o calor (a energia) se movimenta da descarga (saída) para a carga.

2.2 Forno de Reaquecimento Tipo Vigas Móveis

Nesse equipamento instalado em uma grande empresa siderúrgica de nossa região, o material é transportado desde o lado da carga até a o da descarga por movimentos sucessivos de “levanta-avança-baixa”. Quando esse movimento é obtido por vigas ou tubos refrigerados e isolados, trata-se de um forno tipo “viga móvel” (*walking-beam*).

O movimento desse forno segue uma trajetória retangular com um passo (ou avanço) maior do que a largura da seção transversal do material e, assim, consegue obter um espaço entre as duas peças. Esses movimentos são lentos e suaves para reduzirem ao mínimo o impacto do aço frio contra o refratário quente. A FIG.1 ilustra essa trajetória. Esse arranjo tem a vantagem de esvaziar o forno simplesmente sem a necessidade de se carregarem novas peças.

Figura 1: Exemplo de movimento da viga móvel.



Fonte: Dados da pesquisa (2020)

2.3 Combustíveis

O setor siderúrgico conta com a disponibilidade de gases resultantes de seus diferentes processos como coqueria e alto forno (BALESTIERI 2013); também são utilizados o combustível de origem fóssil, o gás natural que vem de matéria orgânica, ou seja, de restos de terra e de plantas aquáticas, de animais e de micro-organismos que ficavam presos nos sedimentos à medida em que se depositavam e se transformavam durante longos períodos até sua forma atual (MOKHATAB, POE 2014).

Gás natural (GN), Gás do alto forno (GA) e gás de coqueria (COG) são os gases mais utilizados nos fornos de reaquecimento segundo.

O gás natural, mais amplamente utilizado nos fornos de reaquecimento, possui as seguintes características:

- Requer apenas 5% de excesso de ar para a queima ótima;
- Possui composição química variável, de poço para poço, mas, em geral, é de 90% CH_4 (metano);
- Pode apresentar variação de 8.400 a 9.100 kcal/Nm3 em seu PCI;
- Tende a se acumular nas partes altas, porque é mais leve do que o ar, , mas também tende a se dissipar com facilidade;
- Deixa resíduos combustíveis e explosivos, com chama rica (falta de ar);
- Requer a temperatura de 720 ºC, como a segura de autoignição.

O GAF é bastante usado juntamente com COG ou GC, por ter PCI muito baixo. Suas principais características e propriedades são as seguintes:

- Densidade: mais pesado que o ar (1,33);
- Poder calorífico relativamente baixo (755 Kcal / m^3);
- Inodoro, incolor e insípido;
- Alto teor de monóxido de carbono;
- Sintomas de intoxicação imediatos.

As principais características do COG são:

- Densidade mais leve que o ar - 0,45;
- Poder Calorífico bastante alto - 4.400 Kcal/m³;
- Altamente explosivo - Hidrogênio + Metano;
- Altamente tóxico - Teor de produtos carboquímicos;
- Cheiro característico - devido ao alcatrão;
- Sintomas de intoxicação a longo prazo.

2.4 Transferência de calor

Transferência de calor (ou calor) é a energia térmica em trânsito devido a uma diferença de temperaturas no espaço (INCROPERA 2008).

Sempre que existir uma diferença de temperatura em um meio ou entre meios, haverá necessidade de transferência de calor (INCROPERA 2008).

Para que as placas carregadas nos fornos de reaquecimento sejam aquecidas, entre a temperatura de carregamento até a temperatura de laminação, é necessário que uma grande quantidade de calor lhes seja transferida. A transferência de calor pode ser feita pelos três mecanismos expostos a seguir (ÇENGEL *et al*, 2012).

2.4.1 Condução

Condução é a transferência de energia das partículas mais energéticas de uma substância para partículas vizinhas adjacentes menos energéticas como resultado da interação entre elas. A condução pode ocorrer em sólidos, líquidos ou gases (ÇENGEL *et al*, 2012).

Transferência de calor por condução é a passagem de calor através do material que está sendo aquecido, nesse caso entre a superfície quente e o centro da placa.

2.4.2 Convecção

Convecção é o modo de transferência de energia entre a superfície sólida e a liquida ou gás adjacente, que está em movimento e que envolve os combinados de condução e de movimento de um fluido. Quando mais rápido for o movimento do fluido, maior será a transferência de calor por convecção (ÇENGEL *et al,* 2010).

Pode ser definida como a transferência de calor entre um fluido que passa (os gases quentes resultantes da queima da mistura ar/combustível, por exemplo) e a superfície de um objeto com a qual entra em contato (as placas, por exemplo).

2.4.3 Radiação

Radiação é a energia emitida pela matéria sob a forma de ondas eletromagnéticas como resultado das mudanças nas configurações eletrônicas de átomos ou moléculas (ÇENGEL *et al*, 2010).

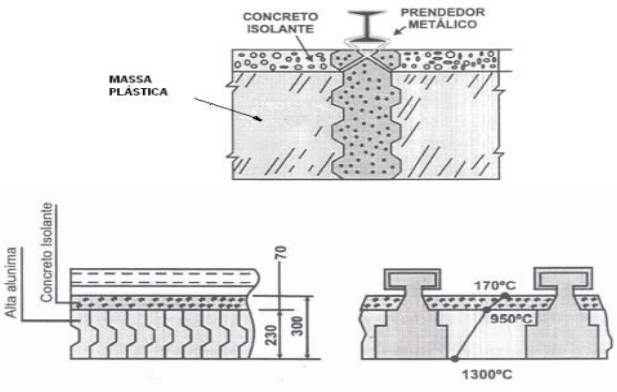
Quando há uma fonte de alta temperatura, como a chama de um queimador ou uma parede de refratários aquecidos, o calor pode ser transferido, sob a forma de energia radiante, para um objeto com temperatura menor.

2.5 Isolamento térmico

A condutividade térmica de um material é a capacidade de o material conduzir calor. Um material com alta condutividade é um bom condutor de calor enquanto valores baixos indicam que ele é um mal condutor ou isolante (ÇENGEL *et a*l, 2010).

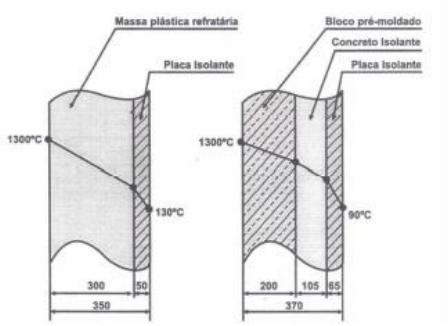
Os fornos de reaquecimento trabalham com temperaturas elevadas e, para se evitarem danos em sua estrutura e equipamentos, são utilizados diferentes tipos de isolamento térmico, conforme exemplos ilustrados nas FIG.2 e FIG. 3, abaixo.

Figura 2: Isolamento de uma abóbada de um forno



Fonte: Empresa do estudo, adaptado pelo autor

Figura 3: Revestimento de uma parede lateral



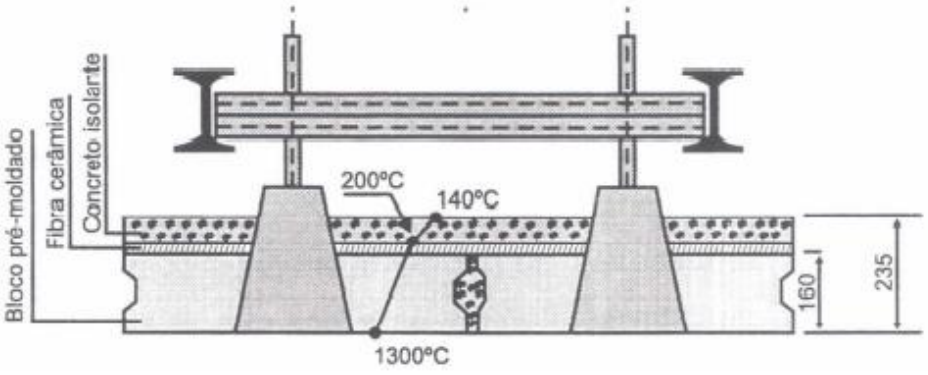
Fonte: Empresa do estudo, adaptado pelo autor

2.6 Componentes de um Forno

2.6.1 Abóbodas

Estruturas que são sustentadas por um sistema estrutural composto por colunas, vigas transversais, tirantes e grampos de amarração das âncoras. A FIG.4 ilustra essas estruturas.

Figura 4: Detalhamento de uma abóboda de um forno

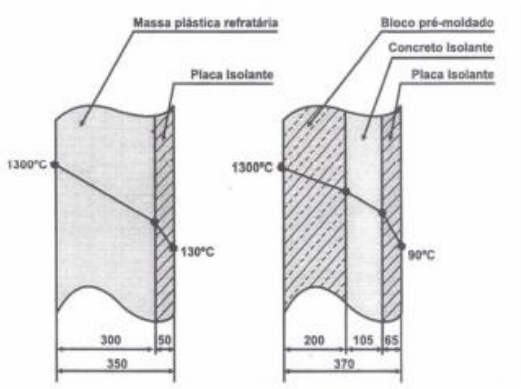


Fonte: Empresa do estudo, adaptado pelo autor

2.6.2 Paredes Laterais

Estruturas que podem ser construídas com um dos seguintes materiais: camada de tijolos refratários, blocos pré-moldados, concreto vibrado ou massa plástica socada. Além desses materiais, tem-se ainda uma camada de isolante térmico que pode ser de fibra, manta, placa ou de tijolos, conforme FIG. 5.

Figura 5: Revestimento de uma parede lateral



Fonte: Empresa do estudo, adaptado pelo autor

2.6.3 Soleiras

Nos fornos do tipo *walking beam*, temos uma soleira de tijolos refratários cobertas por uma camada de sínter de MgO.

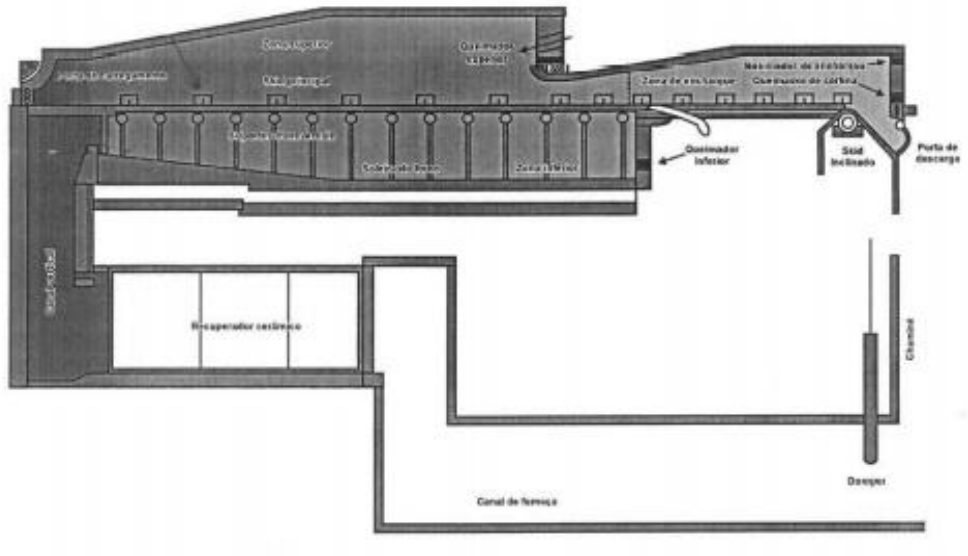
2.6.4 Câmaras de combustão

Representam o volume do interior do forno onde ocorrem as reações de combustão. Essas câmaras devem ser adequadamente projetadas de maneira a comportarem todo o volume dos gases gerados pela queima do combustível, propiciando uma eficiente transferência de calor para a carga do forno.

2.6.5 Estrutura metálica

A FIG. 6 abaixo apresenta uma vista geral de um forno, podendo-se observar os seus vários componentes estruturais.

Figura 6: Vista geral de um forno

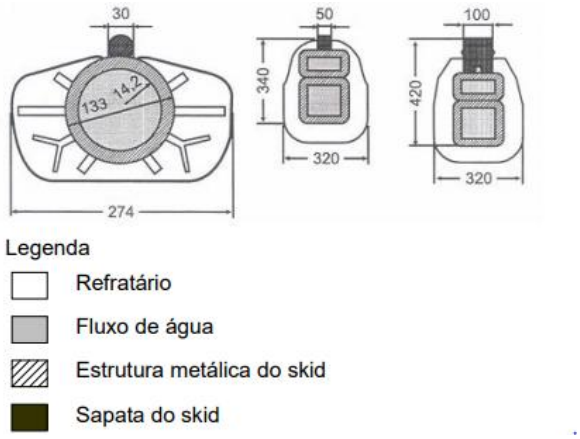


Fonte: Empresa do estudo, adaptado pelo autor

2.6.6 Sistema de skids

Os sistemas de *skids* de um forno são constituídos de tubulações revestidas com isolamento refratário e refrigeradas à água. Tais sistemas têm como finalidade manter a carga suspensa no interior do forno, como também movimentá-la periodicamente, nos fornos *walking beam,* conforme ilustra a FIG. 7.

Figura 7: Detalhes da seção transversal de um *skid*.

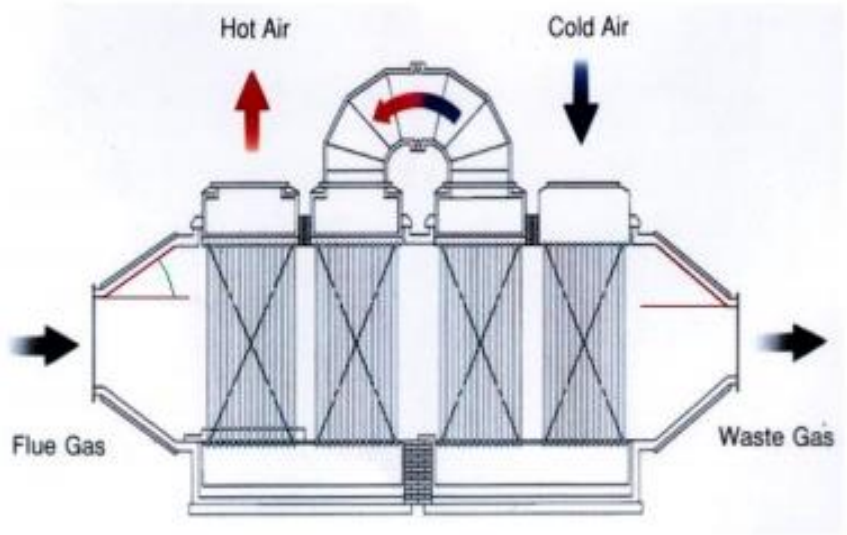


Fonte: Empresa do estudo adaptado pelo autor

2.6.7 Recuperadores

A grande quantidade de calor carregada pelos gases queimados pode ser parcialmente aproveitada através do preaquecimento do ar de combustão, melhorando a eficiência térmica do processo. A temperatura do ar de combustão, na saída do recuperador, pode variar em uma faixa relativamente ampla, podendo chegar a valores de até 560ºC, conforme se vê na FIG. 8, abaixo.

Figura 8: Recuperador do tipo contraventamento



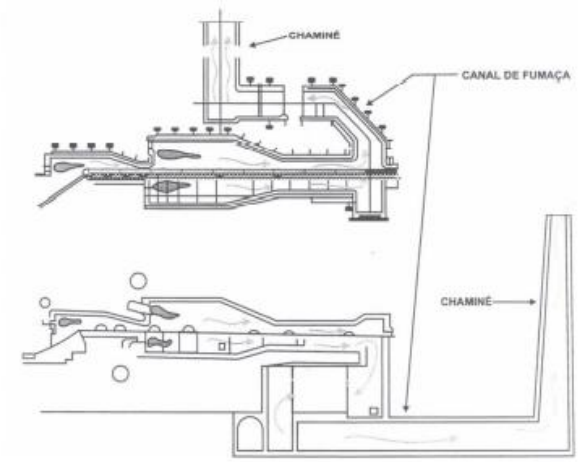
Fonte: Empresa do estudo adaptado pelo autor

2.6.8 Canais de fumaça

Os gases quentes provenientes da combustão são conduzidos para a chaminé através de condutos denominados "Canais de Fumaça".

Os gases queimados, gerados pela combustão no interior do forno, são normalmente retirados pela sucção natural da chaminé. O princípio de funcionamento de uma chaminé baseia-se na diferença de densidade entre o gás queimado e o ar atmosférico, conforme ilustra a FIG. 9.

Figura 9: Tipos de canal de fumaça

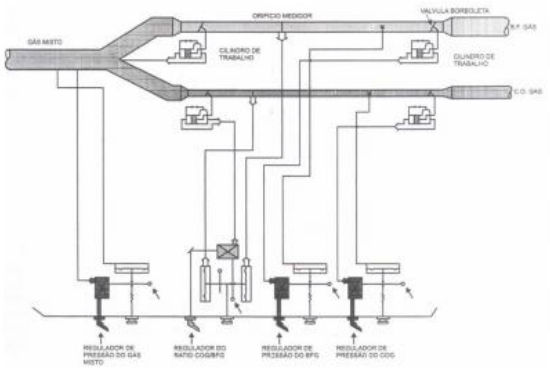


Fonte: Empresa do estudo, adaptado pelo autor

2.6.9 Estação misturadora de gás

Os principais gases utilizados nos fornos de aquecimento das usinas são os gases BFG, COG, GN. Para se fazer a mistura desses gases, visando atingir um determinado poder calorífico, especificado pelo projeto do forno, é importante se dispor de uma estação misturadora, onde o PCI deve ser devidamente controlado em uma faixa relativamente estreita. A FIG. 10 apresenta o esquema de misturas citado (GERDAU 2014).

Figura 10: Esquema de uma estação de mistura.

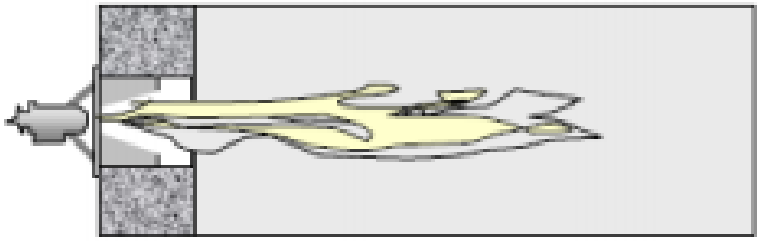


Fonte: Empresa do estudo adaptado pelo autor

2.6.10 Queimadores

Eles são responsáveis pela queima do combustível no forno, gerando energia em forma de calor para o aquecimento das placas, conforme apresenta a FIG. 11

Figura 11: Exemplo de um queimador



Fonte: Empresa do estudo adaptado pelo autor

2.7 Técnicas para redução de consumo de energia

Os fornos de reaquecimento são responsáveis por uma parcela considerável do consumo energético global em uma usina siderúrgica. De acordo com a matriz energética de uma usina integrada, a parcela debitada à laminação a quente é da ordem de 10-15%, sendo que os fornos de reaquecimento representam a maior parcela de contribuição naquele setor (TEXEIRA 2007). Dessa maneira, tornam-se plenamente justificados os esforços que são despendidos para a redução do consumo energético nestes equipamentos.

Abaixo, apresenta-se a fórmula para se calcular a energia de reaquecimento:

Energia de reaquecimento = A/B, onde:
A= Consumos equivalentes em kWh dos combustíveis empregados no reaquecimento de placas no período;
B= Produção de Laminados Bons.

$$A = 1{,}133x\sum_{1}^{n}(V_1P_1 + V_2P_2 ... + V_nP_n).....(kwh)$$

Onde:

V = Volume total do combustível utilizado em Nm3;

P = Poder calorífico médio do combustível utilizado em Mcal;

1,133 = constante para conversão direta de Mcal para kWh.

Dentre as medidas que podem ser tomadas nessa direção, destacam-se:

- Otimização do padrão de aquecimento, levando em conta o tipo e as dimensões dos materiais, além do ritmo de desenfornamento das placas;
- A otimização de um forno pode representar uma redução de até 15% no consumo específico de energia, além de proporcionar uma sensível melhoria da qualidade das placas através da redução da ocorrência de defeitos oriundos de superaquecimentos, formação excessiva de carepa, elevadas marcas de *skids*, heterogeneidade de temperatura da placa, etc.;
- Controle da relação ar/combustível visando à obtenção de um excesso de ar de 10 a 15%;
- Controle da temperatura do gás de exaustão na faixa de 900ºC-1000ºC, o que pode gerar uma economia de combustível de até 8%;
- Melhoria do isolamento dos *skids* e paredes refratárias, conseguindo-se reduções da ordem de 6% com a utilização de duplo isolamento dos *skids* e mantas isolantes na abóbada do forno;
- Implementação da prática de enfornamento de placas quentes ("Hot Charge"), com redução de até 20% no consumo específico, para uma temperatura de enfornamento da ordem de 400ºC;
- Aumento do comprimento das placas, visando uma maior utilização da área útil de aquecimento do forno, podendo-se obter ganhos no consumo de até 10%;
- Redução das espessuras das paredes laterais dos fornos visando um aumento da largura útil, com ganhos de 2,5 a 3,0% no consumo específico.

Segue a metodologia aplicada nesse estudo, importante para a compreensão do processo apresentado.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

A função da metodologia é, usando uma metáfora, “mostrar como andar no caminho das pedras da pesquisa”, auxiliando o pesquisador nos atos de refletir e de instigar olhar mais profundo sob o campo em estudo, de acordo com Silva e Menezes (2005, p. 9). Para esses autores, pesquisa “é um conjunto de ações, propostas para encontrar a solução para um problema, que tem por base procedimentos racionais e sistemáticos” (SILVA E MENEZES, 2005, p.9).

Nesse capítulo apresentam-se o delineamento da pesquisa, o método de coleta de dados, o tratamento e os resultados, a empresa e o ramo de atividades em que foi realizado o estudo.

3.1 Delineamento da Pesquisa

Esta pesquisa é um estudo de caso em que o objeto é um forno de reaquecimento de uma laminação de planos em uma empresa siderúrgica.

Segundo o Sindicato dos Empregados e Empresas Distribuidoras de Produtos Siderúrgicos do Estado de Minas Gerais- SEEDSIDER- siderurgia é o ramo da empresa metalúrgica responsável por fabricar o aço bem como de tratá-lo (MINAS GERAIS, 2017).

A pesquisa se caracteriza como exploratório, recorrendo a dados bibliográficos e documentais. Também é descritiva já que, do ponto de vista da sua natureza, é uma pesquisa aplicada, dirigida à solução de um problema. Em relação à sua abordagem é um estudo quantitativo e qualitativo, pois foram utilizados indicadores para análise de dados.

A pesquisa, a partir das informações adquiridas e se observando o processo analisado, se classifica como de campo e documental devido à utilização de dados de produção. É, da mesma forma, intervencionista por interferir na realidade estudada em busca da resolução de problemas.

3.2 Característica da Empresa

Os dados apresentados abaixo foram ofertados pela própria GERDAU, a maior empresa brasileira produtora de aço e uma das principais fornecedoras de aços

longos nas Américas e de aços especiais no mundo. No Brasil, também produz aços planos e minério de ferro, atividades que ampliam o mix de produtos oferecidos ao mercado e a competitividade das operações.

Além disso, é a maior recicladora da América Latina e, no mundo, transforma, anualmente, milhões de toneladas de sucata em aço, reforçando seu compromisso com o desenvolvimento sustentável das regiões onde atua.

A Gerdau é uma empresa com mais de 110 anos e tem mais de 45 mil colaboradores espalhados em 14 países.

A empresa estudada está situada na região de Ouro Branco, Minas Gerais e pertence ao complexo de rede de empresas metalúrgicas e siderúrgicas do espaço conhecido como “Quadrilátero Ferrífero”.

O estudo de caso foi realizado em uma laminação de tiras a quente no forno de reaquecimento com o objetivo de aumentar o comprimento das placas visando uma maior utilização da área útil de aquecimento do forno, podendo obter ganhos no consumo e produção.

3.3 Coleta e Análise de Dados

Visando aumentar o comprimento das placas para laminação de tiras a quente, foi feita a coleta de dados para se avaliar o processo do forno de reaquecimento.

Na primeira etapa foram avaliadas a capacidade de carga dos equipamentos, as restrições físicas para aumento no comprimento das placas e também o deslocamento do material no interior do forno para se evitar a colisão com as paredes laterais.

Na segunda etapa, após avaliação dos dados, foi realizado um levantamento de custos para a realização das melhorias no equipamento, visando o aumento da produção. Cada proposta exigiu uma Análise Preliminar de Melhoria (APM), que visa identificar, de forma prévia, riscos da instalação com foco em pessoas, máquinas e processos.

Na terceira etapa do estudo, foi feita uma avaliação dos resultados após as melhorias realizadas no forno de reaquecimento e o benefício com o aumento no comprimento das placas enfornadas.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

De acordo com os objetivos propostos nesse estudo, serão apresentados aqui os dados e os resultados da pesquisa.

4.1 Forno de Reaquecimento.

O forno de reaquecimento em que foi realizado o estudo é do tipo *walking beam* (vigas caminhantes), possui oito zonas distribuídas entre as partes superior e inferior, sendo a parte superior composta por zonas ímpares (1,3,5 e 7) e parte inferior por zonas pares (2,4,6 e 8); juntas, elas possuem 96 queimadores. Ele é dividido em cinco seções onde é realizado o reaquecimento da placa, a saber:

- Recuperativa ou zona zero - não possui queimadores; o aquecimento da placa ocorre pelo calor gerado nas outras regiões do forno e que chega por ela através do arraste causado pela chaminé;
- Pré-aquecimento - composto pelas zonas 1 e 2;
- Aquecimento 1 - composto pelas zonas 3 e 4.
- Aquecimento 2, composto pelas zonas 5 e 6;
- Encharque, composto pelas zonas 7 e 8.

O forno trabalha com três tipos de gás, a saber:

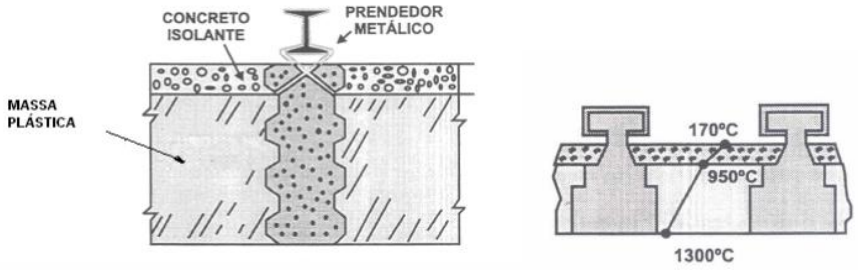
- COG - gás de Coqueria gerado pela própria empresa;
- BFG, gás de Alto Forno gerado pela própria empresa;
- GN, gás Natural fornecido por uma empresa externa.

O forno de reaquecimento possui 54600mm de comprimento e 8000mm de largura de área útil.

4.1.1 Isolamento térmico.

O isolamento térmico do forno visa proteger a estrutura metálica e reduzir a perda de calor para o ambiente externo. No teto do forno é utilizado um conjunto de refratário plástico e concreto isolante, conforme a FIG. 12.

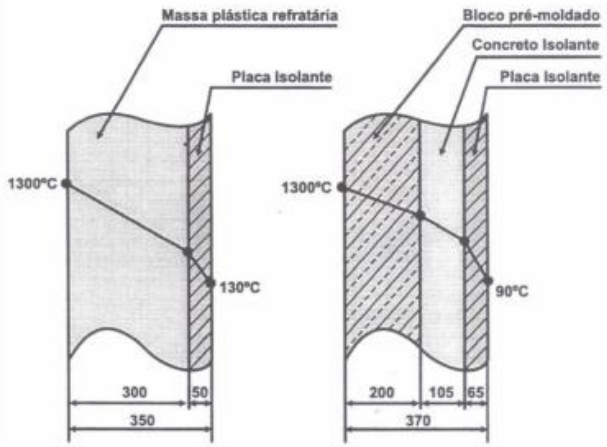
Figura 12: Conjunto isolante de uma abóboda



Fonte: Empresa do estudo adaptado pelo autor

Já o isolamento térmico das paredes laterais é constituído, conforme já informado anteriormente, por uma camada de tijolos refratários, blocos pré-moldados, concreto vibrado ou massa plástica socada e, além disso, por uma camada de isolante térmico que pode ser de fibra, manta, placa ou de tijolos conforme a FIG. 13.

Figura 13: Revestimento de uma parede lateral



Fonte: Empresa do estudo adaptado pelo autor

4.2 Oportunidade de melhoria visando uma maior utilização da área útil do forno de reaquecimento.

O forno de reaquecimento do estudo possui uma limitação no comprimento máximo da placa para o carregamento. As dimensões máximas para carregamento são:

- Comprimento = 7.550mm
- Largura = 2.112mm
- Espessura = 247mm
- Peso = 30,92 toneladas, calculado conforme a densidade do aço sendo considerada 7850kg/m³.

Fórmula para se calcular o peso da placa:

$$P = D*V$$

$$P = 7850Kg/m^3 * \frac{(7550*2112*247)\ m^3}{10^9}$$

$$P = 30.920kg$$

$$P = 30,92t$$

A carga considerando um GAP (distância entre as placas no interior do forno) de 83mm é de 25 placas em suas máximas dimensões ou 773 toneladas, conforme o cálculo abaixo:

- Comprimento do forno = 54.600mm
- GAP entre placas = 83 mm
- Largura da placa = 2.112 mm
- Peso da placa = 30,92t

Fórmula para se calcular total de placas enfornadas e carga do forno.

$$T = \frac{C}{(L+GAP)}$$

$$T = \frac{54600mm}{(2112mm+83mm)}$$

$$T = 25\ placas$$

$$Carga = T*P$$

$$Carga = 25placas*30,92t$$

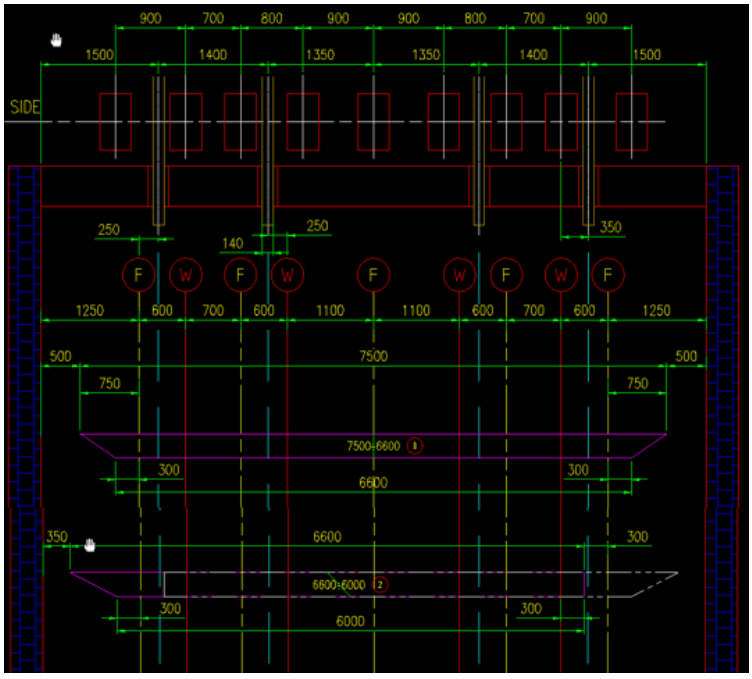
$$Carga = 773\ toneladas$$

Em vista dessas informações, foi feito um estudo para se aumentar o comprimento das placas no forno, melhorando o rendimento metálico de forma que não exceda a capacidade de carga dos equipamentos.

4.2.1 Identificação do problema.

Conforme a FIG. 14, o carregamento deve ser feito de forma que exista uma distância entre a ponta em balanço da placa e a parede do forno para se evitar o risco de colisão causado por um deslocamento durante a trajetória percorrida por ela até o descarregamento.

Figura 14: Posicionamento das placas carregadas no forno.



Fonte: Dados da pesquisa (2020)

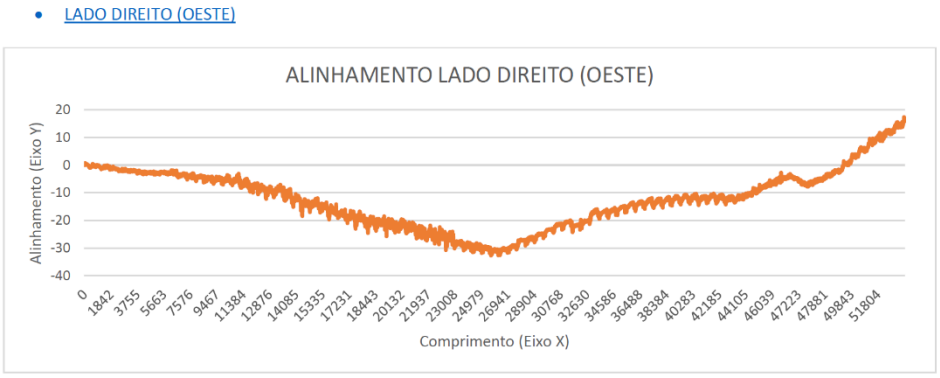
O desalinhamento da placa pode ser identificado através da topografia realizada no forno para se identificarem os pontos onde ela ocorre. A atividade foi realizada após o resfriamento do forno para manutenção preventiva; a topografia foi feita por uma empresa especializada com a utilização de equipamento laser Tracker,

referenciado por ponto fixo de uma placa com comprimento de 2200mm e outra com 7950mm. Foram realizadas medições nas vigas do lado leste e oeste, o deslocamento máximo de 37mm ocorrendo no sentido oeste na posição 25m do forno, conforme os GRAF.1 e GRAF. 2, abaixo.

Gráfico 1 – Desalinhamento de viga lado leste

Fonte: Dados do relatório da reforma forno de reaquecimento (2020).

Gráfico 2 – Desalinhamento de viga lado oeste



Fonte: Dados do relatório da reforma forno de reaquecimento (2020).

Outro ponto avaliado foi a capacidade de carga da máquina de carregamento e descarregamento, visto que o aumento do comprimento da placa, acarretaria o aumento do peso. Seguem abaixo, na TAB.1, os dados técnicos do fabricante para o peso máximo da placa a ser carregada.

Tabela 1 – Dados técnicos com informações sobre a capacidade de carga do forno.

– TECHNICAL DATA –	
DISCHARGING TEMPERATURE	1250 °C
PRODUCTION	220 t/h
SLAB THICKNESS (min/max)	220÷250 mm
SLAB WIDTH (min/max)	900÷2100 mm
– SINGLE ROW	–
REFERENCE SLAB (THxWxL) - MAX	250x2100x7500
SLAB LENGHT (min/max)	3600÷7500mm
MAX WEIGHT	31 ton
– DOUBLE ROW	–
REFERENCE SLAB (THxWxL) - MAX	250x2100x3600
SLAB LENGHT (min/max) double row	2200÷3600mm
MAX WEIGHT	15 ton
N°4 LIFTING CYLINDER	ø220/110x120
O.P.	147 BAR
PULL FOR N°1 CYLINDER	419 kN
TRAVELLING STROKE	4550 mm
FORWARD SPEED	V= 0.41 m/sec (24.5 m/1')

Fonte: LOI (2012) adaptado pelo autor.

Para o *walking beam*, a carga máxima se manteria, devido à restrição de peso da máquina de carregamento.

Também foi avaliado o posicionamento da placa na mesa de carregamento devido ao risco de colisão com os aventais que estavam ajustados para o enfornamento de placas com 75000mm de comprimento.

4.2.2 Plano de ação

Após a coleta de dados referentes às condições atuais do posicionamento das placas no interior do forno e à capacidade de carga dos equipamentos, foram adotadas as medidas abaixo discriminadas.

4.2.2.1 Redimensionamento da placa

Para se evitar que a placa não ultrapasse o peso nominal, a largura máxima deve ser de 1982mm como recomendado. A capacidade da máquina de carregamento e descarregamento é de 31 toneladas com 10% de sobrecarga, podendo chegar a 34,1t; esse peso deve ser evitado (EMPRESA DO ESTUDO,2020). O dimensional máximo para placas com comprimento de 8000mm foi modificado, conforme a TAB. 2, para não ultrapassar 31 toneladas.

Tabela 2- Alteração do dimensional das placas com comprimento de 8.000mm

	Nominal Máxima (mm)	Modificada (mm)
Comprimento	7.550	8.000
Largura	2.112	1.912
Espessura	247	255
Peso	30.917.721	30.618.768

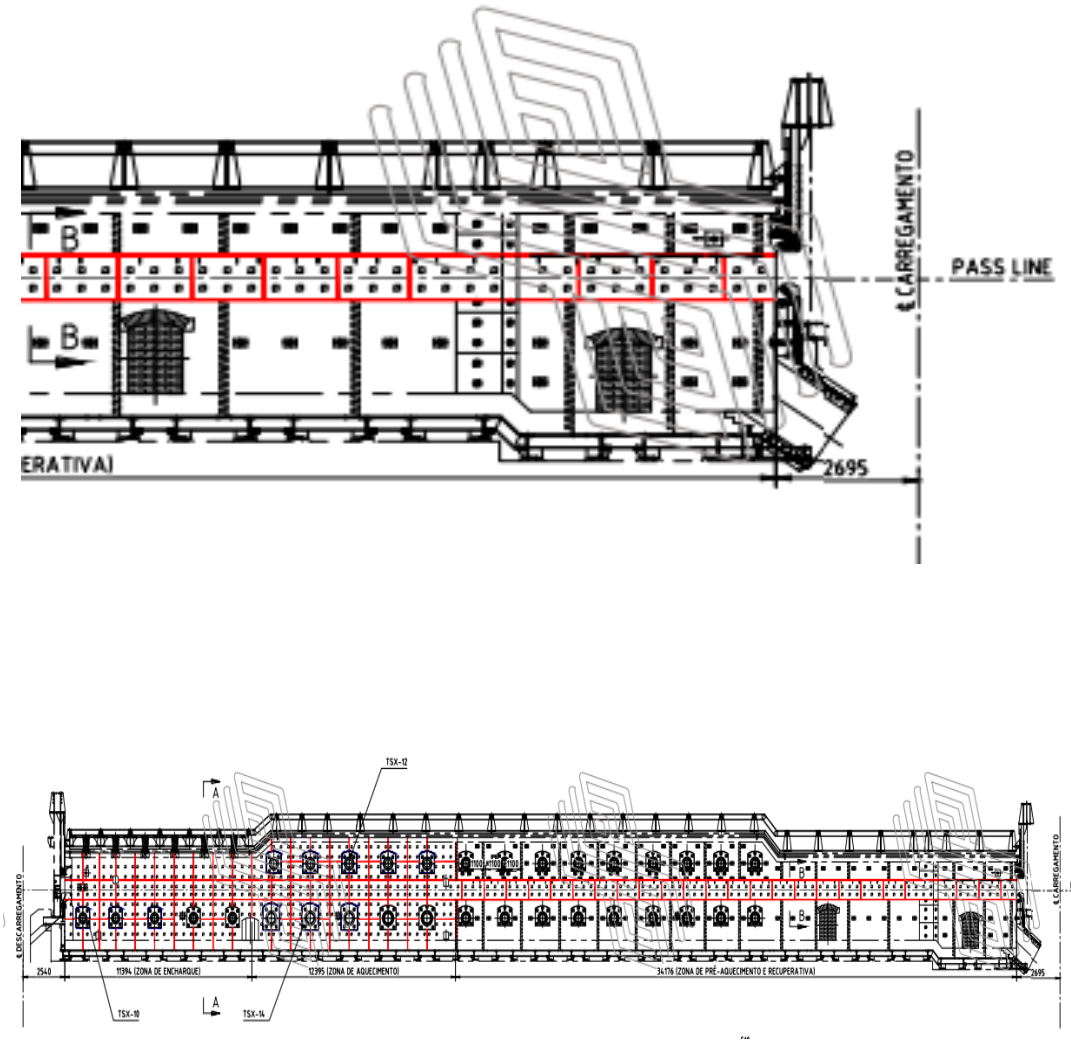
Fonte: Empresa do Estudo (2020)

4.2.2.2 Redução na espessura da parede lateral do forno.

Foi feita uma redução na espessura da parede de 75mm na altura e de 950mm na região da linha de passe, conforme a figura 16, para viabilizar o enfornamento das placas de 8000mm de comprimento, mantendo-se a distância mínima de projeto da

ponta da placa para a parede. Essa redução foi realizada durante o grande reparo do forno visto a necessidade de substituir parte das paredes que estavam danificadas como mostrado nas FIG. 15 e FIG 16.

Figura 15: Linha passe



Fonte: Empresa do Estudo (2020)

Figura 16: Parede lateral do forno danificada

Fonte: Empresa do Estudo (2020)

Para viabilizar a redução de espessura da parede, a camada de isolamento foi substituída de tijolos isolantes (original) por duas camadas de placas de fibra cerâmica de 50mm cada para se reduzir a condutividade térmica; na redução da camada de trabalho houve substituição da camada de tijolo por concreto refratário aluminoso, aplicado por projeção conforme visto na FIG.17.

Figura 17: Parede lateral do forno modificada

Fonte: Empresa do Estudo, adaptado pelo autor (2020)

4.2.2.3 Ajuste nos aventais da mesa para carregamento.

Ao avaliar o avental de proteção da mesa de carregamento em frente ao forno foi necessário retirar 100mm de cada lado para evitar o risco de colisão da placa ao ser enfornada. O resultado pode ser avaliado na FIG. 18.

Figura 18: Simulção de carregamento da placa de 8.000mm de comprimento

Fonte: Empresa do Estudo, adaptado pelo autor (2020)

Foi verificado que, para o carregamento automático da placa, não haveria nenhuma restrição no sistema.

Seguem-se resultados obtidos nesse estudo.

4.3 Resultado obtidos.

Com as alterações sugeridas, é possível aumentar o número de placas carregadas no forno, conforme a TAB. 3.

Tabela 3- Aumento da ocupação do forno

	Atual		Modificada	
Comprimento	54.600	mm	54.600	mm
Largura	8.000	mm	8.000	mm
gap	83	mm	180	mm
n	25	placas	26	placas
peso	772.943	t	803.861	kg

Fonte: Empresa do Estudo (2020)

Para manter a capacidade de carga do *walking beam*, é necessário aumentar o gap para 180mm ou limitar em 26 placas de oito metros no forno.

O aumento do comprimento das placas em larguras menores do que 2.000mm possibilita o seu aumento do peso melhorando o rendimento metálico, aumentando a produção e o atendimento a clientes que necessitam de bobinas com o maior peso.

Para se avaliar o ganho com o enfornamento das placas de 8.000mm, foi analisado um período conforme as seguintes considerações:

- Pegar os dados de todas as placas laminadas por mês, em um período de seis meses, para se gerar uma média;
- Calcular o novo peso da placa caso fosse de 8000mm;
- Avaliar se a nova placa não ultrapassaria o peso máximo dos equipamentos;
- Calcular o novo peso possível de se enfornar e avaliar qual seria o ganho em peso;
- Gerar a média entre os meses avaliados e calcular o ganho em reais conforme o preço por tonelada de aço.

O período avaliado teve início em 31/05/2018 e terminou em 24/03/2019; foram avaliadas 37.698 placas, das quais foram filtradas 16.994 com comprimento de 7.500mm para serem utilizadas no estudo. O valor médio da medida das placas pode ser conferido na TAB. 4 abaixo:

Tabela 4- valor médio das placas de 7.500mm

Placas 7500mm			
Espessura	largura média	comprimento médio	Peso médio
247mm	1239mm	7468mm	17950kg

Fonte: Elaborada pelo próprio autor com dados da pesquisa (2020)

Após a verificação das placas, foi feito um novo cálculo para se estimar o peso das mesmas, considerando-se o comprimento de 8000mm. A média das medidas está registrada na TAB. 5 abaixo.

Tabela 5- valor médio das placas de 8.000mm

Placas de 8000mm			
Espessura	largura média	comprimento médio	Peso médio
247mm	1239mm	8000mm	19256kg

Fonte: Elaborada pelo próprio autor com dados da pesquisa (2020)

O ganho em rendimento metálico está na TAB. 6 abaixo:

Tabela 6- Rendimento metálico

Soma do peso total das placas de 7500mm	Soma do peso total das placas de 8000mm	Ganho de produção
305482 t	327221 t	21739 t

Fonte: Elaborada pelo próprio autor com dados da pesquisa (2020)

Através dos estudos feitos, o ganho de produção seria de 7% sobre o produto acabado. Baseando-se no resultado de produção da tabela 6, isso representaria um lucro bruto de R$ 7.173.870,00.

4.3.1 Primeira placa de 8.000mm de comprimento laminada.

Após os ajustes mecânicos realizados na mesa de carregamento e a gaveta do refratário na parede do forno para aumentar a área de balanço da ponta da placa, foi programada a laminação das primeiras placas com 8.000mm de comprimento. A FIG.19 ilustra essa placa.

Figura 19: Primeira bobina feita com placas de 8.000mm de comprimento.

Fonte: Empresa do Estudo, adaptado pelo autor (2020)

Através dos resultados satisfatorios, foi autorizado o início oficial da produção de bobinas com placas de comprimento de 8.000mm, sendo alterado o padrão operacional do forno de reaquecimento para carregamento dessas placas.

5 CONCLUSÕES

Em virtude do cenário atual, as empresas estão em busca de melhorias em seus processos que possibilitem o aumento da competitividade com eficiência, qualidade e custo. Avaliando esse contexto, esta pesquisa corresponde a esses requisitos visto que o estudo se baseou em um processo produtivo cujos resultados foram satisfatórios e possibilitaram o aumento da produção.

Através da análise de processo, foi identificado que, com o aumento do comprimento da placa, ter-se-ia um ganho no rendimento metálico, mas, para tornar isso possível, as capacidades dos equipamentos deveriam ser avaliadas para que não fosse ultrapassado o limite de peso. Outro ponto foi a área útil do forno de reaquecimento que, devido ao deslocamento interno do material no sentido das laterais, poderia colidir com a parede.

As alterações realizadas representaram um baixo custo visto que a principal foi em relação à substituição do isolamento térmico da parede do forno de reaquecimento, que já era previsto antes do projeto do aumento do comprimento das placas. A única alteração foi a gaveta para que se aumentasse a área de balanço para o enfornamento de placas maiores.

Após a realização das modificações e testes a frio, pode-se produzir a primeira bobina com uma placa de comprimento de 8000mm, o que representa um ganho na produção de 7% sobre o produto acabado.

Com os resultados satisfatórios, pôde -se concluir que a engenharia teve um papel importante na análise da capacidade do equipamento para especificar o novo dimensional das placas e a solução para o aumento da área útil do forno.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALERIGI JR, Alberto. (2020), **Consumo de aço no Brasil no segundo trimestre pode cair 40%, teme IABr.** 2020. Disponível em <www.economia,uol.com.br/noticias/reuters/2020/03/27/consumo-de-aco-no-brasil-no-segundo-trimestre-pode-cair-40-teme-iabr.htm>. Acessado em 12/06/2020.

BALESTIERI, José Antônio**, Geração de energia sustentável**. São Paulo: Unesp, 2013.

ÇENGEL, Yunus *et a*l. Transferência de calor e massa. 4.ed. São Paulo: AMGH Editore Ltda., 2012.

ESTIGARRIBIA, Juliana (2019), **Siderúrgicas Brasileiras estão entre o difícil e o incerto**. 2019. Disponível em <www.exame.com/revista/entre-o-dificil-e-o-incerto/>. Acessado em 12/06/2020.

GERDAU. . **Apostila LAM-504:** Carregamento e combustão (2012)

_____. **Apostila LAM-515: Reaquecimento de Placas** (2012)

_____. **Apostila LPL- 001:** Forno de reaquecimento de placas I (2014)

_____ **Presença nas Américas**. Disponível em
< www2. Gerdau.com.br/sobre-nos/perfil-gerdau > Acessado em 19/06/2020.

INCROPERA, **Fundamentos de transferência de calor e massa**. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

MINAS GERAIS. SEEDSIDER- Sindicato dos Empregados e Empresas Distribuidoras de Produtos Siderúrgicos de Estado de Minas Gerais. **O que é a siderurgia e a metalurgia?** Disponível em <www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/.../marcellusvinagre_da_silva.pdf?... >Aces-ado em 18/06/2020.

MOKHATAB, Said.; POE, William A. **Processamento e transmissão de gás natural**. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2005.

SILVA, Valdir P.; PANNONI, Fabio D. **Estruturas de aço para edifícios:** aspectos tecnológicos e de concepção. São Paulo: Blucher, 2010.

SMITH, Adam. **A Riqueza das nações**. Vol. 1 São Paulo: Nova Cultural, 1996.

TEIXEIRA, M.H. *et al*. Aplicação de controle avançado nos fornos de reaquecimento de placas da linha de tiras a quente da Usiminas**. Tecnologia em Metalurgia e Materiais, São Paulo, v.4, n.1, p. 30-35, jul.-set. 2007.**