

ECONOMIA DE ENERGIA EM VAQ (VÁLVULA DE AR QUENTE)

José Roberto de Souza¹, Vitor Benedito Miranda¹, Wemerson Henrique Martini de Oliveira¹, Roger da Silva Rodrigues²

¹Acadêmicos do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Multivix – Serra.

²Mestre em Engenharia Mecânica – Professor Multivix – Serra.

RESUMO

A válvula de ar quente é um equipamento dentro do complexo siderúrgico de alta criticidade e de importância extrema, sendo a responsável por garantir o fluxo de ar quente ideal para a redução da matéria prima no interior do alto-forno. Neste trabalho, é demonstrada a relação de eficiência do assento e disco de vedação em aço e refratária da VAQ ASVOTEC, em comparação ao modelo KURIMOTO com assento e disco de cobre. É analisada a perda de calor durante o resfriamento no sistema de sopro (regenerador) de um alto-forno, bem como os ganhos energéticos obtidos em forma quantitativa e graficamente após a substituição, expondo a importância de um sistema eficiente, e para isso, foi proposto extrair toda a capacidade de desempenho dos equipamentos através de novas tecnologias, e neste caso, através de análises de peças com as mesmas características das que já são utilizadas mas com material base de fabricação distintas.

Palavras-chave: VAQ; Regenerador; Eficiência Energética; Alto Forno.

INTRODUÇÃO

A válvula de ar quente é um componente de extrema relevância para todo o processo, fica localizada entre o regenerador e o alto-forno, sua função é garantir que as ventaneiras recebam o fluxo de ar ideal para a redução da matéria prima. Hoje no mercado não existem muitos fabricantes deste modelo de equipamento, entretanto, serão abordados dois fabricantes específicos que são o KURIMOTO e o ASVOTEC, com ênfase no assento e disco de bloqueio.

Altos-fornos eficientes requerem altas temperaturas de jateamento, acima de 1200 °C, e para lidar com essas temperaturas, a válvula de ar quente deve ser resfriada com água. Principalmente, existem dois tipos diferentes de VAQ, um com assento e disco de cobre, e outro em aço e refratário. Após anos trabalhando com o modelo de assento e disco de cobre foi analisado a possibilidade de voltar com o projeto antes utilizado, objetivando reduzir as perdas de calor por troca térmica, tornando mais eficiente o sistema de sopro, além de trazer uma economia significativa dos gases combustíveis utilizados no processo. Serão feitas alterações em um processo que ao longo dos anos tem

se mostrado eficiente e seguro. Todavia, a competitividade tem a cada dia nos impulsionado e nos desafiado a olhar para um futuro tecnológico e inovador para nos mantermos atualizados, sempre explorando o máximo potencial do seu sistema operacional.

Diante do desafio de tornar o sistema de sopro dos regeneradores mais eficientes e com menor perda de energia, foi proposto a substituição da VAQ com assento e sede de cobre, por um modelo com assento e sede em aço e refratário. Este projeto busca evidenciar a eficiência do modelo de válvula da ASVOTEC, com assento e disco em aço e refratário, uma vez que o sistema de sopro requer muita energia em forma de temperatura disponível, onde a eficiência do sistema de sopro do regenerador está associada ao bom desempenho dos seus componentes.

Através do monitoramento, será verificado a estabilidade do equipamento, checando seu comportamento dia a dia, analisando e fazendo a comparação com o modelo antes montado na mesma posição.

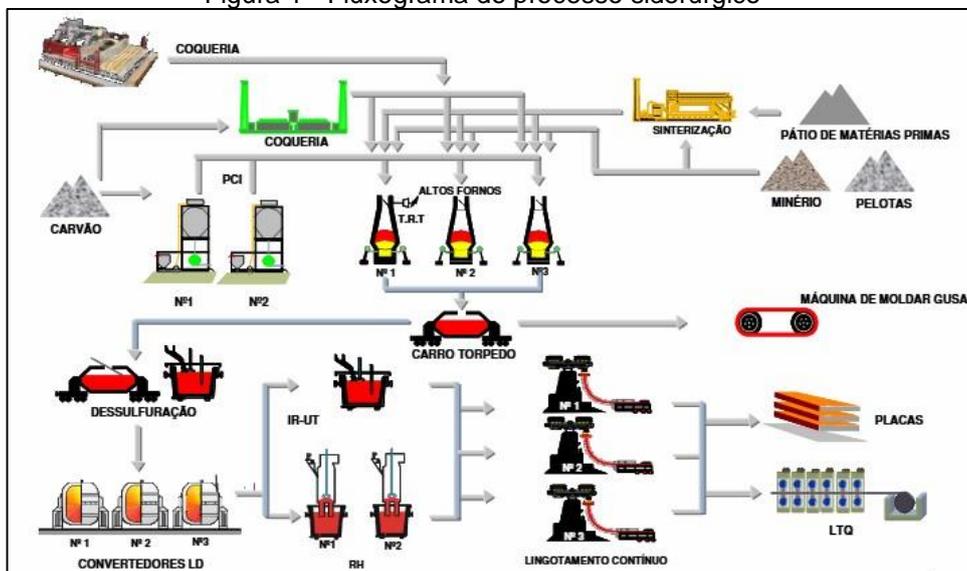
PROCESSO SIDERÚRGICO

Consiste em produzir aço através da liga de ferro e carbono. O ferro é encontrado nas crostas terrestres, associadas ao oxigênio e a sílica. O minério de ferro é um óxido misturado com areia fina, contendo menos de 2% de carbono e cerca de 1% de manganês, além de conter pequenas quantidades de silício, fósforo, enxofre e oxigênio. No processo siderúrgico, o carvão mineral tem dupla função, primeiro como combustível e segundo sendo um redutor, associando-se ao oxigênio que se desprende do minério devido à alta temperatura. No setor de sinterização e politização, o minério é transformado em sinter e pelotas para que ocorra a redução do material. Já o carvão mineral é transformado em coque, que é posteriormente transportado para o alto forno junto com a sinter e as pelotas de minério para a combustão (BELO, 2019).

Dentro do alto forno, o produto final é o ferro líquido, chamado de ferro gusa, além de impurezas provenientes do processo de transformação, como o calcário e a sílica gerando a escória, esta que é utilizada na produção do cimento. A Figura 1 demonstra o fluxograma do processo siderúrgico, onde, após

obter o ferro gusa, o mesmo é direcionado através de carros torpedos para os convertedores, etapa de transformação do ferro gusa em aço liga (BELO, 2019).

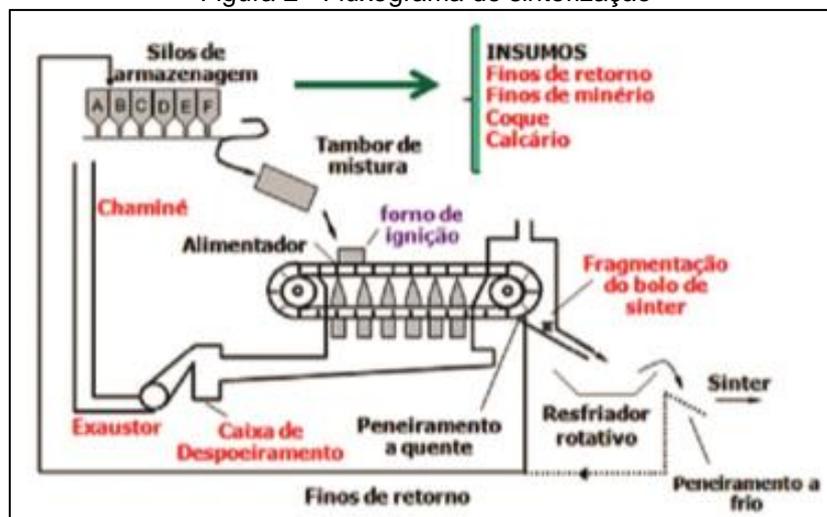
Figura 1 - Fluxograma do processo siderúrgico



Fonte: Botelho (2009)

A sinterização é a primeira etapa de processo do minério dentro da usina, quando ele é preparado junto a alguns componentes com o objetivo de adequação da sua granulação para aumentar a permeabilidade do ar entre as partículas, facilitando sua queima. A Figura 2 mostra o fluxograma do processo de sinterização, onde, primeiramente, os elementos são levados aos fornos até o ponto de fusão, em seguida vem o processo de resfriamento. Após ser resfriado, ocorre a britagem para atingir a granulação específica, que é aproximadamente 5 mm de diâmetro (SILVA, 2011).

Figura 2 - Fluxograma de sinterização



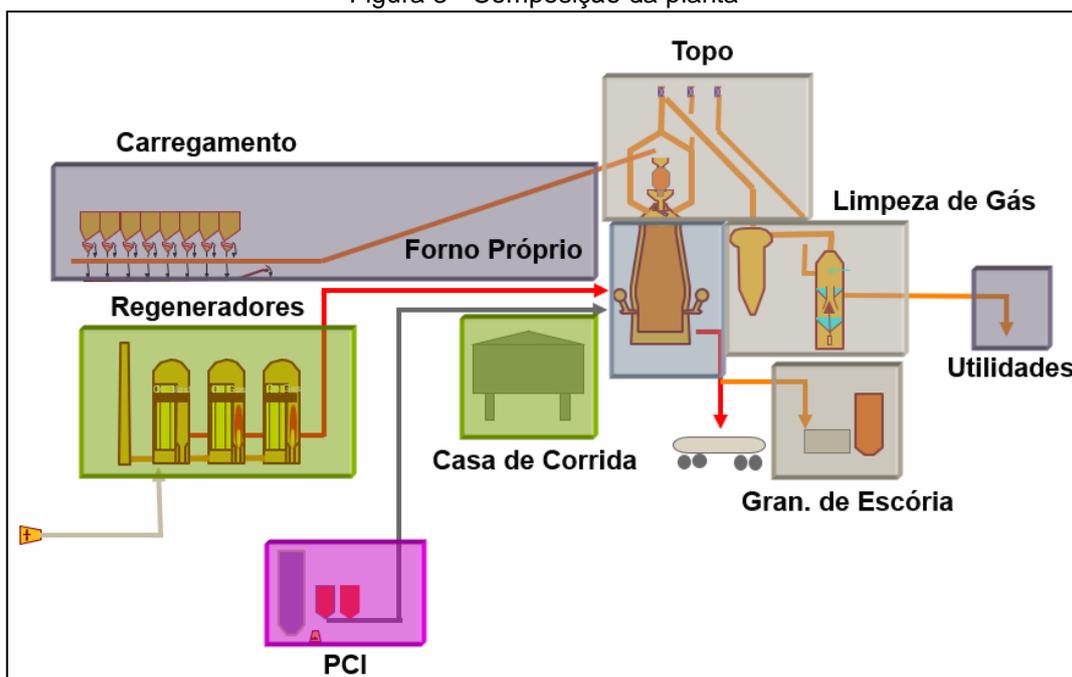
Fonte: Silva (2011)

De acordo com Santos (2011), na sequência acontece a pelotização, que é um processo de aglomeração no formato de esfera, com a denominação de pelotas, obtidas pelo rolamento (tambores, cones ou discos) das partículas moídas e umedecidas. Em seguida, são submetidas à queima, com uma temperatura entre 1250 °C e 1320 °C. O tamanho das pelotas pode variar de 10 a 12 mm de diâmetro.

ALTO-FORNO

Segundo Silva (2011), o alto-forno é um trocador de calor a contracorrente, que é alimentado através de correias transportadoras com materiais como minério de ferro, pelotas, sínter, coque e fundentes (calcário), na sua parte superior. Durante esse processo, ao entrar em contato com uma corrente ascendente de gás CO, H₂ ou carbono, acontece a redução. O combustível para que ocorra essa redução é o coque ou carvão vegetal, esse método acontece junto a um sopro de ar quente pelas ventaneiras na parte inferior do forno. Com isso, os gases ascendentes em contato com a carga de minério, ocasiona uma reação, dando origem ao ferro gusa, principal produto do alto-forno juntamente com a escória. A temperatura no alto-forno varia entre 1450 °C e 1520 °C. Podemos ver na Figura 3 como é a composição da planta.

Figura 3 - Composição da planta



Fonte: Belo (2019)

ACIARIA

Também denominada de refino do aço, tem a finalidade transformar o gusa em aço carbono. Após o processo de obtenção do ferro gusa, inicia-se o transportado através de carros torpedos para a aciaria, onde será basculhado para uma grande panela junto com sucatas, quando será aplicado sopro de oxigênio para ajustar a composição química do material (REIS, 2017).

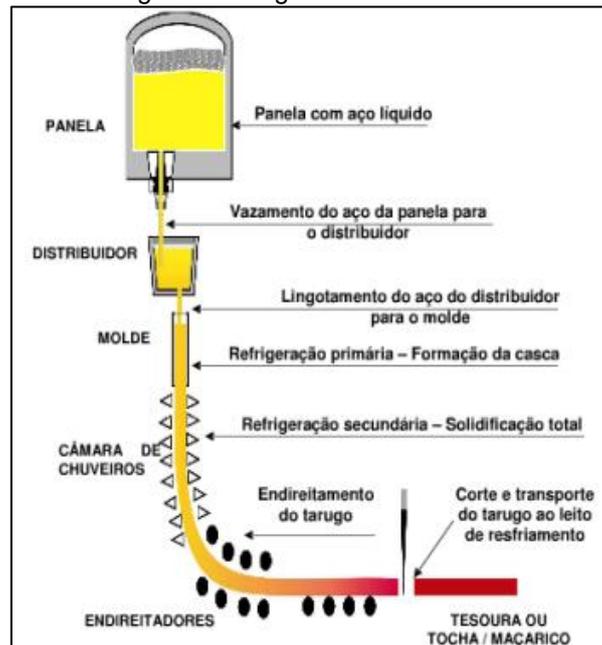
O conversor é um recipiente com formato cilíndrico que é acionado por um conjunto de motores e redutores, ele se encontra apoiado em munhões, capazes de girarem completamente em torno de um eixo horizontal. A carcaça do conversor é de aço com uma configuração cônica, possuindo um canal de vazamento que permite a separação do aço e da escória durante o processo de escoamento, para isso é instalado uma coifa coletora em cima da boca do conversor, na posição vertical. A lança do oxigênio consiste em três tubos de aço, com um bocal de cobre eletrolítico por onde flui o oxigênio, já a ponta da lança contém de três a cinco dutos em formato de Venturi e para obter a velocidade supersônica, a vazão é na ordem de 7 a 11 m³/h (REIS, 2017).

Reis (2017) ressalta ainda que o conversor é girado na direção do carregamento e a sucata é carregada através da ponta rolante, em seguida o gusa líquido. Essa carga metálica geralmente varia de 70 a 75% de gusa líquido, o restante é constituído de combinação de vários tipos de sucata.

LINGOTAMENTO CONTÍNUO

O lingotamento é fundamental para o processo siderúrgico, trata-se da etapa onde ocorre a solidificação do material. É necessário ter um controle rigoroso do processo, para que não ocorra nenhuma falha no material. Inicialmente, o aço é transportado em grandes panelas com sua temperatura devidamente controlada, até uma forma de lingotamento, responsável por fazer a distribuição do aço em moldes denominados lingoteiras para dar definição ao material (chapas, tarugos ou tubos). Então o aço passa por diferentes segmentos de máquina até atingir o produto semiacabado. No final desse processo, o aço é cortado e encaminhado para as demais etapas de produção. A Figura 4 apresenta o processo de lingotamento contínuo (SILVA, 2013).

Figura 4 - Lingotamento contínuo

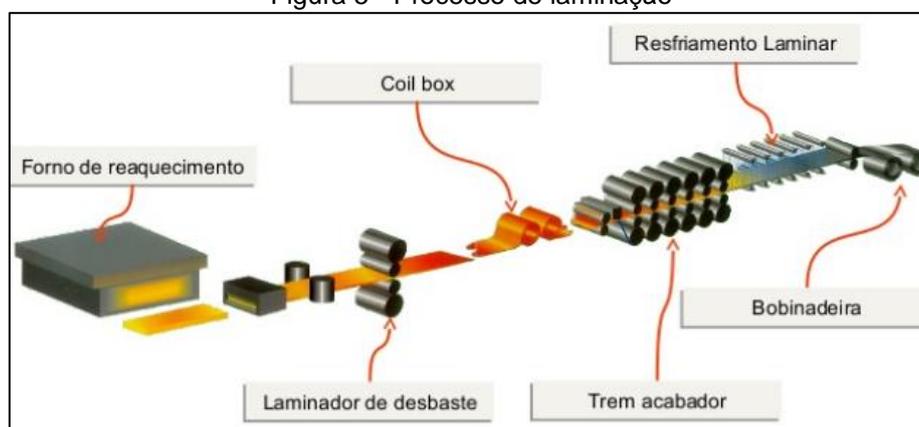


Fonte: Silva (2013)

LAMINAÇÃO

É a última etapa do processo, onde o material passa por uma conformação mecânica. Após o lingotamento, a chapa é forçada a passar entre cilindros laminados, girando em sentido contrário com mesma a velocidade, causando uma redução de espessura, onde seu comprimento é aumentado através de deformação plástica, a fim de produzir chapas e barras que servirão para produtos acabados. O processo pode ser feito a quente ou a frio, dependendo da espessura desejada, quando quente pode vir direto do lingotamento, com um reaquecimento da chapa, já a frio é feito após a laminação a quente. Na Figura 5 vemos como é o processo de laminação (RIZZO, 2008).

Figura 5 - Processo de laminação



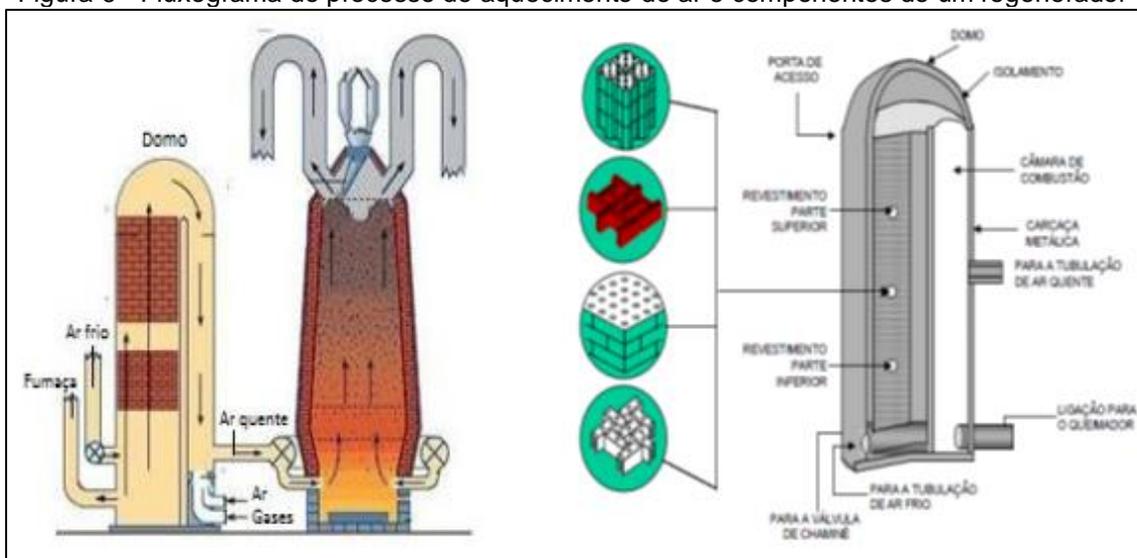
Fonte: Castro (2019)

REGENERADOR

No alto-forno, uma das principais fontes de energia para o processo é o calor sensível que vem do ar pré-aquecido que é injetado no forno, esse ar quente vem de cilindros construídos de material refratário, que são chamados de regeneradores. Uma sequência de 3 ou 4 regeneradores operam em ciclos de aquecimento (combustão) e arrefecimento (ventilação). Para garantir a operação eficiente do alto-forno, a temperatura do fluxo de ar e a vazão devem ser mantidas como pré-estabelecidas, no entanto, isto não é fácil de ser atendido devido às mudanças de parâmetros no tempo e não linearidades, que são bem comuns neste tipo de processo (MUNARO; PAES; 2011).

De acordo com Mourão et al. (2007), os regeneradores são grandes trocadores de calor que tem como principal função aquecer o ar que vai ser injetado nas ventaneiras, eles recebem o ar frio dos turbos sopradores a uma temperatura entre 150 °C a 200 °C e o eleva a uma temperatura entre 1000 °C e 1250 °C. No lado esquerdo da Figura 6 podemos ver como é o método de aquecimento de ar em um alto forno, e no lado direito um croqui mostrando as partes e componentes de um regenerador tipo matriz fixa.

Figura 6 - Fluxograma do processo de aquecimento do ar e componentes de um regenerador



Fonte: Generoso et al. (2017)

Para o aquecimento dos regeneradores, o combustível utilizado é um misto de gases, composto por uma mistura de 88% a 95% de gás é proveniente do próprio alto-forno e de 5% a 12% de gás de coqueria. Para a queima destes

combustíveis, as ventoinhas suprem a câmara de combustão com ar da atmosfera na concentração adequada para a realizada a queima dessa mistura. A câmara de combustão, que possui altura e diâmetro suficientes para evitar o impacto da chama na parte superior do regenerador chamada de domo, tem a função de inverter, em 180°, o sentido dos gases queimados e distribuí-los para o empilhamento de tijolos refratários para absorver seu calor. Os altos-fornos geralmente utilizam conjunto de três a quatro regeneradores que operam em ciclos, existindo quatro fases em que ele pode estar: em aquecimento (quando está ocorrendo combustão e aquecendo o empilhamento), em sopro (quando o regenerador sopra o ar quente para o alto-forno), abafado (já aquecido, mas isolado devido às válvulas estarem fechadas) e manobrando (na fase intermediária entre todas as outras). Cada fase vai se repetindo periodicamente de acordo com os parâmetros estabelecidos (MOURÃO et al., 2007).

Segundo Souza (2017), se o ar necessário à combustão fosse introduzido pelas ventaneiras do alto-forno à temperatura ambiente, uma quantidade muito maior de combustível seria gasta para gerar o calor necessário para que os gases atingissem a temperatura ideal de queima, com isso, é utilizada uma parte dos gases de topo do alto-forno para aquecer o ar antes de soprá-lo pelas ventaneiras, que são aparelhos de cobre eletrolítico de formato cônico. As ventaneiras possuem uma função fundamental na zona de combustão do alto-forno, então quanto maior a quantidade deste equipamento, melhor será o recobrimento da zona. Entretanto, o grande responsável por gerar uma alta pressão ao ar de entrada é o soprador, que nada mais é do que um motor elétrico que trabalha a rotações superiores a 3500 rpm, fazendo com que os gases pré-aquecidos nos glendons sejam introduzidos no alto-forno com o auxílio das ventaneiras. Devido à sua importância no sistema de produção e pelo fato de controlar um parâmetro essencial para o processo, que gera uma considerável economia de carvão vegetal, o soprador é considerado por muitos como o coração do alto-forno.

Para um bom funcionamento do alto-forno, é necessário injetar ar frio a aproximadamente 150 °C vindo das centrais termoelétricas e soprado pelas ventaneiras. Chegando ao alto-forno, esse ar passa pelos regeneradores, que

possuem refratários com reserva térmica temporária para elevar sua temperatura de acordo com o que seja mais eficiente ao procedimento, nos processos siderúrgicos essa temperatura está na faixa de 1250 °C, com vazões que podem chegar a 7500 Nm³/h e 4 kgf/cm² de pressão. Este fluxo de ar quente passa por grandes válvulas gavetas que também são chamadas de válvulas de ar quente, geralmente com sedes e discos de cobre eletrolítico com alta pureza, na ordem de 99,8% de cobre, e são refrigerados com água desmineralizada para conservação dos componentes (BELO, 2019).

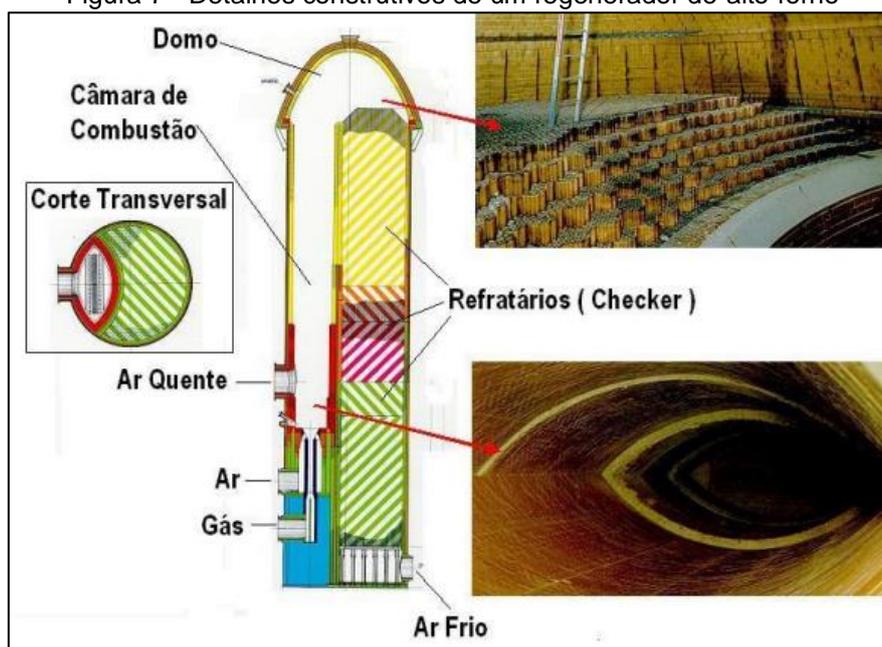
De acordo com Reis et al. (2017), os regeneradores possuem a finalidade de aquecer o ar soprado no alto-forno, com isso, suprir parte de sua demanda térmica, minimizando os custos de produção de gusa, pois aproximadamente 20% da energia consumida no processo é fornecida pelo ar aquecido pelos regeneradores, que é um tipo de trocador de calor que armazena energia e realiza a troca térmica através de um elemento chamado matriz. Existem três tipos de regeneradores que são mais usados nas indústrias siderúrgicas, podendo ser rotativos, de matriz fixa e com matriz na forma de disco.

Reis et al. (2017) ainda pontua as principais diferenças entre os tipos de regeneradores, onde no regenerador rotativo a matriz se move continuamente para obter operação contínua, movendo ciclicamente as correntes de gases, absorvendo e cedendo calor de forma periódica. Nesse tipo de regenerador, a matriz de forma cilíndrica gira continuamente com uma fração constante de corrente quente no núcleo e o volume anular restante contém a corrente de fluido frio. O fluido sai com uma temperatura que varia de acordo com a área de escoamento, não tendo relação com o tempo, já as correntes escoam em sentidos contrários sendo separadas por selos na matriz. No regenerador de matriz fixa a variação da direção das correntes é feita com o auxílio de válvulas, com isso, as correntes são canalizadas para diferentes matrizes que possuem duas ou mais matrizes operando continuamente em períodos de aquecimento e resfriamento alternadamente, dessa forma, a temperatura do fluido de saída varia com o tempo e dois fluidos escoam de forma alternada em direções opostas na matriz. Já no regenerador com matriz na forma de disco, os gases são canalizados através do uso de exaustores rotativos para a matriz, esse modelo

é muito usado para pré-aquecimento de ar em plantas de geração de energia, a teoria básica utilizada para o projeto destes tipos de trocadores de calor é a mesma dos demais.

Segundo Reis et al. (2017), a câmara de combustão de um regenerador tem grande altura e diâmetro, para evitar o impacto da chama no domo, além de garantir maior controle sobre a chama, as dimensões mais usuais são 10,4 m de diâmetro e 40 m de altura. O domo fica na parte superior do regenerador e tem por finalidade inverter em 180° o sentido dos gases queimados e também fazer a distribuição dos gases para o empilhamento de tijolos refratários perfurados que são dispostos uns sobre os outros com a função de absorver o calor na fase de aquecimento. A superfície de aquecimento no empilhamento de um regenerador geralmente excede 40.000 m². Na Figura 7 podemos ver os detalhes construtivos de um regenerador de alto-forno.

Figura 7 - Detalhes construtivos de um regenerador de alto-forno



Fonte: Reis et al. (2017)

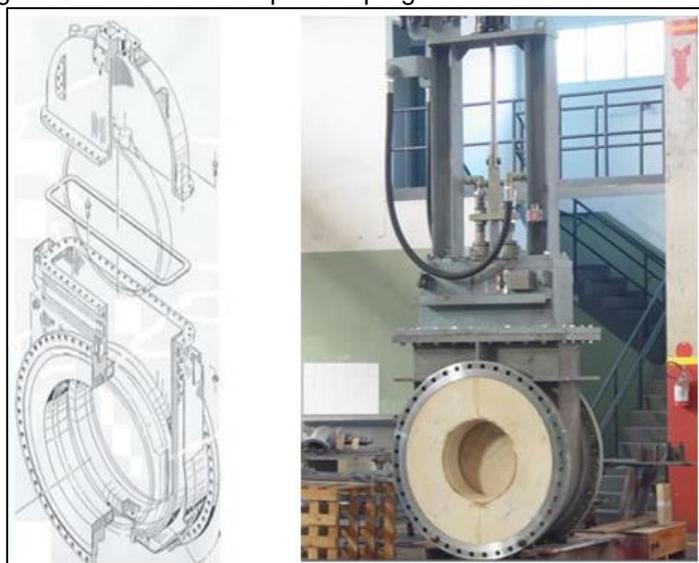
VÁLVULA DE AR QUENTE

De acordo com Ávila e Pedroni (2016), geralmente, os altos-fornos possuem três ou quatro regeneradores que se revezam na responsabilidade de suprir a demanda de ar quente necessária para a fabricação de gusa. Este revezamento necessita de manobras específicas com os diversos equipamentos do regenerador, dentre eles está a válvula de ar quente, que tem grande

destaque por ser a responsável pelo bloqueio do ar para o alto-forno enquanto o regenerador está em fase de aquecimento. Essas válvulas possuem um sistema de resfriamento por água, ficam localizadas entre o regenerador e o tubulão de ar quente e são instaladas com uma pequena distância do regenerador para assim reduzir o recebimento de radiação provinda dos gases da queima.

Ávila e Pedroni (2016) destacam que estas peças geralmente são construídas de corpo fundido ou em chapas soldadas, e quando feitas de chapas soldadas são providas de materiais mais nobres na região das sedes do disco e do corpo, como o DIN 15 MO3. O desempenho destas válvulas está fortemente ligado à proteção refratária das sedes, projeto do regenerador onde o diâmetro do duto de saída influencia na velocidade e na qualidade da água. Estes equipamentos exigem refrigeração com circuito fechado preferencialmente com água desmineralizada. Quando produzidas em corpo fundido, possuem o mesmo feito em aço fundido, anéis e disco de cobre com algum tipo de proteção refratária em locais determinados do corpo. As válvulas que são de construção fundidas com internos de cobre são mais confiáveis que as feitas em construção soldadas, pelo fato de poderem operar alguns dias quando é detectado um vazamento de água. Outra grande vantagem para a válvula de construção fundida é a possibilidade de recuperação com aproveitamento da carcaça metálica e substituição dos internos de cobre. Na Figura 8 podemos ver uma VAQ tipo gaveta do modelo asvotec.

Figura 8 - Válvula de ar quente tipo gaveta da fabricante asvotec



Fonte: ASVOTEC (adaptado)

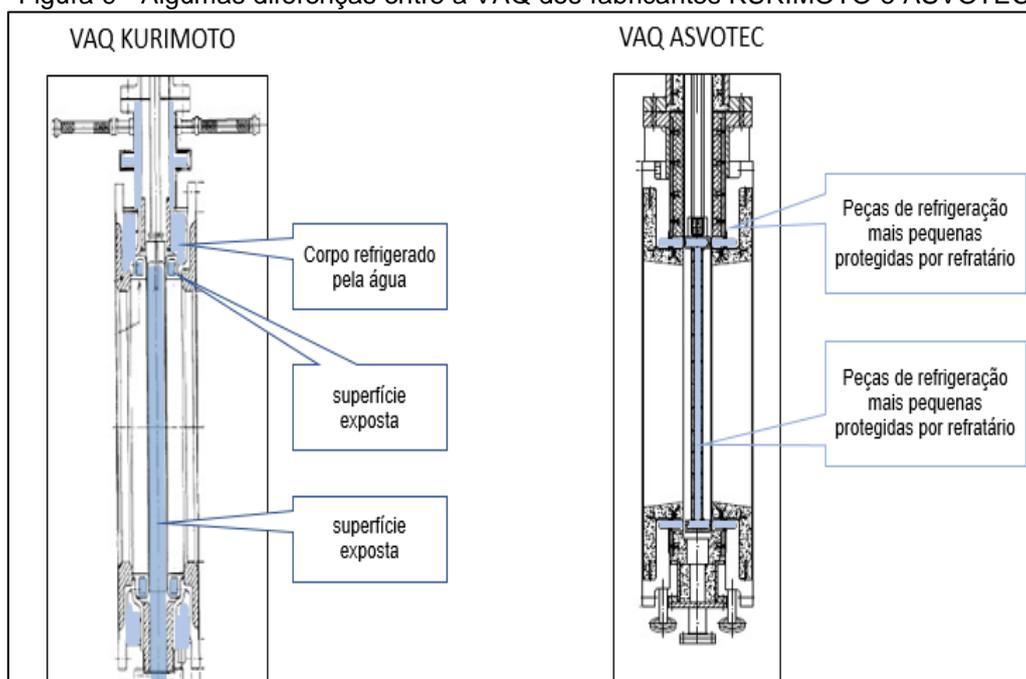
METODOLOGIA E MÉTODO DA PESQUISA

O enfoque utilizado nesta pesquisa será de natureza aplicada e a abordagem usada será predominantemente quantitativa, demonstrando a economia gerada com a substituição do material do assento e sede da VAQ.

A coleta de dados foi feita através da seleção e leitura de artigos relacionados ao tema com bases científicas de dados, utilização do google acadêmico, além de seminários e publicações inerentes ao assunto. Para a seleção dos artigos foi avaliado o tema do trabalho embasado na proposta apresentada no transcorrer do mesmo. Para mais, este projeto foi criado com base na coleta de dados e informações extraídas através do sistema de monitoramento PIMS, que permite coleta online de dados do sistema.

Para se obter o ferro gusa, o combustível possui um alto valor agregado, em média 60% do custo, assim é necessário trabalhar com redução de custos. Com o cenário atual dos valores da matéria prima e a alta competitividade, buscou-se métodos e formas de se diminuir o valor do produto final, mas mantendo sua qualidade. Com esse intuito, no dia 8 de janeiro de 2019, após uma campanha de 10 anos de operação de uma válvula com assento e disco de cobre, se fez a substituição por um modelo com assentos e disco de aço e refratário. A Figura 9 demonstra diferenças entre os dois modelos.

Figura 9 - Algumas diferenças entre a VAQ dos fabricantes KURIMOTO e ASVOTEC

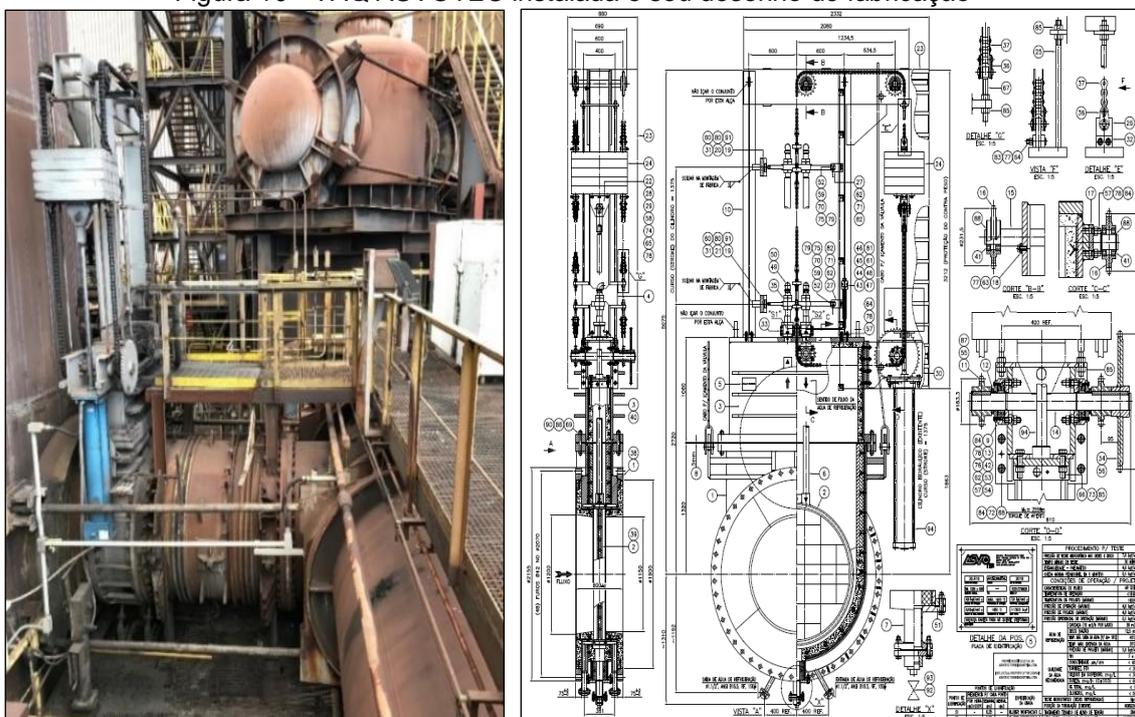


Fonte: ARQUIVO AMT (adaptado)

Nesta etapa, retornou-se ao antigo projeto, que incide com a proposta de trabalhar com a válvula da ASVOTEC, este modelo trabalha com temperatura de sopro mais baixa nos regeneradores, tais condições têm como principal fonte de calor o coque (carvão mineral) que possuía um alto preço, mas tem um excelente poder calorífico. Hoje temos o dever olhar para o conjunto de forma ampla, pois cada equipamento tem sua contribuição para o custo e isso não era visto como fator tão relevante, e assim, se justificava trabalhar com a VAQ KURIMOTO.

Nos dias atuais, há uma precariedade em termos de matéria prima de boa qualidade e ainda com baixo custo, dessa forma, o foco da empresa é baixar os custos, todavia se mantendo competitiva no mercado. Com a instalação da VAQ ASVOTEC que pode ser vista na Figura 10, obteve-se um excelente ganho com menos perda de energia pela refrigeração durante o sopro e a combustão, com a passagem do ar, a perda de temperatura é significativamente menor pois o refratário, em conjunto com o aço, tem baixa perda de temperatura em função do sistema de refrigeração, sendo assim, sua temperatura se mantém mais alta em comparação ao cobre, que, durante o processo de resfriamento, conta com uma perda térmica significativamente alta.

Figura 10 - VAQ ASVOTEC instalada e seu desenho de fabricação



Fonte: ARQUIVO AMT (adaptado)

Após a instalação do modelo VAQ ASVOTEC, iniciou-se o período de averiguação para checar seu comportamento. Foram feitos acompanhamentos diários através de inspeções preditivas, com o objetivo de comparar o desempenho das três válvulas instaladas, o método de medição utilizado foi através da termografia, buscando pontos quentes e fazendo uma checagem mais aprofundada dos equipamentos montados. As inspeções objetivam ainda detectar anomalias durante o processo, garantindo a eficácia do resultado, visto que a nova peça irá substituir um modelo incontestado a vários anos.

O desempenho do equipamento será acompanhado de forma ativa, pois ela é muito exigida durante os ciclos operacionais, portanto deverá dispor de uma excelente performance para o processo produtivo dentro do regenerador, que possui criticidade de grau máximo ao processo produtivo. O monitoramento não é simplesmente um cumprimento de um plano de inspeção, mas sim, uma forma de analisar o seu exercício e checar seu potencial na nova forma operacional produtiva. As VAQs são monitoradas durante todas as etapas de trabalho, combustão e sopro, deve-se entender, no entanto, que durante o período de sopro, onde acontece a maior perda de carga térmica, a refrigeração dos assentos e sedes da válvula retiram calor em excesso do sistema, em uma troca térmica involuntária.

Na etapa de análise de desempenho, foram analisados uma série de pontos, tais como o comportamento da válvula quanto à apresentação de anomalias causando paradas emergenciais, este que é um fator muito relevante nesta etapa; checagem da performance do componente, medindo o aumento de seu desempenho, como a perda de carga térmica comparada a todo o sistema; pontos positivos em relação ao seu funcionamento são monitorados diariamente em inspeções preditivas e sensitivas, para levantamento de dados que venham sustentar a tese de que o equipamento está se comportando dentro do projetado, além da verificação de intervenções, e dessa forma, contabilizará possíveis custos por perdas de produtividade. Este acompanhamento será feito através de medição termográfica objetivando capturar pontos quentes no corpo da válvula, além da dissipação da temperatura distribuída na superfície, que, em seguida, expõem as anomalias detectadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todo o trabalho executado em torno da aplicação da VAQ ASVOTEC, está diretamente relacionado a ganhos financeiros, estabilidade, competitividade e segurança operacional. Para analisar, de forma que se possa mensurar os valores e calcular o custo benefício da instalação, será necessário verificar seu desempenho através de monitoramento online e diário pelo PIMS (Sistema de Gerenciamento de Informação da Planta) e pelo Sistema Aspen Tag Browser, com o auxílio destas ferramentas, será obtido a assertividade durante a observação e levantamento dos ganhos através dos dados armazenados.

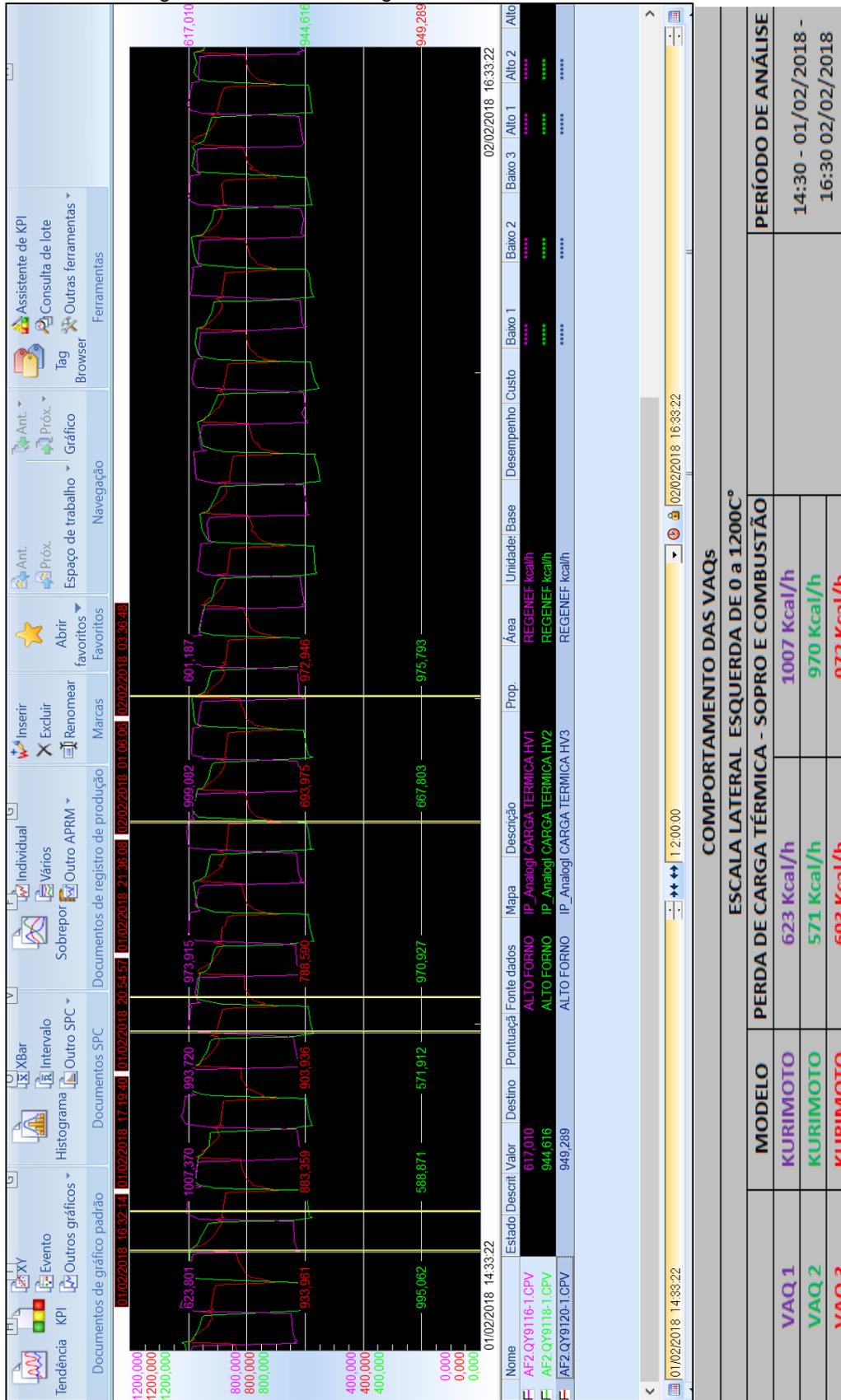
Segundo Silva et al. (2015), o PIMS tem uma estrutura e é composta por um conjunto automatizado, eficaz e seguro, eles se completam, trazendo um alto grau de assertividade. O sistema é composto por um servidor principal, servidor de comunicação, estações de trabalho, banco de dados e estrutura de redes automatizada. Sua principal funcionalidade sugere a intercomunicação das informações do composto informatizado, geração de informações a serem utilizadas em forma de análises e comunicação com programas de controle.

De acordo com Teixeira et al (2015), esta ferramenta disponibiliza, diariamente, funções de níveis de dados que permitiram resolver problemas antes não vistos. Com este método de interação, a gestão será realizada de forma mais clara com a descrição da conjuntura, tudo isso sem que haja a necessidade de conhecer do processo produtivo ou dominar o assunto em sua íntegra. Este programa adquire os dados de diversas fontes e os guarda para posterior utilização.

O PIMS se caracteriza pela habilidade de armazenar informações em forma de resgate de outras fontes, possuindo a capacidade de guardá-las em um arquivo unitário, onde poderão ser acessadas por meio de outros programas. Todos os valores obtidos demonstram o comportamento do equipamento em questão em uma das fases de operação quando solicitado a desempenhar seu potencial extremo a que foi projetado.

Na Figura 11 é possível verificar com o auxílio da ferramenta PIMS a perda de carga térmica nos momentos de sopro e combustão nas três VAQs KURIMOTO já instaladas no regenerador.

Figura 11 - Perda de carga térmica nas VAQs KURIMOTO



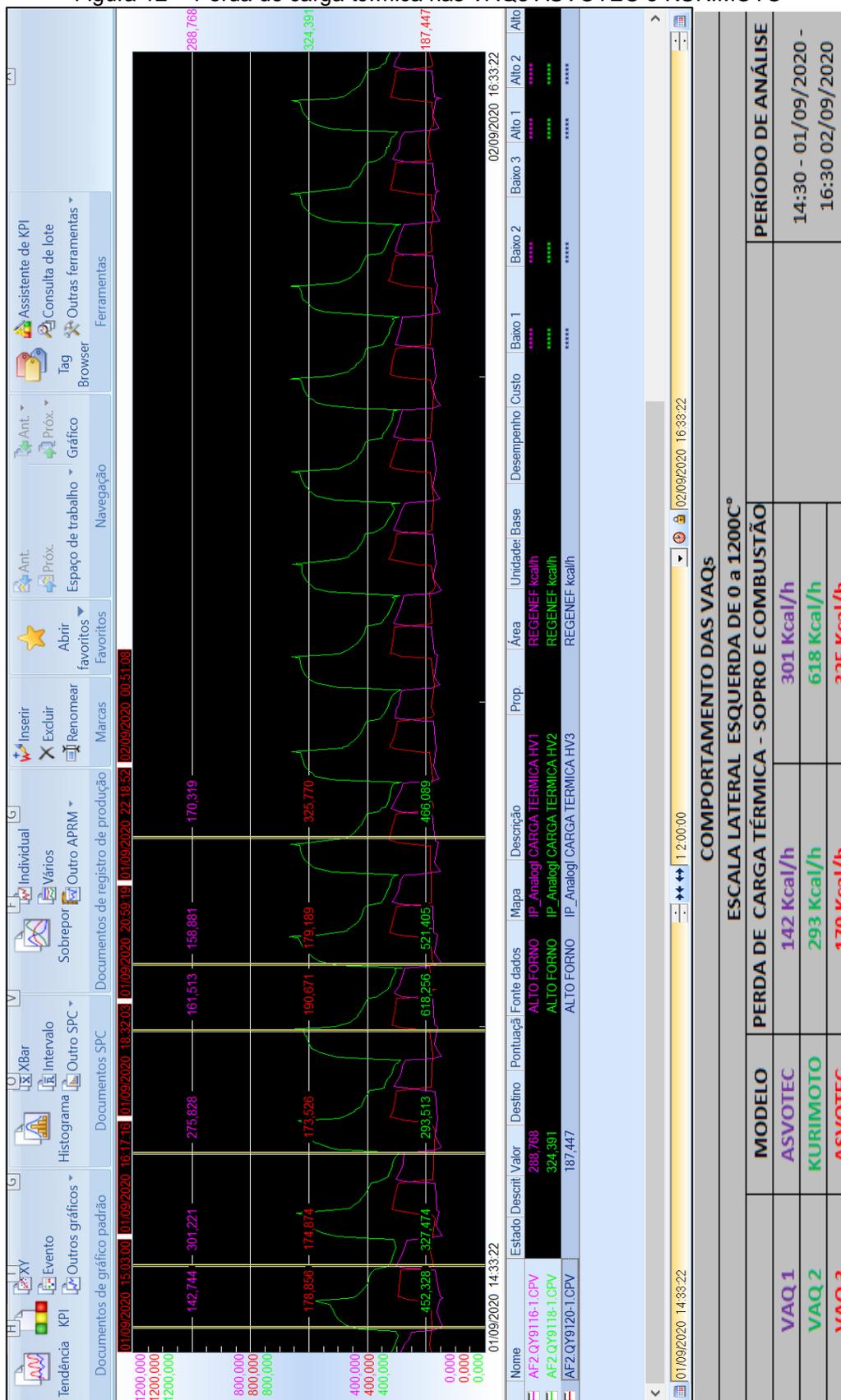
Fonte: Autores (2020)

As análises relacionadas às VAQs KURIMOTO são fundamentais, pois tais equipamentos têm relação direta com a confiabilidade e a produtividade do complexo siderúrgico. Com base nos dados coletados, é possível observar que as perdas refletem diretamente no resultado projetado, visto que a eficiência do sistema de sopro está relacionada à produção do gusa e tais perdas de calor, resultantes do resfriamento, culminam em menor eficiência.

As análises, a partir do monitoramento do regenerador, evidenciam que, após a instalação de duas válvulas ASVOTEC, os resultados obtidos foram excepcionais. Pode-se observar que a perda calorífica, causada pelo resfriamento do assento e disco de aço e refratário, obteve uma queda acentuada na perda de carga térmica.

Os resultados das antigas VAQs serão contrapostos com as informações atuais do sistema, suas investigações irão validar as afirmativas em torno das diferenças encontradas nas instalações do sistema de sopro. A Figura 12 expõe uma grande alteração nas válvulas de ar quente 1 e 3 do regenerador, que agora são da ASVOTEC, elas substituíram os modelos antes instalados e trazem as seguintes evidências.

Figura 12 - Perda de carga térmica nas VAQs ASVOTEC e KURIMOTO



Fonte: Autores (2020)

Pode-se autenticar o bom exercício do produto fabricado pela ASVOTEC, válvulas 1 e 3, e assim é constatada a eficiência energética objetivada e referenciada no transcorrer do trabalho.

Como forma de examinar os equipamentos montados para a mesma função e na mesma posição, foi proposto um antes e depois que pode ser visto na tabela, demonstrando a redução de perda energética e comprovando a assertividade na alteração realizada.

COMPORTAMENTO DAS VAQs 1 e 3					
ESCALA LATERAL ESQUERDA DE 0 a 1200C°					
		MODELO	PERDA DE CARGA TÉRMICA - SOPRO E COMBUSTÃO		PERÍODO DE ANÁLISE
ESTÓRICO COMPARATIVO	VAQ 1	KURIMOTO	623 Kcal/h	1007 Kcal/h	01 e 02 /02/2018
	VAQ 1	ASVOTEC	142 Kcal/h	301 Kcal/h	01 e 02 /09/2020
	VAQ 3	KURIMOTO	693 Kcal/h	972 Kcal/h	01 e 02 /02/2018
	VAQ 3	ASVOTEC	179 Kcal/h	325 Kcal/h	01 e 02 /09/2020

Foi calculado o percentual dos ganhos obtidos, pelo qual pode ser observado na tabela abaixo, que existe uma diferença enorme de perda de energia entre as válvulas das diferentes fabricantes.

COMPORTAMENTO DAS VAQs 1 e 3					
ESCALA LATERAL ESQUERDA DE 0 a 1200C°					
		MODELO	PERDA DE CARGA TÉRMICA - SOPRO E COMBUSTÃO		
REDUÇÃO DA PERDA DE CARGA TÉRMICA	VAQ 1	KURIMOTO	623 Kcal/h	KURIMOTO	1007 Kcal/h
		ASVOTEC	142 Kcal/h	ASVOTEC	301 Kcal/h
		SOPRO	REDUÇÃO DA PERDA 338%	COMBUSTÃO	REDUÇÃO DA PERDA 234%
	VAQ 3	KURIMOTO	693 Kcal/h	KURIMOTO	972 Kcal/h
		ASVOTEC	179 Kcal/h	ASVOTEC	325 Kcal/h
		SOPRO	REDUÇÃO DA PERDA 287%	COMBUSTÃO	REDUÇÃO DA PERDA 199%

CONCLUSÃO

Foi constatado neste trabalho, que não se pode ser resistente a mudanças, pois elas poderão trazer surpreendentes resultados quando bem aplicadas. A alteração dos equipamentos aqui expostas, solidificou o que antes era tese tornando-se referência e sinônimo de bons resultados, afirmamos ainda que o desempenho alcançado pelo equipamento, evidencia a importância de apostar em extrair o máximo potencial dos seus equipamentos e sistemas operacionais. Todos os ganhos mensurados neste projeto trarão retornos proporcionais à sua curva de resultados, pois impactam significativamente nos seguimentos produtivo e financeiro da siderurgia.

REFERÊNCIAS

AVILA, B. M. R.; PEDRONI L. R. **MCC Aplicada nas Válvulas de Ar Quente dos Regeneradores**. TCC (Graduação em Engenharia Mecânica) - UFES, Vitória, 2016. 56p.

BELO, E. O. **Análise De Falhas Dos Equipamentos de um Alto Forno**. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019. 71p.

BOTELHO, E. **A Gestão de resíduos e Co-Produtos na ArcelorMittal Tubarão**. Março 2008. Disponível em ;< <https://docplayer.com.br/11145631-A-gestao-deresiduos-e-co-produtos-na-arcelormittal-tubarao-marco-de-2008.html>>Acesso em: 15 de outubro de 2020.

CARVALHO, T. S. **Análise do Custo do Ciclo de Vida de Válvulas de Descarga de Pó de Um Alto Forno. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017. 77p.**

CELSO J. MUNARO, C. J.; PAES A. A. **Construção, Modelagem e Controle de Um Piloto de Regenerador de Alto-Forno**. DINCON 2011 - 10^o Conferência Brasileira de Dinâmica, Controles e Aplicações, agosto/setembro 2011, p. 124-127.

CRASTO B. B. **Análise de Intervalos Ótimos de Manutenção Preventiva da Tesoura de Pontas da Cadeira de Laminação de Bobinas da ArcelorMittal Tubarão**. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019. 46p.

GENEROSO, L. G.; PEREIRA, C. A. D.; KOCH, D. M.; OLIVEIRA, C. F. **Redução do Consumo de Combustíveis nos Regeneradores do Alto-Forno 3 da Usiminas**. 47^o Seminário de Redução de Minérios e Matérias-Primas, p. 363-374, São Paulo, outubro de 2017.

MOURÃO, M. B. et al. **Introdução à Siderurgia**. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, São Paulo, 2007.

NASCIMENTO, A. D.; SANTOS, S. S., MORAIS, A. A.; FRACALOSSO, R. L.; REIS, A. L. G. **Modelo Termográfico de Detecção de Colamento de Aço no Molde nos Lingotamentos Contínuos da ArcelorMittal Tubarão**. 48^o Seminário de Aciaria, Fundição e Metalurgia de Não-Ferrosos, parte integrante da ABM Week, outubro 2017, São Paulo.

REIS, L. C.; GANDRA, B. F.; GENEROSO, L. G. **Análise Térmica dos Regeneradores dos Altos-Fornos**. 48^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-Primas e 6^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, parte integrante da ABM Week, outubro 2018, São Paulo.

REIS, C.K. **Aplicação de Ferramentas MASP Para Redução do Consumo de Areia EBT no Forno Elétrico a Arco de uma Siderurgia.** Dissertação (Graduação em Engenharia Mecânica) – UFJF, Juiz de Fora, 2017.

RIZZO, E.M.S., **Estudo Prospectivo do Setor Siderúrgico.** Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Brasília, 2008.

SILVA C. J. M. **Portal Utilidades - Uma Ferramenta para Gestão Operacional Usando o PIMS na TKCSA.** 36° Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades e 30° Encontro de Produtores e Consumidores de Gases Industriais, parte integrante da ABM Week, agosto 2015, Rio de Janeiro.

SILVA, J.N.S. **Siderurgia** [Apostila do curso de Metalurgia] – Belém: IFPA: Santa Maria: UFSM, 2011. Disponível em; <http://redeetec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo_ctrl_proc_indust/tec_metal/siderurgia/161012_siderurgia.pdf> Acesso em: 15 de outubro 2020.

SOUSA, E. F. **Eficiência Energética e Redução da Emissão de Poluentes na Indústria Siderúrgica.** TCC (Graduação em Engenharia Mecânica) - UFJF, Juiz de Fora, 2017. 83p.