

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACVEST
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

FÁBIO RAFAEL DA SILVA

METODO E PROCESSO DE TÊMPERA DIRETA

LAGES
2018

Fábio Rafael da Silva

METODO E PROCESSO DE TÊMPERA DIRETA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Universitário UNIFACVEST, como parte dos requisitos para obtenção do grau de bacharel em Eng. Mecânica.

Prof. Alisson Ribeiro de Oliveira

**LAGES
2018**

Fábio Rafael da Silva

METODO E PROCESSO DE TÊMPERA DIRETA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Universitário UNIFACVEST, como parte dos requisitos para obtenção do grau de bacharel em Eng. Mecânica.

Prof. Alisson Ribeiro de Oliveira

Lages, SC, ___ de _____ de 2018. Nota _____

Prof. Alisson Ribeiro de Oliveira

Prof Dr. Rodrigo Botan, Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica.

**LAGES
2018**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por ter proporcionado tantas coisas boas na minha vida, essa realização é mais uma delas, fruto de uma longa batalha, somada a muito esforço e dedicação.

Agradeço aos meus pais Jucelino e Solange, e meu irmão William, que sempre acreditaram na minha vitória. Agradeço a minha namorada “Mariana”, meu amor da 5ª fase, vencemos tantas barreiras, e hoje, estamos colhendo aquilo que sempre sonhamos.

Agradeço meu orientador, prof. Alisson Ribeiro de Oliveira, pelo suporte e toda ajuda nessa reta final.

Agradeço aos professores por esses anos incríveis que passamos juntos, a todos os colegas de turma, que se transformaram em irmãos que levaremos para a vida toda.

“Às vezes da medo, mas faz parte do show.”

METODO E PROCESSO DE TÊMPERA DIRETA

Fábio Rafael da Silva¹
Alisson Ribeiro de Oliveira²

RESUMO

Nesse trabalho apresento uma proposta de melhoria no processo de têmpera na indústria metal mecânica, onde até bem pouco tempo atrás era executado por meio de forno a gás, gerando um custo alto de despesas, com a tendência de hoje onde as empresas buscam redução de custos, optou-se por buscar junto ao mercado novas ideias e inovações no segmento, juntando tudo isso, foi desenvolvido um novo procedimento de operação, onde se aproveita o calor residual no aquecimento do blank, assim ao fim do processo com a instalação de esteiras, sensor térmico e tanque de resfriamento, obtemos a têmpera direta, um resultado satisfatório gerando retorno já na fase inicial do experimento. A redução de custos bem como a de etapas foi alcançada com êxito, o setor de tratamento térmico obteve uma economia considerável no consumo de gás, já que todas as peças depois de forjada eram encaminhadas ao mesmo para receberem o devido tratamento, com a têmpera direta, solucionamos esse problema, pois a têmpera ficou agrupada no mesmo processo dentro da forjaria.

Com o acompanhamento no setor de tratamento térmico, e alguns gráficos e tabelas, pode-se analisar o antes e depois na mudança do procedimento, começando a partir de janeiro de 2016, onde toda parte de têmpera era feita no forno giratório, e em 2018 já com o novo processo em operação na forjaria.

Palavras-chave: forjada, têmpera, peça, processo, reaproveitar.

¹Acadêmico do curso de Engenharia mecânica, 10º fase, disciplina de TCC 2, do Centro universitário UNIFACVEST.

² Professor do Centro Universitário Unifacvest, ALISSON RIBEIRO DE OLIVEIRA.

METHOD AND PROCESS OF DIRECT QUENCHING

Fábio Rafael da Silva¹
Alisson Ribeiro de Oliveira²

ABSTRACT

In this work, i present a proposal for a improvement in the quenching process in the metal working industry, where until very recently it was executed by means of a gas furnace, generating a high cost of expenses, with the trend of today where the companies seek to reduce costs , it was decided to seek together with the market new ideas and innovations in the segment, adding all this, a new operating procedure was developed, where the waste heat is used in the heating of the blank, so at the end of the process with the installation of mats, thermal sensor and cooling tank, we obtain the direct tempering, a satisfactory result generating return already in the initial phase of the experiment. The reduction of costs as well as of steps was successfully achieved, the thermal treatment sector achieved a considerable saving in the gas consumption, since all the pieces after forged were sent to the same to receive the due treatment, with the direct temper , we solved this problem, since the tempering was grouped in the same process inside the forging.

With the follow-up in the thermal processing sector, and some graphs and tables, one can analyze the before and after in the change of processing, starting from January 2016, where all quenching was done in the rotary kiln, and in 2018 already with the new process in operation in the forging.

Key words: forged, quenching, part, process, reuse

¹Acadêmico do curso de Engenharia mecânica, 10º fase, disciplina de TCC 2, do Centro universitário UNIFACVEST.

² Professor do Centro universitário Unifacvest, ALISSON RIBEIRO DE OLIVEIRA.

LISTA DE ABREVIATURAS

CCC - Cúbico de corpo centrado

TCC - Tetragonal de corpo centrado

CFC - Cúbica de face centrada

TTT - Tetragonal – Tempo - Transformação

LISTA DE SÍMBOLOS

Fe - Ferro

O - Oxigênio

°C - Graus Celsius

Na - Sódio

Cl - Cloro

C - Carbono

H - Hidrogênio

K - Potássio

W - Tungstênio

Cm² - Unidade de área

M³ - Unidade de volume

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Efeito da velocidade de esfriamento na transformação da austenita.....	17
Figura 2 - Representação esquemática do efeito grande secção sobre a velocidade de esfriamento em água.....	18
Figura 3 - Curvas de transformação perlítica.....	19
Figura 4 - Efeito do tempo de aquecimento na profundidade de endurecimento por têmpera superficial.....	22
Figura 5 - 3 métodos de aplicação do endurecimento superficial por chama.....	23
Figura 6 - têmpera de flange, aquecimento a gás.....	24
Figura 7 - Têmpera de flanges, forno giratório.....	24
Figura 8 - Exemplos de campos magnéticos e correntes induzidas produzidas por bobinas de indução	25
Figura 9 - Aquecimento por indução.....	26
Figura 10 - Aquecimento por indução.....	26
Figura 11 - Técnica de aquecimento por indução.....	27
Figura 12 - Formas típicas de bobinas de indução para alta frequência.....	28
Figura 13 - Efeito da temperatura de revenido sobre a dureza e a resistência ao choque, em um aço 1045 temperado.....	31
Figura 14 - Blank.....	33
Figura 15 - Prensa.....	33
Figura 16 - Flange forjado.....	34
Figura 17 - Armazenamento.....	34
Figura 18 - Pátio.....	34
Figura 19 - Forno giratório.....	34
Figura 20 - Forno giratório em operação.....	35
Figura 21 - Têmpera de flanges, resfriamento em duchas.....	36
Figura 22 - Blank.....	37
Figura 23 - Pré- achatamento.....	37
Figura 24 - Fojamento.....	38
Figura 25 - Esteiras.....	38
Figura 26 - Resfriamento.....	38

Figura 27 - Resfriamento.....	39
Figura 28 - Flange finalizado.....	39
Figura 39 - Deposito de peças forjadas.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Velocidade relativas de diversos meios de resfriamento.....	17
Tabela 2 - Quantidade de oxigênio-gás combustíveis necessária para aquecer 1 cm ² de aço a 815°C a uma profundidade de 32 mm.....	24
Tabela 3 - fonte de energia e frequência para têmpera por indução.....	28
Tabela 4 - Tipos de aço e meios de resfriamento.....	40
Tabela 5 - Consumo de gás do mês de janeiro de 2016.....	42
Tabela 6 - Consumo de gás do mês de outubro de 2018.....	44

LISTA DE GRAFÍCOS

Gráfico 1 - Leitura de consumo de gás/m ³ janeiro 2016.....	43
Gráfico 2 - Valor de consumo de gás, janeiro 2016.....	43
Gráfico 3 - Leitura de consumo de gás/m ³ outubro 2018.....	44
Gráfico 4 - Valor de consumo de gás outubro 2018.....	45

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 Tratamento térmico	14
2.2 Aquecimento.....	14
2.3 Temperaturas de aquecimento.....	15
2.4 Tempo de permanência à temperatura	15
2.5 Ambientes de aquecimento	15
2.6 Resfriamento.....	16
2.7 Influência dos tratamentos	18
3. TIPOS DE TRATAMENTO TÉRMICO	19
3.1 Têmpera.....	19
3.2 Têmpera superficial	20
3.3 Têmpera por chama	22
3.4 Têmpera por indução	25
3.5 Revenido	29
4. MATERIAIS E MÉTODOS	32
4.1 Processo de têmpera antes da melhoria.....	33
4.2 Processo de têmpera direta.....	37
6. CONCLUSÃO	46
7. REFERÊNCIAS	47
8. ANEXOS.....	48
Apêndice A - Procedimento operacional para forjamento.....	48
Apêndice B - Procedimento operacional para temperar peças no forno giratório.....	51
Apêndice C - Procedimento para temperar flanges.....	54

1. INTRODUÇÃO

Esse trabalho apresenta uma melhoria em um dos processos, a ser utilizado na empresa Minusa trator peças, uma tradicional metalúrgica, do ramo de implementos e peças de reposição de tratores de terraplanagem e escavadeira, atualmente localizada na área industrial de Lages, SC.

A pesquisa está voltada ao tratamento térmico, com ênfase na têmpera, e seus benefícios para variadas ligas metálicas, bem como o desenvolvimento de um projeto inovador na região serrana, uma melhoria no processo de têmpera, batizada de têmpera direta.

A têmpera direta tem uma série de benefícios, um deles e o mais importante é o aproveitamento do calor residual da máquina, utilizando o aquecimento por indução no início da operação e finalizada com o resfriamento no final da linha, assim obtemos a peça forjada e temperada no mesmo processo.

O objetivo do trabalho está voltado na economia e agilidade na produção, onde se ganha tempo e mão-de-obra, com o envolvimento de apenas um setor de trabalho, pois o processo antigo envolvia primeiramente a forjaria e depois todas as peças forjadas eram deslocadas para o setor de tratamento térmico, onde eram temperadas com aquecimento a gás, e resfriamento de ducha, com isso diminuiu o consumo de gás e o trabalho que necessitava de várias etapas agora ficou definido em:

- Tratamento térmico, através de têmpera direta no setor de forjaria;
- Rapidez na liberação de lotes para a próxima etapa;
- Redução de custos operacionais, agilidade nos processos de fabricação.
- Alta qualidade do produto final;
- Redução do consumo de gás em forno giratório.

A pesquisa visa mostrar uma forma de juntar o processo de forjamento com o processo de têmpera, sem que haja o envolvimento de outros setores, onde até algum tempo atrás faziam parte do procedimento, nos dias atuais a indústria vem tentando ao máximo a busca por reduções de custo de produção em todos os seus segmentos, essa melhoria a ser desenvolvida é teoricamente bem simples, usam-se os recursos da própria empresa, toda parte de esteiras e ferramental foi desenvolvido internamente e busca diretamente economizar processos, organizar a logística, economia de materiais, e a redução do consumo de gás.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Tratamento térmico

Tratamento térmico é o conjunto de operações de aquecimento em que os aços são submetidos, em condições controladas de temperatura, tempo, atmosfera e a velocidade de resfriamento, e tem o objetivo de alterar as suas propriedades ou conferir determinadas características. (CHIAVERINI, 2008).

Quatro tratamentos usuais empregados para os aços incluem alívio de tensões, recozimento pleno, normalização e esferoidização. Esses tratamentos térmicos são usados para as seguintes finalidades:

- Eliminar defeitos do trabalho a frio.
- Controlar o endurecimento por dispersão.
- Melhorar a usinabilidade. (ASKELAND DONALD R, 2014).

A velocidade de aquecimento é um fator de extrema importância quando os aços estão em estado de tensão interna ou no caso, possuem tensões residuais devido ao encruamento prévio, nestas condições, um aquecimento muito rápido pode causar empeno da peça. Já a temperatura de aquecimento é mais ou menos um fator fixo, que depende das propriedades e das estruturas finais desejadas. (CHIAVERINI, 2008).

Submetendo-se o aço a estas variações controladas de temperatura, por tempos definidos obtêm-se diversas alterações nas microestruturas e nos tamanhos de grãos que influenciam de forma significativa no comportamento do aço. (SILVA, 2006).

O resfriamento é o fator mais importante, ele determinará efetivamente as propriedades e a estrutura final do aço, os meios de resfriamento mais usados são: ambiente de forno, ar e meios líquidos. O resfriamento feito no interior do forno é o mais brando, mas ele se torna mais severo à medida que se passa a usar o ar, ou para um meio líquido. (CHIAVERINI, 2008).

2.2 Aquecimento

Considerando que o objetivo fundamental do tratamento térmico é a modificação das propriedades mecânicas do material, verifica-se que isso só se consegue mediante a uma alteração de sua estrutura, para o que é necessário que a liga considerada seja aquecida a uma temperatura que possibilite aquela modificação. Essa temperatura geralmente corresponde à temperatura acima da de recristalização do material, no caso dos aços é a "temperatura crítica". O resfriamento subsequente completa as alterações estruturais e confere ao material as propriedades mecânicas desejadas. (CHIAVERINI, 1986).

2.3 Temperaturas de aquecimento

As precauções a tomar no aquecimento são as mesmas do recozimento: aquecer uniformemente e prevenir a descarbonetação, a oxidação e a deformação das peças. As peças a serem temperadas podem ser aquecidas em fornos de mufla, que é o processo mais usado, ou em banhos de chumbo ou de sais, chumbo permite aquecimento até 870° já os sais permitem aquecimento até 1300°. (COLPAERT, 1974).

O conhecimento dos diagramas de equilíbrio das ligas é fundamental, junto a prática do tratamento térmico, para que não haja aquecimento insuficiente ou excessivo. Isso significa que há necessidade de dispor-se de equipamento ou “fornos” e instrumentação adequada para o aquecimento, o controle e o registro da temperatura. (CHIAVERINI, 1986).

2.4 Tempo de permanência à temperatura

O tempo de permanência à temperatura de aquecimento, é quase idêntica à influência da máxima temperatura de aquecimento, o tempo à temperatura deve ser o suficiente para que as peças se aqueçam de modo uniforme, por toda a sua secção. Usar somente o tempo necessário, pois pode haver um crescimento grão indesejável, e em algumas ligas gerando maior possibilidade de oxidação. (CHIAVERINI, 1986).

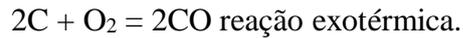
2.5 Ambientes de aquecimento

A atmosfera comum provoca alguns fenômenos prejudiciais em algumas ligas metálicas. Um exemplo desses fatores são os aços, onde duas reações comuns ocorrem, causando sérios problemas: “oxidação” que resulta na formação de uma película oxidada “casca de óxido” e a “descarbonetação” onde se resulta uma camada mais mole na superfície do aço. (CHIAVERINI, 1986)

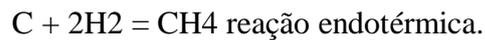
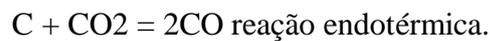
As reações de oxidação mais comuns são:



A descarbonetação é um processo simultâneo a oxidação, é considerada uma oxidação do carbono e ocorre geralmente mediante as seguintes reações:



Podem-se evitar esses fenômenos empregando uma atmosfera protetora e controlada no interior do forno. Os tipos mais comuns de atmosferas protetoras obtidas pela combustão parcial ou total do carvão, óleo ou gás, pelo emprego de hidrogênio, nitrogênio, amônia dissociada e, eventualmente, do vácuo. Banhos de sal consistem em um ambiente protetor. (CHIAVERINI, 1986)



2.6 Resfriamento

Os procedimentos convencionais de tratamento térmico para produção de aços martensíticos envolvem normalmente o resfriamento rápido e contínuo de uma amostra austenitizada em algum tipo de meio de têmpera, tal como a água, o óleo ou o ar.

(WILLIAM D. CALLISTER, JR).

A escolha do banho depende da têmpera que se deseja e da qualidade do aço a ser tratado, porque certos aços trincam e empenam quando temperados em água e só suportam têmpera branda, com exceção de alguns aços-liga que endurecem pelo simples esfriamento ao ar (têmpera ao ar) o esfriamento praticado na têmpera comum é habitualmente rápido, para esse fim, as peças, depois de devidamente aquecidas e homogeneizadas na temperatura de austenitização, são em seguida mergulhadas em líquido. (COLPAERT, 1974).

Um meio de resfriamento muito drástico, como solução aquosa pode levar ao surgimento de elevadas tensões internas que prejudicam a qualidade final do material, utilizando a seleção de um meio mais brando, que por outro lado, pode não representar a solução ideal, pois impede que as modificações estruturais desejadas se realizem completamente. (CHIAVERINI, 1986).

Os constituintes normais da decomposição da austenita (ferrita, cementita e perlita) decorrentes de velocidades de resfriamento lentas, possibilitam uma enorme variação das propriedades mecânicas dos aços, porém não se compara com o efeito que pode ser alcançado com o resfriamento rápido da austenita. Essas transformações lentas, são funções das alterações do reticulado cristalino do ferro, processo dependente da difusão dos átomos através da austenita, sendo uma etapa que necessita de tempo para se completar. Entretanto se a velocidade de resfriamento for aumentada, não haverá tempo para completa difusão atômica e a transformação da austenita se modifica, formando a martensita (VAN VLACK, 1984).

Os meios mais empregados para o resfriamento, partindo do mais rápido são os seguintes:

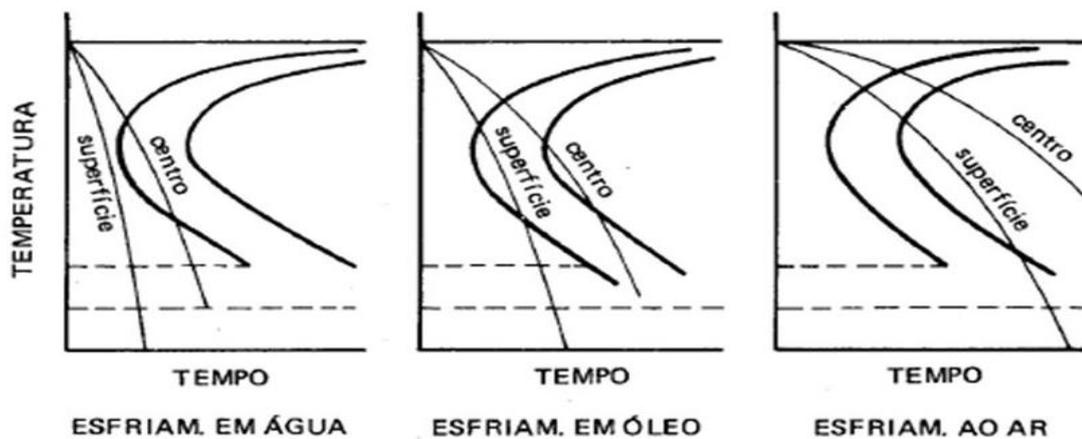
- Solução aquosa a 10% de NaCl ou NaOH ou Na₂CO₃
- Água
- Óleos de várias viscosidades
- Ar
- Vácuo

Tabela 1 - Velocidade relativas de diversos meios de resfriamento.

Meio de resfriamento	Velocidade Relativa de Resfriamento para Diâmetros de:		
	1"	2"	3"
O mais drástico (teórico)	1,23	0,30	0,14
Água em agitação	1,00	0,27	0,13
Óleo em agitação	0,40	0,18	0,093
Corrente de ar	0,032	0,0157	0,0102
Ar tranqüilo	0,0152	0,0075	0,0048

Fonte: CHIAVERINI, 2008, p.84.

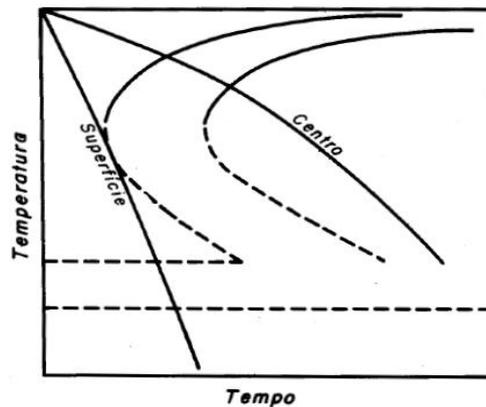
Figura 1 - Efeito da velocidade de esfriamento na transformação da austenita.



Fonte: CHIAVERINI, 2008, p.51.

Representação esquemática do efeito da secção da peça sobre a velocidade de esfriamento em meios diferentes.

Figura 2 - Representação esquemática do efeito grande secção sobre a velocidade de esfriamento em água.



Fonte: CHIAVERINI, 2008, p.51

Observa-se a melhora nas condições para o endurecimento total, em toda a secção da peça.

2.7 Influência dos tratamentos

Os tratamentos alteram a microestrutura do material e em consequência são influenciados da seguinte forma:

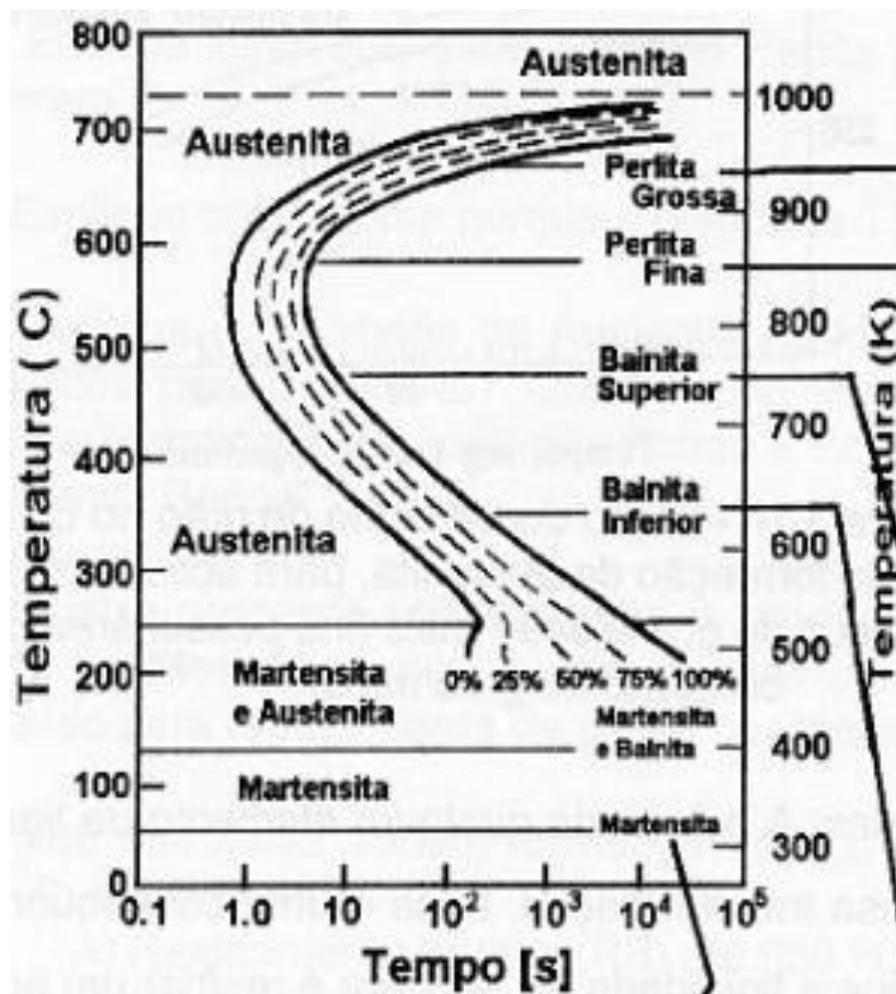
- Os tratamentos que aliviam as tensões, com o recozimento pleno, o recozimento intermediário e subcrítico, reduzem a dureza, aumentam a resistência à corrosão e a resistência mecânica.
- Os tratamentos que aumentam as tensões, como têmpera, o encruamento e a precipitação, aumentam a dureza, a resistência mecânica e diminuem a resistência à corrosão.
- O revenido aumenta a resistência a corrosão e a resiliência.
- A resistência mecânica e a dureza podem ser aumentadas por solução sólida, principalmente do tipo intersticial ou precipitação.
- Os tratamentos mecânicos podem ser aplicados para encruamento e recristalização do material.
- Os tratamentos mecânicos e termoquímicos podem ser aplicados para endurecimento superficial. (NUNES, 2012).

3. TIPOS DE TRATAMENTO TÉRMICO

3.1 Têmpera

A têmpera consiste no aquecimento do aço até a sua temperatura de austenitização, que gera em torno de 815°C a 870°C, seguido de resfriamento rápido. Esse tratamento tem por objetivo se obter a martensita, o que se requer uma velocidade rápida de resfriamento, para que a austenita não ultrapasse o lado direito do joelho da fig. 3 e assim se transformar em seus outros produtos, como a bainita e a perlita. (CHIAVERINI, 2008).

Figura 3 - Curvas de transformação perlítica.



Fonte: CHIAVERINI, 2008.

A têmpera pode ser aplicada em diversas ligas, porém ela é mais importante nas ligas ferro carbono e particularmente nos aços. A estrutura obtida nesse processo é denominada martensita

e nela tem-se austenita não transformada em grãos muito longos sob a forma de agulhas onde o carbono é retido sob a forma de impureza intersticial na estrutura de cubo de corpo centrado (CCC), formando uma estrutura tetragonal de corpo centrado (TCC). (NUNES, 2012).

O nome martensita, foi originalmente utilizado para designar o constituinte resultante da decomposição da austenita durante a têmpera dos aços comuns. A observação posterior de que algumas ligas não ferrosas também sofriam este tipo de reação fez com que o termo se estendesse à denominação a qualquer produto de uma transformação adifusional assistida por tensão. (SANTOS, N. C 2008).

A existência da martensita, como uma fase metastável que contém carbono em solução sólida em uma estrutura tetragonal de corpo centrado, não altera o diagrama de fases ferro-carbono. (LAWRENCEH, VAN VLACK, 1970).

A velocidade de resfriamento vai influenciar diretamente no tipo de martensita, portanto nas propriedades em termos de dureza e resistência mecânica.

Os três meios mais comuns de resfriamento são a água, o óleo e o ar. O meio mais drástico é a água e o mais suave é o ar. A formação da martensita depende apenas da composição da liga e da velocidade de resfriamento, isso acontece porque no resfriamento rápido não se tem difusão. (NUNES, 2012).

A presença de elementos de liga, tais como cromo, níquel, molibdênio e o tungstênio, altera o posicionamento do cotovelo da curva, fazendo com que as transformações da austenita em perlita ocorram de forma mais demorada em determinadas temperaturas, além disso, o cromo altera a solubilidade do carbono na matriz ferrítica propiciando estruturas martensíticas no resfriamento ao ar como nos aços inoxidáveis martensíticos.(NUNES, 2012).

3.2 Têmpera superficial

O endurecimento superficial dos aços, em grande número de aplicações de peças de máquinas é frequentemente mais conveniente que o seu endurecimento total pela têmpera normal, nessas aplicações o objetivo é a criação de uma superfície dura e de grande resistência ao desgaste e à abrasão. (CHIAVERINI, 2008).

Por meio de tratamento térmico adequado, podemos produzir uma estrutura que seja dura na superfície, de forma que são obtidas excelentes resistências ao desgaste e à fadiga, porém ao mesmo tempo preserva-se o núcleo dúctil e tenaz, que proporciona boa resistência à ocorrência de falha por impacto. (ASKELAND, DONALD R.2014).

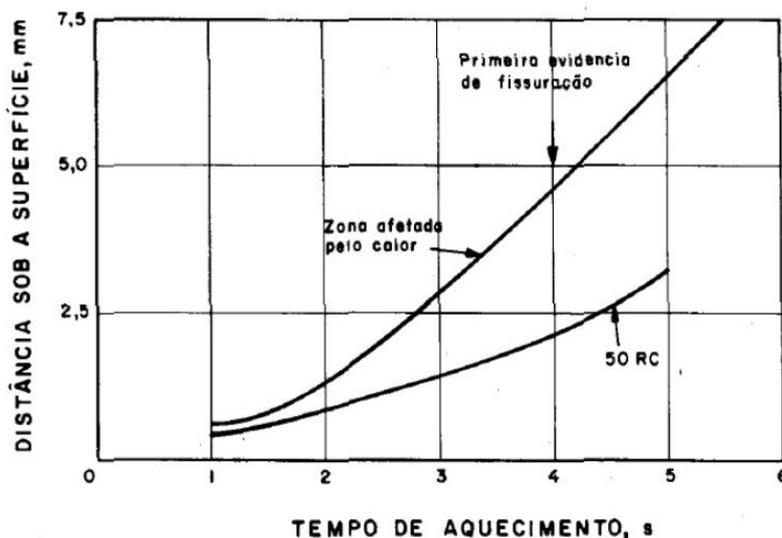
Motivos que determinam a preferência do endurecimento superficial ao endurecimento total:

- Dificuldade, sob os pontos de vista prático e econômico, de se tratar de peças com grandes dimensões nos fornos de tratamento térmico convencional.
- Possibilidade de endurecer apenas as áreas críticas de determinadas peças como, por exemplo, guias de máquinas operatrizes, grandes cilindros, dentes de grandes engrenagens e etc.;
- Possibilidade de se utilizar aços mais econômicos, como aços carbono, no lugar de aços-liga;
- Possibilidade de melhorar a precisão na dimensão de peças planas, grandes ou delgadas, se evitando o endurecimento total. Exemplos, êmbolos de cilindros hidráulicos e hastes;
- Possibilidade de controlar o processo, produzindo se desejável, variações nas profundidades do endurecimento ou de dureza, em secções diferentes da peça;
- Investimento no capital médio, no caso de adotar-se o endurecimento superficial por indução é bem menor, no caso de endurecimento por chama.
- Diminuição dos riscos de aparecimento de fissuras com origem no resfriamento, após o resfriamento.

As propriedades resultantes da têmpera superficial são:

- Superfícies de alta dureza e resistência ao desgaste;
- Boa resistência a fadiga por dobramento;
- Boa capacidade para resistir cargas de contato;
- Resistência satisfatória ao empenamento. (CHIAVERINI, 2008).

Figura 4 – Efeito do tempo de aquecimento na profundidade de endurecimento por têmpera superficial.



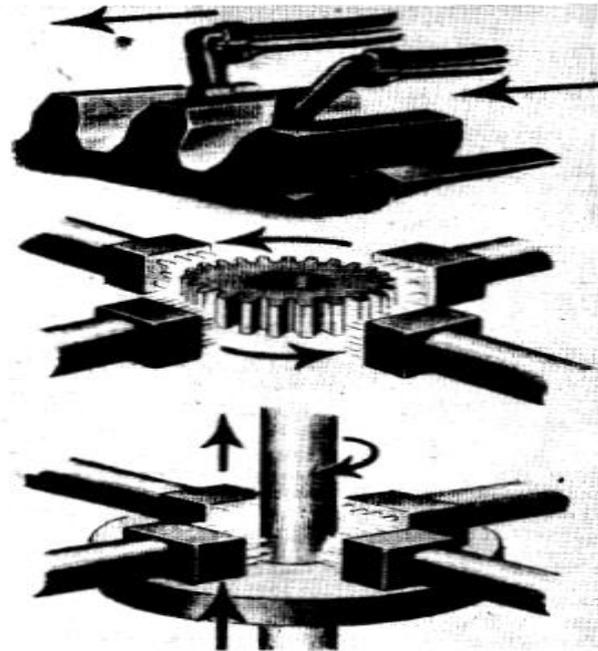
Fonte: CHIAVERINI, 2008, p.107

Além dessas vantagens ainda temos a eliminação dos fornos de aquecimento e a uma maior rapidez de tratamento, tratamento em qualquer local da oficina e não produz apreciável oxidação ou descarbonetação do aço. (CHIAVERINI, 2008).

3.3 Têmpera por chama

Neste processo, aquece-se rapidamente, acima da temperatura crítica, a superfície a ser endurecida, por meio de uma chama de oxiacetileno, seguindo-se de um jato de água, em forma de borrifo, produzindo uma camada endurecida até a profundidade desejada. Podem ser utilizados inúmeros dispositivos nessa operação, no caso mais simples de formas cilíndricas, o tratamento é feito mediante a utilização de um dispositivo semelhante ao torno, entre as pontas do mesmo é colocada a peça. Sendo a tocha de oxiacetileno e o bocal de água colocado no “carro” do torno. A peça gira em uma velocidade periférica determinada, ao mesmo tempo em que a tocha, é dimensionada a abranger a área que se deseja endurecer, se aquece sucessivamente a superfície seguindo pelo resfriamento pela água. (CHIAVERINI, 2008).

Figura 5 – 3 métodos de aplicação do endurecimento superficial por chama, a figura superior corresponde ao método chamado “progressivo” em que a chama é movida ao longo da área a ser endurecida. A figura central corresponde ao método “giratório” em que a peça é feita girar. Finalmente a figura inferior refere-se ao método “combinado” em que tanto a peça como a chama se movimentam.



Fonte: CHIAVERINI, 2008, p.108

O método progressivo: é empregado para endurecer secções grandes que não podem ser aquecidas pelo processo estacionário. As dimensões e a forma da peça a ser endurecida, assim como o volume de oxigênio de gás combustível necessário para aquecer a secção, são fatores levados em conta na escolha desse processo. (CHIAVERINI, 2008).

O método giratório: é empregado em peças de secção circular ou semicircular, tais como rodas, pequenas engrenagens e cames, utiliza-se um mecanismo para girar a peça num plano vertical ou horizontal, ficando a sua superfície sujeira a ação da chama, conseguindo-se um aquecimento uniforme a velocidade de rotação é relativamente pouco importante, quando a superfície da peça estiver aquecida, a chama é extinta ou retirada e a peça é resfriada por imersão, borrifo ou por uma combinação de ambos os métodos. (CHIAVERINI, 2008).

O método combinado progressivo-giratório, junta os dois anteriores, a peça é girada como no método giratório ao mesmo tempo em que a chama se movimenta de uma extremidade a outra, somente uma faixa estreita de circunferência é aquecida progressivamente, o resfriamento segue imediatamente atrás da chama. (CHIAVERINI, 2008).

Figura 6 - têmpera de flange aquecimento a gás.



Figura 7 - Têmpera de flanges forno giratório.



Fonte: Autor.

Tabela 2 – Quantidade de oxigênio-gás combustíveis necessária para aquecer 1 cm² de aço a 815°C a uma profundidade de 32 mm

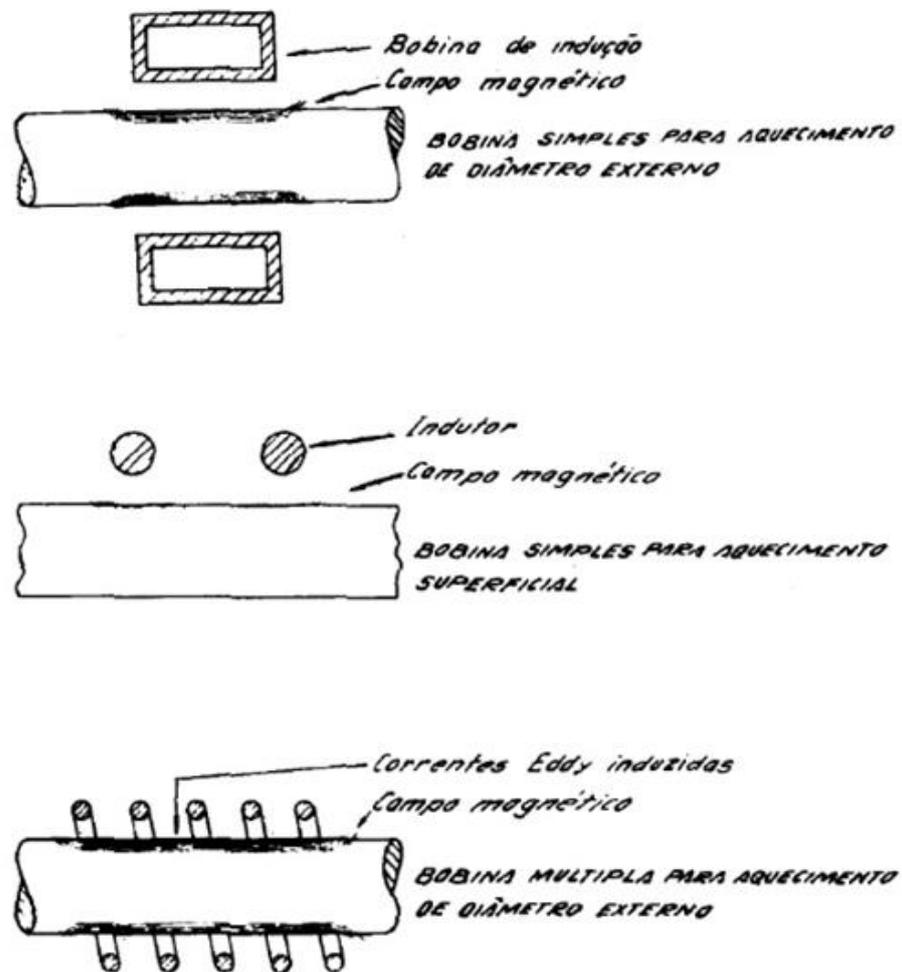
Gás	Proporção de oxigênio para gás combustível	Tempo de aquecimento (s)	Consumo de gás (m ³) por cm ²	Consumo de oxigênio (m ³) por cm ²
Acetileno	1,1	10	0,0011	0,0012
Metana	1,75	20	0,00215	0,0038
Propana	4,00	20	0,00215	0,0086

Fonte: CHIAVERINI, 2008, p.108

3.4 Têmpera por indução

O calor para aquecer uma peça pode ser gerado na própria peça por indução eletromagnética. Assim uma corrente alternada flui através de um indutor ou bobina de trabalho, estabelece-se um campo magnético altamente concentrado, no qual um potencial elétrico é induzido na peça a ser aquecida e envolvida pela bobina e como a peça representa um circuito fechado. A resistência da peça ao fluxo da corrente induzida causa o aquecimento por perdas I^2R . (CHIAVERINI, 2008).

Figura 8 – Exemplos de campos magnéticos e correntes induzidas produzidas por bobinas de indução.



Fonte: CHIAVERINI, 2008, p.11

Figura 9 - Aquecimento por indução .



Figura 10 - Aquecimento por indução.



Fonte: Autor.

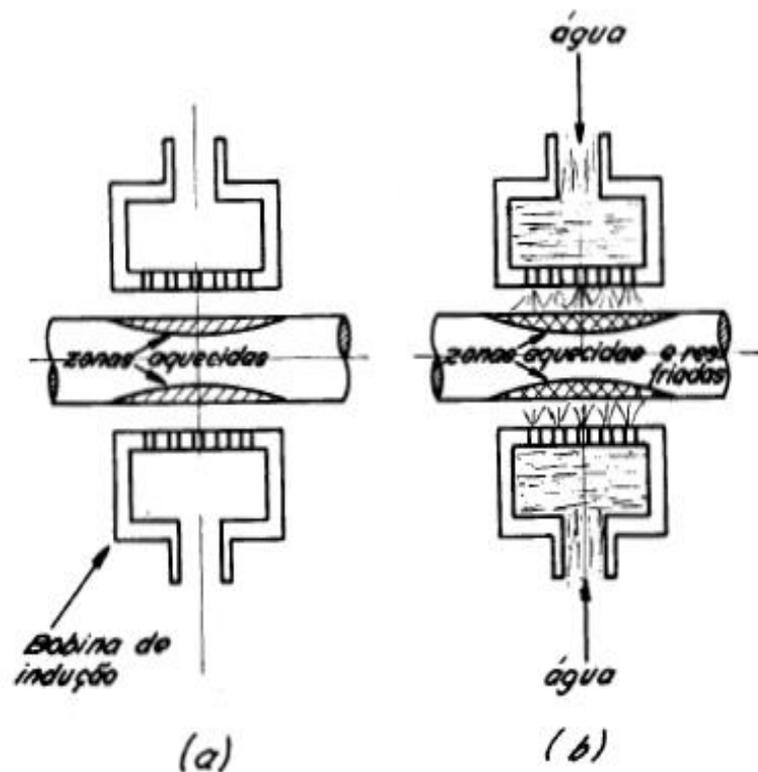
A velocidade de aquecimento obtida com bobinas de indução depende da intensidade do campo magnético ao qual se expõe a peça, a velocidade de aquecimento é a função das correntes induzidas e da resistência ao seu fluxo. Quando se deseja aquecimento a pequena profundidade, ou seja, camada endurecida de pequena espessura, adota-se geralmente corrente de alta frequência; baixas ou intermediárias são utilizadas em aplicações onde se deseja um aquecimento a maior profundidade. (CHIAVERINI, 2008)

A maioria das aplicações de têmpera superficial exige densidade de força (KW/cm^2) relativamente alta e ciclos de aquecimentos curtos, de modo a restringir o aquecimento à área superficial, as camadas endurecidas da ordem de 0,25 mm são obtidas mediante a aplicação de correntes de frequência elevada – 100 kHz a 1 MHz – alta densidade da força e tempo reduzido. Camadas mais espessas, de 12 mm ou mais, são obtidas por correntes de frequência baixa – 3 a 25 kHz – e períodos de tempo mais longos. (CHIAVERINI, 2008).

O controle de profundidade de aquecimento é alcançado, utilizando as seguintes variáveis:

- Forma da bobina;
- Distância de alimentação da força;
- Taxa de alimentação de força;
- Frequência;
- Tempo de aquecimento. (CHIAVERINI, 2008).

Figura 11 - Técnica de aquecimento por indução.



Fonte: CHIAVERINI, 2008, p.111

Desenho esquemático representando a técnica de têmpera por indução.

Fig. (a) Mostra o aquecimento da peça.

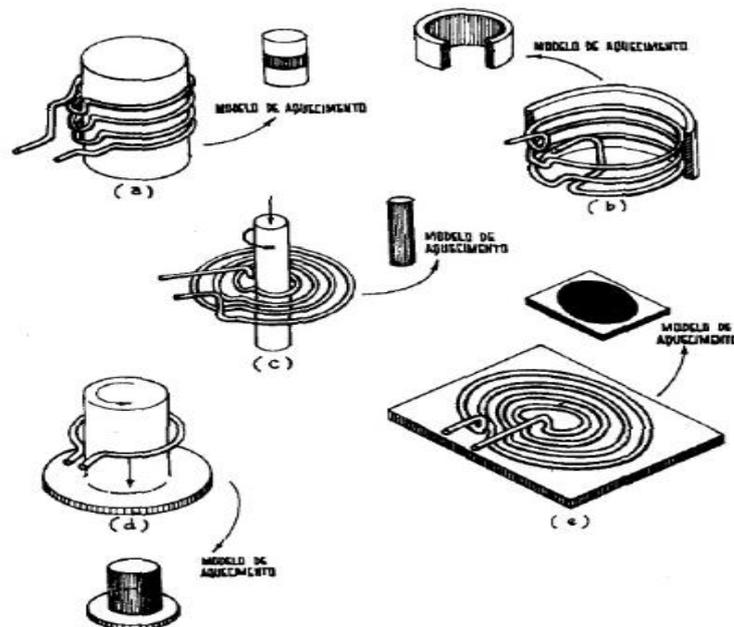
Fig. (b) Mostra o esfriamento subsequente.

Tabela 3 – fonte de energia e frequência para têmpera por indução.

Fonte: CHIAVERINI, 2008, p.112

Profundidade de endurecimento mm	Secção da peça mm	Seleção de frequência para os equipamentos seguintes:			
		Motor Gerador			Tubo à vácuo acima de 200 kHz
		1000 Hz	3000 Hz	10.000 Hz	
0,38-1,27	6,35-25,4	—	—	—	Eficiente
1,29-2,54	11,11-15,88	—	—	Razoável	Eficiente
	15,88-25,4	—	—	Eficiente	Eficiente
	25,4-50,8 Acima 50,8	Razoável	Razoável Eficiente	Eficiente	Razoável Inadequada
2,56-5,08	19,05-50,8	—	Eficiente	Eficiente	Inadequada
	50,8-101,6	Eficiente	Eficiente	Razoável	—
	Acima 101,6	Eficiente	Razoável	Inadequada	—

Figura 12 - Formas típicas de bobinas de indução para alta frequência.



Fonte: CHIAVERINI, 2008, p.112

Tipo (a) simples solenoide para aquecimento externo;

Tipo (b) bobina para aquecimento interno de orifícios;

Tipo (c) permite elevadas densidades de corrente numa faixa estreita da peça;

Tipo (d) consiste numa bobina de uma única volta para aplicação em superfície giratória, possuindo meia volta contornada para possibilitar o aquecimento de filetes;

Tipo (e) indicado para o aquecimento localizado de superfícies planas.

Para tais bobinas, usam-se tubos de cobre comercial, com dimensões que permitem o fluxo de água adequado para o seu resfriamento. A tubulação pode apresentar diâmetros pequenos – ordem de 1/8” - para máquinas de potência muito baixa; mas para unidades de 20 a 50 KW, o diâmetro da tubulação varia de 3/16” e 1/4” (CHIAVERINI, 2008)

O aquecimento superficial por indução pode ser aplicado da seguinte maneira:

- a) Têmpera simultânea faz com que a peça a ser temperada gire dentro da bobina; umas vezes que o tempo necessário é atingido para o aquecimento, a peça é resfriada através de um jato de água;
- b) Têmpera contínua, em que a peça gira no interior da bobina de indução ao mesmo tempo e move-se ao longo do seu eixo, e alcança uma aplicação progressiva de calor. O dispositivo de resfriamento está montado a uma distância da bobina.

Outros métodos de têmpera superficial podem ser citados como:

- Raios laser e raios eletrônicos, os quais podem ser dirigidos a zonas muito pequenas e precisamente localizados. Conseguem-se, assim, um aquecimento de grande intensidade. O aquecimento eletrônico, contudo, exige uma câmara de vácuo, onde a peça é colocada;
- Aquecimento por resistência de alta frequência, por exemplo, em peças com forma de barras longas.

3.5 Revenido

O revenido é o tratamento que corrige esses inconvenientes, restituindo ao aço grande parte das propriedades perdidas, sem afetar aquelas visadas pela têmpera. A resiliência a flexão ou a torção e a resiliência ao choque são elevadas notavelmente pelo revenido, por essa razão costumam ser temperados e revenidos todos os tipos de molas, assim podem suportar cargas e deformações maiores do que qualquer outro tratamento, sem se romper e, retirada a carga, voltar praticamente à forma primitiva. (COLPAERT, 1974)

A martensita produzida pela têmpera é muito frágil para ser comercializada, sendo esta microestrutura caracterizada pelas altas tensões residuais internas. O revenido faz o reaquecimento desde material, permitindo que o reticulado instável TCC transforma-se no CCC estável diminuindo essas tensões e produzindo uma estrutura renovada chamada martensita revenida. (DIAS, 2010)

Um possível problema com o resfriamento convencional e o revenido é que a peça pode ser deformada e trincada devido ao resfriamento desigual durante essa etapa o exterior se resfriará mais rapidamente, portanto transforma-se em martensita antes do interior. (SHACKELFORD, JAMES F, 2008)

- Entre 25°C e 350°C - ocorre a separação ou uma redistribuição do carbono em direção a discordância, essa pequena precipitação localizada do carbono pouco afeta a dureza. O fenômeno é predominante em aços de alto carbono;

- Entre 100°C e 250°C - as vezes chamadas de 1° estágio do revenido – ocorre a precipitação de carboneto de ferro do tipo épsilon, de fórmula $Fe_{2-3}C$, e reticulado hexagonal; este carboneto pode estar ausente em aços de baixo carbono e de baixo teor em liga, a dureza Rockwell começa a cair, podendo chegar a 60;

- Entre 200°C e 300° - chamado de 2° estágio do revenido – ocorre a transformação da bainita, a transformação em aços-carbono de médio e alto teor de carbono, a dureza Rockwell continua a cair. (COLPAERT, 1974)

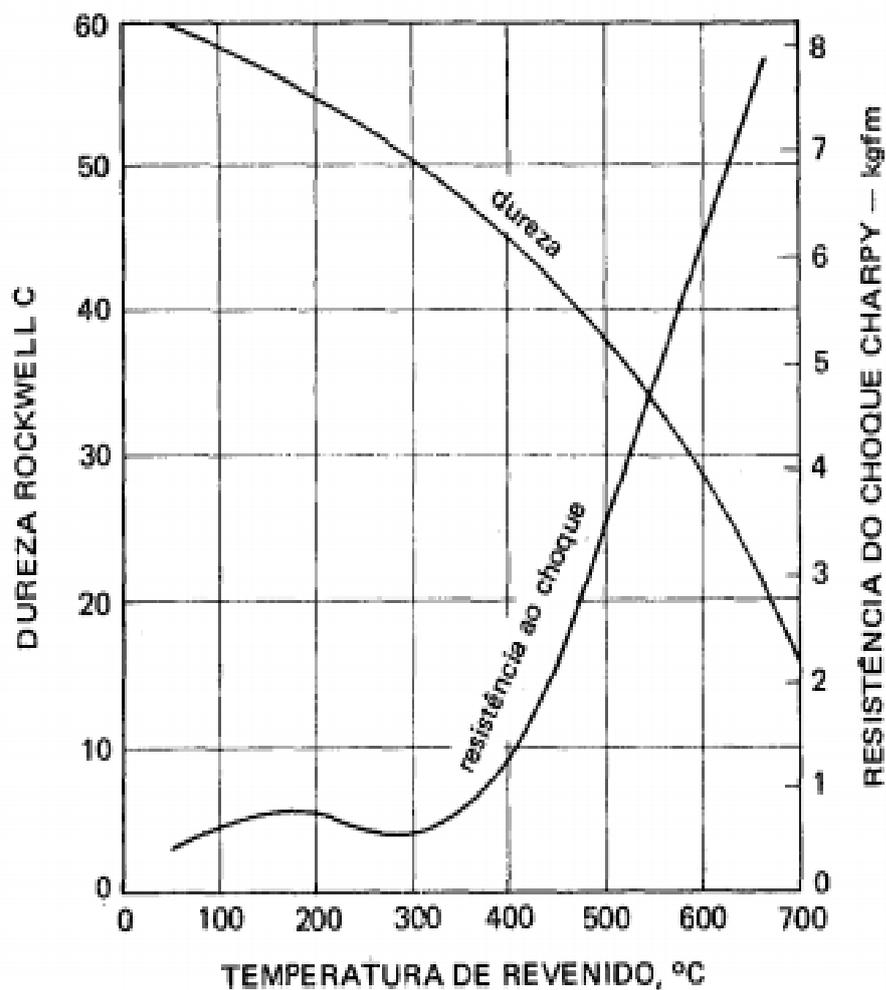
- Entre 250°C e 350° - chamado de 3° estágio do revenido – forma-se carboneto metaestável, de fórmula Fe_3C_2 , quando ocorre essa transformação, se verifica em aços de alto carbono, a estrutura visível ao microscópio é uma massa escura, que era chamada de “martensita revenida” denominação não mais utilizada, a dureza Rockwell continua caindo, podendo atingir, valores pouco superiores a 50;

- Entre 400°C e 600°C – ocorre uma recuperação da subestrutura de discordância, os aglomerados de Fe_3C passam a uma forma esferoidal, ficando mantida uma estrutura de ferrita fina acicular, a dureza Rockwell cai para valores variando de 45 a 25;

- Entre 500°C e 600°C somente nos aços contendo Ti, Cr, Mo, V, Nb ou W, há precipitação de carbonetos de liga, a transformação é chamada de “endurecimento secundário” ou 4° estágio do revenido;

- Entre 600°C e 700°C – ocorre a recristalização e crescimento de grão, a cementita precipitada apresenta a forma nitidamente esferoideal, a ferrita apresenta forma aqui-axial, a estrutura é frequentemente chamada “esferoidal ou coalescida” e caracterizada por ser muito tenaz e de baixa dureza, variando de 5 a 20 Rockwell C. (COLPAERT,1974)

Figura – 13 Efeito da temperatura de revenido sobre a dureza e a resistência ao choque, em um aço 1045 temperado.



Fonte: CHIAVERINI, 2008, p.100

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo trata de uma pesquisa de campo, de acordo com FONSECA (2002). A pesquisa de campo caracteriza-se pelas investigações em que, além da pesquisa bibliográfica e/ou documental, se realiza coleta de dados junto a pessoas, como recurso de diferentes tipos de pesquisa. Segundo Richardson (1989), a pesquisa quantitativa caracteriza-se pelo emprego da quantificação, tanto nas modalidades de coleta de informações, quanto no tratamento dessas através de técnicas estatísticas, desde as mais simples até as mais complexas.

De uma forma geral, tal como a pesquisa experimental, os estudos de campo quantitativos, onde o pesquisador parte de quadros conceituais de referência tão bem estruturados quanto possível, a partir dos quais formula hipóteses sobre os fenômenos e situações que quer estudar.

Como fontes da pesquisa foram utilizadas com base de estudos livros que tratam do tema ciência dos materiais presentes na Biblioteca do Centro Universitário Unifacvest. Outras fontes consultadas foram manuais e procedimentos da empresa Minusa.

A análise dos dados é realizada através dos gráficos e tabelas apresentados nas pesquisas quantitativas dos resultados apresentados, correlacionando com a pesquisa bibliográfica para chegar aos resultados finais.

4.1 Processo de têmpera antes da melhoria

No processo anterior as peças depois de forjadas, inspecionadas, liberadas para a próxima etapa e armazenadas no pátio, seguiam depois para o setor de tratamento térmico, onde eram aquecidas a gás em forno giratório, e temperadas no mesmo setor, o que se tornava distante do setor de origem, dificultava muito o processo por uma série de fatores: distância, empilhadeiras insuficientes para atender dois setores simultaneamente, logística lenta, consumo de energia elétrica e um elevado consumo de gás no aquecimento das peças, principal motivo da realização dessa mudança visando uma redução de custo para empresa.

Figura 14 - Blank.



Figura 15 - Prensa.



Fonte: Autor.

Coloca-se o blank aquecido mecanicamente ou manualmente sobre o ferramental de forjamento seguindo os estágios do processo conforme definido para cada operação.

Figura 16 – Flange forjado.



Fonte: Autor.

Figura 17 – Armazenamento.



Ao longo do processo serão realizadas medições de verificação a cada 60' ($\pm 10^\circ$), medindo as peças e conferindo as cotas encontradas com desenho ou tabela.

Figura 18 – Pátio.



Fonte: Autor.

Figura 19 – Forno giratório.



Ao fim do processo de forjamento e depois de inspecionadas, as peças são armazenadas no patio da forjaria 1 , e de la seguem para o setor de tratamento térmico, onde serão têmperadas em forno giratório a gás.

Figura 20 - Forno giratório em operação.



Fonte: Autor.

- O material é recebido no setor indentificado acompanhado de uma O.F.
- O forno leva em média 3 horas para realizar o aquecimento.
- O abastecimento do forno é contínuo no início do processo e depois colocado de um a um, na sequência.
- Retirar as peças e leva-las até o tanque de resfriamento ou chuveiro para temperar, em temperatura de 18°C a 60°C , conforme a necessidade de resfriamento, caso a temperatura exceda 60°C automaticamente será acionada a torre para resfriar a água.

- A porcentagem de polímero para têmpera de elos é de 12% a 25% e para outras peças no mínimo 3%, medida a cada 15 dias.
- Durante o processo deverá ser medido a temperatura do diâmetro interno do flange
- Analisar as primeiras peças temperadas quanto a dureza superficial, caso necessário, realizar análise destrutiva.

Figura 21 - Têmpera de flanges, resfriamento em duchas.



Fonte: Autor.

4.2 Processo de têmpera direta

O processo de têmpera direta, agiliza o processo de produção, pois economiza tempo, energia e gás para reaquecer as peças e efetuar a têmpera. O processo ocorre da seguinte forma: O Início processo é semelhante ao anterior, regula-se as máquinas com ferramental da peça a ser forjada, em seguida coloca-se o blank na esteira do forno (observando o sentido do corte), a temperatura de saída deveser de $1240^{\circ}\text{C} \pm 40^{\circ}$, para o processo de forjamento.

Figura 22 - Blank.



Figura 23 - Pré achatamento.



Fonte: Autor.

Coloca-se o blank aquecido mecanicamente ou manualmente sobre o ferramental de forjamento seguindo os estágios do processo conforme definido para cada operação.

Acionam-se esteiras 01, 02 e 03.

- Ajustar e sincronizar as esteiras mantendo a faixa de temperatura.
- Ligar e regular pirômetro na faixa de temperatura entre 740°C e 880°C .

Figura 24 - Forjamento.



Figura 25 - Esteiras.



Fonte: Autor

- Ligar e regular a vazão de água de maneira que o jato d'água fique direcionado somente na pista do flange e ajustar a altura das duchas como referencia no flange a ser beneficiado
- No primeiro processo o aço apresenta a estrutura - CFC ou austenita.

Figura 26 – Sensor térmico



Fonte: Autor

- A temperatura do banho deve se manter entre 15°C a 60°C, mediante ao controlador de temperatura.
- As peças que se apresentarem fora da faixa indicada devem ser descartadas e identificadas como material não conforme para beneficiamento convencional posterior no forno.
- Colocar as peças nos gabaritos para efetuar o beneficiamento das mesmas, o tempo de resfriamento deve seguir o tempo determinado conforme a tabela.
- No segundo processo, já resfriado apresenta estrutura – tetragonal compacta.

Figura 27 - Resfriamento.



Figura 28 - Resfriamento.



Fonte: Autor.

- O meio de resfriamento depende da análise da composição química do aço, à partir desse ponto se define qual meio de resfriamento será empregado, e a quantidade desses elementos que será usado.
- No caso de óleo, pôde ser mineral ou sintético com porcentagem de 100%.
- No caso de polímeros podemos trabalhar com varias faixas de porcentagem, dependendo da composição química do aço. Ex: 5%, 10%, 15%, 20%, 25%
- Deverá ser analisada a dureza superficial da primeira peça beneficiada e o processo deve ser ajustado, caso apresente divergência com a especificação.

- Ao longo do processo deverá ser realizada, análise de dureza superficial, uma vez a cada duas horas de produção seguindo orientações.
- Resultado esperado - peças temperadas na dureza especificada do produto.

Tabela 4 – Tipos de aço e meios de resfriamento

Aço 5140 - 830 ° C	meio de resfriamento – óleo ou polímero
Aço 15B29 - 840 ° C/860 ° C	meio de resfriamento – polímero
Aço 15B29 - 760 ° C	meio de resfriamento – polímero
Aço 34MnCr5 - 760 ° C	meio de resfriamento – polímero
Aço 1045 – 880 ° C	meio de resfriamento – água

Figura 29 - Flange finalizado.



Fonte: Autor.

- Os flanges beneficiados na forjaria, devem ser identificados com tinta amarela logo após serem disponibilizados nos pellets e no local do depósito de peças forjadas.

Figura 30 - Deposito de peças forjadas.



Fonte: Autor.

5. RESULTADOS E DISCUÇÕES

De acordo com o objetivo proposto pelo trabalho de realizar uma melhoria na redução do consumo de gás, como descrito nos Materiais e Métodos, toda esta parte dos resultados será baseado em dados obtidos em períodos distintos de, antes e depois da implementação da melhoria, inicialmente observa-se os dados referentes a pesquisa quantitativa realizada na empresa.

Podemos acompanhar por meio de tabelas e gráficos um comparativo entre o consumo de gás na têmpera de flanges, esse estudo foi realizado baseados em dados de produção da empresa.

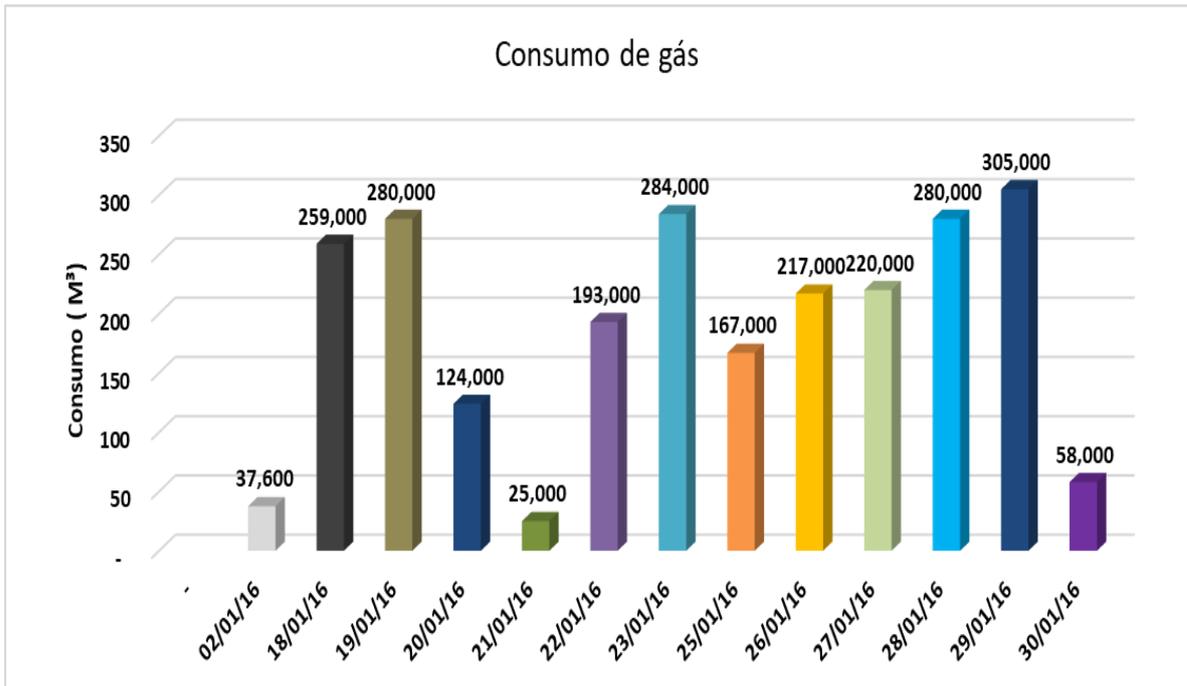
Tabela 5 – Consumo de gás do mês de janeiro de 2016.

RELATÓRIO DE CONSUMO DE GÁS						1M³ = 2,2 Kg	
DATA	LEITURA INICIAL	LEITURA FINAL	QTDE CONS. M³	VALOR CONSUMO	Total	VALOR GAS kg	VALOR GAS M³
-		10.893,400				3,11	R\$ 7,62
02/01/16	10.893,400	10.931,000	37,600	R\$ 286,49			
18/01/16	10.931,000	11.190,000	259,000	R\$ 1.973,45			
19/01/16	11.190,000	11.470,000	280,000	R\$ 2.133,46			
20/01/16	11.470,000	11.594,000	124,000	R\$ 944,82			
21/01/16	11.594,000	11.619,000	25,000	R\$ 190,49			
22/01/16	11.619,000	11.812,000	193,000	R\$ 1.470,56			
23/01/16	11.812,000	12.096,000	284,000	R\$ 2.163,94			
25/01/16	12.096,000	12.263,000	167,000	R\$ 1.272,46			
26/01/16	12.263,000	12.480,000	217,000	R\$ 1.653,43			
27/01/16	12.480,000	12.700,000	220,000	R\$ 1.676,29			
28/01/16	12.700,000	12.980,000	280,000	R\$ 2.133,46			
29/01/16	12.980,000	13.285,000	305,000	R\$ 2.323,95			
30/01/16	13.285,000	13.343,000	58,000	R\$ 441,93			
Total	-			R\$ 18.664,73			

Fonte: Autor.

No ano de 2016 usava-se o forno giratorio para têmpera todos os tipos de flange, todo material forjado era temperado no setor de tratamento térmico, com isso o consumo de gás era demasiadamente alto, por isso buscou-se essa alternativa de economia e mudança nos processos.

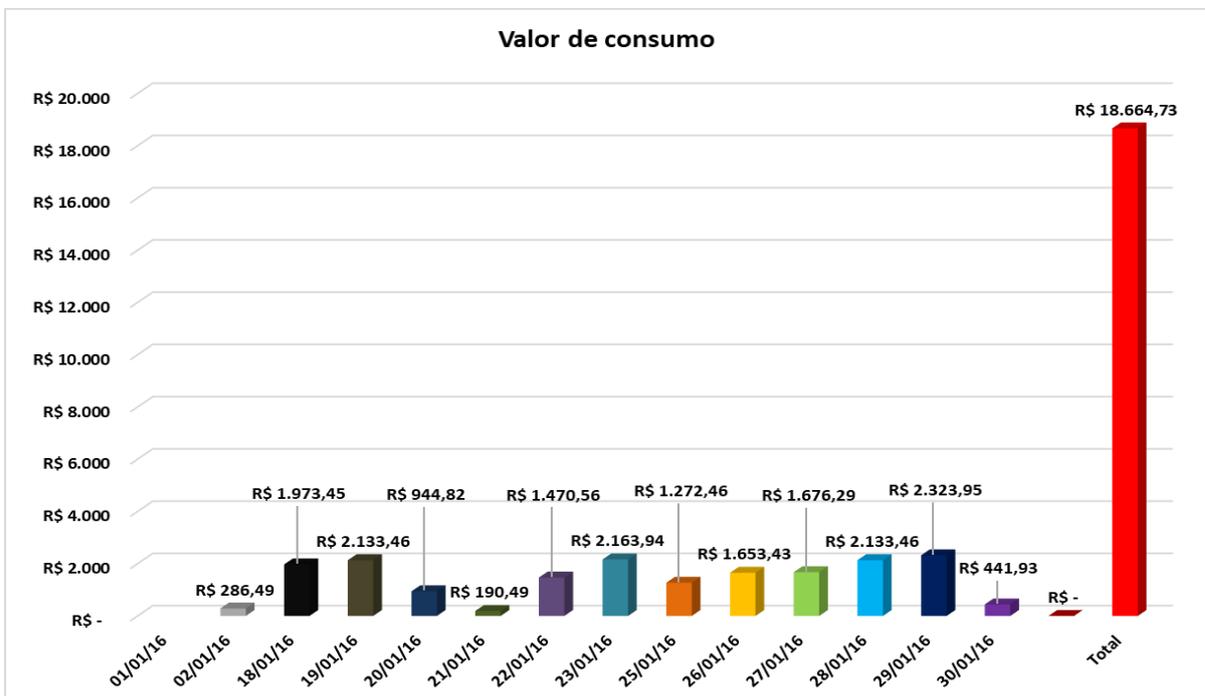
Gráfico 1 - Leitura de consumo de gás/m³, janeiro 2016.



Fonte: Autor.

O gráfico 1 representa o consumo de gás m³/dia, no ano de 2016, notamos que o uso desse procedimento se repetiu por muitos dias gerando um consumo considerável.

Gráfico 2 – Valor de consumo de gás, janeiro 2016.



Fonte: Autor.

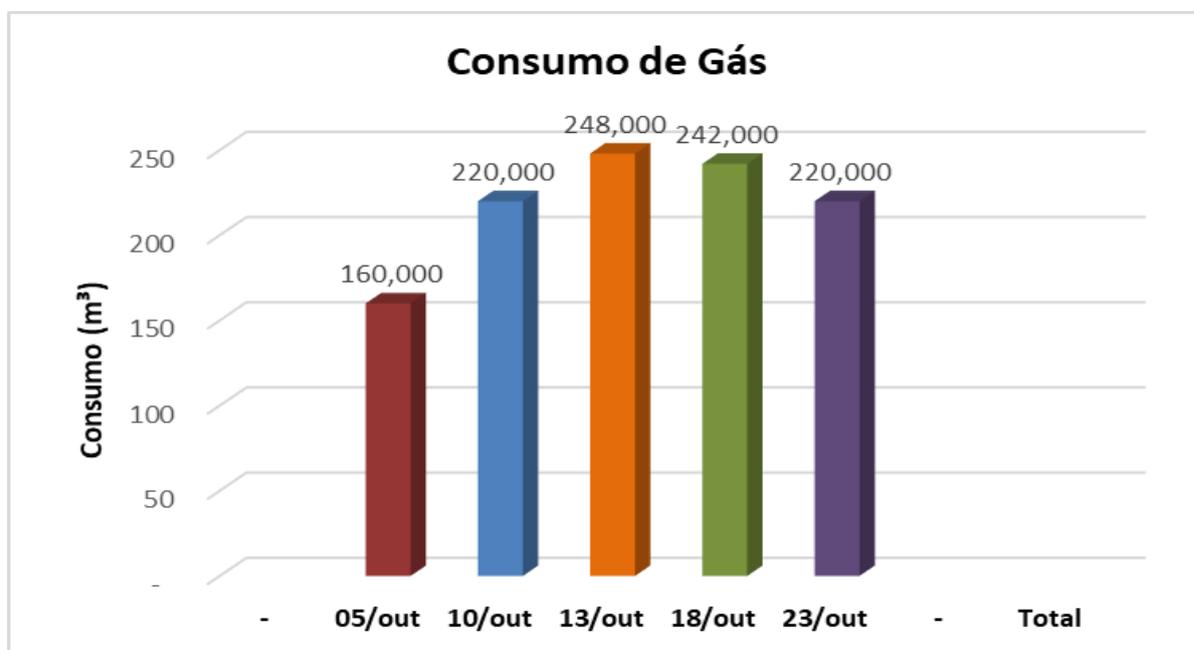
O gráfico 2 representa o valor de consumo de gás, com uso diário.

Tabela 6 – Consumo de gás do mês de outubro de 2018.

RELATÓRIO DE CONSUMO DE GÁS						1 M ³ = 2,2 Kg	
DATA	LEITURA INICIAL	LEITURA FINAL	QTDE CONS. M3	VALOR CONSUMO	Total	VALOR GAS kg	VALOR GAS m ³
-		53.890,000				5,06	R\$ 12,40
05/out	53.890,000	54.050,000	160,000	R\$ 1.983,52			
10/out	54.050,000	54.270,000	220,000	R\$ 2.727,34			
13/out	54.270,000	54.518,000	248,000	R\$ 3.074,46			
18/out	54.518,000	54.760,000	242,000	R\$ 3.000,07			
23/out	54.760,000	54.980,000	220,000	R\$ 2.727,34			
Total				R\$ 13.512,23			

Fonte: Autor.

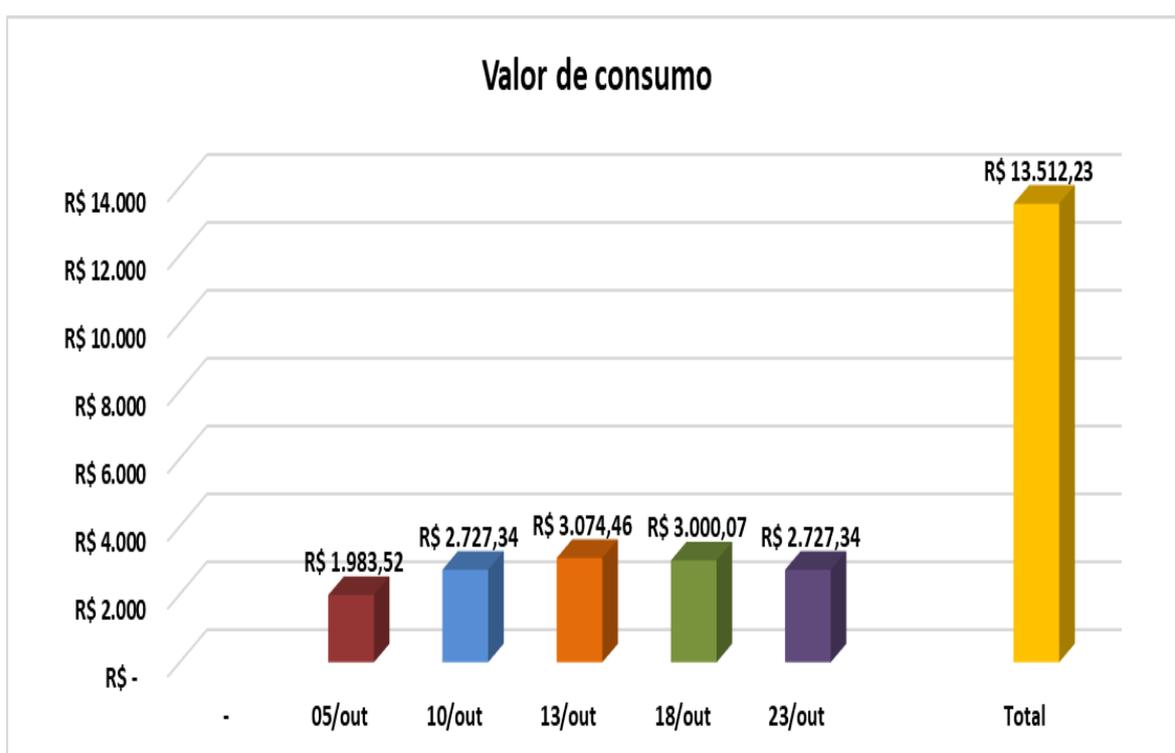
Gráfico 3 - Leitura de consumo de gás/m³ outubro 2018.



Fonte: Autor.

A tabela 6 apresenta os dados referentes ao consumo de gás de outubro de 2018 e o gráfico 3 mostra o consumo de gás m³/dia, nota-se que a utilização foi muito menor. Assim houve uma pequena diferença no preço final, a margem de lucro só não foi maior, devido aos vários reajustes que o preço do gás sofreu nesse intervalo de dois anos. Apesar do aumento de preço se ganhou na redução do processo, lembrando que se fosse mantido como era anteriormente os gastos financeiros seriam extremamente elevados.

Gráfico 4 - Valor de consumo de gás outubro 2018.



Fonte: Autor.

No gráfico 4 podemos acompanhar o valor de consumo de gás, com uma redução significativa do seu uso.

6. CONCLUSÃO

Verifica-se a partir do trabalho realizado, a importância da aplicação dos tratamentos térmicos e da integração dos processos dos mesmos, pois isso pode proporcionar um bom resultado do tratamento aplicado.

A aplicação do tratamento térmico é um processo fundamental na indústria metal mecânica, essa técnica garante a qualidade de peças e produtos das mais variadas ligas de metais. Pois através dos diversos tipos de tratamento, podemos alterar as características e propriedades mecânicas dos aços.

A melhoria aplicada na empresa e mencionada no trabalho está trazendo muitos benefícios, entre eles podemos citar o setor de forjaria, onde o forjamento e têmpera ficaram unidos no mesmo procedimento, lembrando que antes tudo era encaminhado ao setor de tratamento térmico, o que acarretava em transtorno e lentidão na liberação de novos lotes.

Obtivemos uma melhora significativa na logística, evitando deslocamento desnecessário, houve uma melhora significativa na produção, reduzindo alguns processos e implementando novos procedimentos. O setor de tratamento térmico foi o mais beneficiado com toda essa mudança, já que todos os flanges forjados eram temperados no forno giratório, o que gerava um alto consumo de gás, já que o forno tinha que reaquecer essas peças para depois resfriá-las.

Gerou-se uma pequena redução de despesas, os lucros não foram maiores devido aos inúmeros reajustes no preço do m³ do gás que foram aplicados nesses dois anos que se passaram.

7. REFERÊNCIAS

CHIAVERINI, Vicente. **Aços e ferros fundidos**. São Paulo, ABM, 2008.

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia mecânica- Materiais de construção mecânica**. São Paulo, McGraw-Hill, 1986.

COLPAERT, Huberts. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**. São Paulo, Edgard blucher, 1983.

NUNES, Laerce de Paula. **Materiais: aplicações de engenharia, seleção e integridade**. Rio de Janeiro, Interciência, 2012.

ASKELAND, D.R.; FULAY, P.P.; WRIGHT, W.J. **The Science and Engineering of Materials**. Stamford: Cengage Learning, 2014.

SANTOS, N. C. **Aspectos cristalográficos da transformação martensítica de uma liga Fe-27%Ni**. 2008. Tese (Doutorado) - Instituto Militar de Engenharia- tese de doutorado, Rio de Janeiro, 2008.

SILVA, Aluísio Pinto da. **Estudo da transformação da austenita retida induzida por deformação de um aço AISI 4340 com estrutura multifásica**. 2006. 125 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, São Paulo. 2006.

SHACKELFORD, JAMES F. **Introdução à ciência dos materiais para engenheiros/** Shackelford, James F. Pearson prentice Hall,

VAN VLACK, Lawrence H. **Princípios de ciência e tecnologia dos materiais**. 4 ed. 22ª tiragem. Rio de Janeiro: Campus, 1984. 568 p.

DIAS, Vinicius Waechter. **Estudo comparativo entre processos de revenimento**. 2010. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul. 2010.

VAN VLACK, Lawrence Hall. **Principio de ciência dos materiais**; traduzido pelo Eng. Luiz Paulo Camargo Ferrão – São Paulo: Blucher, 1970.

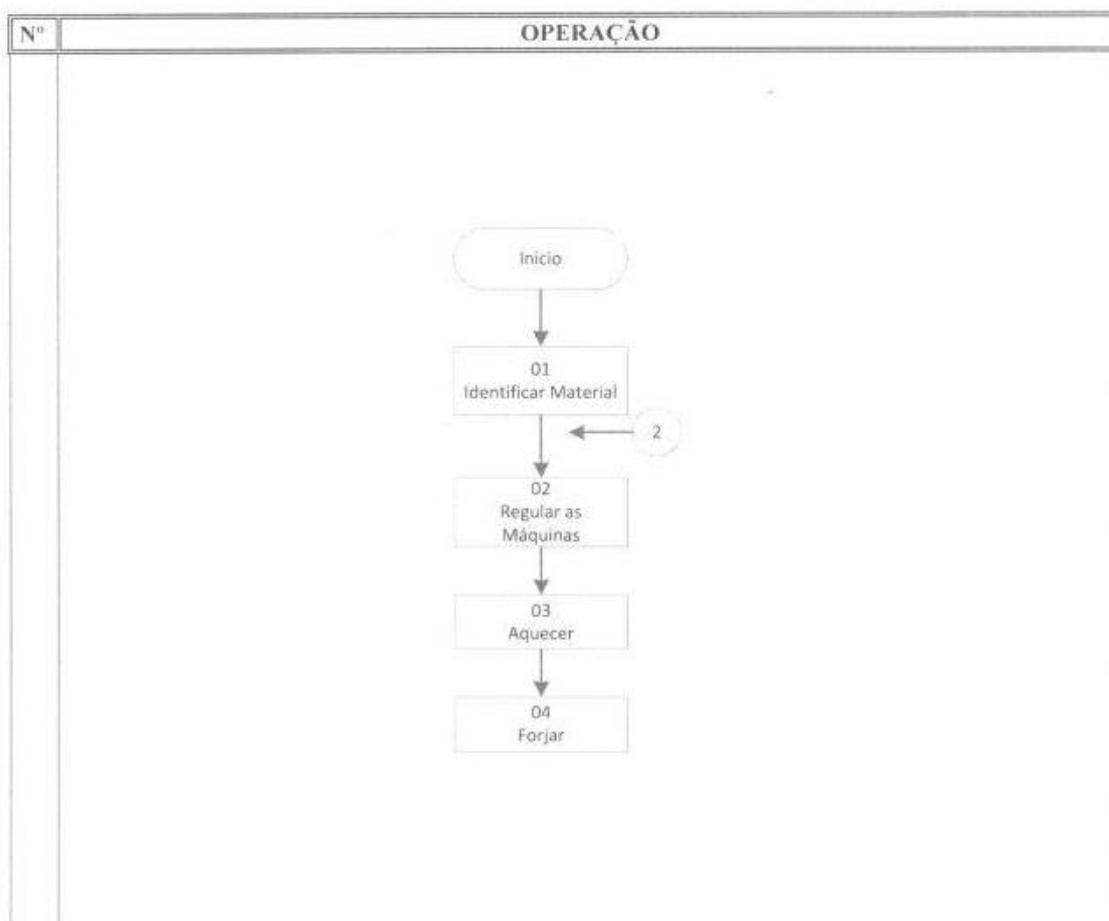
CALLISTER JR, W.D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução**. São Paulo: LTC, 2000.



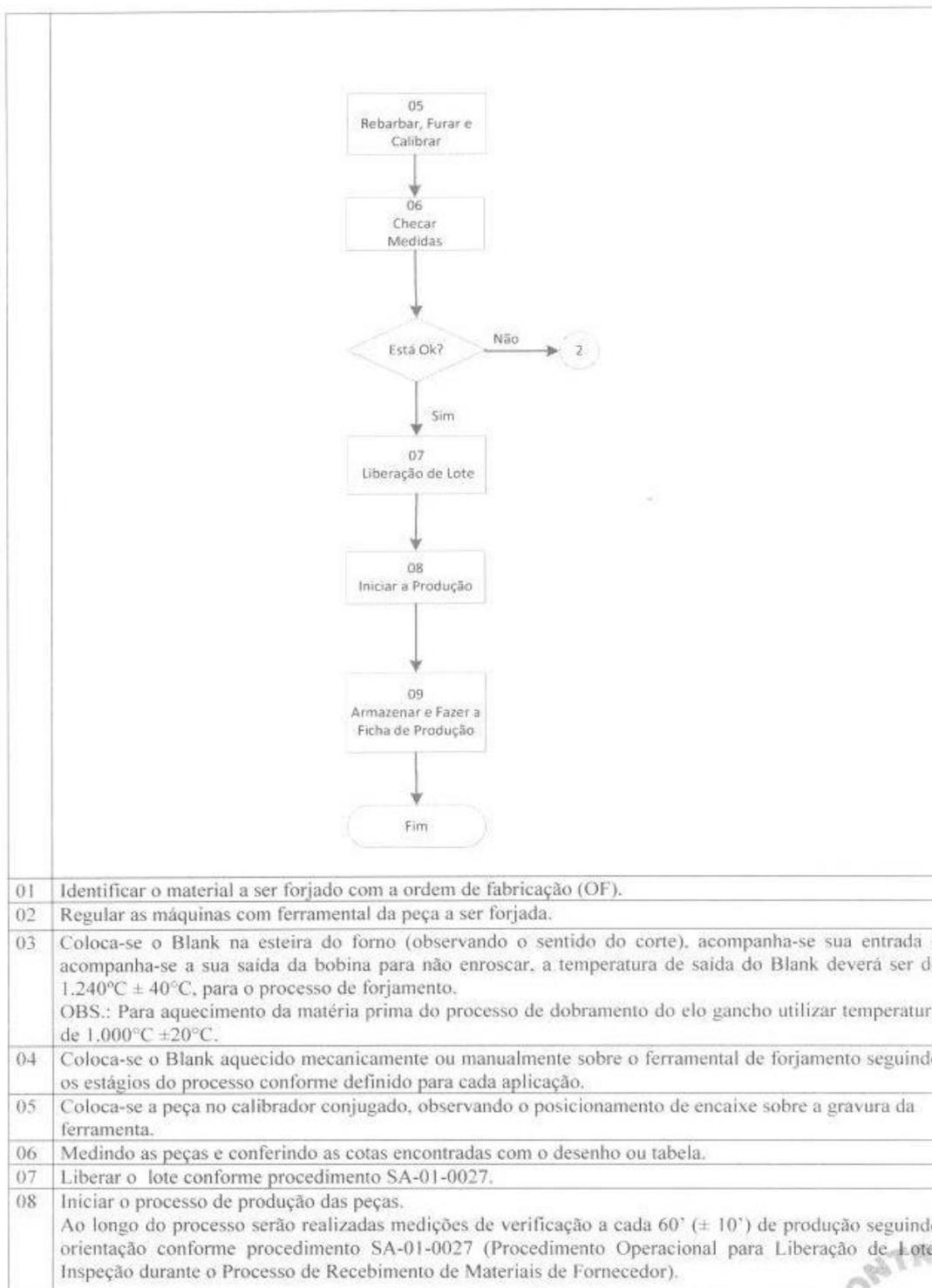
Título: Procedimento Operacional para Forjamento.			
Secção/Depto: Forjaria	Código: FO-03-0002	Revisão: 17	Página: 1/3
Responsável: Encarregado do Setor		Data de Revisão: 04/12/2017	
Natureza das Alterações: Alteração em todo o procedimento.			

Material Necessário:

Blank	Tenaz
Caixa	Caneta
Calha	Desenho
Estrado	Bloco de produção diária
Bomba para Lubrificação	Ordem de fabricação (O.F.)
Ferramental de Forjamento	EPI's
Instrumentos de Medição	Bomba para lubrificação



N.º do Doc.: FO-03-0002	Revisão: 17	Responsável: Encarregado do Setor	Página: 2/3
-----------------------------------	--------------------	--	--------------------



CONTROL
NÃO COPIAR



Título: Procedimento Operacional para Temperar Peças no Forno Giratório

Secção/Depto: Têmpera

Código: TT-02-0017

Revisão: 31

Página: 1/3

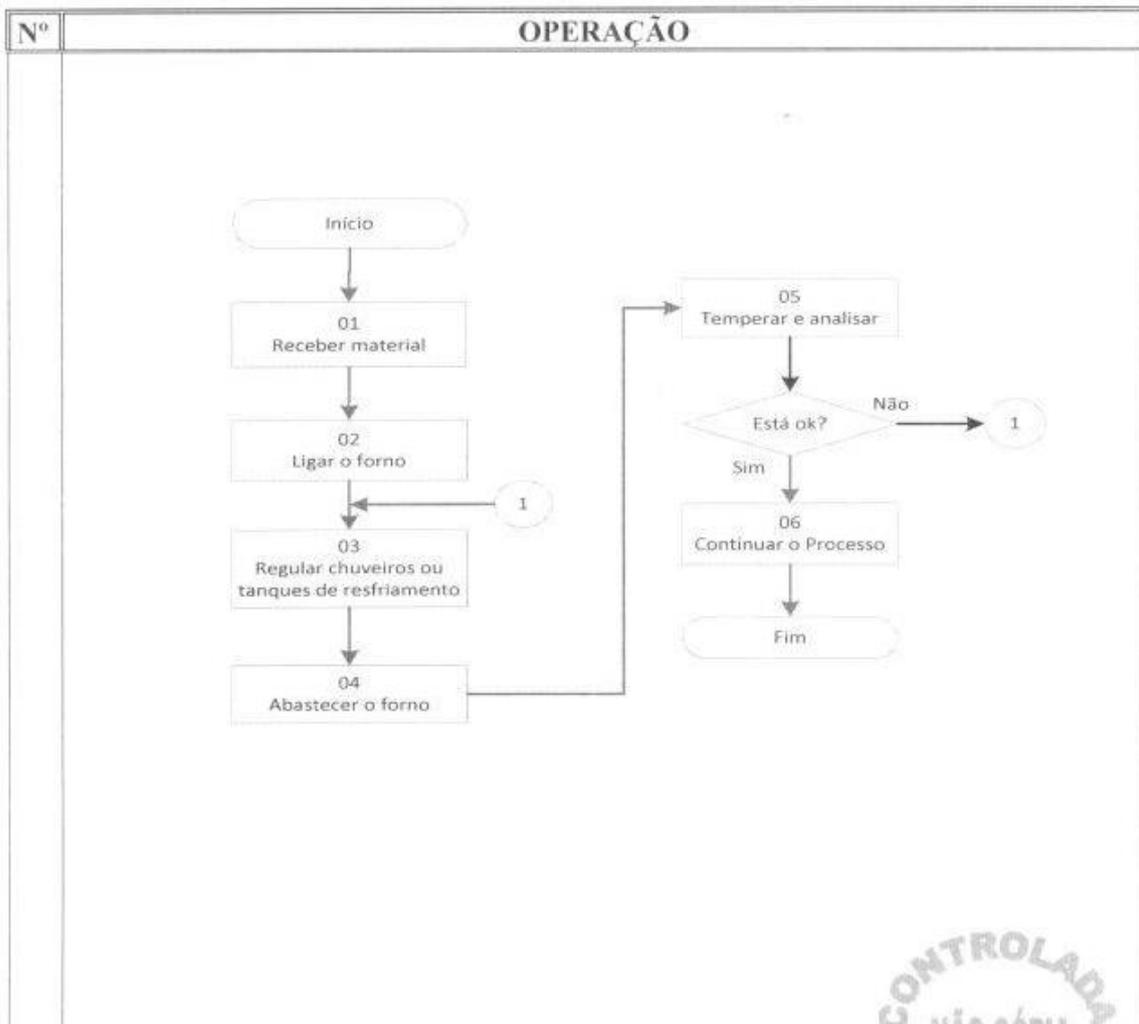
Responsável: Encarregado do Setor

Data Revisão: 13/04/2018

Natureza das Alterações: Alteração em todo o procedimento.

Material Necessário:

Gás	Pá
Chuveiro	Tampa do chuveiro
Água	Uniforme
Botina	Protetor Auricular
Luva JGB	Vizeira Verde
Avental	Tenaz



DA CONTROLADA
NÃO CÓPIA

N.º do Doc.: TT-02-0017	Revisão: 31	Responsável: Encarregado do Setor	Página: 2/3
01	Receber o material identificado com O.F ou em Ordem Complementar		
02	Ligar o Forno e deixar aquecer durante aproximadamente 3 horas: a) Ligar a chave ao lado do painel do forno; b) Abrir o gás; c) Pressionar RESET, e em seguida ligar.		
03	<p>No flange:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Selecionar os gabaritos conforme peças a serem produzidas; - Selecionar e regular os chuveiros conforme a peça a ser produzida, mediante especificações constantes na TA-0279. <p>No caso de outras peças:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Realizar o resfriamento no tanque de água com polímero; - A temperatura da água deve estar entre 18°C e 60°C, conforme a necessidade de resfriamento. Caso a temperatura exceda 60°C, automaticamente será acionada a torre para resfriar a água; - A porcentagem de polímero para tempera de elos é de 12% a 25% e para tempera de outras peças é de no mínimo 3%, devendo ser medida a (+ ou -) cada 15 dias pelo operador ou inspetor de qualidade da área. 		
04	Abastecer o forno continuamente no início do processo e depois durante o processo um a um.		
05	<ul style="list-style-type: none"> - Retirar as peças e levá-las até o tanque de resfriamento ou chuveiro para temperar; - Analisar as primeiras peças temperadas quanto à dureza superficial, caso necessário, realizar a análise destrutiva; - Se estiver fora das especificações, devem ser identificadas as peças e refeito o processo, caso contrário liberar; - Para liberação do lote ver Procedimento Operacional SA-01-0027. - São utilizados os PO TT-03-008 e TA-0279 para verificar as durezas especificadas. 		
06	<p>Tirar as peças individualmente e levar até o chuveiro para medir a temperatura com o Pirômetro Laser, conforme TA-0279 a cada 50 peças aproximadamente. No caso de outras peças as mesmas são levadas até o tanque de resfriamento para temperar.</p> <p>A temperatura para todas as peças aquecidas no forno a gás deve estar entre 820°C a 890°C, a medição da temperatura deve ser conferida no mínimo a cada uma hora trabalhada.</p> <p>O material de terceiro é temperado conforme desenho ou SAE onde especifica a temperatura de aquecimento para o tratamento térmico, e a dureza conforme solicitação do cliente.</p> <p>Durante o processo deverá ser feita análise de dureza superficial conforme SA-01-0027 e conforme TT-03-0008.</p> <p>O Operador e o Inspetor da Qualidade quando estiverem fazendo análise durante o processo, deverão anotar a Dureza Superficial conforme anexo XI do Procedimento Operacional SA-01-0027, caso seja encontrado alguma peças fora do especificado, comunicar imediatamente o encarregado da área ou inspetor de qualidade.</p> <p>Se durante o processo a temperatura das peças estiver abaixo do especificado deverá ser diminuído lentamente a velocidade do giro da mesa até atingir a temperatura desejada, se estiver acima aumentar a velocidade até atingir a temperatura desejada.</p> <p>Após o tratamento térmico, as peças deverão ser colocadas em pallets, camisas ou caixas e identificadas com etiqueta de liberação.</p> <p>Deverá ser preenchida a ficha de controle de produção no final do expediente ou no final do lote.</p>		
<p>Obs nº1: Durante o processo deverá ser medido a temperatura do diâmetro interno do flange conforme TA-0279.</p> <p>Obs nº2: Os operadores da máquina TT-220 deverão revezar a cada 30 minutos de trabalho.</p>			

N.º do Doc.: TT-02-0017	Revisão: 31	Responsável: Encarregado do Setor	Página: 3/3
-----------------------------------	--------------------	--	--------------------

Resultado Esperado: Peças temperadas na dureza especificada do produto.

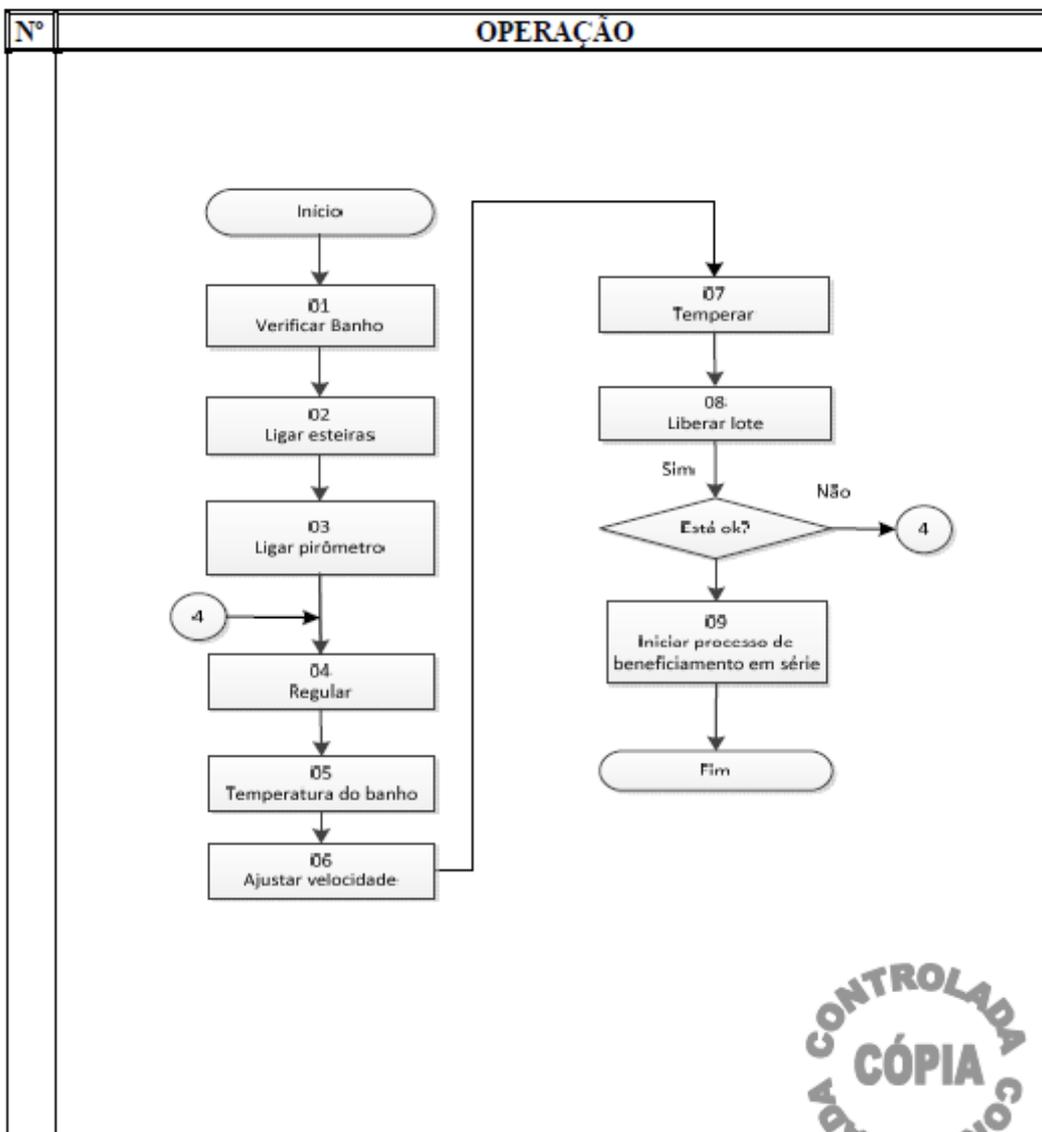
Correções Necessárias: Quando não atingir a dureza especificada, repetir o processo.

Controle de Registros

Identificação	Armazenagem/ Proteção	Recuperação	Acesso	Tempo de Retenção	Disposição
-	-	-	-	-	-



Título: Procedimento Operacional para Temperar Flange.			
Secção/Depto: Forjaria	Código: FO-03-0013	Revisão: 00	Página: 1/3
Responsável: Encarregado do Setor		Data Revisão: 13/04/2018	
Natureza das Alterações:			
Material Necessário:			
Gabarito		Epi's	
Duchas (chuveiros)		Tenaz	
Água			



CONTROLADA
CÓPIA
CONTROLADA

N.º do Doc.: FO-03-0013	Revisão: 00	Responsável: Encarregado do Setor	Página: 2/3
-----------------------------------	--------------------	--	--------------------

01	Se o banho disponível no tanque for para beneficiar elos de esteira, realizar a troca, o percentual de concentração para beneficiar flange deve se manter entre 3% a 6% de polímero. Obs.: A concentração deve ser verificada a cada três dias com o refratômetro.
02	Ligar esteiras 01, 02 e 03.
03	Ligar e regular o pirômetro na faixa de temperatura entre 740 a 880°C.
04	Selecionar os gabaritos conforme peças a ser produzido, ligar e regular a vazão d'água de maneira que o jato d'água fique direcionado somente a pista do flange e ajustar a altura das duchas com referencia no flange a ser beneficiado.
05	A temperatura do banho deve se manter entre 15 a 60 °C mediante ao controlador de temperatura.
06	Ajustar e sincronizar as esteiras mantendo a faixa de temperatura mencionada no item 03. Obs.: As peças que se apresentarem fora da faixa indicada devem ser descartadas e identificadas como material não conforme para beneficiamento convencional posterior no forno.
07	Colocar as peças nos gabaritos para efetuar o beneficiamento das mesmas, o tempo de resfriamento deve seguir um tempo determinado conforme tabela do anexo I.
08	A liberação do lote segue conforme PO SA-01-0027, podendo ser realizada também pelo inspetor de qualidade se houver necessidade. Deverá ser analisada a dureza superficial da primeira peça beneficiada e o processo deve ser ajustado, caso apresente divergência com a especificação.
09	Iniciar o processo de beneficiamento das peças. Ao longo do processo deverá ser realizadas análise de dureza superficial, uma vez a cada duas horas de produção seguindo orientação, conforme PO SA-01-0027. Obs¹: A dureza superficial é de 50 a 58 HRC para todos os flanges. Flange D7E/F tempera interna e externa, dureza interna 38 a 45 HRC. Obs²: Os flanges beneficiados na forjaria, devem ser identificados com tinta amarela logo após serem disponibilizados nos pallet's e no local do depósito externo de peças forjadas,

Resultado Esperado: Peças temperadas na dureza especificada do produto.

Correções Necessárias: Quando não atingir a dureza especificada seguir orientação do item 6.

Controle de Registros

Identificação	Armazenagem/ Proteção	Recuperação	Acesso	Tempo de Retenção	Disposição
-	-	-	-	-	-

N.º do Doc.: FO-03-0013	Revisão: 00	Responsável: Encarregado do Setor	Página: 3/3
-----------------------------------	--------------------	--	--------------------

ANEXO I

Tabela de Referencia para Tempera Direta de Flanges

FLANGE	TEMPO DA DUCHA EM SEGUNDOS
AD7	70" a 120"
PC150	80" a 130"
LC 80	90" a 140"
D51	80" a 120"
AD14	80" a 130"
D6M	80" a 120"
D65	80" a 120"
D41	70" a 120"
312	70" a 120"
PC 138	70" a 120"
D4	70" a 120"
D50	70" a 120"
320L RI	70" a 120"
FX215	70" a 120"
D8H	180" a 240"
COSTELA	Tanque
D6B	80" a 130"